Fachhochschule Hildesheim / Holzminden / Göttingen
Fachbereich Konservierung und Restaurierung
Fachrichtung Konservierung und Restaurierung von Stein

Fixierung keramischer Glasuren an witterungsexponierter engobierter Terrakotta

Untersuchungen zur Eignung verschiedener Hinterfüllstoffe und Festigungsmittel

Diplomarbeit

Erstprüfer: Prof. Jan Schubert

Zweitprüfer: Prof. Dr. Thomas Thielmann

vorgelegt von

Gerhard D'ham

Im Juli 2003

Ich erkläre, daß ich diese Diplomarbeit selbstständig verfaßt habe und keine anderen als die genannten Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Hildesheim, den 28.07.03

Gerhard D'ham

Fixierung keramischer Glasuren an witterungsexponierter engobierter Terrakotta. Untersuchungen zur Eignung verschiedener Hinterfüllstoffe und Festigungsmittel

Kurzzusammenfassung

Schadensformen, Schadensursachen und Schadensmechanismen an witterungsexponierter glasierter und engobierter Terrakotta der Renaissance aus Lüneburg werden vorgestellt und Möglichkeiten ihrer Konservierung diskutiert. Zur Sicherung verlustgefährdeter und Fixierung bereits abgelöster Glasurteile werden Injektionsmassen und Festigungsmittel vorgeschlagen.
Im Experimentalteil werden Injektionsmassen auf der Basis von Kieselsol, Kieselsäureethylester, Hüttensand-Gips-Zement (HGZ) und einer Acrylat-Kieselsol-Dispersion rezeptiert und mittels Dispergiergerät hergestellt. Weitere Bestandteile sind pyrogene Kieselsäure, verschiedene Füllstoffe und Additive wie Fließmittel und Stabilisator. Es werden Fließ- und Penetrationsvermögen, Sedimentationsstabilität, Kanülengängigkeit, Erhärtungsschwinden und Rißneigung, erhärtungsbedingte Verformung, Haftvermögen und Gebrauchsfähigkeitsdauer untersucht.
Als Festigungsmittel werden elastifizierte Kieselsäureester, Acrylharzlösung, Hybridfestiger aus Acrylharz und Kieselsäureester sowie v.a. Lösungen verschiedener Epoxidharze ausgewählt. An den Epoxidharzlösungen wird der Härtungsverlauf untersucht.
An speziellen keramischen Modellproben werden Haftzugfestigkeitsmessungen nach konservatorischer Behandlung durchgeführt.

Stichwörter: Terrakotta, Engobe, Glasur, Injektionsmörtel, Dispergieren, Festiger, Epoxidharzlösung, Haftzugfestigkeitsmessung

Consolidation and Setting of Ceramic Glazes on Engobated Terracotta. Investigations of Suitability of Different Backfill and Consolidation Materials

Abstract

Forms and reasons of decay of engobated, glazed renaissance terracotta from Lüneburg, exposed to weathering, are discribed. To preserve and set flaking glaze, application of backfill and consolidation media are proposed.
In the experimental part several back fill materials based on binders like silica dispersion, tetraethoxysilane, HGZ and a mixture of acrylic and silica dispersion with different fillers and additives are produced, using a dispersing device. Properties like velocity of penetration and sedimentation, shrinkage, adhesion and period of usability of those mixtures are investigated.
Consolidation solutions of different types of epoxy-resins in solution, elastified silicic-acid-ester and acrylic-resin, are chosen. Hardening of epoxy resins in solution are investigated.
Specific ceramic specimens were produced in order to measure tensile-strength after conservation treatment.

Keywords: terracotta, engobe, glaze, backfill mortar, dispersing, consolidant, epoxy resin, tensile-strength-measurement

Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei meinen Prüfern, Herrn Prof. Jan Schubert und Herrn Prof. Dr. Thomas Thielmann für die fachliche Unterstützung und v.a. für ihren persönlichen Einsatz.

Mein herzlicher Dank gilt auch Frau Studiendekanin Prof. Dr. Gerdi Mayerbacher-Legl für ihre persönliche Unterstützung.

Für ihre große Diskussionsbereitschaft und ihren fachlichen Rat danke ich v.a. Herrn Dr. Karl Georg Böttger (Uni Siegen), Herrn Peter Kozub (FH Potsdam) und Herrn Joachim Vierling (Berlin).

Für hilfreiche Auskünfte danke ich ferner Herrn Roman Borkowski (Toruń), Herrn Prof. Dr. habil. Wisław Domasłowski (UMK, Toruń), Frau Sophie Haake (Los Angeles), Herrn Dr. Nils Hoffmann, Herrn Marek Jeziorowski (Hildesheim), Herrn Dr. Thomas Korr (Fa. Cabot), Herrn Siegfried Lang (Erfurt), Herrn Prof. Dr. Klaus Littmann (Hannover), Herrn Sebastian Röhl (Berlin), Frau Maria Rudy (UMK, Toruń), Herrn Stefan Scheidemann (Erfurt), Herrn Prof. Thomas Staemmler (FH Erfurt), Herrn Dr. Wolfram Tänzer (Leuna-Harze GmbH), Herrn Dr. Wendler (München) und Herrn Dr. Harm Wiese (BASF).

Bei den nachfolgend genannten Firmen möchte ich mich für Warenmuster bedanken:
3 M Deutschland (Neuss); Backsteinwerk Rettmer (Lüneburg); BASF (Ludwigshafen); Bayer Industrieprodukte (Köln); BK-Giulini Chemie (Ladenburg), Byk Chemie (Wesel); Cabot (Rheinfelden);
Clariant (Wiesbaden); Leuna-Harze (Leuna); Luzenac Europe (Weisskirchen, Österreich); Münzing Chemie (Heilbronn); Potters-Ballotini (Kirchheimbolanden); Quarzwerke (Weferlingen); Remmers (Löningen); Sika Addiment (Leimen); Solutia Germany (Hamburg); Surface Specialities Germany (Wiesbaden)

Herrn Thomas Lehmkuhl sei für Erläuterungen und eine praktische Demonstration des Dispergierens gedankt. Für Unterstützung bei der Planung und Durchführung der Haftzugfestigkeitsmessungen danke ich Herrn Ralf Augustin (Labor für Holztechnik der FH Hildesheim/Holzminden/Göttingen). Für die Anfertigung von Lasergranulometrien danke ich Herrn Sperber (Dörentrup Quarz GmbH & Co KG).

Diese Arbeit wäre nicht zu bewältigen gewesen ohne die tatkräftige und freundliche Unterstützung vieler jetziger und ehemaliger Kommilitoninnen und Kommilitonen, v.a. bei der Anfertigung der keramischen Proben und von Probenformen, bei Bibliotheksgängen, beim Kopieren und bei der Lösung von Transportproblemen. Hierfür danke ich ganz herzlich Herrn Fabian Belter, Herrn Ralf Bucholz, Herrn Roman Borkowski, Frau Julia Diezemann, Herrn Tobias Flacke, Herrn Falk Hohmann, Frau Katrin Jäger, Frau Thekla Krebs, Frau Kirsti Krüger, Herrn Nils Mainusch, Frau Heidi Mattern, Frau Karen Melching, Frau Larissa Piepo, Herrn Olaf Pung, Frau Claudia Schindler, Frau Stephanie Silligmann, Herrn Martin Stütz, Frau Inga Thiele-Wittig und Frau Stella Wrede.

Mein ganz besonderer Dank gilt Thekla Krebs und Nils Mainusch für ihre großartige Unterstützung.

Mein Wohnungsgenosse Nikolaus Reinecke hat mich durch die klaglose, freiwillige und ausdauernde Übernahme haushaltlicher Pflichten ganz wesentlich entlastet. Dafür danke ich ihm sehr.

Ganz herzlichen Dank an Stefanie Lindemeier, Larissa Piepo und Joachim Vierling für das Korrekturlesen.

Meinen Eltern danke ich für ihre großzügige finanzielle Unterstützung.

Inhaltsübersicht

1 EINLEITUNG I

1.1 EINORDNUNG DES DIPLOMTHEMAS IN DEN RAHMEN DES FORSCHUNGSPROJEKTES „GLASIERTE ZIEGEL UND TERRAKOTTEN" 1
1.2 ENGOBIERTE GLASIERTE TERRAKOTTEN DER RENAISSANCE AN LÜNEBURGER HAUSFASSADEN 2
1.3 ZUR TECHNOLOGIE DER ENGOBIERTEN, GLASIERTEN TERRAKOTTEN 2

2 KONSERVATORISCHE PROBLEMSTELLUNG 5

2.1 SCHADENSFORMEN AN GLASUREN UND IHREM KERAMISCHEN TRÄGER 5
2.2 SCHADENSFAKTOREN UND SCHADENSMECHANISMEN 6
2.3 ZIELE KONSERVATORISCHER MAßNAHMEN 9

3 BEITRÄGE ZU EINEM KONSERVIERUNGSKONZEPT UND EINGRENZUNG DES DIPLOMTHEMAS 10

3.1 DISKUSSION DER KONSERVIERUNGSZIELE, IHRER IMPLIKATIONEN UND IHRER UMSETZUNG 10
3.2 EINGRENZUNG DES DIPLOMTHEMAS 14

4. KONSERVIERUNGSMITTEL 15

4.1 ANFORDERUNGEN AN INJEKTIONSMASSEN UND FESTIGUNGSMITTEL 15
4.2 INJEKTIONSMASSEN 16
4.3 FESTIGUNGSMITTEL 26

5. UNTERSUCHUNGSMETHODEN 40

5.1 CHARAKTERISIERUNG DER FÜLLSTOFFE DER INJEKTIONSMÖRTEL 40
5.2 UNTERSUCHUNGSMETHODEN VON FRISCHMÖRTELEIGENSCHAFTEN 41
5.3 ABSCHÄTZUNG VON ERHÄRTUNGSSCHWINDEN, RIßBILDUNG, VERFORMUNG UND HAFTUNG 43
5.4 KENNWERTERMITTLUNG AN MÖRTELPRISMEN 43
5.5 HAFTZUGFESTIGKEITSMESSUNGEN 44
5.6 UNTERSUCHUNGEN ZUM ERHÄRTUNGSVERLAUF VON EPOXIDHARZLÖSUNGEN 47
5.7 MESSUNGEN DER HAFTZUGFESTIGKEIT AN GEFESTIGTEN MODELLPRÄPARATEN 49
5.8 UNTERSUCHUNG DER WASSERBESTÄNDIGKEIT AN FREIEN EPOXIDHARZFILMEN 49

6. PROBENPRÄPARATION 50

6.1 HERSTELLUNG KERAMISCHER MODELLKÖRPER 50
6.2 VORBEREITUNG UND DURCHFÜHRUNG DER KONSERVIERUNGSMAßNAHMEN AN DEN KERAMISCHEN MODELLKÖRPERN 62
6.3 HERSTELLUNG VON MÖRTELPRISMEN 64

7. UNTERSUCHUNGEN VON INJEKTIONSMÖRTELN 66

7.1 HERSTELLUNG VON INJEKTIONSMÖRTELN MITTELS DISPERGIEREN 66
7.2 UNTERSUCHUNGEN DER REZEPTIERUNGSPHASE 70
7.3 HAFTZUGFESTIGKEITSMESSUNGEN 88

8 UNTERSUCHUNGEN VON FESTIGUNGSMITTELN 96

8.1 BESTIMMUNG DES ZEITPUNKTS EINER NIEDERSCHLAGSBILDUNG AUS DEN LÖSUNGEN 96
8.2 UNTERSUCHUNGEN ZUR VISKOSITÄTSVERÄNDERUNG VON EPOXIDHARZLÖSUNGEN 98
8.3 UNTERSUCHUNGEN ZUR VERÄNDERUNG DES BRECHUNGSINDEX 99
8.4 HAFTZUGFESTIGKEITSMESSUNGEN 100

9 ZUSAMMENFASSUNG UND BEWERTUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE ..110

9.1 KONSERVATORISCHE PROBLEMATIK 110
9.2 KONSERVIERUNGSMATERIALIEN 111
9.3 UNTERSUCHUNGSMETHODEN 111
9.4 PROBENPRÄPARATION 112
9.5 INJEKTIONSMÖRTEL 112
9.6 FESTIGUNGSMITTEL 114

10 LITERATURVERZEICHNIS 115

DIN-NORMEN 118

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG I

1.1 EINORDNUNG DES DIPLOMTHEMAS IN DEN RAHMEN DES FORSCHUNGSPROJEKTES „GLASIERTE ZIEGEL UND TERRAKOTTEN" 1
1.2 ENGOBIERTE GLASIERTE TERRAKOTTEN DER RENAISSANCE AN LÜNEBURGER HAUSFASSADEN 2
1.3 ZUR TECHNOLOGIE DER ENGOBIERTEN, GLASIERTEN TERRAKOTTEN 2

2 KONSERVATORISCHE PROBLEMSTELLUNG 5

2.1 SCHADENSFORMEN AN GLASUREN UND IHREM KERAMISCHEN TRÄGER 5
2.2 SCHADENSFAKTOREN UND SCHADENSMECHANISMEN 6
2.3 ZIELE KONSERVATORISCHER MAßNAHMEN 9

3 BEITRÄGE ZU EINEM KONSERVIERUNGSKONZEPT UND EINGRENZUNG DES DIPLOMTHEMAS 10

3. 1 DISKUSSION DER KONSERVIERUNGSZIELE, IHRER IMPLIKATIONEN UND IHRER UMSETZUNG 10
3.1.1 Fixierung abgelöster Glasurbereiche 10
3.1.2 Sicherung gelockerter Glasurbereiche 11
3.1.3 Verbesserung der Glasuranhaftung 11
3.1.4 Verminderung des Gehalts an leicht löslichen Salzen 12
3.1.5 Verminderung, Umwandlung oder Passivierung der Gipsbelastung 12
3.1.6 Reinigung 13
3.1.7 Festigung der Glasuroberfläche 13
3.1.8 Glasurergänzung 13
3.1.9 Schließen des Krakelees 13
3.1.10 Schutzbeschichtung der Glasuroberfläche 14
3.1.11 Schutz vor rückseitiger oder seitlicher Durchfeuchtung bzw. Salzeintrag 14
3.2 EINGRENZUNG DES DIPLOMTHEMAS 14

4. KONSERVIERUNGSMITTEL 15

4.1 ANFORDERUNGEN AN INJEKTIONSMASSEN UND FESTIGUNGSMITTEL 15
4.1.1 Anforderungen an Injektionsmassen 15
4.1.2 Anforderungen an Festigungsmittel 15
4.2 INJEKTIONSMASSEN 16
4.2.1 Terminologische Vorbemerkung 16
4.2.2 Auswahl der Bindemittel 16
4.2.3 Auswahl der Zuschläge 19
4.2.4 Auswahl der Zusätze 22
4.2.5 Charakterisierung der verwendeten Zuschläge 24
4.3 FESTIGUNGSMITTEL 26
4.3.1. Grundzüge der Epoxidharzchemie 26
4.3.2 Epoxidharzlösungen zur Festigung mineralischer Substrate 28
4.3.3 Auswahl der Epoxidharze 33
4.3.4 Auswahl weiterer Festigungsmittel 35
4.3.5 Auswahl der Lösemittel 36
4.3.6 Ansetzen der Epoxidharzlösungen 37
4.3.7 Stöchiometrische Berechnungen zur Dosierung der Härter 38

5. UNTERSUCHUNGSMETHODEN 40

5.1 CHARAKTERISIERUNG DER FÜLLSTOFFE DER INJEKTIONSMÖRTEL 40
5.1.1 Bestimmung der Schüttdichte in Anlehnung an DIN EN 1097-3 (Juni 1998) 40
5.1.2 Lasergranulometrie 40
5.2 UNTERSUCHUNGSMETHODEN VON FRISCHMÖRTELEIGENSCHAFTEN 41
5.2.1 Charakterisierung des Fließvermögens mittels Auslaufbecher 41
5.2.2 Untersuchung des Penetrationsvermögens 41
5.2.3 Bestimmung der Sedimentationsgeschwindigkeit 42
5.2.4 Kanülengängigkeit 43
5.3 ABSCHÄTZUNG VON ERHÄRTUNGSSCHWINDEN, RIßBILDUNG, VERFORMUNG UND HAFTUNG 43
5.4 KENNWERTERMITTLUNG AN MÖRTELPRISMEN 43
5.5 HAFTZUGFESTIGKEITSMESSUNGEN 44
5.6 UNTERSUCHUNGEN ZUM ERHÄRTUNGSVERLAUF VON EPOXIDHARZLÖSUNGEN 47

5.6.1 Bestimmung des Zeitpunkts einer Niederschlagsbildung aus den Lösungen ... 47
5.6.2 Untersuchungen zur Viskositätsveränderung von Epoxidharzlösungen ... 48
5.6.3 Untersuchungen zur Veränderung des Brechungsindex ... 48
5.7 MESSUNGEN DER HAFTZUGFESTIGKEIT AN GEFESTIGTEN MODELLPRÄPARATEN ... 49
5.8 UNTERSUCHUNG DER WASSERBESTÄNDIGKEIT AN FREIEN EPOXIDHARZFILMEN ... 49

6. PROBENPRÄPARATION ... 50

6.1 HERSTELLUNG KERAMISCHER MODELLKÖRPER ... 50
6.1.1 Bisheriger Stand der Modellkörperpräparation ... 50
6.1.2 Weiterführende Überlegungen zur Probenpräparation und zum Anforderungsprofil an keramische Modellkörper ... 51
6.1.3 Keramische Modellkörper des Typus 1 zur Untersuchung von Injektionsmörteln ... 52
6.1.4 Keramische Modellkörper des Typus 2 zur Untersuchung von Festigungsmitteln ... 60
6.1.5 Abschließende Bewertung der Präparation keramischer Modellproben ... 62
6.2 VORBEREITUNG UND DURCHFÜHRUNG DER KONSERVIERUNGSMAßNAHMEN AN DEN KERAMISCHEN MODELLKÖRPERN ... 62
6.2.1 Vorbereitung und Durchführung der Injektionen an den Modellkörpern des Typus 1 ... 62
6.2.2 Vorbereitung und Durchführung der Tränkungen an den Modellkörpern des Typus 2 ... 63
6.3 HERSTELLUNG VON MÖRTELPRISMEN ... 64

7. UNTERSUCHUNGEN VON INJEKTIONSMÖRTELN ... 66

7.1 HERSTELLUNG VON INJEKTIONSMÖRTELN MITTELS DISPERGIEREN ... 66
7.2 UNTERSUCHUNGEN DER REZEPTIERUNGSPHASE ... 70
7.2.1 Injektionsmörtel auf der Basis von Syton X 30 und pyrogener Kieselsäure ... 73
7.2.2 Injektionsmörtel auf der Basis von Funcosil KSE 500 STE ... 82
7.2.3 HGZ Injektionsmörtel ... 83
7.2.4 Injektionsmörtel auf der Basis einer Nanokompositdispersion ... 85
7.3 HAFTZUGFESTIGKEITSMESSUNGEN ... 88
7.3.1 Haftzugfestigkeitsmessungen an Referenzproben des Typus 1 ... 88
7.3.2 Festlegung der Parametervariationen und Auswahl der Injektionsmörtel ... 90
7.3.3 Rezepturen und veränderte Herstellung der Injektionsmassen ... 91
7.3.4 Haftzugfestigkeitsmessungen an den injizierten Modellproben des Typus 1 ... 92

8 UNTERSUCHUNGEN VON FESTIGUNGSMITTELN ... 96

8.1 BESTIMMUNG DES ZEITPUNKTS EINER NIEDERSCHLAGSBILDUNG AUS DEN LÖSUNGEN ... 96
8.2 UNTERSUCHUNGEN ZUR VISKOSITÄTSVERÄNDERUNG VON EPOXIDHARZLÖSUNGEN ... 98
8.3 UNTERSUCHUNGEN ZUR VERÄNDERUNG DES BRECHUNGSINDEX ... 99
8.4 HAFTZUGFESTIGKEITSMESSUNGEN ... 100
8.4.1 Untersuchungsergebnisse an den unbehandelten Referenzproben ... 100
8.4.2 Auswahl der Festigungsmittel für die Haftzugmessungen ... 103
8.4.3 Untersuchungsergebnisse an den gefestigten Modellpräparaten ... 104

9 ZUSAMMENFASSUNG UND BEWERTUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE ... 110

9.1 KONSERVATORISCHE PROBLEMATIK ... 110
9.2 KONSERVIERUNGSMATERIALIEN ... 111
9.3 UNTERSUCHUNGSMETHODEN ... 111
9.4 PROBENPRÄPARATION ... 112
9.5 INJEKTIONSMÖRTEL ... 112
9.6 FESTIGUNGSMITTEL ... 114

10 LITERATURVERZEICHNIS ... 115

DIN-NORMEN ... 118

ANHANG

1. Berechnungen zum Glasurversatz und den Wärmeausdehnungskoeffizienten der Glasuren
2. Protokolle der Füllstoffuntersuchungen
3. Protokolle der Injektionsmörtel der Rezeptierungsphase
4. Protokolle der Injektionsmörtel der Haftzugfestigkeitsuntersuchungen
5. Protokolle der Haftzugmessungen am Probentypus 1
6. Protokolle der Haftzugmessungen am Probentypus 2
7. Technische Merkblätter und Sicherheitsdatenblätter der verwendeten Materialien

1. Einleitung

1.1 Einordnung des Diplomthemas in den Rahmen des Forschungsprojektes „Glasierte Ziegel und Terrakotten"

Thema der vorliegenden Diplomarbeit ist die Sicherung und Fixierung verlustgefährdeter oder bereits abgelöster Glasurbereiche an witterungsexponierter engobierter Terrakotta. Die Arbeit entstand im Rahmen des Forschungsprojekts „Entwicklung von modellhaften Restaurierungsmethoden für umweltgeschädigte glasierte Ziegel und Terrakotten an national bedeutenden Kulturdenkmalen Norddeutschlands". Es wird im folgenden abgekürzt als Forschungsprojekt „Glasierte Ziegel und Terrakotten" bezeichnet. Das Projekt wird vom Norddeutschen Zentrum für Materialkunde von Kulturgut e.V. (ZMK) in Hannover geleitet. Kooperationspartner des Projektes sind das Fraunhofer-Institut für Silikatforschung (ISC) in Bronnbach und das F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde (FIB) an der Bauhaus-Universität Weimar. Projektbeteiligte sind ferner die Studiengänge Restaurierung, Fachrichtung Konservierung von Steinobjekten, an den Fachhochschulen in Potsdam und Hildesheim sowie eine Reihe weiterer Institutionen und Einzelpersonen wie Landesdenkmalämter, Restauratoren und Naturwissenschaftler. Die Projektlaufzeit erstreckt sich vom März 2001 bis zum Jahresende 2004. Projektförderer sind v.a. die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) und die Deutsche Stiftung Denkmalschutz (DSD).
Ziel des Forschungsprojekts ist die interdisziplinäre Erforschung von Schadensmechanismen sowie Konservierungsmöglichkeiten glasierter Baukeramik im Außenbereich. Der Erhaltungsproblematik witterungsexponierter glasierter Baukeramik wurde bisher wenig Aufmerksamkeit geschenkt, obwohl in Norddeutschland eine Vielzahl von Baudenkmalen unter Verwendung glasierter Ziegel und Terrakotten errichtet wurden. Es handelt sich dabei vorwiegend um Bauwerke des 13. bis 16. und des 19. Jahrhunderts. Bei der Restaurierung solcher Objekte waren die Planer und Ausführenden daher vorwiegend auf Erfahrungsberichte oder persönliche Erfahrungen im Umgang mit diesen Materialien oder auf die Übertragung von Forschungsergebnissen angewiesen, die für die Konservierung anderer Materialgattungen wie z.B. unglasierte Terrakotta und Ziegel sowie Naturstein vorlagen. Experimentell abgesicherte Erkenntnisse zur Konservierung glasierter Baukeramik lagen dagegen kaum vor.
Zur Verwirklichung der Projektziele wurden Modellobjekte ausgewählt. Es handelt sich um die Bürgerhäuser Lüner Str. 3 und Am Sande 1 in Lüneburg (Niedersachsen) mit ihren renaissancezeitlichen, polychrom glasierten Terrakottamedaillons und um die St. Jakobikirche in Perleberg (Brandenburg) mit ihren vier gotischen Portalen aus glasierten Formsteinen.
Die genannten Modellobjekte wurden und werden umfassenden Untersuchungen unterzogen. Derzeit liegen bereits eine Reihe von Arbeiten vor, in denen die Schäden und die konservatorische Problematik analysiert und Möglichkeiten der Konservierung sowie die Bereitstellung geeigneter Ersatzmaterialien untersucht wurden. Hinsichtlich einer Konservierung wurden die Themen Reinigung, Salzverminderung, Festigung des keramischen Trägermaterials, Injektion hohlliegender Schalen im keramischen Träger und Glasurergänzung bearbeitet. Des weiteren widmen sich einige Arbeiten der Herstellung geeigneter keramischer Ersatzmaterialien. Für die Themenstellung dieser Diplomarbeit besonders erwähnenswert ist ferner die Diplomarbeit von Sonja Radujkovic an der FH Potsdam, die bereits vor Beginn der Projektlaufzeit wichtige Grundlagen zur Sicherung und Fixierung keramischer Glasuren erarbeitet hatte.[1] Die letztgenannte Diplomarbeit diente als Grundlage für die folgenden Untersuchungen. In einer vorausgegangenen Facharbeit hatte ich eine umfassende Bestandsaufnahme des renaissancezeitlichen engobierten Terrakottabestands an Lüneburger Hausfassaden vorgenommen.[2] Es war daher naheliegend, die experimentelle Bearbeitung des Diplomthemas auf diese Objektgruppe auszurichten. Nachfolgend wird die Objektgruppe der renaissancezeitlichen glasierten Terrakotten in Lüneburg näher vorgestellt. Im darauf folgenden Unterkapitel werden einige keramiktechnische Grundlagen und Fachbegriffe erläutert sowie der Herstellungsprozess der Terrakotten dargestellt.

[1] Radujkovic, Sonja (2000): Erhaltung farbiger Glasuren auf Terrakotta. Herstellung und künstliche Bewitterung von Modellpräparaten und Versuche zur Konservierung. Unveröffentlichte Diplomarbeit im Studiengang Restaurierung der FH Potsdam.
[2] D'ham, Gerhard (2003): Terrakotten der Renaissance an Lüneburger Hausfassaden. Bestandsuntersuchung nach kunstwissenschaftlichen und restauratorischen Kriterien. Unveröffentlichte Facharbeit am Institut für Restaurierung der FH Hildesheim/Holzminden/Göttingen.

1.2 Engobierte glasierte Terrakotten der Renaissance an Lüneburger Hausfassaden[3]

Lüneburg verfügt über einen reichen renaissancezeitlichen Bestand an zumeist kreisförmigen und polychrom glasierten Terrakotten, der in diesem Umfang in keiner anderen Stadt Norddeutschlands anzutreffen ist. Die besondere kunsthistorische Bedeutung dieses Bestandes liegt in der polychromen Glasierung.
Die Terrakotten wurden Mitte des 16. Jahrhunderts an einer Reihe von Bürgerhäusern als Fassadenzier angebracht. Der Zeitraum ihrer Anbringung erstreckt sich zwischen 1543 und 1558, unter Einbeziehung motividentischer, jedoch unglasierter Exemplare bis 1563, wobei eine gesicherte Datierung nicht an jedem Gebäude möglich ist.
Bei diesen Terrakotten handelt es sich um meist kreisförmige Keramikplatten mit einem Durchmesser um 30 cm und einer Dicke von 2-3 cm. Sie zeigen einen dreischichtigen Aufbau: Ein orangebrauner keramischer Scherben bildet das Trägermaterial, das auf der Bildseite von einer beigefarbenen Engobe bedeckt ist. Darauf ist die polychrome Glasur aufgeschmolzen.
Die Terrakotten sind an den durch Pfeiler und Friese reich gegliederten Fassaden meist von schwarz glasierten Formsteinen kranzförmig eingefaßt. Aufgrund der besonderen Profilierung dieser Formsteine, die aneinandergereiht einem gewundenen Tau gleichen, spricht man von Taustabprofilen bzw. von Taustabumkränzungen. Bei den Bildmotiven der Terrakotten überwiegen Kopf- oder Brustbilddarstellungen. Andere Platten zeigen alttestamentarische Szenen, figürliche Darstellungen ornamentalen Charakters, Jahresinschriften, pflanzliche Ornamentik und heraldische Motive. Viele Terrakotten sind bei guter maßlicher Übereinstimmung mehrfach in identischer oder auch abgewandelter Formgebung anzutreffen. Zu ihrer Herstellung wurden Negativformen verwendet, die eine mehrfache Ausformung desselben Bildmotivs ermöglichten. Die systematische Untersuchung sämtlicher glasierter und unglasierter Terrakotten ergab, daß sich 37 verschiedene Formtypen unterscheiden lassen. Sie lassen sich aufgrund stilistischer Gemeinsamkeiten und werktechnischer Beobachtungen in 9 Werkgruppen einteilen. Für die meisten Werkgruppen ist aufgrund von archäologischen Funden und Befunden, stilistischen Vergleichen und werktechnischen Überlegungen eine Anfertigung in einer Lüneburger Töpferwerkstatt wahrscheinlich.
Glasierte Terrakotten der Renaissancezeit ließen sich an 10 Gebäuden nachweisen. Infolge von Abriß und Renovierungen wurde ein Teil dieser Terrakotten abgenommen und ins Museum für das Fürstentum Lüneburg verbracht. Einige Terrakotten gingen verloren. An einigen Fassaden wurden aus Kunststoff gefertigte Kopien angebracht. Heute befinden sich renaissancezeitliche Originale noch an den Fassaden von 8 Lüneburger Bürgerhäusern.[4] Es handelt sich um folgende Gebäude:
Große Bäckerstr. 15 (10 Medaillons sowie 20 monchrom glasierte Umkränzungselemente), Heiligengeiststr. 4 (4 Medaillons), Lünerstr. 3 (11 Medaillons), An der Münze 8 A + B (13 Medaillons), Rotestr. 6 (18 Medaillons und 1 rechteckige Platte mit Jahreszahl), Am Sande 1 (32 Terrakotten, davon 29 Medaillons und 3 rechteckige Platten), Am Sande 2 (3 Medaillons) und Am Stintmarkt 7/Lünerstr. 9 (1 Medaillon).

1.3 Zur Technologie der engobierten, glasierten Terrakotten[5]

Der Begriff Terrakotta bedeutet in wörtlicher Übersetzung „gebrannte Erde" und bezeichnet allgemein poröse, bei relativ niedrigen Temperaturen von etwa 900 bis 1000° C hergestellte Keramikerzeugnisse von meist orangebrauner Farbe. Im allgemeinen Sprachgebrauch bezeichnet der Begriff Terrakotta plastisch verzierte Objekte, Reliefs und Statuen aus gebranntem Ton, die den vorgenannten technischen Kriterien entsprechen.
Als Engobe bezeichnet man eine feinkörnige, relativ dünne keramische Beschichtung. Sie wird aus gestalterischen Gründen aufgetragen und verdeckt den meist andersfarbigen keramischen Scherben.
Glasuren sind erstarrte Glasschmelzen, die als dünne Schicht die Keramikoberfläche bedecken. Sie dienen u.a. zur Abdichtung des Scherbens, zur Erhöhung der mechanischen Widerstandsfähigkeit und zur künstlerischen Gestaltung.

---

[3] Dieses Unterkapitel faßt Ergebnisse der in Fußnote 2 genannten Facharbeit zusammen, in der sämtliche Fassadenansichten und Terrakotten abgebildet und beschrieben werden.
[4] 2001 wurden alle Terrakotten am Gebäude Lünerstr. 3 und 2003 einige Terrakottamedaillons am Haus Am Sande 1 für Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojektes „Glasierte Ziegel und Terrakotten" abgenommen.
[5] Die folgende Darstellung ist eine überarbeitete Fassung von Kapitel 1.2 der in Fußnote 2 genannten Facharbeit. Angaben dieses Unterkapitels beruhen auf den nachfolgend aufgeführten Publikationen: Hamer, F.; Hamer, J. (1990): Lexikon der Keramik und Töpferei; HEUSCHKEL, H.; MUCHE, K. (1974): ABC Keramik; SCHNEIDER, G. (Redaktion) (1989): Naturwissenschaftliche Kriterien und Verfahren zur Beschreibung von Keramik, in: Acta Praehistorica et Archaeologica, Band 21; Weiß, Gustav (1991): Keramik Lexikon. Praktisches Wissen griffbereit

Grundstoff der Terrakottaherstellung ist der aufbereitete Ton, die sog. Masse. Sie besteht überwiegend aus Tonmineralen, der sogenannten Magerung und Wasser. Tonminerale gehören zur vielgestaltigen Mineralgruppe der Schichtsilikate. Die Plastizität bzw. Bildsamkeit keramischer Massen beruht maßgeblich auf der Fähigkeit der Tonminerale, zwischen den Elementarschichten ihrer plättchenförmigen Kristalle, Wasser zu adsorbieren. In den für die Lüneburger Terrakotten verwendeten, kalkarmen Massen sind als Tonminerale überwiegend sogenannte ‚Illite' enthalten.[6] Als Magerung bezeichnet man unplastische Zuschläge wie z.B. Quarzsande, Kalk oder zermahlenen, gebrannten Ton, die sog. Schamotte. Je nach Größe der Masseinhomogenitäten spricht man von Feinkeramik (< 0,2 mm) oder Grobkeramik (> 0,2 mm). Bei den Lüneburger Terrakotten handelt es sich ausnahmslos um kalkarme, grobkeramische Erzeugnisse, wobei die Korngröße der Magerung z.T. 2 mm überschreitet. Für die gute Formbarkeit der Masse ist neben einem ausreichenden Anteil von Tonmineralien die richtige Menge Wasser und die möglichst gleichmäßige Durchmischung der Komponenten entscheidend. Nach der Formgebung muß die Rohware vor dem Brennen zunächst vollständig trocknen. Die dabei zu beobachtende Trockenschwindung ist um so größer, je höher der Ton- und Wasseranteil der Masse ist. Erfolgt die Trocknung ungleichmäßig und zu schnell und weist der Formling große Unterschiede in der Dicke auf, so können Verformungen und Risse auftreten.

Aus der durchgetrockneten Rohware entsteht im sog. Schrühbrand der Scherben. Oberhalb einer Mindestbrenntemperatur von ca. 700°C werden die Tonminerale dabei in dauerhaft wasserbeständige Mineralphasen umgewandelt. Zugleich tritt eine Brennschwindung ein, die mit einer Zunahme der Scherbenfestigkeit verbunden ist. Die Porosität des Scherbens wird durch die Abgabe chemisch gebundenen Wassers, die mit einer Dehnung verbundene Umwandlung des Quarzes von seiner α- in seine β-Modifikation bei 575°C und das Ausgasen von CO_2, O_2 und SO_2 aus den Massebestandteilen gesteuert.[7] Die Porosität kalkarmer Scherben vermindert sich erst ab einer Brenntemperatur von ca. 950°C an mit weiterem Temperaturanstieg.[8] Verallgemeinernd kann man feststellen, daß Festigkeit und Dichte des Scherbens bei steigenden Brenntemperaturen zunehmen. Exemplarische Untersuchungen an einigen Lüneburger Terrakotten ergaben Brenntemperaturen zwischen ca. 900 und 1000°C.[9]

Bei den renaissancezeitlichen glasierten Lüneburger Terrakotten ist der orangebraune Scherben von einer beigefarbigen Engobe überzogen. Engoben werden gewöhnlich auf die bereits angetrocknete, im lederharten Zustand befindliche Rohware, seltener auf bereits geschrühte Ware in relativ dünner Schicht durch Begießen, Streichen oder Tauchen aufgebracht. Die Untersuchungen der Lüneburger Terrakotten ergaben, daß hier die Engobe nicht nach Abschluß des Formgebungsprozesses nachträglich aufgetragen wurde, sondern die Engobierung ein integraler Bestandteil des Formgebungsprozesses war. Ausschlaggebend für die Verwendung einer hellfarbigen Engobe dürfte gewesen sein, daß aufgrund des transparenten Charakters vieler Glasuren deren Farben auf dem orangebrauner Scherben nicht zur Geltung kommen konnten.

An den Lüneburger Terrakotten wurden Blei- und Bleizinnglasuren mit folgenden Farbtönen verwendet: Transparente Bleiglasuren in Gelb, Grün, Braun, Schwarz; opake Bleizinnglasuren in den Farben Weiß, Blau und Violett. Die transparenten gelben, grünen und braunen Bleiglasuren enthalten etwa 37-39 M.-% Siliziumdioxid, 43-52 M.-% Bleioxid, ca. 4 M.-% Aluminiumoxid und ca. 4-10 M.-% färbende Metalloxide. Der hohe Bleioxidanteil dient als Flußmittel zur Herabsetzung der Schmelzpunktes. Der Anteil an alkalischen Flußmitteln liegt unter 2 M.-%. Die opaken weißen und blauen Bleizinnglasuren enthalten dagegen 47-52 M.-% Siliziumdoxid, 32-39 M.-% Bleioxid, ca. 2 M.-% Aluminiumoxid, ca. 3-5 M.-% Alkalioxide, 3-5 M.-% Zinnoxid sowie ggf. geringe Mengen weiterer färbender Metalloxide. Zinnoxid bewirkt eine Trübung der Glasur. Gelegentlich findet sich in der Literatur statt der Bezeichnung Bleizinnglasur der Terminus „Zinnglasur", der angesichts des im Vergleich zum Bleigehalt geringen Anteils an Zinnoxid irreführend erscheint. Aufgrund des Bleianteils sind die pulverförmigen Glasurgemenge und flüssigen Glasurschlicker giftig. Durch Verschmelzen der Glasurbestandteile, dem sog. Fritten, und nachherigem Vermahlen der Glasurfritten kann die Toxizität stark herabgesetzt werden. Bestimmte Anzeichen, wie eine ungleichmäßi-

---

[6] Schwarz, Hans-Jürgen (2002): Untersuchungen am Bürgerhaus in der Lüner Str. 3 in Lüneburg zur Erhaltung der glasierten Baukeramik und Terrakotta-Medaillons; unveröffentlichter Untersuchungsbericht, Stand August 2002, S. 7

[7] vgl. Salmang, H. (1954): Die physikalischen und chemischen Grundlagen der Keramik, v.a. S. 115 bis 124, Matthes, W. E. (1985): Keramische Glasuren. Grundlagen, Eigenschaften, Rezepte, Anwendungen, S. 28 u. 33.

[8] Freyburg, Sabine (1998): Schadensmechanismen an historischem Ziegelmaterial - fertigungs- und rohstoffseitige Ursachen, in: Stark, Jochen (Hg.): Erhaltung historischen Ziegelmauerwerks. Tagung auf dem Gelände der Ziegelei Hundisburg / Sachsen-Anhalt, 14.-15-05.1998, S. 49; Dittmar, Sebastian (2002): Erarbeitung eines baustofflichen Sanierungskonzeptes: Mauerwerk Lüner Straße 3, Lüneburg. unveröffentlichte Diplomarbeit an der Bauhaus Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, S. 87

[9] Schwarz, H.-J. (2002): Untersuchungen am Bürgerhaus in der Lüner Str. 3, S. 8

ge Verteilung farbgebender Metalloxide in den transparenten Glasuren, aber auch arbeitsökonomische Überlegungen sprechen jedoch dafür, daß sogenannte Rohglasuren verwendet wurden, die auf die vermutlich bereits geschrühten Terrakotten aufgetragen wurden. Im nachfolgenden Glasurbrand oder Glattbrand verflüssigt sich der Glasurauftrag, dringt dabei etwas in die Engobe ein und bildet dort durch deren Anlösung die sog. Zwischenschicht, deren Beschaffenheit für die Glasurhaftung von entscheidender Bedeutung ist.

Maßgeblich für die Qualität und Dauerhaftigkeit des Materialverbunds von Scherben, Engobe und Glasur ist neben einer sorgfältigen Rohstoffaufbereitung und Verarbeitung eine gute Abstimmung der physikalischen Eigenschaften der drei Schichten. Von besonderer Bedeutung sind hierbei das Maß der Trocken- und Brennschwindung sowie der thermische Ausdehnungskoeffizient der einzelnen Schichten. Aus einer mangelnden Abstimmung resultieren Spannungen, die zu herstellungsbedingten Schäden führen können, die von einer Rißbildung bzw. Glasurkrakelierung bis hin zur Absprengung der dünnen Engobe- bzw. Glasurschicht reichen.

Die Formgebung erfolgte mittels Negativformen, den Matrizen oder Modeln, die ihrerseits größtenteils als Abformungen eines Urpositivs, der Patrize, hergestellt wurden. Eine freihändige Formgebung der Terrakottarohlinge ist dagegen nur an wenigen Stücken nachzuweisen. Ausweislich archäologischer Funde handelt es sich bei den in Lüneburg verwendeten Matrizen gleichfalls um Terrakotten. Zur Herstellung der Terrakottarohlinge wurden Tonplatten hergestellt und in die Formen gepreßt . Das Ausdrücken der Matrize erfolgte dabei sukzessive mit zwei einzelnen Tonplatten unterschiedlicher Stärke. Zunächst wurde eine dünne Tonplatte von etwa 7 mm Dicke in die Negativform gepreßt, die sich aufgrund ihrer geringen Stärke besonders gut dem Relief der Negativform anpassen konnte. Sie wurde nachfolgend durch das Eindrükken einer zweiten, etwa 2 cm dicken Tonplatte verstärkt. Die Engobe war integraler Bestandteil dieses Formgebungsprozesses. Sie bildete die oberste, der Negativform zugewandte Schicht des Terrakottarohlings. Aufgrund ihrer feinkörnigeren Struktur konnte sie die Formdetails der Matrize besonders gut abbilden. Werktechnologische Beobachtungen an einigen Terrakotten legen nahe, daß zunächst die Engobe als Schlicker in die Matrize gegeben wurde, wobei sie in deren Formvertiefungen eine höhere Schichtdikke ausbilden konnte. Erst nach dem Ausschlickern der Matrize und dem Antrocknen der Engobe dürften die Tonplatten in die Matrize gepreßt worden sein. Praktische Versuche zur Nachstellung von Terrakotten lassen dagegen vermuten, daß nicht die Negativform ausgeschlickert wurde, sondern daß die Engobe auf die dünnen Tonplatten aufgetragen wurden, bevor sie in die Model gedrückt wurden.[10]

[10] Frdl. mdl. Mtlg. von Herrn Marek Jeziorowski, Student der Restaurierung an der Kunstakademie in Warschau, derzeit an der FH Hildesheim mit der Herstellung keramischer Kopien befaßt.

2. Konservatorische Problemstellung

In diesem Kapitel sollen zunächst alle für den Glasurerhalt relevanten Schadensformen definiert und systematisiert werden. Dies geschieht in Form einer Tabelle. Dieses Schadensglossar ist in erster Linie auf die engobierten Lüneburger Terrakotten abgestellt. Glasierte Baukeramik ohne Engobe wie z.B. die glasierten Ziegel an den Portalen der St. Jakobikirche in Perleberg, weist z.T. andere Schadensformen auf.
Nachfolgend werden mögliche Schadensursachen und Schadensmechanismen benannt und hieraus die konservatorischen Ziele abgeleitet. Auf dieser Grundlage werden dann im folgenden Kapitel Möglichkeiten der Konservierung diskutiert und der Versuch unternommen, ein alle Aspekte umfassendes Konservierungskonzept zu entwickeln.

2.1 Schadensformen an Glasuren und ihrem keramischen Träger

Die meisten der zu beobachtenden Schadensformen können unter drei Oberbegriffen subsummiert werden.
Bereits eingetretene sowie kurz- oder mittelfristig drohende bzw. zu erwartende Glasurverluste beruhen auf Adhäsionsmängeln zwischen der Glasur und der Engobe und/oder auf Kohäsionsmängeln im keramischen Trägermaterial (Engobe und Scherben). Unter dem Oberbegriff der Glasurkorrosion sind eine Reihe von Schadensphänomenen zusammengefasst, die Veränderungen der Glasuroberfläche betreffen.

Nr.	Schadensform	Erläuterung der Schadensform
1.	Adhäsionsmängel zwischen Glasur und Träger	Die Materialtrennung zwischen der Glasur und dem keramischen Trägermaterial erfolgt ganz überwiegend in der Engobe, so daß an der Glasurrückseite die Zwischenschicht und/oder Teile der Engobe anhaften
1.1	Glasurfehlstelle	Glasurteile haben sich bereits vollständig vom Träger gelöst und sind verloren gegangen.
1.2	Glasurabplatzung	Glasurteile haben sich bereits vollständig vom Träger gelöst, sind aber noch vorhanden.
1.3	Glasurablösung	Es liegt eine optisch oder akustisch wahrnehmbare Störung der Glasuranhaftung vor, wobei eine vollständige Abtrennung noch nicht eingetreten ist. Die sich ablösenden Glasurteile haften noch bereichsweise am Träger oder halten durch mechanische Verhakung an anderen Glasurteilen. Es können zwei verschiedene Schadensformen unterschieden werden.
1.3.1	Aufstehende Glasurteile	Die ehemals glatte Glasuroberfläche weist Verformungen mit gegeneinander verkippten Glasurteilchen auf.
1.3.2	hohlliegende Glasurbereiche	Die Glasur liegt bereichsweise hohl, was bei vorsichtigem Abklopfen akustisch detektierbar ist.
1.4	Haftungsminderung der Glasur	Phänomenologisch mit einfachen optischen oder akustischen Methoden derzeit nicht nachweisbare Schwächung des Verbundes zwischen der Glasur und ihrem keramischen Träger. Periodisch auftretende Spannungszustände unterhalb der Zugfestigkeitsgrenze des Glasur-Träger-Verbundes haben ein allmähliches Nachlassen der Haftkräfte durch Mikrorißbildung zur Folge.
2.	Kohäsionsmängel des Trägers	Materialverluste und Materialablösungen in unterschiedlichen Erscheinungsformen
2.1	Sanden	Ablösung kleinkörnige Aggregate
2.2	Schuppen	Ablösung kleiner, flächiger Aggregate
2.3	Schalen und oberflächenparallele Risse	Ablösung größerer flächiger Aggregate
2.4	Engoberisse	Es handelt sich um herstellungsbedingte Schwindrisse, die Folge eines überhöhten Schwindmaßes der Engobe beim Trocknen des Rohlings sind.

3.	Glasurkorrosion	Chemischer Angriff auf die Glasur vornehmlich an der Phasengrenze Glasuroberfläche – Atmosphäre führt zur Auswaschung einzelner Glasurbestandteile in saurem Milieu und Lösung des silikatischen Netzwerkes im basischen Milieu. Glasurkorrosion zeigt sich in unterschiedlichen Ausprägungen:
3.1	Glanzverlust	Der für Blei- und Bleizinnglasuren bei optimalen Herstellungsbedingungen typische spiegelnde Glanz weicht einer seidenmatten bis matten Oberflächenerscheinung, zugleich wirkt die ursprünglich vollkommen glatte Oberfläche wie aufgerauht. Bei transparenten Glasuren geht diese Veränderung einher mit einem deutlichen Nachlassen der Transluzidität.
3.2	Irrisieren	Regenbogenfarbenes Schillern der Glasuroberfläche, das infolge von Lösungs- und Ablagerungsprozessen an der Glasuroberfläche entsteht. Ursache dieser optischen Veränderung sind die Bildung feinster, oberflächenparalleler Kieselgelschichten.[11]
3.3	brüchige Glasuroberfläche	Oberflächenparallele Aufspaltung und Ablösung von Glasursubstanz, meist nur bei mikroskopischer Betrachtung zu erkennen
3.4	Glasurverfärbung	Schwarzer Belag auf der Glasuroberfläche; es handelt sich möglicherweise um Bleisulfid (PbS), das sich infolge von Bleilässigkeit der Glasur und SO_2-Bewitterung gebildet haben könnte.[12]
4.	Glasurkrakelee	Netz von Haarrissen in der Glasur, je nach Glasurzusammensetzung weit- oder engmaschig. Der laterale Zusammenhalt der Glasurschicht ist durch diese Segmentierung stark geschwächt und im wesentlichen auf mechanische Verhakung der einzelnen Glasurteilchen beschränkt. Dies kann besonders am Rand von bereits vorhandenen Glasurausbrüchen zu weiteren Verlusten einzelner Glasurteilchen führen.
5.	Salzausblühungen	Helle kristalline Ablagerungen auf der Glasuroberfläche oder im Glasurkrakelee

Selbstverständlich können mehrere Schadensformen zugleich auftreten. So gehen z.B. Glasurablösungen häufig mit Schäden an der Engobe oder dem Scherben einher.
An fast allen untersuchten Terrakotten erfolgte die Materialtrennung bei Glasurabplatzungen und Glasurablösungen innerhalb der Engobeschicht. Offenbar weist die Engobe die geringste Festigkeit auf und ist das schwächste Glied im Dreischichtenverbund Glasur-Engobe-Scherben.

2.2 Schadensfaktoren und Schadensmechanismen

Die genannten Schadensformen lassen sich auf verschiedene Schadensursachen zurückführen. Die zu beobachtenden Schäden beruhen z.T. auf werkimmanenten Schadensfaktoren, die v.a. in technischen Fehlern bei der Herstellung der Terrakotten zu sehen sind, und z.T. auf äußeren Schadensfaktoren.

Herstellungsbedingte Schäden können in einer ungeeigneten Zusammensetzung und Aufbereitung der keramischen Masse, der Engobe und der Glasur liegen. So beruht die an allen Glasuren, wenngleich in unterschiedlicher Intensität auftretende Krakelierung hauptsächlich auf einem zu hohen thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Glasur. Dieser verursacht in der Abkühlungsphase am Ende des Glasurbrandes ein relativ höheres Schwinden der Glasurschicht im Verhältnis zum keramischen Träger. Hierdurch wird die geringe Zugfestigkeit der Glasur überschritten und es bilden sich ein Rißnetz in der Glasurschicht aus, das Krakelee. Benetzungsprobleme der blauen Glasur, die an mehreren Terrakotten auftreten, sind ebenfalls auf die Glasurzusammensetzung zurückzuführen. Auch weitere in der Literatur als Glasurfehler bezeichnete Phänomene wie Nadelstiche und Luftblaseneinschlüsse haben ihre Ursache in der Glasurzusammensetzung und dem Brennregime. Ferner sind an einigen Terrakotten gravierende Verarbeitungs-

[11] Soldenhoff, Bozena (1993): Entfernung von Substanzen, die die Korrosionsschichten archäologischer Gläser inkrustieren. Usuwanie substancji incrustajacych warstwy korozyjne w szklach archeologicznych, in: Strzelczyk, Alicia; Skibinski, Slawomir (Hg.): Wissenschaftliche Grundlagen zu Schutz und Konservierung von Kunstwerken und historischem Kulturgut. Naukowe podstawy ochrony i konserwacji dziel sztuki oraz zabytków kultury materialnej, S. 234-246
[12] Hiervon berichtet Troll (1998,S. 22), allerdings im Zusammenhang mit bodengelagerter Keramik.

mängel festzustellen. So wurden beim Ausdrücken der Model mit Tonplatten verschiedentlich große Luftblasen eingeschlossen. Der Verbund der beiden Tonplatten ist z.T. mangelhaft. Einige Terrakotten weisen sehr starke Risse auf, die eindeutig auf eine zu schnelle Trocknung oder auf eine Rißentstehung während des Brandes zurückzuführen sind. Ebenfalls den werkimmanenten Schadensursachen zuzuordnen ist die Verwendung von Hochbrandgipsmörtel, mit dem die Terrakotten in den Taustabkränzen fixiert wurden. Dieser für Lüneburg typische Mörtel aus Hochtemperaturphasen des Calciumsulfats $CaSO_4$ hat möglicherweise zur Gipsbelastung des keramischen Gefüges beigetragen.

Bei den äußeren Schadensfaktoren kann man zwischen natürlichen Witterungseinflüssen, der Belastung durch luftgetragene Schadstoffe und unmittelbaren Eingriffen am Objekt unterscheiden
Zu den natürlichen Witterungseinflüssen gehören Feuchtigkeit und Temperatur. Sowohl Gefügeschäden des keramischen Trägers als auch Korrosionserscheinungen der Glasur sind hauptsächlich auf Wassereinwirkung zurückzuführen.
Der Feuchteeintrag in das keramische Gefüge kann über die Fugen, Glasurfehlstellen, das Glasurkrakelee oder über lateralen oder rückseitigen Wassertransport aus dem umliegenden Mauerwerk erfolgen. Neben kapillarer Wasseraufnahme ist ein Feuchteeintrag durch Wasserdampfsorption, Kapillarkondensation und durch hygroskopische Effekte v.a. bei vorliegender Salzbelastung möglich. Da die Glasuren praktisch wasserdampfdicht sind, kann eine Austrocknung nur über das Glasurkrakelee erfolgen. Dementsprechend muß man von langsamen Trocknungsprozessen ausgehen, die bei Vorliegen oberflächennaher Gipshorizonte im Gefüge zusätzlich behindert werden.
Die schädigenden Wirkungen des Wassers sind vielfältig:
Aufgrund seines stark polaren Charakters besitzt Wasser ein hervorragendes Lösungsvermögen für ionische Verbindungen. Durch Umsatz mit luftgetragenen Schadstoffen entstehen saure Lösungen, die Bestandteile der Glasur anlösen, Salze bilden und hierdurch die geschilderten Korrosionsphänomene der Glasur hervorrufen. Auch im keramischen Trägermaterial führt die Lösung von Luftschadstoffen zur Bildung von Salzen. Des weiteren können durch Anlösen der Gipsmörtel Salze in das Terrakottagefüge eingeschwemmt werden. Bei Feucht-Trocken-Wechseln kann es durch Lösungs-, Transport- und Kristallisationsprozesse zur Ausbildung von Zonen kommen, in denen sich insbesondere gering lösliche Salze wie z.B. Gips anreichern.
Bei Frosteinwirkung können Gefügeschäden durch Eisdruck entstehen. Auch unterhalb kritischer Durchfeuchtungsgrade dürften häufige Frost-Tau-Wechsel langfristig zu einer Gefügeschwächung führen.
Schädigungen können auch durch hygrische Dilatation hervorgerufen werden. Zwar ist für den keramischen Scherben und die Engobe aufgrund der überwiegenden Zusammensetzung aus silikatischen und quarzitischen Phasen nur mit einer sehr geringen Feuchtedehnung zu rechnen, doch haben Untersuchungen gezeigt, daß in mineralischen Gefügen, die mit Salzen und insbesondere mit Gips belastet sind, sehr hohe Dilatationsbeträge auftreten können.[13]
Als weiterer natürlicher Schädigungsfaktor ist die Sonneneinstrahlung zu nennen. Da Glasur und keramischer Träger offensichtlich unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten haben (Ursache der Krakelierung), dürfte eine intensive Insolation in den Sommermonaten Spannungen im Schichtenverbund hervorrufen, zumal mit der Ausbildung eines Temperaturgradienten im Materialquerschnitt zu rechnen ist.

Die Anreicherung der Atmosphäre mit Schadstoffen, insbesondere mit SO_2, beruht überwiegend auf der Verbrennung schwefelhaltiger fossiler Brennstoffe und stellt damit einen antropogenen Schadensfaktor dar. Infolge trockener und feuchter Deposition werden Schadstoffablagerungen auf der Terrakottaoberfläche gebildet und Schadstoffe in das Terrakottagefüge eingetragen. Auf die Wechselwirkung mit Wasser (Bildung von Säuren und Salzen) wurde bereits hingewiesen. Zwar ist die SO_2-Konzentration der Luft in den letzten Jahren infolge von Umweltschutzmaßnahmen stark abgesunken, doch ist die Schwefeldioxidbelastung damit noch nicht auf eine vernachlässigbare Größenordnung gesunken. Es ist damit zu rechnen, daß an vielen Terrakotten das Gefüge bereits stark vergipst ist. Dies konnte an einigen Terrakotten zweifelsfrei nachgewiesen werden.[14] Daher sind auch die heutigen, deutlich niedrigeren SO_2-Konzentration der Luft als Quelle neuerlicher Gipsbildung ernst zu nehmen. Schließlich ist in den letzten

[13] Wendler, Eberhard; Rückert-Thümling, Renate (1993): Gefügezerstörendes Verformungsverhalten bei salzbefrachteten Sandsteinen unter hygrischer Wechselbelastung, in: WTA Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V.(Hg.): Werkstoffwissenschaft und Bausanierung. Tagungsbericht des 3. Internationalen Kolloquiums in der Technischen Akademie Esslingen, 15.-17.12.1992, S. 1818-1830
[14] Schwarz, H.-J. (2002): Untersuchungen am Bürgerhaus in der Lüner Str. 3, S. 12

Jahren ein Anstieg der NO_x-Werte zu verzeichnen, der gleichfalls schädigenden Einfluß hat, etwa durch die Bildung leicht löslicher Nitrate.
Auch restauratorische Eingriffe der Vergangenheit können schadensverursachend wirken. Zu nennen sind die Verwendung ungeeigneter Materialien oder Applikationsfehler. Hierunter fallen z.B. Festigungsmaßnahmen mit nicht adäquater Eindringtiefe und überhöhter Wirkstoffkonzentration, Ausbesserungen und Verfugungen mit zementgebundenen Mörteln, großflächige Ausbesserungen plastischer Fehlstellen mit ungefüllten Kunstharzspachtelmassen, das Absäuern verschmutzter Terrakotten oder der Auftrag dampfdiffusionsdichter Farbbeschichtungen. Solche Eingriffe können zu einer zusätzlichen Salz- und Feuchtebelastung sowie zur Ausbildung oder Erhöhung von Spannungen im Materialverbund führen.

Schließlich sind biologische Schadensfaktoren in Betracht zu ziehen. So kann der Bewuchs mit Mikroorganismen zur Ausbildung von Filmen führen, die die Aufnahme atmosphärischer Schadstoffe begünstigen. Zudem können Stoffwechselprozesse das mineralische Gefüge direkt schädigen und Ausgangspunkt für die Entstehung bauschädlicher Salze sein. Auch Vogelkot ist als organische Quelle für Salzbildungsprozesse in Betracht.

Nach derzeitigem Kenntnisstand schätze ich eine Salzbelastung der Terrakotten, verbunden mit Feuchte- und Frosteinwirkung als die wichtigsten Schadensursachen für den Haftungsverlust der Glasur ein. Hierbei dürfte insbesondere dem Gips eine entscheidende Rolle zukommen. Bei Naturstein und unglasierten Ziegeln und Terrakotten ließ sich die Ausbildung oberflächennaher Gipshorizonte in mehreren Studien belegen.[15] Diese Gipshorizonte entstanden bei periodischem Wechsel von Durchfeuchtung und Trocknung aufgrund der relativ geringen Löslichkeit von Gips und einer geringen Durchlässigkeit der Oberfläche für flüssiges Wasser. Gipseinlagerungen behindern den kapillaren Wassertransport und verringern die Trocknungsgeschwindigkeit. Nach Schlütter dürfte die durch Gipseinlagerungen verursachte Porenradienverengung zu einer erhöhten Feuchtebelastung und Frostanfälligkeit führen, die erste Mikrorißbildungen zur Folge hat. Im weiteren Verlauf bildeten sich in diesen Rissen idiomorphe Gipskristallaufwachsungen, die zu einer Rißaufweitung führten, z.T. aber auch eine gefügestabilisierende Funktion hätten. Infolge von frostinduzierter Rißbildung und Gipswachstum bildeten sich blätterteigartige, z.T. gipsgestützte Gefüge aus, die eine erhöhte Frostanfälligkeit aufwiesen. Dies führe schließlich zum Abschalen der dichten Oberflächenschicht.
Ob das beschriebene Modell der Schadensgenese, das anhand von Untersuchungsergebnissen an nicht glasierter Terrakotta gebildet wurde, in gleicher oder ähnlicher Weise auch auf glasierte Ziegel und Terrakotta übertragbar ist, bedarf noch weiterer Untersuchungen. Einige der beschriebenen Phänomene lassen sich aber auch an einigen glasierten Terrakotten in Lüneburg nachweisen, wie z.B. ein starkes Aufschuppen von Engobe und Scherben und die Ausbildung idiomorpher Gipskristallaufwachsungen in besonders stark geschädigten Engobebereichen.
Ebenfalls dürften Salzkristallisationen im Glasurkrakelee eine beachtliche Rolle für die Ablösung von Glasurpartikeln spielen, da hierdurch Scherspannungen zwischen Glasur und Untergrund entstehen können.

[15] Neumann, H.-H. (1994): Aufbau, Ausbildung und Verbreitung schwarzer Gipskrusten, dünner schwarzer Schichten und Schalen sowie damit zusammenhängende Gefügeschäden an Bauwerken aus Naturstein. Dissertation am Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg; Schlütter, F. (2000): Gips im Schadensbild historischer Bauterrakotta. Kurzfassung eines Vortrags auf der Fachtagung "Gips" der Fachgruppe Wand/Stein im Arbeitskreis der Restauratoren (AdR), Iphofen, 5.-6.10.2000; Franke, L., Schumann, I. (1998): Quantitative Betrachtung der Sulfatdeposition bei Sichtmauerwerksbauten, in: Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen, 4. Jg., S. 337-356

2.3 Ziele konservatorischer Maßnahmen

Aus der Beschreibung der Schadensphänomene und Schadensfaktoren und der Analyse der Schadensursachen folgt, daß zur Sicherung der gefährdeten Glasuren neben einer Gefügestabilisierung durch Festigung und Hinterfüllung Maßnahmen zur Salzverminderung bzw. Salzstabilisierung sowie zur Minimierung weiteren Feuchteeintrages getroffen werden müssen. Im einzelnen lassen sich folgende Konservierungsziele benennen:

1. Refixierung bereits abgelöster Glasurschollen
2. Stabilisierung von Glasurbereichen, deren Anhaftung an den keramischen Träger geschwächt ist (hohlliegende Bereiche, aufstehende Glasurschollen)
3. Verbesserung der Glasuranhaftung in Bereichen ohne akute Ablösungserscheinungen durch eine Festigung
4. Reduzierung des Gehaltes an leicht löslichen Salzen bei Überschreitung von festzulegenden Grenzwerten
5. Verminderung, Umwandlung oder Passivierung des Gehaltes schwerlöslicher Salze (insbesondere von Gips) bei Überschreitung von festzulegenden Grenzwerten
6. Reinigung inklusive Krustenentfernung und Abnahme von schädlichen oder entstellenden Übermalungen
7. Festigung der durch Korrosion geschwächten Glasuroberfläche
8. Ergänzung der Glasur, um einem Wassereintrag durch Glasurfehlstellen zu verhindern und erhaltene Glasurbereiche seitlich zu stabilisieren
9. Prophylaktischer Schutz der Glasur vor weiterer Korrosion und des keramischen Gefüges vor fortgesetzter Eindringung flüssigen Wassers durch das Krakeleenetz mittels einer Beschichtung bzw. Hydrophobierung der Glasuroberfläche
10. Verhinderung lateralen oder rückseitigen Feuchtigkeits- und Schadstoffeintrages durch eine Isolierung der Terrakotten vom umgebenden Mauerwerk

3. Beiträge zu einem Konservierungskonzept und Eingrenzung des Diplomthemas

3.1 Diskussion der Konservierungsziele, ihrer Implikationen und ihrer Umsetzung

Im folgenden sollen Realisierungsmöglichkeiten für die in Kapitel 2.3 aufgeführten Konservierungsziele benannt werden, wobei das Schwergewicht auf jenen Punkten liegt, die in direkter Weise die Glasurerhaltung betreffen. Die Vor- und Nachteile einzelner Lösungsvorschläge und die damit verbundenen Probleme werden diskutiert.

3.1.1 Refixierung abgeplatzter Glasurschollen

Die Refixierung bereits abgeplatzter Glasurstücke kann, je nach Zustand, folgende Aufgaben umfassen:

- ggf. Konsolidierung des keramischen Trägers durch Festigung und/oder Anbindung von Schuppen und Schalen im keramischen Träger
- ggf. Konsolidierung der Rückseite der abgelösten Glasurscholle durch Festigung anhaftender Engobepartikel
- Schaffung eines möglichst vollflächigen Stoffschlusses zwischen dem keramischen Träger und den Glasurschollen bei Ausbildung ausreichender Adhäsionskräfte
- ggf. Nachfestigung

Die Aufgabenstellungen sind sehr verschieden, so daß die ein- oder auch mehrmalige Anwendung eines Konservierungsmittels kaum Erfolg verspricht. Für die Festigung des Trägers und ggf. auch der Glasurrückseite bei absandenden Engobeanhaftungen kommen v.a. hydrophile Festigungsmittel wie z.B. Kieselsäureester (KSE) oder Silizium-Zirkonium-Alkoxyd (SZA)[16] in Frage, zumal wenn der keramische Träger vor einer Entsalzung vorgefestigt werden muß.[17] Die Anbindung von Schuppen und Schalen im keramischen Träger kann ebenfalls mit Mitteln auf Kieselsäurebasis erfolgen: neben der Schnellhydrolyse kommen hier Kieselsäureester- oder Kieselsol-gebundene Massen in Betracht, evtl. auch hydraulisch abbindende Mörtel mit guter Sulfatbeständigkeit oder Kalk-gebundene Massen. Je nach Schadensausprägung wären die genannten Mittel zu injizieren oder auch als Schlämme einzusetzen.
Da die Glasurablösung meist mit einer Deformation des keramischen Trägers einhergeht, ist die Passung der „Fügeteile" Glasurscholle und Untergrund meist schlecht. Es liegen spaltenartige Hohlräume zwischen Glasur und Untergrund vor, die zur Schaffung eines vollflächigen Stoffschlusses aufgefüllt werden müssen. Lösemittelgelöste Kunstharze sind hierfür nicht geeignet, da sie in den Untergrund penetrieren. Günstigstenfalls entstehen dabei punktuelle Kontakte zwischen der Glasurschollenunterseite und dem keramischem Trägermaterial. Dagegen könnten unverdünnte Kunstharze sowie Dispersionen thermoplastischer Harze, wasseremulgierte Epoxidharze oder mineralische Bindemittel mit Füllstoffzugabe die erforderliche Ausgleichsschicht bilden. Reine Kunstharze sind aus mehreren Gründen abzulehnen. Zum einen bilden sie eine wasserdampf- und wasserdichte Sperrschicht zwischen Untergrund und Glasurscholle. Hierdurch werden die Wasserabgabe beeinträchtigt und salzvermindernde Maßnahmen erschwert. Zum anderen besitzen sie eine wesentlich höhere thermische Dilatation als der keramische Untergrund, was bei Sonneneinstrahlung das Entstehen hoher Scherspannung nach sich ziehen kann. Diese Nachteile sind bei der Verwendung mineralischer Bindemittel bzw. von Injektionsmörteln mit mineralischen Bindemitteln nicht oder nur in geringerem Maße zu erwarten. Hier kämen als Bindemittel wieder Kieselsole und vorkondensierte Kieselsäureester in Frage, ferner sulfatbeständige hydraulische Bindemittel und Massen auf Kalkbasis. Falls diese Stoffe eine zu geringe Klebekraft aufweisen, könnte nach Abschluß einer Salzverminderung die Adhäsion durch eine Nachfestigung erhöht werden. Alternativ kommen Kunstharzdispersionen in Betracht, die über eine ausreichende Klebkraft verfügen. Bei entsprechender Formulierung (Verdünnung, Zugabe von Füllstoff), müßte sich die Beeinträchtigung der Wasserdampfdurchlässigkeit begrenzen lassen. Die Abstimmung der Hauptkomponenten Bindemittel, Verdünnungsmittel und Zuschläge muß je nach benötigter Dicke der Ausgleichschicht variiert werden.

---

[16] Es handelt sich um eine Mischung aus vorkondensierten Silicium- und Zirkonium-Alkoxiden und ist eine Entwicklung des Fraunhofer Instituts für Silikatforschung, das v.a. zur Malschichtsicherung auf Glas dient. (Radujkovic, S. (2000): Erhaltung farbiger Glasuren auf Terrakotta, S. 46 u. 53)

[17] Lukaszewicz, Jadwiga W. (1996): The Influence of Pre-Consolidation with Ethyl Silicate on Soluble Salts Removal, in: Riederer, Josef (Hg.): Proceedings of the 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Berlin, 30. Sept. - 4. Oct. 1996, S. 1203-1208

Bei den ausgebauten Terrakotten kommt eine Nachfestigung durch vollständige Durchtränkung von der Rückseite aus in Frage. Bei in-situ-Behandlung müßte der Wirkstoff vorzugsweise über Glasurfehlstellen eingebracht werden, wobei insbesondere an Kompressen- und Infusionstränkung gedacht wird. Als Wirkstoffe kommen Kunstharzlösungen, anorganisch-organische Hybridfestiger und Kieselsäureester in Betracht.

3.1.2 Stabilisierung gelockerter Glasurbereiche

Hohlliegende Glasurbereiche und aufstehende Glasurschollen müssen durch Hinterfüllung, ggf. kombiniert mit Niederlegung, wieder vollflächig mit dem keramischen Träger verbunden werden. Hierzu können die gleichen Mittel Verwendung finden, die bereits in Punkt 3.1 diskutiert wurden. Ggf. müßten auch hier zuvor die Glasurschollenrückseite und der keramische Träger gefestigt werden.
Applikationsprobleme ergeben sich in Bereichen, in denen sich Hohlstellen unter einer geschlossenen Glasurdecke ohne Glasurfehlstellen befinden. Eine Flutung solcher Hohlräume über das Glasurkrakelee wird nur mit relativ niedrig konzentrierten Kunstharzlösungen oder Kieselsäureestern, nicht jedoch mit feststoffreichen und füllstoffhaltigen Systemen möglich sein. Hierbei ist im besten Fall mit einer punktuellen Anbindung zu rechnen. Bei kraquelierten Glasuren käme daher evtl. das vorsichtige Herauslösen einzelner Glasurteilchen in Betracht, die nach der Injektion füllstoffhaltiger Zubereitungen wieder in den Bestand einzufügen wären. Die Diagnose von Kohäsionsmängeln am keramischen Träger wie Absanden, Schuppen, Schalen oder Aufblättern ist unter einer geschlossenen Glasurhohlstelle, d.h. ohne visuelle und taktile Untersuchung kaum möglich. Auch dies spricht evtl. für eine teilweises Öffnen hohlliegender Glasurbereiche, zumal die erforderliche Behandlung solcher Untergrundschäden ohnehin eine Zugänglichkeit erfordert.
Vergleichsweise unproblematisch erscheint dagegen die Hinterfüllung aufstehender Glasurschollen oder die Hinterfüllung von Glasurhohllagen bei partieller Zugänglichkeit, etwa im Randbereich von Glasurfehlstellen.
Aus den genannten grundsätzlichen Erwägungen (Kap. 3.1.1) sind zumindest bei der Notwendigkeit nachfolgender Salzverminderung mineralische, hydrophile Systeme vorzuziehen. Im Bedarfsfall kann eine Nachfestigung zur Erhöhung der Adhäsionskräfte folgen. Bei struktureller Durchtränkung der gesamten Terrakotta würden damit zugleich nur geringfügig gelockerter Glasurbereiche stabilisiert und die Glasurhaftung intakter Bereiche prophylaktisch verstärkt (s. Kap. 3.1.3). Doch kommt auch eine Tränkung von der Glasurseite aus in Betracht, wie sie ohnehin bei Anwendungen an Bauwerken vorzunehmen wäre. Ein Eintrag von Festigungsmittel in die Glasur ließe sich dabei wohl nicht vermeiden, was bei der Mittelauswahl zu berücksichtigen ist. Auch lokal begrenzte Applikationen sind vorstellbar, doch setzt dies voraus, daß v.a. die Parameter E-Modul und thermisch/hygrische Dehnung zwischen behandelten und unbehandelten Bereichen nicht zu sehr voneinander abweichen.

3.1.3 Verbesserung der Glasuranhaftung

Festigungen als Mittel der Schadensprophylaxe, wie sie z.B. in den 60er und 70er Jahren häufiger mit KSE an noch „gesundem" Naturstein ausgeführt wurden[18], sind umstritten, nicht zuletzt deshalb, weil hierbei infolge von Anwendungsfehlern mehrfach Schäden hervorgerufen wurden, die es ohne prophylaktische Festigung vermutlich nicht gegeben hätte. Andererseits sind Glasurabplatzungen als finales Stadium einer längeren Schadensentwicklung zu sehen, in deren Verlauf häufig wiederkehrende Belastungen zu einer allmählichen Schwächung des Materialverbundes führen. Es erscheint überlegenswert, in diesen Prozeß konservatorisch einzugreifen, bevor dieses Spätstadium erreicht ist. Der allmähliche Abbau der Haftkräfte zwischen Glasur und Träger ist derzeit erst dann zerstörungsfrei festzustellen, wenn der Schaden bereits relativ weit fortgeschritten ist, d.h. eine partielle Ablösung der Glasur bereits eingetreten ist (Perkussionsuntersuchung). Zur Unterscheidung zwischen Bereichen unterschiedlicher Glasurhaftung unterhalb der Schwelle akustisch wahrnehmbarer Hohlstellen bedarf es noch der Entwicklung geeigneter Untersuchungsmethoden. Man wird den Gesamtzustand der jeweiligen Terrakotta berücksichtigen müssen, um eine begründete Entscheidung treffen zu können, ob ein konservatorischer Eingriff im Einzelfall auch in Bereichen ohne bereits manifeste Schäden gerechtfertigt bzw. notwendig ist. Prophylaktischen Festigungen als Standardmaßnahme soll hier nicht das Wort geredet werden.

[18] Schmidt-Thomsen, Kurt (1979): Steinzerstörung, Luftverschmutzung und Konservierungsmethoden in Nordrhein-Westfalen, in: Österreichische Sektion des IIC, Redaktion Manfred Koller und Rainer Prandtstetten (Hg.), Restauratorenblätter, Band 3, S. 145

Zur Verbesserung der Glasurhaftung kommen niedrigprozentige Kunstharzlösungen, anorganisch-organische Hybridfestiger oder evtl. auch Kieselsäureester in Frage. Die unter Punkt 3.1 und 3.2 dargestellten Zusammenhänge von Salzbelastung und Festigung sind selbstverständlich auch hier zu beachten. Die Entscheidung für oder gegen eine prophylaktische Festigung wird nicht allein von den oben skizzierten Erwägungen abhängen, die zugleich mit grundsätzlichen Fragen der Restaurierungsethik verknüpft sind, sondern auch vom spezifischen Erhaltungszustand eines konkreten Objektes und seines unmittelbaren Umfeldes sowie von den spezifischen Expositionsbedingungen eines Objektes.

3.1.4 Verminderung des Gehalts an leicht löslichen Salzen

Voraussetzung für eine Salzverminderung ist eine ausreichende Vorsicherung verlustgefährdeter Glasurbereiche und stark geschädigter Partien des Trägers. Neben den bereits in Kapitel 3.11 bis 3.1.3 behandelten Methoden und Konservierungsmitteln zur Vorsicherung kommt hierfür evtl. auch die Anwendung flüchtiger Bindemittel zur temporären Sicherung in Betracht.[19] Bei jeder Vorsicherung muß aber mit einer Verlangsamung, ggf. auch mit einer Effektivitätsminderung der Salzverminderungsmaßnahme gerechnet werden. Die Salzverminderung könnte mit folgenden Methoden durchgeführt werden:
Einfachste Methode wäre die Entsalzung im statischen Bad. Sie erfordert aber einen häufigen Wasserwechsel. Zur Schonung des Objektes ist statt regelmäßigen Badwechsels ein Bad mit Zu- und Ablauf vorzuziehen (dynamisches Bad). Evtl. könnte die Badentsalzung auch mittels Pumpe und Ionenaustauscher in einem geschlossenen Wasserkreislauf durchgeführt werden.[20] Alle genannten Varianten beruhen auf relativ langsamen Diffusionsvorgängen.
Effektiver ist die Methode der erzwungenen Migration. Die Wasserzufuhr könnte über die Glasurseite der Terrakottamedaillons realisiert werden, vorzugsweise über Glasurfehlstellen, während die Rückseite mit einer Kompresse belegt wird.
Alternativ käme die Methode der Membranelektrodialyse als sehr schnelle Methode in Frage.[21] Der Aufwand zur Herstellung einer entsprechenden Apparatur ist jedoch sehr hoch.

Problematisch bei allen genannten Varianten ist die längerdauernde Einwirkung von Wasser bzw. Elektrolytlösungen auf die Glasur. Dies kann zu Korrosionsschäden an der Glasur führen. Möglicherweise könnte der Auftrag einer reversiblen Schutzbeschichtung auf die Glasur, z.B. mit einem hydrophoben thermoplastischen Kunstharz, Schadensprozesse verhüten.

3.1.5 Verminderung, Umwandlung oder Passivierung der Gipsbelastung

Der Entscheidung für oder gegen eine Gipsbehandlung und die Auswahl einer der unten genannten Behandlungsalternativen muß eine Analyse der Gipsbelastung des oberflächennahen Gefüges vorangehen. Hierzu bedarf es der Auswertung von Dünnschliffen, um Gipseinlagerungen im ursprünglichen Gefüge von der Ausbildung eines sekundären, gipsgestützten Gefüges zu unterscheiden. Bei letzterem können „erfolgreiche" Gipsverminderungen bzw. –umwandlungen zu völligem Gefügezusammenbruch führen. Evtl. bestehen bei gipsgestützten Gefügen Möglichkeiten einer sinnvollen Gipsreduzierung durch den mehrfachen Wechsel von Vorfestigung und Gipsumwandlung.
Als Behandlungsmethode zur Gipsverminderung kommen grundsätzlich die im Kapitel 3.1.4 angeführten Verfahren in Betracht. Allerdings ist aufgrund der relativ geringen Wasserlöslichkeit von Gips eine sehr lange Behandlungsdauer notwendig. Eine Beschleunigung wäre vermutlich auch hier durch die Anwendung der Membranelektrodialyse[22] zu erzielen.
Zur Gipsumwandlung steht das Ammoniumkarbonat- bzw. Ammoniumhydrogenkarbonatverfahren zur Verfügung. Das dabei entstehende Ammoniumsulfat wird dem Gefüge soweit möglich durch Kompressenauftrag entzogen. Evtl. kommt auch eine Umwandlung des Ammoniumsulfats in Bariumsulfat in Frage (Bariumhydroxidmethode).

---

[19] Mattern, Heidi (2002): Versuchsreihen zur temporären oder bleibenden Fixierung gefährdeter Glasur- und Engobebereiche vor einer Entsalzung im Wasserbad. Unveröffentl. Praxissemesterbericht, FH Hildesheim / ZMK, WS 2001/2002
[20] Koob, S., Yee Ng, W. (2000): The desalination of ceramics using a semi-automated continious washing station, in: studies in conservation, Jg. 45, S. 265-273
[21] Skibinski, Slawomir (1989): Odsalanie Kamiennych Obiektów Zabytkowych (Metoda Elektrodialzy Membranowej). The desalination of stone historic objects (by means of membrane electrodialysis)
[22] Skibinski, S., Kwiatkowski, D (1991): Usuwanie nawarstwień gipsowych z kamieni metodą elektrodialzy membranowej (Entfernung von Gipsauflagerungen auf Stein mittels Membranelektrodialyse), in: Acta Universitas Nicolai Copernici, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo, Band XVIII, S. 105-120

Verschiedene Möglichkeiten der Gipspassivierung wurden von Steinhäusser untersucht.[23] Ziel der Passivierung ist es, physikalische Belastungen zu reduzieren, die aus den hohen thermisch-hygrischen Dehnungsbeträgen des Gipses resultieren. Als Alternativen kommen die Belegung mit grenzflächenaktiven Stoffen (z.B. Alkylsulfonat oder Tartrat) oder eine Umwandlung der Oberfläche der Gipskristalle in schwerlösliche Verbindungen wie Calciumoxalat oder Calciumhydrogenphosphat in Frage. Die Anwendungsreife dieser neuen Verfahren ist allerdings noch nicht gegeben.

3.1.6 Reinigung

Unter Reinigung wird die Beseitigung loser und fester Schmutzauflagerungen auf der Glasur und im Bereich von Glasurfehlstellen, die Abnahme von Krusten und auch die Entfernung späterer Übermalungen verstanden, soweit diese als entstellend zu bewerten sind und/oder die weiteren Konservierungsmaßnahmen behindern. Bei stark geschädigten Partien ist die Notwendigkeit einer Vorsicherung gegeben, wenn nicht berührungslos mittels Laserstrahl gereinigt wird. Reversible Sicherungsmethoden z.B. Randanböschungen mit flüchtigen Bindemitteln oder schwach gebundenen Kittmörteln sind von Vorteil, wenn zum Zeitpunkt der Reinigung die Entscheidung über die anzuwendenden Fixierungsmittel noch nicht getroffen wurden oder eine erfolgreiche Anwendung dieser Mittel eine vorherige Oberflächenreinigung voraussetzt. Alle Vorsicherungen erschweren und beeinträchtigen die Reinigung.

3.1.7 Festigung der Glasuroberfläche

Der Festigung korrosionsgeschädigter Bereiche der Glasuroberfläche sollte die Entfernung von Verschmutzungen, Krusten- und Farbauflagerungen sowie von auskristallisierten Salzen vorausgehen, da deren Entfernung nach einer Festigung nur noch schwer oder gar nicht mehr möglich ist. Als Festigungsmittel fragiler Glasurbereiche kommen in erster Linie Kunstharze in Frage (Transparenz und hohe Klebefestigkeit). Die wesentlichen Anforderungen sind ausreichende Penetration in Glasurhohlräume, gute Haftung auch bei Wasserbeaufschlagung, klebefreies Aushärten, ein relativ hoher Glasübergangspunkt sowie chemische und physikalische Alterungsstabilität. Reversibilität ist wünschenswert, aber bei weitgehender Erfüllung der genannten Anforderungen nicht unbedingt erforderlich. Eine vollflächige Anwendung auch auf ungeschädigten Glasurbereichen ist nicht wünschenswert. Aufgrund der geforderten Lichtstabilität kommen in erster Linie Acrylate in Frage.

3.1.8 Glasurergänzung

In restauratorischer Hinsicht ist die Aufgabe von Glasurergänzungen die Verbesserung des Erscheinungsbildes durch die Beseitigung der optischen Präsenz von Glasurfehlstellen. Aus konservatorischer Perspektive haben Glasurergänzungen die Aufgabe, die Randbereiche erhaltener Glasurpartien zu stabilisieren und einen Wassereintrag über die Glasurfehlstellen zu unterbinden. Je nach Zustand und Verwitterungstiefe der Glasurfehlstellen muß der eigentlichen Glasurergänzung ggf. eine Festigung des geschädigten Trägers und seine plastische Ergänzung vorausgehen. Werden dabei hydrophobe Festigungsmittel eingesetzt, so muß der Ergänzungsmörtel für den keramischen Träger hierauf abgestimmt werden. Als Glasurersatzmaterialien wurden im Rahmen des Forschungsprojektes „Glasierte Ziegel und Terrakotten" bisher v.a. eine PMMA-Lösung und anorganisch-organische Hybridbinder (ORMOCER®e) untersucht.[24] Auch weitere Kunstharze wie z.B. cycloalifatische Epoxidharze kommen hierfür in Betracht.

3.1.9 Schließen des Glasurkrakelees

Durch Schließen des Glasurkrakelees könnte der laterale Glasurzusammenhalt erhöht und ein Feuchteeintrag über den Transportweg Glasurrisse verhindert werden. Diesen Vorteilen stehen Bedenken gegenüber: Bei größerer Unterschiedlichkeit der thermischen und hygrischen Dehnungsbeträge von Glasur und Scherben dürfte das Krakelee das Auftreten von Scherspannungen verhindern oder mildern. Desweiteren ermöglicht das Krakelee in bescheidendem Umfang eine Abgabe von Wasserdampf. Diese Funktionen werden bei einer kraftschlüssigen Überbrückung des Rißnetzes aufgehoben.

---

[23] Steinhäußer, Ute (2000): Charakterisierung von Schadensmechanismen und Passivierungsreaktionen an vergipsten Kalksteinoberflächen am Beispiel des Halberstädter Doms. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Fachhochschule Koblenz, Fachbereich Werkstofftechnik Glas/Keramik

[24] Thiele-Wittig, Inga (2003): Möglichkeiten der Ergänzung von Glasuren auf Außenkeramik, Glasurersatz im Kaltverfahren. Unveröffentl. Facharbeit zum Diplom an der FH Hildesheim

Im Zuge einer Glasurfixierung mit Kunstharzlösungen[25] oder -dispersionen (Punkt 3.1), bzw. der Sicherung gelockerter Glasurpartien und prophylaktischer Verbesserung der Glasurhaftung, der Festigung korrodierter Glasurpartien und einer schützenden Glasurbeschichtung ist mit Veränderungen an den haarfeinen Glasurrissen zu rechnen, die je nach Mittelwahl, Rezeptur und Applikation von einer Hydrophobierung der Haarrißflanken bis hin zum gänzlichen Rißverschluß reichen dürften. Insofern ist ein (unbeabsichtigtes) Schließen des Krakelees kaum zu vermeiden.

3.1.10 Schutzbeschichtung der Glasuroberfläche

Wie die Untersuchungen in der Diplomarbeit von S. Radujkovic zeigen, ist der Auftrag einer Beschichtung bei einer hohen Belastung mit leicht löslichen Salzen und hoher SO_2-Belastung problematisch, da unter diesen Bedingungen eine zusätzliche Schädigung der Glasur nicht ausgeschlossen werden kann.[26] Daher ist die erfolgreiche Verminderung des Gehaltes löslicher Salze eine unabdingbare Voraussetzung für eine Anwendung von Beschichtungen. Ihre Aufgaben bestehen nicht nur im Schutz der Glasur vor Wasser und den darin gelösten Schadstoffen, sondern auch im Schutz vor einem Feuchte- und Salzeintrag in den Scherben über das Krakelee. Dabei sollte die Wasserdampfdiffusionsfähigkeit möglichst nicht gemindert werden. Reversibilität ist erforderlich.

3.1.11 Schutz vor rückseitiger oder seitlicher Durchfeuchtung bzw. Salzeintrag

Bei starker Feuchte- und Salzbelastung der betreffenden Bauwerkspartien sollten die Terrakotten beim Wiedereinbau seitlich und rückseitig isoliert werden, z.B. mittels einer Bleiblechummantelung oder eines textilen Spezialgewebes mit wasserabweisenden Eigenschaften, daß eine einseitige Wasserabgabe ermöglicht. Problematisch ist hierbei die Ausbildung eines dauerhaft wasserdichten Anschlusses an die Terrakotta, um eine Feuchtehinterwanderung der Isolierung durch Niederschläge zu verhindern. Alternativ kommt eine hinterlüftete Anbringung der Terrakotten in Betracht.

3.2 Eingrenzung des Diplomthemas

Aus den Ausführungen in Kapitel 2.2 bis 3.1 ergibt sich, daß die Themenfelder Glasursicherung und Salzverminderung eng miteinander verzahnt sind. Durchführbarkeit und Wirkungsgrad von Salzreduzierungsmaßnahmen hängen unmittelbar von Art und Umfang der Vorsicherung ab, bzw. die Effektivität von Festigungs- und Fixierungsmaßnahmen werden maßgeblich von Art und Grad der Salzbelastung abhängen (vgl. Kapitel 3.1.1 und 3.1.4-3.1.5). Trotzdem müssen die Themenkomplexe Salzverminderung und Anwendbarkeit von Konservierungsmitteln auf salzbelasteten Untergründen im experimentellen Teil dieser Arbeit aus zeitlichen Gründen ausgeklammert werden.
Auch die Festigung korrodierter Glasuroberflächen und die Schutzbeschichtung der Glasur sind zwei eigenständige Themenbereiche, die in dieser Diplomarbeit nicht bearbeitet werden können.

Die experimentellen Untersuchungen konzentrieren sich auf zwei Themenfelder:

- Entwicklung und Eignungsuntersuchungen von Injektionsmassen zur Refixierung abgelöster Glasurschollen und zur Hinterfüllung hohlliegender Glasurbereiche

- Untersuchungen zur Eignung von Festigungsmitteln, die der Prophylaxe von Glasurablösungen in Bereichen mit verminderter Glasurhaftung dienen.

[25] s. Abb. 38 in Radujkovic, S. (2000): Erhaltung farbiger Glasuren auf Terrakotta. Herstellung und künstliche Bewitterung von Modellpräparaten und Versuche zur Konservierung, S. 62
[26] Radujkovic, S. (2000): Erhaltung farbiger Glasuren, S. 93

4. Konservierungsmittel

4.1 Anforderungen an Injektionsmassen und Festigungsmittel

Nachfolgend werden Idealanforderungen an die beiden Konservierungsmittelgruppen Injektionsmassen und Festigungsmittel aufgelistet.

4.1.1 Anforderungen an Injektionsmassen

1. Gute Sedimentationsstabilität, zumindest bis zur bis zur Erhärtung der injizierten Hinterfüllmörtel
2. gutes Penetrationsvermögen
3. gute Injektionsfähigkeit (Kanülengängigkeit) bei geringem Druck
4. geringe Schrumpfung (Erhärtungsschwinden)
5. angemessene Zug- und Haftzugfestigkeit
6. geringerer E-Modul als das injizierte Substrat
7. poröse Struktur, hydrophil und geringer Wasserdampfdiffusionswiderstand
8. an das Substrat angepaßte thermische und hygrische Dehnung
9. Beständigkeit gegen Mikroorganismen
10. Einsetzbarkeit auf salzbelasteten Untergründen, keine Behinderung einer Salzreduzierung und Beständigkeit gegen Salze
11. geringe Toxizität
12. Konstanz der Gebrauchseigenschaften des fertig gemischten Injektionsmörtels über einen möglichst langen Zeitraum

4.1.2 Anforderungen an Festigungsmittel

1. niedrige Viskosität und gute Penetration
2. möglichst keine Phasentrennung der Lösung während der Tränkung
3. möglichst keine Rückwanderung der Lösung zur Tränkungsfläche nach Abschluß der Tränkung
4. geringe Toxizität
5. geringer Verarbeitungs- und Nachsorgeaufwand
6. angemessene Erhöhung der Zugfestigkeit
7. geringe Erhöhung des E-Moduls
8. geringe Reduzierung des Porenraumes
9. geringe Einschränkung der Wasserdampfdurchlässigkeit
10. geringe Änderung der hydrophilen Eigenschaften des gefestigten Substrates
11. geringe Änderung der thermischen und hygrischen Dehnung des gefestigten Substrates
12. ungestörte Aushärtung in salzbelasteten Substraten
13. gute Dauerhaftigkeit der Festigungswirkung in salzbelasteten Substraten
14. geringe Auswirkung auf eine nachfolgende Salzverminderungsmaßnahme
15. beständig gegen Wasser und saure und alkalische Lösungen
16. beständig gegen Mikroorganismen

Kein Konservierungsmittel wird allen Punkten dieser Anforderungskataloge entsprechen können. Im Rahmen dieser Diplomarbeit kann zudem die experimentelle Untersuchung der ausgewählten Konservierungsmittel nur für ein kleinen Teil der formulierten Kriterien durchgeführt werden. Trotzdem ist es sinnvoll, bei der Auswahl der Konservierungsmittel, ihrer Zubereitung, Untersuchung und Beurteilung und schließlich bei der konkreten Planung von konservatorischen Maßnahmen auf dieses Anforderungsprofil zurückgreifen zu können.

4.2 Injektionsmassen

4.2.1 Terminologische Vorbemerkung

Zur Bezeichnung von fließfähigen Zubereitungen, die der Überbrückung von Hohlräumen in mineralischen Gefügen und der Anbindung sich ablösender Schichten dienen, werden verschiedene Begriffe verwendet. Füllstoffhaltige Zubereitungen aus einem Bindemittel- und Zuschlagsanteil fallen unter die Kategorie der Mörtel und werden mit den Bezeichnungen Hinterfüllmörtel bzw. Hinterfüllmassen belegt. Bezugnehmend auf die Art ihrer Einbringung in das Gefüge mittels Injektionsspritzen und -kanülen oder auch durch das Setzen von Packern und die Verwendung von Handhebelpressen oder Pumpen sind die Begriffe Injektionsmörtel oder Injektionsmassen gebräuchlich. Die genannten Begriffspaare werden synonym verwendet. Die Bezeichnung Masse ist dabei als Synonym für den Begriff Mörtel anzusehen und hebt auf die Zugabe von Füllstoffen zu der Bindemittelsuspension ab. Im Rahmen der BMFT- bzw. BMBF-Verbundprojektes „Steinzerfall und Steinkonservierung", dessen Untersuchungsfeld in einer späteren Phase auch auf weitere Materialien wie Ziegel und Terrakotta ausgeweitet wurde, wurden die Begriffe Ergänzungsstoff (ES) und Injektionsstoff (IS) geprägt, die durch Namenszusätze weiter spezifiziert werden können: Steininjektionsstoff (SIS), Terrakottainjektionsstoff (TIS), Ziegelinjektionsstoff (ZIS). Diesen Begriffsschöpfungen haftet ein etwas künstlicher Charakter an. Sie haben aber den Vorteil, daß auch spezielle Zubereitungen, die dem genannten Zweck dienen, aber nicht im klassischen Sinne als Mörtel anzusprechen sind, hierunter subsumiert werden könnten, beispielsweise reine Bindemittelsuspensionen oder solche Formulierungen, die aus einer Bindemittelsuspension und geringen Masseanteilen sehr feiner Füllstoffe bestehen. Solchen Füllstoffen ist auch die Gruppe der pyrogenen Kieselsäuren zuzurechnen, die unter dem der klassischen Mörtel- und Betontechnologie entlehnten Begriff „Zuschlag" nur schwerlich zu fassen sind. Niedrigviskose, extrem feinteilige Zubereitungen werden bevorzugt zur Injektion sehr feiner Risse und Rißsysteme verwendet. Unter diese Zubereitungen fallen auch die wässrigen Kunststoffdispersionen.
In dieser Arbeit wird den traditionellen Begriffen Injektionsmörtel bzw. Injektionsmasse der Vorzug gegeben, die nur gelegentlich durch die Bezeichnungen Hinterfüllmörtel bzw. Hinterfüllmasse ersetzt werden, um Begriffswiederholungen zu vermeiden. Dagegen wird der weiter gefaßte Begriff Injektionsstoff verwendet, wenn neben Mörtelsystemen auch füllstoffarme oder füllstofffreie Formulierungen in einem Begriff zusammengefaßt werden sollen.

4.2.2 Auswahl der Bindemittel

Wie in Kapitel 2 dargestellt, beruhen Glasurablösungen an den Lüneburger Terrakotten vornehmlich auf einer Materialtrennung in der Engobe. Die Engobe ist als poröses Stoffgemenge aus silikatischen und quarzitischen Mineralen zu charakterisieren. Aber auch Glasuren und Scherben werden überwiegend aus silikatischen und quarzitischen Mineralphasen gebildet. Vom Stofflichen her besteht hier eine gewisse Verwandtschaft mit Sandsteinen. Es war daher naheliegend, bei der Vorauswahl aussichtreicher Injektionsmaterialien auch auf bewährte Konzepte und Konservierungsmittel der Sandsteinkonservierung zurückzugreifen, soweit Erfahrungen für engobierte Terrakotta mit und ohne Glasur nicht vorlagen.

Langjährige Erfahrungen in der Konservierung unterschiedlicher Natursteinarten liegen mit Injektionsmassen auf der Basis kolloidaler Kieselsäure vor. Lehmkuhl hatte 1990 auf der Basis des Kieselsols Syton X 30, amorpher Kieselsäure als Suspendiermittel, Quarzmehl als Füllstoff sowie Zugabe eines Stabilisators die Rezeptur einer sedimentationsstabilen Injektionsmasse erarbeitet.[27] Injektionsmassen dieses Typs schienen auch für die Refixierung bereits abgelöster oder die Hinterfüllung hohlliegender Glasurbereiche geeignet, zumal die Zusammensetzungen solcher Hinterfüllmassen eine chemisch-mineralogische Verwandtschaft mit der zu stabilisierenden Engobe aufweisen.

Injektionsmassen auf der Basis von gerührtem oder dispergierten Weißkalkhydrat weisen dagegen im Bindemittelanteil einen Mineralbestand auf, der in den Engoben nicht oder nur sehr untergeordnet zu finden ist. Überdies bilden Calciumhydroxid und Calciumcarbonat in Gegenwart saurer Lösungen mögli-

[27] Lehmkuhl, Thomas (1990): Injektionsfähige Hinterfüllmassen auf der Basis kolloidaler Kieselsäuredispersion zur Fixierung dünner Schuppen und Schalen an Objekten aus Baumberger Kalksandstein; unveröffentl. Diplomarbeit an der FH Köln, Fachbereich Restaurierung und Konservierung von Kunst- und Kulturgut

che Quellen für erneute Gipsbildung, einer der wichtigsten Schadensursachen. Aus diesen Gründen wurden kalkgebundene Injektionsmassen für die engobierten Terrakotten als weniger geeignetes Material angesehen, obwohl Massen auf der Basis von dispergiertem Weißkalkhydrat bereits erfolgreich für Injektionen an Ziegeln untersucht und eingesetzt worden sind.[28]

Umfangreiche Untersuchungen und positive Anwendungserfahrungen liegen auch für Injektionsmörtel und Schlämmen auf der Basis der Bindemittelmischung HGZ vor. Hierbei handelt es sich um ein hydraulisch erhärtendes Bindemittel, das aus einer Mischung aus Hüttensand, Gips und Zement besteht. Es zeichnet sich u.a. durch hervorragende Sulfatbeständigkeit aus. Es ist damit auch für die Konservierung stark gipsbelasteter Untergründe geeignet, für die die Verwendung üblicher hydraulischer Bindemittel mit Calciumaluminatphasen aufgrund der Gefahr von Treibmineralbildung auszuschließen ist.[29] Es wurde u.a. auch bei der Konservierung von Terrakotten der Statius-von-Düren-Werkstatt am Schloß Schwerin an Musterflächen erfolgreich als Hinterfüllmasse eingesetzt. Der seinerzeit ausführende Restaurator, Herr Jochen Seebach, gab aus Anwendersicht eine positive Beurteilung ab. Dünnschliffuntersuchungen der Materialprüfanstalt Bremen, Abteilung Baustoffmikroskopie, wiesen einen sehr guten Verfüllungsgrad der injizierten Hohlräume und eine optimale Anbindung am Substrat nach.

Untersuchungen mit einer Acrylharzdispersionen als Bindemittel für Injektionsmassen führte Anja Kiss im Rahmen einer Diplomarbeit an der FH Potsdam durch.[30] Es handelt sich hierbei um die von der Fa. Interacryl produzierte Acrylharzdispersion Motema D 250 (Feststoffgehalt 25 M.-%), die weitgehend der seit vielen Jahren in Ostdeutschland erfolgreich verwendeten Acrylharzdispersion Scopacryl D 340 entspricht (Feststoffgehalt 34 M.-%), die nicht mehr produziert wird. Da die genannte Arbeit noch nicht freigegeben ist und damit auf die erzielten Ergebnisse nicht aufgebaut werden konnte, erschien die Verwendung dieses Bindemittels bei den eigenen Versuchsreihen nicht sinnvoll.
Eine interessante Alternative stellte ein Versuchsprodukt der Fa. BASF dar, eine sog. Nanokompositdispersion. Es handelt sich um ein Hybridbindemittel auf der Basis einer Acrylharzdispersion und eines Kieselsols. Untersuchungen an verschiedenen Bindemitteln dieses Typs hinsichtlich ihrer Eignung als Haftbrücken auf unterschiedlichen Untergründen wie Beton, Faserzementplatten, Gips und Glas ließen auch eine gute Anbindung an keramischen Materialien erwarten.[31]

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Glasierte Ziegel – Glasierte Terrakotten" untersuchte Lemnitz die Eignung verschiedener Injektionsmassenformulierungen auf der Basis des elastifizierten Kieselsäureethylesters Funcosil® KSE 500 E (Remmers) für die Konservierung von engobierter und glasierter Terrakotta.[32] Es erschien sinnvoll, auch in die eigenen Untersuchungsreihen eine Injektionsmasse auf der Basis elastifizierter Kieselsäureester aufzunehmen, um hiermit eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse beider Arbeiten zu ermöglichen.

Interessante Ergebnisse liegen auch für Injektionsstoffe auf der Basis wasseremulgierbarer Epoxidharze für die Konservierung von Kalksteinen und Graniten vor, die in mehreren Diplomarbeiten an der FH Pots-

[28] Maryniak-Piaszczynska, Eva (1999): Możliwości zastosowania dyspergowanego wapna hydratyzowanego w konserwacji cegły na przykładzie romańskiej fasady kościola św. Margarety w Linnich-Kofferen (Niemcy). (Möglichkeiten der Verwendung von dispergiertem Weißkalkhydrat in der Ziegelkonservierung am Beispiel der romanischen Fassade der Kirche St. Margarta in Linich-Kofferen (Deutschland)), in: Soldenhoff, Bozena (Hg.): Konserwacja Murów Ceglanych - Badania i Praktyka. Referaty na Ogólnopolską Konferencję w dniach 19-20.11.1999 w Toruniu, S. 101-128. Ferner allgemein zu dispergiertem Weißkalkhydrat als Bindemittel von Injektionsmassen: Maryniak-Piaszczynska, Eva (2000): Injektionsmassen auf der Basis von dispergiertem Kalkhydrat. Einfluß des Dispergierens auf die physiko-mechanischen Eigenschaften ausgewählter Massen, in: Jägers, Elisabeth (Hg.): Dispergiertes Weisskalkhydrat für die Restaurierung und Denkmalpflege. Altes Bindemittel - Neue Möglichkeiten, S. 35-52

[29] Böttger, Karl Georg (1997): Mörtel für die Erhaltung historischer Kalkputze. Haftmörtel, Hinterfüllmörtel und Kalkputze. Dissertation an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar, S. 33-47.

[30] Anja Kiss (2002): Acrylatgebundene Steininjektionsstoffe für Travertin am Beispiel der Marienkirche in Mühlhausen. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der FH Potsdam

[31] Glende, David Christopher (2002): Wässrige Primer auf porösen Substraten. Diplomarbeit am Fachbereich Bauchemie der FH Hildesheim/Holzminden/Göttingen

[32] Lemnitz, Henriette (2002): Ergänzungs- und Injektionsstoffe für engobierte und glasierte Terrakotta. Unveröffentl. Diplomarbeit an der FH Potsdam

dam untersucht wurden.[33] Aus zeitlichen Gründen mußte auf die ursprünglich geplante Verwendung dieses Bindemittels im Experimentalteil der vorliegenden Diplomarbeit verzichtet werden.

Für die Rezeptierung von Injektionsstoffen wurden schließlich die folgenden vier Bindemittel ausgewählt:
- Syton X 30 (Monsanto / Grace-Davison)
- HGZ (Hüttensand / Gips / Zement) (Mineros)
- Nanokompositdispersion (BASF)
- Funcosil® KSE 500 STE (Remmers)

Das Kieselsol Syton X 30 ist eine kolloidale Dispersion von hochmolekularem Siliziumdioxid in Wasser.[34] Der Siliciumdioxidgehalt beträgt 30 % und läßt sich durch Verdünnung mit destilliertem Wasser beliebig verringern. Die Dichte der Dispersion beträgt ca. 1,2 g/cm³. Der pH-Wert des Kieselsols liegt zwischen 9,5 und 10,2, die Viskosität bei 6-12 mPas. Die Größe der einzelnen Kieselsäurepartikel von kugelförmiger Gestalt ist vergleichsweise gering, weist aber ein relativ breites Spektrum auf. Es handelt sich damit um ein polydisperses System, das sich in besonderem Maße als Bindemittel für Füllstoffmischungen eignet. Die spezifische Oberfläche des Kieselsäureanteils beträgt 215-305 m²/g. Hierdurch dürfte ein ausreichendes Bindevermögen auch bei stärkerer Verdünnung und Einsatz von Stellmitteln mit sehr großer Oberfläche (pyrogene Kieselsäure) und von sehr feinen Füllstoffen gegeben sein. Die Stabilisierung der Dispersion erfolgt durch die Zugabe von NaOH. Der Gehalt an Natriumionen, angegeben als Na_2O, beträgt 0,26-0,34 M.-%. Legt man die von Lehmkuhl erarbeiteten Rezeptur zugrunde (Syton zu Füllstoff im Gewichtsverhältnis 1:1), so halbiert sich dieser Gehalt, bezogen auf die Gesamtmasse des Injektionsmörtels. Wird dabei das Bindemittel noch 1:1 mit Wasser verdünnt, so sinkt die Alkalibelastung auf unter 1 Promille. Das Produkt enthält außerdem 4 – 5 M.-% Ethylenglykol, Formaldehyd in nicht spezifizierter Menge und einen Konservierungsmittelzusatz von 150 bis 300 ppm.[35]
Die Gelbildung erfolgt durch Verdunstung des Lösemittels Wasser, durch saure oder alkalische Katalyse (pH-Wert-Verschiebung) oder durch Zugabe von Elektrolyten, etwa in Form leicht ionisierender Salze. Dabei kondensieren die SiO_2-Partikel unter Wasserabspaltung, wobei jeweils zwei Silanolgruppen eine Siloxanbindung eingehen. Struktur und Eigenschaften des Gels sind in hohem Maße von dessen Wassergehalt abhängig. Aber auch die Art der Gelbildung ist nicht ohne Einfluß auf die räumliche Struktur des gebildeten Netzwerks.
Syton X 30, früher von der Fa. Monsanto produziert, wird heute von der Fa. Grace-Davison unter dem Namen Ludox PX 30 hergestellt. Soweit aus einem Vergleich der technischen Merkblätter ersichtlich handelt es sich im wesentlichen um das gleiche Produkt.[36] Aus liefertechnischen Gründen wurden alle Versuche mit dem Produkt alten Namens Syton X 30 durchgeführt.

Das Bindemittel HGZ besteht zu 83 M.-% aus Hüttensand, zu 10 M.-% aus gemahlenem Naturgips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) und zu 7 M.-% aus einem Zement CEM I 42,5 R HS/NA.[37] Hüttensand ist die Bezeichnung für eine granulierte Hochofenschlacke, die latent hydraulische Wirkung hat, d.h., sie bedarf einer geeigneten Anregung, um hydraulisch abzubinden. Sie besteht überwiegend aus glasig erstarrter Schlacke, die durch schnelle Abkühlung einer Schlackenschmelze gewonnen wird. Der Al_2O_3-Gehalt liegt bei 10-12 M.-%.[38] Bei dem Zement handelt es sich um einen Portlandzement mit hoher Frühfestigkeit (R), einer Mindestdruckfestigkeit von 42,5 N/mm² nach 28 Tagen, hohem Sulfatwiderstand (HS) und niedrigem wirksa-

[33] Niklas, Bettina (2000): Problematik der Schalenhinterfüllung am Rosenheimer Kalkstein, einem ostbayerischen Lithothamnienkalk; Sabatzki, Christoph (2001): Konservierung von Granit. Vergleichende Untersuchungen ausgewählter Bindemittelsysteme zur Konsolidierung von Schalen und Lockerzonen

[34] Die folgenden Angaben beruhen auf der bereits zitierten Diplomarbeit von Lehmkuhl sowie den Angaben des Technischen Merkblatts und des Sicherheitsdatenblatts für das Produkt Syton X 30. Ergänzend wurde eine Produktinformation und Datenblätter der Fa. Grace-Davison zum Nachfolgeprodukt Ludox PX 30 herangezogen. Auf Einzelnachweise wird wegen der Vielzahl der sonst notwendigen Fußnoten verzichtet.

[35] Ethylenglykol, ein als gesundheitsschädlich eingestufter, vollständig mit Wasser mischbarer zweiwertiger Alkohol, wird häufig als Frostschutzmittel in Motorkühlungssystemen verwendet (Roempp Lexikon Chemie, Version 2.0). Ethylenglykol dürfte auch hier aus Frostschutzgründen zugesetzt worden sein.

[36] Dies bestätigte auch Frau Ramona Eberle von der Firma Grace-Davison, Niederlassung Worms, in einem Telefonat vom 21.07.03. Den Datenblättern ist aber zu entnehmen, daß kein Ethylenglycol enthalten ist. Auf Wunsch ist Ludox P X 30 aber auch mit einem Zusatz von Frostschutzmittel lieferbar.

[37] Böttger, Karl Georg (1997): Mörtel für die Erhaltung historischer Kalkputze. Haftmörtel, Hinterfüllmörtel und Kalkputze. Dissertation an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar, S. 105

[38] Winnefeld, Frank (1999): Mauer- und Putzmörtel zur Restaurierung historischer Ziegelbauwerke. Dissertation an der Universität Siegen, S. 70 f.

men Alkaligehalt (NA).[39] Der Hüttensandanteil wird durch den Gips und den Portlandzement sulfatisch und alkalisch aktiviert. Dabei entstehen neben Calcium-Silikat-Hydrat-Phasen v.a. Ettringit. Aus verschiedenen Gründen führt dies nicht zu schädlichen Treiberscheinungen, hauptsächlich weil sich das System zum Bildungszeitpunkt der Ettringite noch im plastischen Zustand befindet.[40]

Zur Nanokompositdispersion der Fa. BASF mit der Typenbezeichnung A5/828 liegen nur wenige Informationen vor. Es handelt sich um ein mittlerweile nicht mehr hergestelltes Versuchsprodukt. Der Feststoffgehalt der wässrigen Dispersion beträgt 35,3 M.-%, davon entfallen 60 % auf ein Reinacrylat und 40 % auf ein Kieselsol. Schindler charakterisiert den Acrylanteil als Butylacrylat-Methylmethacrylat-Dispersion, wobei sie auf die bereits erwähnte Diplomarbeit von Glende verweist.[41] Nachfragen bei Dr. Wiese von der BASF-Forschungsabteilung ergaben, daß keine der von Glende untersuchten Dispersionen mit dem oben genannten Typ identisch ist.[42] Die Mindestfilmbildungstemperatur des Acrylats liegt unter 0°C, der Glasübergangstemperatur bei –5° C. Die Größe der Dispersionspartikel beträgt 50 bis 150 nm. Der pH-Wert beträgt 9, die Viskosität ca. 50 mPas. Die Dispersion enthält keine Konservierungsmittel und ist beliebig mit destilliertem Wasser verdünnbar.

Funcosil® KSE 500 STE der Fa. Remmers ist ein elastifizierter Kieselsäureethylester.[43] Der Gehalt an Kieselsäureethylestermolekülen in der Lösung beträgt mehr als 70 M.-%, wovon ein großer Teil vorhydrolisiert ist. Das Produkt enthält als Lösemittel Ethanol, ist neutral katalysiert und hat eine Dichte von 1,02 g/cm³. Die abgeschiedene Menge an Kieselgel beträgt ca. 500 g/l. Zur Elastifizierung des Kieselgels enthält das Produkt sogenannte Weichsegmente, die in das SiO_2-Gerüst einkondensiert werden.[44] Hierdurch wird die starre dreidimensionale Struktur des entstehenden SiO_2-Gerüsts unterbrochen, wobei die Weichsegmente als Gelenkstellen fungieren. Im Vergleich zu herkömmlichen Kieselsäureestern bilden elastifizierte Kieselsäureester wesentlich größere Gelplatten aus, die sich durch eine geringere Sprödigkeit auszeichnen. Durch Zugabe ‚anorganischer Schwebstoffe' zum elastifizierten Kieselsäureester können, je nach Zugabemenge, Risse bzw. Hohlräume bis 300 µm kraftschlüssig überbrückt werden.[45] Funcosil® KSE 500 STE enthält bereits nicht näher bezeichnete und quantifizierte mineralische Schwebstoffe. Dabei handelt es sich um pyrogene Kieselsäure, die bei der empfohlenen Anwendung des Produkts als Bindemittel von Injektionsmassen das Sedimentieren des Füllstoffs verlangsamen sollen. Die Gelbildung des reinen Kieselsäureesters soll bei einem Klima von 20° C und 50 % rF nach 3 Wochen abgeschlossen sein, dagegen sei bei einer Vermischung mit Füllstoffen mit einer Aushärtezeit von 4-8 Wochen zu rechnen, je nach Schichtdicke. [46]

4.2.3 Auswahl der Zuschläge

Als Zuschlagsstoffe wurden verschiedene Quarz- bzw. Cristobalitmehle, das Mineralgemisch Plastorit und Mikroglaskugeln verwendet. Die Korngrößen der genannten Stoffe liegen im Bereich zwischen etwa 2 und 100 µm. Eine relativ geringe Korngröße der Zuschläge ist aus mehreren Gründen erforderlich: Zum einen nimmt die Sedimentationsneigung von Füllstoffen, die eine höhere Dichte als das Dispersionsmittel aufweisen, mit steigender Korngröße zu, zum anderen ist eine ausreichende Zugänglichkeit schmaler Hohlräume und Risse nur bei entsprechend feinem Zuschlagskorn gegeben. Schließlich ist auch die Verwendung kleiner Kanülenquerschnitte bei der Durchführung von Injektionen nur bei geringem Durchmesser der Zuschlagskörnung möglich.

---

[39] DIN 1164-1 (0ktober 1994): Zement. Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen

[40] Winnefeld, Frank (1999): Mauer- und Putzmörtel zur Restaurierung historischer Ziegelbauwerke. Dissertation an der Universität Siegen, S. 70 f.

[41] Schindler, Claudia (2003): Untersuchung ausgewählter Materialien zur Festigung von Tuffstein an Bauwerken in Guadaljara. Unveröffentl. Diplomarbeit am Institut für Restaurierung der FH Hildesheim/Holzminden/Göttingen, S. 32

[42] email von Herrn Dr. Harm Wiese vom 01.04.03

[43] Soweit nicht anders angegeben beruhen die folgenden Angaben auf dem im Anhang beigefügten technischen Merkblatt.

[44] Eine genaue Kennzeichnung der als ‚Weichsegment' fungierenden Verbindung ist dem technischen Datenblatt nicht zu entnehmen (s. Anhang 7).

[45] Boos, Markus, Grobe, Joseph, Hilbert, Georg, Wendler, Eberhard (1999): Möglichkeiten und Grenzen der Steinfestigung im Kieselsäureester-System. Einsatzmöglichkeiten elastifizierter Kieselsäureestertypen, in: Wittmann, Folker H., Gerdes, Andreas: (Hg., 1999): Material Science and Restoration V. Werkstoffeigenschaften und Bauinstandsetzen V, Band 2, S. 1310

[46] Technisches Merkblatt, s. Anhang

Neben der Berücksichtigung des Korngrößenspektrums orientierte sich die Auswahl der Quarz- bzw. Cristobalitmehle auch an den Kriterien der regionalen Verfügbarkeit dieser Stoffe und ihren Kosten. Folgende Produkte wurden verwendet:

- Quarzmehl Millisil W 12 (Quarzwerke GmbH, Niederlassung Weferlingen)
- Quarzmehl Sikron Feinstmehl SGL 300 (Quarzwerke GmbH, Niederlassung Weferlingen)
- Quarzmehl mittel, ca. 44 µm (Kremer-Pigmente)
- Cristobalitmehl feinst, ca. 8 µm (Kremer-Pigmente)

Quarzmehle werden durch Mahlung von Quarzsand und anschließende Windsichtung aufbereitet. Cristobalit, eine Hochtemperaturmodifikation des Quarzes, wird durch thermische Behandlung von Quarzsand industriell hergestellt. Die beiden Produkte der Fa. Kremer wurden in Anlehnung an die Untersuchungen von Lehmkuhl ausgewählt, unter anderem aufgrund der ihnen attestierten sehr geringen Sedimentationsneigung.[47] Die angegebenen Nennkorngrößen 44 und 8 µm eröffnen die Möglichkeit, Mischung nach dem Prinzip der Ausfallkörnung vorzunehmen. Hierbei werden anstelle der stetigen Korngrößenverteilung nach Fuller zwei Kornklassen ausgelassen, um eine möglichst hohe Packungsdichte des Zuschlags zu erreichen.[48] Nach Lehmkuhl wird das Prinzip der Ausfallkörnung insbesondere für industriell als Werktrockenmörtel hergestellte Fließestriche und ähnliche Anwendungen bevorzugt, was es auch für Injektionsmörtel interessant macht.[49]
Allerdings ist zu bedenken, daß alle genannten Quarz- bzw. Cristobalitmehle wie auch die nachfolgend behandelten Plastorit-Sorten und Mikroglaskugeln ein breites Korngrößenspektrum aufweisen. Voraussetzung für die Abstimmung von Zuschlagsmischungen nach der Fuller-Verteilung oder gemäß des Prinzips der Ausfallkörnung ist es aber, daß einzelne Korngrößenklassen vorliegen, die gezielt zusammengestellt werden können. Bei den hier vorliegenden Korngrößen ist aber eine Separierung in einzelne Kornklassen mittels Aussieben nicht möglich. Daher ist es fraglich, ob die genannten Konzepte zur Optimierung der Korngrößenverteilung, die aus der Betontechnologie stammen, auch auf Zuschläge in Mehlkorngröße angewendet werden können.

Neben Quarzmehlen und ggf. auch gebrochenem Sandstein- oder Ziegelsubstrat wird für Injektionsmörtel häufiger Plastorit verwendet.[50] Plastorit ist ein natürlicher Rohstoff, der aus plättchenförmigen Verwachsungen der drei Mineralien Quarz, Glimmer und Chlorit besteht und in 9 Mahlfeinheiten bei der Fa. Luzenac-Naintsch erhältlich ist. Bevorzugte Verwendung für Injektionsmassen fand bisher die Sorte Plastorit 0000, auf die auch in dieser Arbeit meistens zurückgegriffen wurde. Daneben wurden einzelne Versuche mit den Sorten 00 und Super durchgeführt. Nach Wendler verringert die Verwendung von Plastorit das Schwindmaß, verschlechtert aber Fließ- und Penetrationsvermögen der Injektionsmassen.[51] Plastorit wird üblicherweise stets in Mischung mit anderen Zuschlägen, meist Quarzmehlen, eingesetzt.

Zuschlag aus gemahlenem Ziegel, wie ihn Lemnitz für Ziegelinjektionsmassen verwendete, kam schon aus farblichen Gründen für Injektionen der beigefarbenen Engobe nicht in Betracht.

Neben den erwähnten natürlichen, durch Feinmahlung aufbereiteten Zuschlägen wurden künstlich hergestellte Mikrokugeln als Voll- und Hohlglaskugeln verwendet. Sie werden häufiger bei der Rezeptierung von Ergänzungs- und Injektionsmörteln eingesetzt, um deren Verarbeitungseigenschaften zu verbessern.[52] Aufgrund ihrer annähernd ideal-kugelförmigen Gestalt erhöhen sie das Gleitvermögen der natürlichen Zuschläge, die infolge des Mahlvorgangs eine splittrig-kantige Kornform aufweisen. Glaskugeln bieten

[47] Das von Lehmkuhl verwendete Quarzmehl 8 µm wird von der Fa. Kremer nicht mehr geliefert und wurde in dieser Arbeit durch Cristobalitmehl gleicher Nennkorngröße ersetzt.
[48] Lehmkuhl, Thomas (1990): Injektionsfähige Hinterfüllmassen, S. 53 und Anm. 69b; Skudelny, D. (1986): Füllstoffe für Reaktionsharzbeton, in: Reidt, Werner, u.a (Hg.): Methacrylat-Reaktionsharze, S. 19-45
[49] Lehmkuhl, Thomas (1990): Injektionsfähige Hinterfüllmassen, Anm. 83
[50] Ettl, Hans, Sattler, Ludwig, Schuh, Horst (1999): Konservierung von Sandsteinen mit Kieselgel-gebundenen Steinersatzstoffen, in: Boué, Andreas: (Hg., 1999): Steinergänzung. Mörtel für die Steinrestaurierung, S. 95;
[51] Wendler, Eberhard (1999): Kieselgelgebundene Steinergänzungsmörtel, in: Boué, Andreas: (Hg., 1999): Steinergänzung. Mörtel für die Steinrestaurierung, S. 109. Die von Wendler verwendete Bezeichnung „Tonmehle" ist als Synonym für Plastorit 0000 zu verstehen (frdl. mdl. Mtlg vom 28.02.03).
[52] Mikos, Elisabeth (1999): Ein neues Entwurfsverfahren für Steinergänzungsmörtel (SEM), in: Boué, Andreas: (Hg., 1999): Steinergänzung. Mörtel für die Steinrestaurierung, S. 30-39; Wendler, Eberhard (1999): Kieselgelgebundene Steinergänzungsmörtel, in: Boué, Andreas: (Hg., 1999): Steinergänzung. Mörtel für die Steinrestaurierung, S. 109

weitere Vorteile: Sie weisen geometriebedingt die niedrigst mögliche spezifische Oberfläche auf und sie absorbieren keine Flüssigkeit. Hierdurch besitzen sie einen geringeren Flüssigkeitsbedarf (Wasseranspruch) als natürliche Zuschläge. Die ausgewählten Glaskugelsorten werden aus Borosilikatglas gefertigt, das im Gegensatz zu Kalknatronglas chemisch sehr beständig ist. Bei diesem Glasrohstoff ist daher nicht mit der Abgabe von Kationen zu rechnen, die mit in Porenwässern gelösten Anionen schädliche Verbindungen eingehen können. Folgende Fabrikate wurden auf ihre Verwendbarkeit hin untersucht:

- Borosilikatvollglaskugeln Spheriglass 3000 CP 00 der Fa. Potters-Europe[53]
- Borosilikathohlglaskugeln S 60 HS der Fa. 3M[54]

Bei letztgenanntem Fabrikat handelt es sich um unbeschichtete Hohlglaskugeln, die im Vergleich zu der in der Restaurierung häufiger verwendeten Sorte Scotchlite S 22 mit einer Nenndichte[55] von 0,22 g/cm³ eine höhere Nenndichte von 0,60 g/cm³ aufweisen. Die höhere Dichte beruht auf einer größeren Wandstärke dieser Kugeln, was zugleich zu einer wesentlich verbesserten mechanischen Belastbarkeit führt. Sie wird durch ein spezielles Produktionsverfahren weiter gesteigert.[56] Trotzdem sollen Hohlglaskugeln grundsätzlich nicht oder zumindest nicht bei höheren Scherleistungen dispergiert werden, um ein Zerbrechen der Kugeln zu vermeiden.[57] Der Auswahl dieser Sorte lag die Überlegung zugrunde, daß die Tendenz von Hohlglaskugeln, in wässrigen Suspensionen aufzuschwimmen, bei höherer Nenndichte gemindert werden kann. Ideal wäre daher eine Sorte mit einer Schüttdichte um 1, die meines Wissens aber nicht produziert wird. In einem Vorversuch zeigte sich, daß trotz des Einsatzes verschiedener Dispergierhilfsmittel das Aufschwimmen nicht zufriedenstellend unterbunden werden konnte.[58] Aufgrund dieser Ergebnisse wurden Hohlglaskugeln bei der Rezeptierung der Injektionsmörtel nicht weiter berücksichtigt.[59]

Die Fa. Potters-Europe vertreibt eine breite Palette von unbeschichteten und beschichteten Vollglaskugeln, von denen nur die oben angegebene, unbeschichtete Sorte verwendet wurde. Sie wird in erster Linie als Polymeradditiv empfohlen. Die Informationen des technischen Datenblatts beziehen sich auf diese Anwendung und sind für die Verwendung in Injektionsmassen nicht von Interesse.

Schließlich ist eine Füllstoffmischung aus dem Quarzmehl Dorsilit 1600 der Fa. Dorfner und nicht näher spezifizierten Vollglaskugeln im Verhältnis 4:1 Gewichtsteilen zu nennen, die in dem von Mineros vertriebenen HGZ-Werktrockenmörtel bereits im gleichen Gewichtsanteil wie die Bindemittelkomponente enthalten ist. Diese Füllstoffmischung kann aber auch zur zusätzlichen Abmagerung des HGZ-Werktrockenmörtels separat bezogen werden. Die Füllstoffmischung enthält in geringem Maße pulverförmige Zusatzmittel: als Fließmittel 0,3 M.-% FMF-Konzentrat auf Melaminharzbasis sowie als Stabilisator 0,1 M.-% eines Polyethylenoxids.

Ausschließlich für die Injektionsmasse auf der Basis des Kieselsäureester Funcosil® KSE 500 STE wurden die Zuschläge Funcosil® KSE-Füllstoff A und B verwendet. Füllstoff A ist ein nicht näher bezeichnetes Mineralpulver. Die von den Herstellern angegebenen Kennwerte von Stampf- und Schüttdichte sowie die Farbe dieses Pulvers, ein kaltes, leicht ins Grünliche spielendes Weiß, stimmen mit Plastorit 0000 überein. Füllstoff B ist ein Quarzmehl.
In Kapitel 4.1.4 werden die verschiedenen Zuschläge hinsichtlich Korngrößenverteilung, Schüttdichte und spezifischer Oberfläche näher charakterisiert und miteinander verglichen.

---

[53] Potters Europe, Postfach 1226, D-67285 Kirchheimbolanden, Tel. 06352 / 70 44 0

[54] 3M Deutschland GmbH, Carl Schurz-str. 1, D-41453 Neuss, Tel. 02131 / 14 24 17

[55] Technisches Merkblatt „3M™ Scotchlite™ Glass Bubbles Mikro-Glashohlkugeln" vom Oktober 2002. Die Angabe der Nenndichte beruht auf einer werkseigenen, mir nicht bekannten Prüfvorschrift. Vermutlich handelt es sich um eine ähnliche Größe wie die Stampfdichte. Die Schüttdichte, die separat ausgewiesen ist, liegt wesentlich niedriger. Auch um die Reindichte kann es sich naturgemäß nicht handeln.

[56] Hierauf nimmt der Namenszusatz „HS" Bezug; frdl. mdl. Mtlg. von Herrn Hoyer, Vertrieb der Fa. 3M, am 17.02.03

[57] frdl. mdl. Mtlg. von Herrn Hoyer, Vertrieb der Fa. 3M, am 17.02.03

[58] Hierzu wurden jeweils 10 g der Mikrohohlglaskugeln in 100 g destilliertes Wasser gegeben und durch Schütteln untergemischt. Anschließend wurden jeweils 1 g der folgenden Zusatzmittel der Firma Byk –Chemie zugesetzt: Als Benetzungshilfe für wässrige Flüssigkeiten die Produkte Dyn-Wet 800, Disperbyk 102 und Disperbyk 192, ferner das Thixotropiermittel Byk 420. Bei einigen Additiven war eine Schaumbildung zu verzeichnen. Es ist nicht auszuschließen, daß weitere Versuche mit anderen Wasser-Füllstoffverhältnissen und anderen Zusatzmittelkonzentrationen oder auch mit Kombinationen der genannten Additive zu besseren Ergebnissen führen könnten.

[59] Aus gleichem Grund sind im Anhang 7 keine Merkblätter zu diesem Produkt und zu den genannten Additiven enthalten.

4.2.4 Auswahl der Zusätze

Unter den Oberbegriff der Zusätze werden in der Beton- und Mörteltechnologie Zusatzstoffe und Zusatzmittel gefaßt. Als Zusatzstoffe sind Stoffzugaben definiert, die mehr als 2,5 M.-% bzw. Vol.-% des Bindemittels ausmachen. Hierunter fallen z.B. pyrogene Kieselsäure oder Pigmente. Als Zusatzmittel werden geringfügige Stoffzugaben bezeichnet, die weniger als 2,5 M.-% oder Vol.-% des Bindemittelanteils ausmachen.[60] Es handelt sich meist um synthetische Stoffe, die spezielle Eigenschaften der Mörtel gezielt verbessern sollen. Als Beispiele seien Fließmittel und Stabilisatoren genannt.

Die bereits erwähnte amorphe oder pyrogene Kieselsäure (fumed silica) als inerter Zusatzstoff dient in erster Linie der Verbesserung der Sedimentationsstabilität der Injektionsmassen.[61] Es handelt sich um ein außerordentlich feines Pulver von hoher Reinheit und sehr niedrigem Raumgewicht. Die Herstellung erfolgt durch Niederschlagsbildung aus der Gasphase bei sehr hohen Temperaturen. Dabei bilden sich zunächst kugelförmige Primärteilchen, die sich aber sofort zu kettenförmigen, verzweigten Aggregaten zusammenschließen. Es folgt eine weitere Agglomerationen dieser Aggregate unter dem Einfluß von Druck, Temperatur und Feuchte, die aber reversibel ist. Die chemischen Eigenschaften der armorphen Kieselsäure werden von hydrophoben Siloxan-Bindungen und hydrophilen Silanolgruppen an den Partikeloberflächen bestimmt. In Flüssigkeiten suspendiert, erlauben die Hydroxylgruppen an den Partikeloberflächen den Aufbau eines dreidimensionalen Netzwerks durch Wasserstoffbrückenbindung zwischen den Aggregaten. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist die möglichst feinteilige und gleichmäßige Verteilung der amorphen Kieselsäure in der Flüssigphase. Dies erfordert die Zerteilung der Agglomerate , wozu hohe Scherkräfte mittels Dispergiervorrichtungen eingeleitet werden müssen. Ein idealer Netzwerkaufbau ist der Theorie nach an eine Suspendierung in unpolaren Flüssigkeiten gebunden, da polare Flüssigkeiten wie Wasser oder Alkohol eine Solvathülle um die Aggregate aufbauen können. Ebenso tritt das Bindemittel Kieselsol über seine Hydroxylgruppen in Wechselwirkung mit den amorphen Kieselsäureaggregaten. Für die Suspensionsstabilisierung von Hinterfüllmassen ist aber eine ideale Netzwerkstruktur, die mit einer starken Viskositätserhöhung einhergeht, weder erforderlich noch erwünscht. Durch entsprechende Dosierung des Anteils pyrogener Kieselsäure und durch die Wahl geeigneter Umfangsgeschwindigkeiten des Dispergierwerkzeugs können Grad der Netzwerkbildung und damit Viskosität und Thixotropie des Systems beeinflußt werden (vgl. Kap. 7.1).
Ähnlich wie bei den Kieselsolen gibt es eine große Produktpalette verschiedener Hersteller mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften. Dies betrifft insbesondere die Teilchengröße der amorphen Kieselsäurepartikel und die hieraus resultierende spezifische Oberfläche (50 – 400 m²/g) und ihre chemische Beschaffenheit. Es sind unbehandelte und hydrophob behandelte Sorten zu unterscheiden.
Die Versuche im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit wurden mit dem Produkt Cab-O-Sil M 5 der Fa. Cabot durchgeführt, das sich für den Anwendungszweck der Suspensionsstabilisierung insbesondere von Syton X 30 gebundenen Injektionsmassen bewährt hat. Es handelt sich um eine unbehandelte Sorte. Der Anteil an SiO_2 beträgt mehr als 99,8 M.-%, die mittlere Teilchengröße 200 bis 300 nm, die spezifische Oberfläche ca. 200 m²/g. Die Stampfdichte wird mit 38-50 g/l angegeben. Bei einer Zugabemenge von 10 M.-%, bezogen auf die Flüssigphase, entspricht dies etwa dem doppelten Volumen der Flüssigkeit.[62] Der pH-Wert einer 4 %-igen wässrigen Dispersion liegt bei 3,7-4,3.
Silicosegefahr ist aufgrund der amorphen Form der Partikel nicht gegeben. Trotzdem empfiehlt sich der Gebrauch einer Partikelschutzmaske, da eine Belastung der Atemluft trotz vorsichtigen Hantierens nicht zu vermeiden ist und Hustenreiz verursacht.

Zur weiteren Verbesserung der Sedimentationsstabilität von Suspensionen auf der Basis von Syton X 30 und amorpher Kieselsäure ist die Zugabe eines Additives erforderlich. Lehmkuhl verwendete hierfür den Stabilisator Tween 20, ein flüssiges Polyoxyethylen-(20)-Sorbitanmonolaurat der Fa. ICI America Inc. mit einem Wirkstoffgehalt nahe 100 % und einer Viskosität von 400 mPas.[63] Es ist in Wasser und einer Reihe von ein- und zweiwertigen Alkoholen löslich. Dieses Additiv führt zu einer Erhöhung der Viskosität und

[60] Knöfel, Dietbert, Winnefeld, Frank (1997): Mörtel - Putze - Betone, in: Berufsbildungswerk des Steinmetz- und Steinbildhauerhandwerks (Hg.): Naturwerkstein und Umweltschutz in der Denkmalpflege, S. 393
[61] Die folgenden Angaben beruhen auf der bereits zitierten Diplomarbeit von Lehmkuhl, auf Produktinformationen des Herstellers Cabot und auf den Angaben des Technischen Merkblatts bzw. des Sicherheitsdatenblatts für das Produkt Cab-O-Sil M 5. Auf Einzelnachweise wird wegen der Vielzahl der sonst notwendigen Fußnoten verzichtet.
[62] Allerdings hängt das Raumgewicht auch vom Grad der Teilchenagglomeration ab und kann von Gebinde zu Gebinde wechseln.
[63] Lehmkuhl, Thomas (1990): Injektionsfähige Hinterfüllmassen, Anm. 79

erzeugt bzw. verstärkt thixotrope Eigenschaften des Injektionsmörtels. Lehmkuhl empfiehlt als Zugabemenge 10 M.-% des Anteils amorpher Kieselsäure. Eigene Versuche ergaben, daß die Zugabe tropfenweise bei laufender Dissolverscheibe erfolgen muß, da andernfalls eine unkontrollierte, puddingartige Verdickung des Mischansatzes eintritt. Daher wurde die Anzahl der Tropfen je g bestimmt und nachfolgend die exakte Dosierung durch das Abzählen der Tropfen vorgenommen.

Gießmörteln und Fließbeton auf Zementbasis werden häufig Verflüssiger oder Fließmittel zugegeben, die das Fließvermögen erhöhen und/oder den Wasserbedarf senken bzw. eine Erhöhung des Feststoffanteils bei gleicher Konsistenz der Mischung erlauben. Diese Additive bestehen meist aus hochmolekularen sulfonierten Verbindungen, aber auch aus Acrylsäure-Acrylamid-Gemischen.[64] Es ist naheliegend, die Eignung solcher Additive auch für solche Injektionsmörtel zu erproben, die nicht auf Zement als Bindemittel basieren. Bei Injektionsmassen auf der Basis von dispergiertem Weißkalkhydrat liegen hier bereits Erfahrungen vor. Strotmann fand heraus, daß Mittel auf der Basis von Melaminsulfonaten bei dispergiertem Weißkalkhydrat relativ hohe Zugabemengen erfordern und in ihrer Wirkung nachlassen, wodurch mit der Zeit eine Viskositätserhöhung der Injektionsmasse eintritt. Dagegen konnte mit Natrium-Polyacrylaten bei einer sehr gering Dosierung um 0,2 M.-% die Viskosität stark und dauerhaft herabgesetzt werden.[65] Publikationen zum Einsatz von Fließmitteln bei Injektionsmassen auf der Basis von Kieselsol sind mir nicht bekannt. Nach Beratung durch Herrn Dipl.-Rest. Strotmann und einen Mitarbeiter der Fa. BK Giulini wurde das Produkt Lopon 890 ausgewählt. Es handelt sich um eine wässrige Lösung mit einem Gehalt eines Natrium-Polyacrylats von ca. 45 M.-%. Die Dichte beträgt ca. 1,3 g, der pH-Wert 8 bis 9, die Viskosität ca. 500 mPas. Das Produkt ist als Dispergiermittel für Dispersionsfarben, Dispersionssilikatfarben, Putze und Klebstoffe ausgewiesen. Als Zugabemenge wird 0,2 bis 0,6 % des Feststoffgehalts der jeweiligen Formulierung empfohlen. Lopon 890 wurde bei einer Reihe von Rezepturen auf der Basis von Syton X 30 und bei den Injektionsmassen mit Nanokompositdispersion als Bindemittel eingesetzt.

Integrale Rezepturbestandteile des HGZ-Injektionsmörtels bilden ein Verflüssiger und ein Stabilisator.[66] Der Füllstoffmischung sind daher bereits 0,3 M.-% des Fließmittels FMF auf Melaminharzbasis sowie 0,1 M.-% des Stabilisators ST 1 auf Polyethylenoxidbasis zugesetzt. Beide Additive sind pulverförmige Produkte der Fa. Addiment. Nähere Angaben können den Datenblättern im Anhang entnommen werden.

Abschließend sollen zwei Polyisocyanate behandelt werden. Obwohl es sich eigentlich um Bindemittel handelt und die üblichen Zugabemengen von Zusatzmitteln deutlich überschritten werden, sind sie den Zusatzmitteln zuzuordnen, da die betreffenden Mörtel auch ohne diesen Zusatz abbinden und daher auf die Zugabe auch verzichtet werden kann. Ihre Aufgabe ist es, bestimmte Mörteleigenschaften zu verbessern. Polyisocyanate binden durch Reaktion mit aktiven Wasserstoffgruppen wie z.B. Wasser ab.
Das flüssige Polyisocyanats Desmodur DA-L der Fa. Bayer wird dem HGZ-Injektionsmörtel in einer Menge von 4 M.-% des Werktrockenmörtels zugegeben. Es handelt sich um ein hydrophiles, aliphatisches Polyisocyanat auf Basis Hexamethylendiisocyanat mit einem 100 %-igen Wirkstoffgehalt. Der Restgehalt an monomerem Isocyanat beträgt 0,25 %.
Basonat HW 180 PC der Fa. BASF ist eine 80 %-ige, wasseremulgierbare Lösung eines Polyisocyanats auf Basis von isocyanuratisiertem Hexamethylendiisocyanat. Das Produkt enthält 20 % Propylencarbonat als Lösemittel und maximal 0,3 M.-% Hexamethylen-1,6-diisocyanat. Es wird als Härter bzw. Vernetzer für Polymerdispersionen mit reaktionsfähigen Hydroxylgruppen empfohlen und wurde tastweise bei einer Injektionsmassenrezeptur auf der Basis von Nanokompositdispersion in diesem Sinne verwendet. Es wird eine Dosierung von 10 M.-% der Dispersion empfohlen (jeweils bezogen auf den Feststoffanteil).
Beide Produkte sind als Xi – reizend eingestuft. Eine Sensibilisierung durch Hautkontakt ist nicht auszuschließen. Daher muß konsequent mit Schutzhandschuhen gearbeitet werden. Desweiteren ist darauf zu achten, die Gebinde nach Entnahme umgehend fest zu verschließen, da ein Abbinden auch durch die Aufnahme von Luftfeuchtigkeit einsetzen kann.

---

[64] Reul, Horst (1991): Handbuch Bauchemie. Einführung in die Grundlagen - Rohstoffe, Rezepturen, S. 54 f.
[65] Strotmann, Rochus (2000): Das neue alte Bindemittel Dispergiertes Weißkalkhydrat. Entwicklung, Herstellung, Mechanismen, in: Jägers, Elisabeth: (Hg., 2000): Dispergiertes Weisskalkhydrat für die Restaurierung und Denkmalpflege. Altes Bindemittel - Neue Möglichkeiten, S. 31
[66] Böttger, Karl Georg (1997): Mörtel für die Erhaltung historischer Kalkputze. Haftmörtel, Hinterfüllmörtel und Kalkputze. Dissertation an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar, S. 105; S. 218 f., Tabellen A 28 u. A 29, sowie Rezeptur HGZ2 Kd, auf S. 222., Tabelle A 32

4.2.5 Charakterisierung der verwendeten Zuschläge

In der nachfolgenden Tabelle sind relevante Füllstoffkennwerte aus den technischen Merkblättern zusammengestellt. Die aufgeführten Kennwerte dienen der Charakterisierung der Korngrößen der Stoffe und hiermit zusammenhängend der spezifischen Oberfläche, die mit sinkender Partikelgröße ansteigt. Das Volumen, das diese Stoffe im trockenen Zustand einnehmen, wird maßgeblich von den Korngrößen und deren Verteilung sowie der Reindichte und der Kornform bestimmt. Zur Charakteriserung der volumenbezogenen Masse werden verschiedene Kennwerte angegeben: die Schüttdichte und die Stampfdichte, die sich durch den Grad der Verdichtung unterscheiden.
Da die Angaben der Hersteller unvollständig waren und z.T. auf unterschiedlichen Meßverfahren beruhen (soweit diese überhaupt angegeben werden), war eine Vergleichbarkeit nicht immer gegeben. Es wurden daher ergänzend weitere Untersuchungen durchgeführt: Von den meisten Zuschlagsarten wurde die Schüttdichte bestimmt und daraus das Schüttvolumen berechnet.[67] Die Bestimmung der Korngrößenverteilung mittels Trockensiebung ist bei Füllstoffen in Mehlkorngröße nicht durchführbar. Hierzu eignen sich Untersuchungen auf der Grundlage der korngrößenabhängigen Sedimentationsgeschwindigkeit und laseroptische Meßverfahren. Die Fa. Dörentrup Quarz GmbH& Co.KG übernahm es freundlicherweise, von 9 Zuschlägen Lasergranulometrien zu erstellen. Die Ergebnisse dieser beiden Untersuchungsverfahren sind in untenstehender Tabelle in separaten Spalten aufgeführt.

Produktbezeichnung	Hersteller bzw. Lieferant	Herstellerangaben							Ergebnisse der Lasergranulometrie				Eigene Messungen	
		Schüttdichte	Stampfdichte	Stampfvolumen	Blaine	d_{50}	d_{95}	Größtkorn	d_{50}	d_{95}	Größtkorn	spezifische Oberfläche	Schüttdichte	Schüttvolumen
		[g/cm³]	[g/cm³]	[ml/100g]	[cm²/g]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[cm²/g]	[g/cm³]	[ml/g]
Millisil W 12	Quarzwerke Weferlingen	0,9	1,33	75	3.800	16	50	<160	10,9	40,3	< 70	6813	0,833	1,200
Sikron SGL 300	Quarzwerke Weferlingen	0,72	1,11	90	5.500	9	30	> 64	8,3	24,9	< 36	7062	0,756	1,324
Quarzmehl mittel 44 µm	Kremer-Pigmente	0,9-1,2	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	11,4	41,6	< 70	6632	0,781	1,281
Cristobalitmehl 8µm	Kremer-Pigmente	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	3,4	9,91	< 15	10300	0,501	1,996
Plastorit 00	Luzenac-Naintsch	0,83	1,08	k.A.	7.300	14,2	k.A.	> 80	/	/	/	/	0,714	1,401
Plastorit 0000	Luzenac-Naintsch	0,67	0,90	k.A.	10.000	7,5	k.A.	> 32	10,2	27,3	< 45	(5548)*	0,602	1,662
Plastorit super	Luzenac-Naintsch	0,62	0,77	k.A.	15.000	3,7	k.A.	> 15	/	/	/	/	0,510	1,961
Spheriglass 3000 CP 00	Potters Europe	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	12-26	k.A.	k.A.	19,8	54,8	< 90	4816	1,186	0,843
Füllstoff A	Remmers	0,7	0,9	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	9,4	24,9	< 36	(5871)*	/	/
Füllstoff B	Remmers	0,8	0,8	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	7,8	22,4	< 36	7080	/	/
Füllstoff HGZ	Mineros	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	22,3	74,3	<110	4654	/	/
Dorsilit Quarzmehl 1600	Dorfner	1,11	k.A	55	k.A	45	k.A	>160	/	/	/	/	/	/

Erläuterungen:
k.A. Keine Angaben seitens des Herstellers/Lieferanten
/ nicht bestimmt
* angegebene Werte für die spezifische Oberfläche sind unzutreffend, da das Granulometer auf Quarzkörnung geeicht ist
d_{50} mittlere Korngröße (50 %-Wert)
d_{95} obere Korngröße (95 %-Wert)

Tabelle 1: Kennwerte der verwendeten Füllstoffe

[67] zur Methode vgl. Kap. 5.1.1., Untersuchungsprotokolle im Anhang 2

Ein Abgleich der selbst ermittelten Schüttdichten mit den Herstellerangaben bestätigt die Annahme, daß die von verschiedenen Herstellern stammenden Kennwerte nicht vergleichbar sind. Daher werden die eigenen Meßwerte für die nachstehende Auswertung herangezogen.

Folgende Klassifizierungen lassen sich vornehmen:

- Die geringsten Schüttdichten weisen Plastorit super und Cristobalitmehl feinst mit Werten um 0,5 auf.
- Quarzmehl mittel (44 µm) und Millisil W 12 unterscheiden sich nach Korngröße, spezifischer Oberfläche und Schüttdichte nur wenig voneinander.
- Das Quarzfeinstmehl Sikron SGL 300 hat wesentlich geringere Korngrößenabmessungen, die den entsprechenden Werten des Zuschlags Plastorit 0000 recht ähnlich sind. In der Schüttdichte unterscheiden sich beide Zuschläge dagegen sehr deutlich. Hier ist das Sikron-Quarzmehl den beiden vorgenannten Quarzmehlen ähnlich, während das Plastorit sich als ‚leichter' erweist. Da die Reindichte diese Gemisches aus drei Mineralien mit 2,78 g/cm³ noch über der von Quarzmehl liegt, (2,65 g/cm³), muß die geringere Schüttdichte in der plattig-splittrigen Form der Zuschlagskörner begründet sein, die zu wesentlich größeren Teilchenabständen führt. Der bei der Lasergranulometrie ausgegebenen Wert für die spezifische Oberfläche der Plastoritsorte 0000 und des Füllstoffs A dürfte unzutreffend sein, da das Gerät auf die Untersuchung von Quarzkörnungen geeicht ist. Die spezifische Oberfläche dieser letztgenannten Zuschläge dürfte tatsächlich wesentlich größer sein.
- Die Vollglaskugeln (Spheriglass 3000 CP 00) haben trotz etwas geringerer Dichte (2,54 g/cm³) als Quarzmehl die mit Abstand höchste Schüttdichte, was aufgrund ihrer annähernd idealen Kugelform zu erwarten war. Hierdurch stellt sich ein kleinerer Kornabstand ein als bei den gebrochenen bzw. vermahlenen Zuschlägen mit unregelmäßiger Korngestalt. Die mittlere Partikelgröße dieser Sorte von Borosilikatvollglaskugeln liegen mit einem d_{50}-Wert von 19,8 µm höher als bei allen zuvor erwähnten Zuschlagsstoffen.
- Die größten Korndurchmesser weist die Füllstoffmischung für den HGZ-Hinterfüllmörtel auf, wenngleich das Größtkorn ausweislich der Lasergranulometrie deutlich kleiner ist, als es die Angaben der Firma Dorfner für das Quarzmehl Dorsilit 1600, dem Hauptbestandteil der Füllstoffmischung, erwarten ließen.
- Bei den beiden Füllstoffen der Firma Kremer, Quarzmehl mittel (44 µm) und Cristobalitmehl (8 µm) stimmt die Nennkorngröße weitgehend mit der oberen Korngröße d_{95} überein. Die mittleren Korndurchmesser sind dagegen wesentlich kleiner.

Für die Rezepturentwicklung ist insbesondere das aus der Schüttdichte berechnete Schüttvolumen wichtig. Die Berücksichtigung dieses Kennwerts ermöglicht es, mit unterschiedlichen Füllstoffen zu experimentieren, ohne dabei das Volumenverhältnis Flüssigkeit zu Feststoff zu verändern.

4.3 Festigungsmittel

Nach Literaturstudien[68] schien eine Vielzahl von anorganischen und organischen Festigungsmitteln für eine Stabilisierung geschädigter Engobebereiche in Betracht zu kommen. Hingegen kommen für Bereiche, in denen einerseits bereits das Stadium einer akustisch wahrnehmbaren Lockerung der Glasuranhaftung erreicht ist, andererseits aber aufgrund zu geringer Spaltbreite eine Injektion mit Hinterfüllstoffen noch nicht möglich ist, v.a. Kunstharze oder organisch-anorganische Hybridfestiger in Frage, da anorganische Bindemittel nur eine geringe Klebkraft besitzen.
Festigungen mit Epoxidharzlösungen erschienen besonders aussichtsreich: Epoxidharze gelten als wasser- und witterungsbeständig, sie haben eine hohe Klebkraft und sehr hohe mechanische Festigkeit. Daher können auch bei relativ niedrigen Lösungskonzentrationen bereits gute Festigungseffekte erzielt werden. Hierdurch wird der Porenraum nur geringfügig verengt. Epoxidharze sind als Duroplaste nach der Aushärtung nicht mehr löslich. Eine geeignete Lösungskonfektionierung, Applikation und Nachbehandlung vorausgesetzt kann hierdurch ein Aufkonzentrieren des Harzes an den Objektoberflächen infolge von Lösemittelverdunstung verhindert werden. Bei nachfolgenden Behandlungsschritten wie z.B. dem Aufbringen von Glasurschutzbeschichtungen oder der Verwendung von Lösemitteln bei Reinigungsmaßnahmen ist zugleich kein erneutes Anlösen des Festigungsmittels und damit keine Destabilisierung der fixierten Glasur zu befürchten.
Epoxidharzlösungen wurden in Westdeutschland bisher nur sehr selten zu Festigungszwecken angewendet, während z.B. in Polen, Teilen Ostdeutschlands und in Italien bereits seit mehreren Jahrzehnten erfolgreich mit Epoxidharzlösungen gefestigt wurde.
Nachfolgend soll ein Überblick zu einigen relevanten Forschungsergebnissen und Anwendungserfahrungen gegeben werden, die für Festigungen mit Epoxidharzlösungen vorliegen.
Zum besseren Verständnis werden jedoch zunächst einige Grundlagen der Epoxidharzchemie erläutert.

4.3.1. Grundzüge der Epoxidharzchemie[69]

Der Vielzahl verschiedener Epoxidharztypen ist gemeinsam, daß sie über Oxiranringe verfügen, die auch als Epoxigruppen bezeichnet werden. Die Epoxigruppen bestehen aus zwei Kohlenstoffatomen und einem Sauerstoffatom, die ringförmig miteinander verbunden sind. Diese für das Harz namensgebende Epoxigruppe ist zugleich der reaktionsfähige Teil von Epoxidharzen.
Epoxidharze bedürfen zur Reaktion und Ausbildung eines dreidimensionalen Netzwerks eines geeigneten Reaktionspartners, eines Härters. Die Härtung von Epoxidharzen ist mit einer Vielzahl von Stoffen möglich. Häufig wurden hierzu polyfunktionelle aliphatische Amine verwendet, die über reaktionsfähige Wasserstoffatome verfügen. Die Reaktion beginnt mit einem als nucleophilen Angriff bezeichneten Mechanismus, bei dem der Stickstoff der Aminogruppe mit seinem freien Elektronenpaar auf das endständige, positiv polarisierte Kohlenstoffatom des Oxiranringes einwirkt. Hierdurch öffnet sich der Oxiranring, das endständige Kohlenstoffatom geht mit dem Stickstoffatom des Amins eine kovalente Bindung ein, ein Wasserstoffatom löst sich aus der Aminogruppe und bildet mit dem Sauerstoffatom des früheren Oxiranringes eine Hydroxylgruppe.[70] Bei dieser Reaktion handelt es sich um eine Polyaddition, d.h., daß keine Stoffe freigesetzt werden. Hierin ist auch eine wichtige Ursache für das geringe Schrumpfen von Epoxid-

---

[68] Hier werden nur jene Titel aufgeführt, auf die nicht an anderer Stelle dieser Arbeit Bezug genommen wird.
Wihr, Rolf (1977): Restaurieren von Keramik und Glas. Entwicklung - Erhaltung – Nachbildung, S. 92-96; Lenz, Horst, Recker, Bernhard, Rösch, Heinrich (1989): Der Keramikfries am Alten Rathaus in Hannover. Erhaltungsprobleme glasierter Tonziegel, in: Möller, Hans-Herbert: (Hg.): Restaurierung von Kulturdenkmalen. Beispiele aus der Niedersächsischen Denkmalpflege, S. 128-135; Recker, Bernhard (1990): Restaurierung eines Fayence-Ofens, in: Arbeitsgemeinschaft der Restauratoren und Römisch-Germanisches Zentralmuseum Mainz (Hg.): Arbeitsblätter für Restauratoren, Heft 2, S. 76-82; Buys, Susan, Oakley, Victoria (1993): The Conservation and Restoration of Ceramics, S. 99-105; Agnini, Elena, Erb, Yvonne (1995): Die Konservierung zweier Terrakottareliefs, in: Arbeitsgemeinschaft der Restauratoren und Römisch-Germanisches Zentralmuseum Mainz (Hg.), Arbeitsblätter für Restauratoren, Heft 1, S. 83-87; Sander-Cornwell, Eva (1995): Tränkung poröser Keramik, in: Arbeitsgemeinschaft der Restauratoren und Römisch-Germanisches Zentralmuseum Mainz (Hg.), Arbeitsblätter für Restauratoren, Heft 2, S. 94-97; Bradley, Susan M., Shashoua, Yvonne, Walker, Wendy, Pilz, Monika (1999): A novel inorganic polymer for the conservation of ceramic objects, in: ICOM Committee for conservation: (Hg.): 12th Triennal Meeting Lyon 29 August-3 September 1999. Preprints Volume II, S. 770-776

[69] Die Angaben dieses Unterkapitels beruhen auf folgenden Publikationen: Selwitz, Charles (1992): Epoxy Resins in Stone Conservation, S. 13-19; Horie, C.V. (1987): Materials for conservation. Organic consolidants, adhesives and coatings, S. 170-175; Roempp Chemielexikon, Version 2.0; Oberbach, Karl, unter Mitwirkung von Meyer, B. (1995): Saechtling Kunststoff-Taschenbuch. 26. Ausgabe, S. 531-535

[70] Frdl. Mtlg. von Herrn Prof. Dr. Thielmann, FH Hildesheim/Holzminden/Göttingen, Institut für Chemie in Holzminden

harzen bei ihrer Erhärtung zu sehen. Handelte es sich um ein primäre Amingruppe (R_1-NH_2), so steht nach der oben beschriebenen Reaktion ein weiteres aktives Wasserstoffatom zur Verfügung (R_1-NH-R_2), wodurch die Reaktion mit einem weiteren Oxiranring eines anderen Epoxidharzmoleküls erneut ablaufen kann.
Die beschriebene Polyadditionsreaktion ist irreversibel, d.h. ein Anlösen erhärterter Epoxidharze ist im Gegensatz zu den thermoplastischen Kunstharzen nicht möglich.

Epoxidharze, die bisher für Festigungen von mineralischen Substraten verwendet wurden, lassen sich in drei Gruppen einteilen:

- Epoxidharze des Typs Bisphenol-A-Diglycidylether (BADGE), auch Dianharze genannt
- Cycloaliphatische Epoxidharze
- Aliphatische Epoxidharze

Die Dianharze entstehen durch Reaktion von Bisphenol A mit Epichlorhydrin. Bisphenol A (syn. Dian) ist ein Kondensationsprodukt von 2 Phenolmolekülen mit Aceton. Phenole sind Benzen oder Benzolringe (C_6H_6), bei denen ein H-Atom durch eine Hydroxyl-Gruppe (-OH) ersetzt wurde. Aceton hat die Formel CH_3-CO-CH_3. Epichlorhydrin (1-Chlor-2,3-epoxipropan) besteht aus einer Kohlenwasserstoffkette mit 3 Kohlenstoffatomen (Propan). Ein endständiges Wasserstoffatom ist durch ein Chloratom substituiert, die beiden anderen C-Atome bilden mit einem Sauerstoffatom den bereits erwähnten Oxiranring. Bisphenol-A-Diglycidylether (BADGE) entstehen durch eine Kondensationsreaktion von Bisphenol A mit Epichlorhydrin bei Anwesenheit von NaOH (Nebenprodukt NaCl). Nach Abgabe seines Chloratoms wird das Epichlorhydrin-Molekül als Glycid bezeichnet. Die Diane sind mit den Glyciden mittels Sauerstoff verbunden (Veretherung). Die Epoxidharzvorkondensate entstehen durch Kondensation von wenigstens zwei Dian- und 3 Epichlorhydrinmolekülen, wobei die Epoxigruppen endständig sind. Verschiedene Dian-Harze unterscheiden sich in erster Linie durch ihren Polymerisationsgrad, d.h. ihre Molekülgröße. Der Polymerisationsgrad wird an folgenden Maßzahlen deutlich: Das Epoxidäquivalent mit der Einheit [g/mol] gibt an, wieviel Gramm Epoxidharz 1 Mol epoxidisch gebundenen Sauerstoffs enthält. Die in Polen übliche Epoxizahl mit der Einheit [val/100g] gibt dagegen an, wieviel mol epoxidisch gebundenen Sauerstoffs 100 g eines Epoxidharzes enthalten. Dabei handelt es sich um Durchschnittswerte, da jedes Epoxidharzprodukt produktionsbedingt unvermeidlich oder in gezielter Abmischung Moleküle unterschiedlicher Größe enthält. Der Polymerisationsgrad bestimmt die Viskosität eines Epoxidharzes. Je höher das Epoxidäquivalent bzw. je niedriger die Epoxizahl, um so höher ist die Viskosität eines Epoxidharzes. Hochmolekulare Sorten liegen als Feststoffe vor, sehr niedrigmolekulare Sorten haben eine Viskosität von minimal 5.000 mPas.

Die Phenolringe des Bisphenol-A-Moleküls können durch Hydrierung in Cyclohexylringe überführt werden. Durch die oben beschriebenen Kondensationsreaktion mit Epichlorhydrin entstehen cycloaliphatische Epoxidharze. Im Vergleich zu den Dianharzen zeichnen sie sich durch eine höhere UV-Stabilität und niedrigere Viskosität aus.

Durch Reaktion von Epichlorhydrin mit zweiwertigen, aliphatischen Alkoholen mit endständigen Hydroxylgruppen (Diole) entstehen aliphatische Epoxidharze. Sie haben eine sehr niedrige Viskosität und weisen ein großes Wasserabsorbtionsvermögen auf.

Aminhärter verfügen je nach Molekülbau über eine unterschiedliche Anzahl von Stickstoffatomen und hieran gebundene reaktionsfähige Wasserstoffatome. Als Polyamine werden gesättigte Kohlenwasserstoffketten bezeichnet, die von sekundären Amingruppen unterbrochen werden und über endständige primäre Amingruppen verfügen. Primäre Amingruppen verfügen je Stickstoffatom über 2 reaktionsfähige Wasserstoffatome, sekundäre Amingruppen über ein Wasserstoffatom. Bekannte Vertreter der aliphatischen Polyamine sind Triethylentetramin und Diethylentriamin. Desweiteren gibt es auch aromatische und cycloaliphatische Aminhärter. Die Wahl des Härtertyps bestimmt maßgeblich die Geschwindigkeit der Härtung und die Vergilbungsneigung des gehärteten Epoxidharzes.
Weitere Möglichkeiten eröffnen sich durch die sog. Adduktierung von Aminhärtern. Hierbei wird Epoxidharz mit einem großen Überschuß von Aminen zur Reaktion gebracht. Die entstandenen Aminaddukte werden sodann anstelle der Amine zur Härtung der Epoxidharze verwendet. Die Flüchtigkeit und Toxizität von aliphatischen Aminen wird durch die Adduktierung vermindert, die Viskosität erhöht. Aminadukte zei-

gen eine geringere Empfindlichkeit gegenüber der inhibierenden Wirkung von CO_2[71], die v.a. bei hohen Luftfeuchten während einer Epoxidharzverwendung problematisch sein können.

4.3.2 Epoxidharzlösungen zur Festigung mineralischer Substrate

Möglichkeiten und Probleme einer Festigung poröser Steine mit Epoxidharzlösungen wurden von Domasłowski an der Nikolaus-Kopernikus-Universität in Toruń (Polen) systematisch erforscht und 1966 unter dem Titel „Untersuchungen zur strukturellen Steinfestigung mit Epoxidharzlösungen" veröffentlicht.[72] Die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchung und erste praktische Erfahrungen mit der in situ Festigung denkmalgeschützter Objekte mit Epoxidharzlösungen wurden 1969 in einem englischsprachigen Artikel zusammengefaßt.[73]
Domasłowski verwendete verschiedene Epoxidharzsorten polnischer Produktion (Epidian 1 bis 5). Es handelt sich ausnahmslos um Epoxidharze des Typs Bisphenol-A-Diglycidylether (BADGE) von fester bis zähflüssiger Konsistenz (Epoxyzahl 0,2 bis 0,51). Zur Aushärtung wurde v.a. Triethylentetramin eingesetzt. Die Festigungsversuche wurden an je 2 polnischen Sand- und Kalksteinen durchgeführt. Untersucht wurden die Eigenschaften der reinen Epoxidharzlösungen, ihre Kapillaraszension und die Eigenschaften der mit diesen Lösungen gefestigten Steine, wobei der Einfluß der Lösungskonzentration, der hierbei verwendeten Lösungsmittel, des Epoxidharztyps und der Nachbehandlung bestimmt wurde.
Nachfolgend sollen einige Ergebnisse vorgestellt werden, die für die vorliegende Diplomarbeit von besonderem Interesse sind. Sie beziehen sich v.a. auf die Eignung verschiedener Lösemittel:

- Die relativ niedrigmolekularen Epoxidharzsorten Epidian 3 bis 5 sind unbegrenzt löslich in den aromatischen Kohlenwasserstoffen Benzol, Toluol und Xylol, im cyclischen Alkohol Cyclohexanol und im cyclischen Keton Cyclohexanon, im heterocyclischen Kohlenwasserstoff Dioxan, ferner in den Ketonen Propanon und Butanon sowie im zweiwertigen Alkohol Diethylenglykol. Dagegen ist die Löslichkeit der aliphatischen Alkohole Methanol, Ethanol, Propanol und Butanol im Epoxidharz auf eine Zugabemenge von 20 M% des Harzes beschränkt. Benzin und Terpentinöl vermögen Epoxidharze gar nicht zu lösen. Damit sind die genannten cyclischen Kohlenwasserstoffverbindungen und aliphatischen Ketone starke Lösemittel für Epoxidharze, aliphatische, einwertige Alkohole stellen schwache Lösemittel dar, während aliphatische Kohlenwasserstoffe lediglich als Verdünnungsmittel der Lösungen fungieren können.[74]
- Je niedrigmolekularer die Epoxidharzsorte, um so geringer ist der unabdingbare Anteil starker Lösemittel und um so größer kann der Anteil schwacher Lösemittel bzw. von Verdünnungsmitteln bemessen werden, um eine niedrig konzentrierte Harzlösung herstellen zu können. Beispielsweise wird für eine 10 %ige Lösung von Epidian 5 nur 5 M.-% Toluol benötigt. Die restlichen 85 M.-% der Lösung können von Methanol gebildet werden. Die maximale Zugabemenge schwacher Lösemittel bzw. Verdünnungsmitteln, bis zu denen noch eine klare Lösung vorliegt, läßt sich einfach experimentell ermitteln.[75]
- In Reagenzglasversuchen mit Festigerlösungen zeigte sich, daß die ausschließliche Verwendung starker Lösemittel aufgrund ihres hohen Lösevermögens die Ausscheidung von Reaktionsprodukten verzögern und die Aushärtungsrate von Epoxidharzen in starkem Maße vermindern. Dagegen fördert ein hoher Prozentsatz schwacher Löse- bzw. Verdünnungsmittel die Reaktionskinetik. Durch die Auswahl der Lösemittel kann damit die Reaktionsgeschwindigkeit gezielt beeinflußt werden.[76]
- Die Viskosität von Epoxidharzlösungen, gemessen mit dem Auslaufbecher, hängt v.a. bei den niedrigmolekularen Harzsorten nur in geringem Maße von der Harzkonzentration und der jeweiligen Lösemittelmischung ab.[77] Auch der Viskositätsanstieg infolge der Aushärtung ist bei einer 10 %igen Lö-

[71] Frdl. mdl. Mtlg von Herrn Dr. Wolfram Tänzer (LEUNA-Harze GmbH) vom 24.04.2003
[72] Domasłowski, W. (1966): Badania nad strukturalnym wzmacnianiem kamieni roztworami żywic epoksydowych, in: Bibliotheka Muzealnictwa i Ochrony Zabytków, Band 15, 234 Seiten
[73] Domasłowski, W. (1969): Consolidation of Stone Objects with Epoxy Resins, in: Monumentum. Internatinal Council of Monuments and Sites, Vol. IV, S. 51-64
[74] Domasłowski, W. (1966): Badania, S. 80, Tabelle 2
[75] Domasłowski, W. (1969): Consolidation of Stone Objects with Epoxy Resins, S. 52, Tabelle 2
[76] Domasłowski, W. (1969): Consolidation of Stone Objects with Epoxy Resins, S. 53, Tabelle 4, S. 55, Tabelle 8; Domasłowski, W. (1966): Badania, S. 101, Tabelle 12,
[77] Domasłowski, W. (1966): Badania, S. 87f., Tabelle 5-6

sung in Toluol und Methanol im Verhältnis 1:2 sehr gering und steigt auch bei einer Harzkonzentration von 20 % innerhalb von 10 Stunden nur auf das Doppelte des Ausgangswertes.[78]

- Infolge ihrer wesentlich geringeren Oberflächenspannung zeigen organische Lösemittel im Vergleich zu Wasser einen durchweg langsameren kapillarer Anstieg, obwohl sie zum Teil eine wesentlich geringere Viskosität aufweisen.[79] Eine relativ schnelle Eindringung zeigen z.B. Aceton (+ 44 %), Butanon (+ 78 %), Toluol (+ 78 %), etwas langsamere Eindringgeschwindigkeit Ethylacetat (+ 110 %), Xylol (+ 122 %) und Methanol (+ 133 %) sowie Mischungen von Methanol mit Toluol oder Xylol. Deutlich langsamer werden dagegen beispielsweise Ethanol (+ 344 %) und Propanol (+ 778 %) aufgenommen. Auch Mischungen von Toluol und Ethanol (1:2, + 255 %) und von Xylol mit Propanol (1:2 bis 1:6, + 400 % bis + 600 %) zeigen eine relativ langsame Eindringung.[80] Daher kommen letztgenannte Lösemittel und Lösemittelmischungen für eine praktische Verwendung in Festigerlösungen nur eingeschränkt in Frage, zumindest wenn bei relativ langsam saugendem Substrat in einer begrenzten Zeit größere Eindringtiefen erreicht werden sollen. Die genannten Ergebnisse beziehen sich auf Untersuchungen an einer Sandsteinart (Nietulisko). Bei anderen Gesteinsarten kann es zwar in gewissem Maße zu einer Verschiebung in den Ergebnissen kommen, doch bleiben die Relationen zwischen den verschiedenen organischen Lösemitteln hiervon im wesentlichen unberührt.[81]
- Die notwendige Tränkungsdauer der untersuchten Gesteinsarten zu deren kapillaren Sättigung ist nur in begrenztem Maße von der Lösungskonzentration abhängig. Sie verdoppelt sich etwa bei einer Vervierfachung der Harzkonzentration von 5 auf 20 %.[82]
- Der Festigkeitszuwachs hängt vom Festigkeitsniveau des unbehandelten Gesteins ab. Je geringer die Ausgangsfestigkeit, desto höher ist der Festigkeitsgewinn infolge einer Tränkung mit Epoxidharzlösungen. Bei niedriger Ausgangsfestigkeit ist schon mit einer 5 %-igen Lösungskonzentration ein Anstieg der Druckfestigkeit um etwa 75 % zu erzielen. Gesteinsarten, die bei Durchfeuchtung in unbehandeltem Zustand eine starke verringerte Druckfestigkeit aufweisen, zeigen nach einer Festigung sogar einen noch höheren Festigkeitszuwachs im durchfeuchteten Zustand. Die erzielten Druckfestigkeiten steigen nicht proportional mit der Harzkonzentration. Bei Festigungen mit 20%-igen Lösungen wird etwa ein Festigkeitszuwachs von 200 % an trockenen Proben von niedriger Ausgangsfestigkeit erzielt.[83]
- Die Porosität wirddurch Tränkungen mit Epoxidharzlösungen folgendermaßen verändert: Der Wasseraufnahmegrad nimmt aufgrund der hydrophoben Eigenschaften des erhärteten Epoxidharzes generell sehr stark um 50 bis 95 % ab, auch bei niedrigen Lösungskonzentrationen. Bei Tränkungen mit Benzin vermindert sich die aufgenommene Flüssigkeitsmenge um ca. 10-20 % nach einer Festigung mit 5 %-iger Harzlösung und um 30–45 % nach einer Festigung mit einer 20 %-igen Harzlösung. Es liegt keine Versiegelung des Porenraums vor.

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß sich insbesondere Lösemittelkombinationen aus Aromaten und alphatischen Alkoholen als geeignet erwiesen. Die besten Ergebnisse hinsichtlich Verarbeitungszeit, Aushärtungsrate und Eindringtiefe wurden mit einer Lösemittelkombination von Toluol und Methanol erzielt. Lösungskonzentrationen unter 5 % sind nicht zu empfehlen, da Reaktionsgeschwindigkeit und Aushärtungsrate relativ gering sind und damit eine deutlich stärkere Tendenz zur Rückwanderung der nicht abreagierten Harz- und Härteranteile an die Objektoberfläche besteht. In Polen wurden an einer ganzen Reihe von Steinobjekten erfolgreiche Festigungen mit Epoxidharzlösungen auf der Grundlage der oben dargestellten Forschungsergebnisse durchgeführt.

Auch zur Festigung von Ziegeln mit Epoxidharzlösungen liegen Untersuchungen vor.[84] Lösungen niederviskoser Dianharze in Toluol und Methanol führten bei Konzentrationen von 10, 15 und 20 % an histori-

[78] Domasłowski, W. (1966): Badania, S. 90, Tabelle 7 und Domasłowski, W. (1969): Consolidation of Stone Objects with Epoxy Resins, S. 52, Tabelle 3
[79] Domasłowski, W. (1966): Badania, S. 137, Tabelle 34
[80] Domasłowski, W. (1966): Badania, S. 135, Tabelle 33
[81] Domasłowski, W. (1966): Badania, S. 139, Tabelle 35
[82] Domasłowski, W. (1969): Consolidation of Stone Objects with Epoxy Resins, S. 56, Tabelle 10
[83] Domasłowski, W. (1969): Consolidation of Stone Objects with Epoxy Resins, S. 60, Tabelle 15
[84] Domasłowski, Wieslaw, Kesy-Lewandowska, Maria, Lukaszewicz, Jadwiga W. (1998): Badania nad konserwacja murów ceglanych (Untersuchungen zur Konservierung von Ziegelmauerwerk), S. 72 f.

schen wie modernen Ziegeln zu Druckfestigkeitssteigerungen zwischen 17 und 134 %. Epoxidharzlösungen wurden in Toruń an mehreren gotischen Bürgerhäusern zur Festigung glasierter Ziegel verwendet.[85]
In späteren Studien wurden die Ursachen der v.a. an hellen Steinen zu beobachtenden Vergilbung nach einer Epoxidharzfestigung erforscht und nach Problemlösungen gesucht.[86] Dabei zeigte sich, daß die wichtigste Voraussetzung für eine gute Lichtbeständigkeit von erhärteten Epoxidharzfilmen auf Dianharzbasis eine optimale Vernetzung ist. Sie wird begünstigt durch die exakte Einhaltung des stöchiometrischen Verhältnisses von Harz und Härter und durch thermische Nachbehandlung bei minimal 50° C. Hochmolekulare Dianharze wiesen eine geringere Vergilbungsneigung auf als niedermolekulare Sorten. Desweiteren stellt die Adduktierung von aliphatischen Polyaminhärtern ein geeignetes Mittel dar, die Vergilbungsneigung zu reduzieren, wobei mit Ethyldiaminaddukten die besten Ergebnisse erzielt wurden. Addukte beschleunigten die Aushärtung im Vergleich zu nicht adduktierten Aminhärtern. Bei der Verwendung von Aminaddukten mußte der Anteil des Aromats in der Lösemittelkombination Toluol/Methanol deutlich erhöht werden. Schließlich kommt der Nachbehandlung der frisch getränkten Steine eine große Bedeutung für die Verhinderung von Verfärbungen zu: Die Steinoberfläche muß direkt nach Abschluß der Tränkung mit reinem Lösemittel nachgewaschen und über 10-14 Tage mit Benzindämpfen klimatisiert werden, um eine Harzanreicherung an der Oberfläche durch Rückwanderung der Festigungslösung zu verhindern.

Bei Untersuchungen zur Harzverteilung im Gesteinsgefüge wurde eine Phasentrennung zwischen Harz und Lösemittel während des Tränkungsvorgangs festgestellt. Trotz vollständiger Durchtränkung der Proben blieb jeweils der oberste Probenteil ungefestigt, unabhängig von der Probenhöhe.[87] Ein Einfluß des verwendeten Härtertyps (Ethylendiamin und Triethylentetramin) war dabei nicht zu erkennen. Dagegen zeigte sich, daß bei hochmolekularen Dianharzen dieser Chromatographieeffekt stärker auftrat als bei niedermolekularen Sorten. Begünstigt wurde die Phasentrennung auch durch einen hohen Anteil von Toluol in der Lösemittelmischung Toluol/Methanol.
Kotlik fand heraus, daß eine ungleichmäßige Harzverteilung im Substratgefüge bei Verwendung sehr hoch konzentrierter Lösungen von Dianharzen (ca. 50%) nicht nachzuweisen war. Trotz Phasentrennung reichte offenbar bei hinreichend großem Konzentrationsgefälle die Leistungsfähigkeit diffusiver Prozesse aus, noch vor der Aushärtung eine Konzentrationsangleichung herbeizuführen.[88]

Domasłowski und Strzelczyk untersuchten auch, ob eine Tränkung mit Epoxidharzlösungen das Wachstum von Pilzen und Algen fördert.[89] Es zeigte sich, daß 20 %-ige Harzlösungen das Wachstum hemmten, während 5 und 10 %-ige Lösungen eine höhere Belastung mit bestimmten Pilzarten zur Folge hatten. Das ausgehärtete Harz sei wahrscheinlich weitgehend resistent. Dagegen könnten nicht abreagierte und zur Oberfläche migrierte Aminhärteranteile als Nahrungsquelle dienen.

Auch in anderen Ländern wurden Möglichkeiten der Steinfestigung mit Epoxidharzen erforscht und erprobt.[90] Munnikendam experimentierte mit hochkonzentrierten Mischungen von aliphatischen Diepoxiden (Butyldiglycidilether) und niedrigviskosen cycloalifatischen Aminhärtern, die zusammen mit Kieselsäureethylester als Reaktivverdünner sehr niedrigviskose Formulierungen ergaben.[91] Entgegen vielversprechenden Laborergebnissen war an Musterflächen aber nur eine geringe Lösungspenetration zu verzeichnen. Als problematisch erwies sich zudem die geringe Wasserbeständigkeit kurzkettiger aliphatischer Epoxidharze sowie die starke Volumenvergrößerung dieser Harze bei Wasserlagerung.

---

[85] Ob es hierbei in erster Linie um eine Konsolidierung des Scherbens oder auch um die Sicherung der Glasuranhaftung ging, ließ sich leider nicht klären (E-Mail von Prof. Dr. habil. W. Domasłowski vom 11.04.03 an den Verfasser).
[86] Domasłowski, Wieslaw, Kesy-Lewandowska, Maria, Lisek, K. (1987): Badania swiatlotrwalosci zywic epoksydowych [Untersuchungen zur Lichbeständigkeit von Epoxidharzen], in: Acta Universitas Nicolai Copernici, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo, Band XII, S. 89-106; Domasłowski, Wieslaw (1989): Swiatlotrwalosc kamieni wzmocnionych zywicami epoksydowymi [Lichtbeständigkeit von epoxidharzgefestigtem Stein], in: Acta Universitas Nicolai Copernici, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo, Band XIV, S. 3-21
[87] Domasłowski, Wieslaw (1989): Swiatlotrwalosc kamieni wzmocnionych zywicami epoksydowymi, in: Acta Universitas Nicolai Copernici, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo, Band XIV, S. 8-11
[88] Selwitz, Charles (1992): Epoxy Resins in Stone Conservation, S. 25f.
[89] Domasłowski, Wieslaw, Strzelczyk, Alicia (1986): Evaluation of Applicability of Epoxy Resins to Conservation of Stone Historic Monuments, in: Case Studies in the Conservation of Stone and Wall Paintings, Bologna 1986, S. 130f.
[90] Selwitz, Charles (1992): Epoxy Resins in Stone Conservation, S. 6-7
[91] Selwitz, Charles (1992): Epoxy Resins in Stone Conservation, S. 35-36; Domasłowski, Wieslaw, Sobkowiak, Dorota (1991): Evaluation of properties of stones consolidated with light-resistant cycloaliphatic epoxy resin (Eurostac EP 2101). Ocena wlasciwosci kamieni wzmocnionych swiatlotrwala, cykloalifatyczna zywica epoksydowa Eurostac EP 2101, in: Acta Universitas Nicolai Copernici, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo, Band XVIII, S. 67f.

In Italien wurden Lösungen eines cycloalifatische Harzes in Toluol und Isopropanol verwendet, die unter dem Namen EP 2101 von der Fa. STAC produziert werden, und mit einem aliphatischen Polyamin zur Aushärtung gebracht wurden. Diese Harz-Härterkombination erwies sich als äußerst lichtbeständig und erbrachte zufriedenstellende Festigungsergebnisse.[92] Das Produkt wurde an vielen Steinobjekten erfolgreich eingesetzt. Eine Thorner Studie bestätigte die grundsätzliche Eignung dieses Präparates für strukturelle Festigungen.[93] Allerdings blieb die Festigkeitssteigerung deutlich hinter der von Dianharzen zurück, was auf die generell geringere Festigkeit von cycloaliphatischen Harzen zurückzuführen ist. Desweiteren zeigte sich, daß nach dem Vermischen von Harz und Härter eine sog. Induktionszeit von mehreren Stunden vor Tränkungsbeginn abgewartet werden mußte, da sich andernfalls Phasentrennung einstellte. Die Viskosität der Lösung war höher als bei Dianharzlösungen gleicher Konzentration und die kapillare Anstiegsgeschwindigkeit niedriger. Die Autoren führen dies u.a. auf die Wahl des Lösemittels Isopropanol zurück, das eine sehr langsame Eindringung aufweise. Von der Verwendung niedrig konzentrierter Lösungen wird abgeraten, da hierbei an Kalksteinproben eine Rückwanderung des Harzes zu den Probenaußenflächen zu beobachten war.

In Ostdeutschland wurden Epoxidharzlösungen als Steinfestigungsmittel seit Ende der 1960er Jahre v.a. in Thüringer Raum auf Initiative des Erfurter Instituts für Denkmalpflege eingesetzt.[94] Die Bevorzugung des Bindemittels Epoxidharz zu jenem Zeitpunkt resultierte aus der eingeschränkten Verfügbarkeit anderer Festigungsmittel bzw. aus den unzureichenden Eigenschaften verfügbarer Systeme wie Kieselsäureethylestern und Acrylharzen. Es wurde das modifizierte Dianharz Epilox EGK 19 der VEB Leuna-Werke Walter Ulbricht und ein aliphatischer Polyaminhärter des Typs Dipropylentriamin (DPTA) verwendet. Als Lösemittel wurde eine Mischung von Toluol und Aceton im Verhältnis 3:2 bevorzugt. Auswahl der Harz-Härter-Kombination, Konfektionierung der Lösungen und Vorversuche hierzu erfolgten in Zusammenarbeit mit Technikern der Leuna-Werke. Schriftliche Unterlagen zu den damaligen Untersuchungen befinden sich möglicherweise noch im Firmenarchiv, konnten aber bisher nicht aufgefunden werden.[95] Meist wurden Lösungskonzentrationen von 10 bis 20 % verwendet. Die Tränkungen erfolgten bevorzugt mittels eines Bohrlochinfusionsverfahrens, das eine gleichmäßige Gesteinsdurchtränkung in beliebiger Stärke ermöglichte. Zwar wurde Phasentrennung in den Versuchen beobachtet, sie stellte aber wohl kein schwerwiegendes Problem in der Festigungspraxis dar.[96] Die erste größere Anwendung von Epoxidharzlösungen erfolgte 1967 an den acht Altanskulpturen der Mühlhausener Marienkirche.[97] Nach Produktionsumstellungen beim Hersteller Ende der 1980-er Jahre kam als Nachfolgeprodukt für Epilox EGK 19 das ebenfalls modifizierte Dianharz Epilox T 19-32 zum Einsatz. Zumindest an Musterflächen fand gelegentlich auch das unmodifizierte Dianhharz Epilox T 19-20 Verwendung.[98] Festigungen mit Epoxidharzlösungen wurden zumindest bis Mitte der 1990er Jahre durchgeführt, meist wohl als aufbauende Festigung von besonders schwer geschädigten Bereichen nach einer Vorfestigung mit Kieselsäureestern.[99] Insbesonde-

---

[92] Cavaletti, R., Lazzarini, L., Marchesini, L., Marinelli, G. (1985): A new type of epoxy resin for the structural consolidation of badly decayed stones, in: Felix, G., Furlan, V.: (Hg., 1985): 5th International Congress on deterioration and conservation of stone, Lausanne 1985, S. 769-778

[93] Domasłowski, Wieslaw, Sobkowiak, Dorota (1991): Evaluation of properties of stones consolidated with light-resistant cycloaliphatic epoxy resin (Eurostac EP 2101). Ocena wlasciwosci kamieni wzmocnionych swiatlotrwala, cykloalifatyczna zywica epoksydowa Eurostac EP 2101, in: Acta Universitas Nicolai Copernici, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo, Band XVIII, S. 67-81

[94] Die Angaben dieses Abschnitts beruhen auf Gesprächen mit Herrn Siegfried Lang, Herrn Sebastian Röhl (Berlin), Herrn Stefan Scheidemann und Herrn Prof. Thomas Staemmler (Erfurth) sowie auf folgender Publikation: Möller, R. (1979): Steinschäden und Konservierungsmethoden in der DDR, in: Österreichische Sektion des IIC, Redaktion Manfred Koller und Rainer Prandtstetten (Hg.): Steinkonservierung und Steinrestaurierung. Restauratorenblätter Band 3, S. 147-161

[95] Frdl. mdl. Mtlg. von Herrn Dr. WolframTänzer, LEUNA-Harze GmbH, vom 14.02.2003. Ob seinerzeit auch Forschungsergebnisse und Anwendungserfahrungen aus Polen bekannt waren und berücksichtigt wurden, ist strittig. Während Möller dies bejaht (s. die in Fußnote 94 angegebene Publikation von 1979, S. 151), bestanden laut frdl. mdl. Mtlg. von Herrn Siegfried Lang damals keinerlei Kontakte nach Toruń.

[96] Frdl. mdl. Mtlg. von Herrn Stefan Scheidemann vom 14.02.2003

[97] Möller, R. (1979): Steinschäden und Konservierungsmethoden in der DDR, in: Österreichische Sektion des IIC, Redaktion Manfred Koller und Rainer Prandtstetten (Hg.): Steinkonservierung und Steinrestaurierung. Restauratorenblätter Band 3, S. 147-161

[98] Westenberger, Marco (1999): Schilf- und Lettenkohlensandstein: Kennwerte, Schadensmechanismen, Konservierungsmöglichkeiten. Diplomarbeit im Fachbereich Bauingenieurwesen der Fachhochschule Erfurth: 1994 Anlage einer Musterfläche in den Kellerräumen des Hauses Krämerbrücke 19 in Erfurt mit 10 %iger Lösung von Epilox T 19-20 (S.78f.); 1995 Anlage von Musterflächen im Gewölbekeller der Turniergasse 18 in Erfurt mit 5 und 10 %igen Lösungen von Epilox T 19-20, S. 75

[99] Aus mir freundlicherweise von Herrn Sebastian Röhl auszugsweise zur Verfügung gestellten Dokumentationsunterlagen geht hervor, daß bei der Konservierung von Architekturdetails aus Schilfsandstein an der Heldburg (Thüringen) Mitte der 1990er Jahre

re in Bereichen mit Schalenbildung und Mürbezonen sollten dabei die Epoxidharze aufgrund ihrer hohen mechanischen Festigkeit noch bestehende Kornbrücken stabilisieren.[100]

In Westdeutschland wurden Epoxidharze in der Restaurierung mineralischer Objekte v.a. ungelöst für Klebungen und Rißverfüllungen und als Bindemittel für Ergänzungsmassen eingesetzt. Als Festigungsmittel in gelöster Form wurde es allenfalls vereinzelt verwendet, da mit den Kieselsäureestern seit Ende der 1960er Jahre eine relativ leicht zu verarbeitendes Festigungsmittelgruppe zur Verfügung stand. Systematische Laboruntersuchungen zur Verwendbarkeit von Epoxidharzlösungen zu Festigungszwecke wurden daher meines Wissens in Westdeutschland zunächst nicht vorgenommen.[101]

Seit Ende der 1980er begann im Rahmen des BMFT- bzw. BMBF-Verbundforschungsprojektes „Steinzerfall und Steinkonservierung" eine intensive Entwicklungsarbeit neuartiger Steinkonservierungsmittel. Federführend bei diesem Projekt war das Institut für Bauforschung an der RWTH Aachen (IBAC). Zielstellung dieser Forschungen nach dem sog. „Aachener Konzept" war es, in Zusammenarbeit mit der chemischen Industrie sog. Steinschutzstoffe zu entwickeln, die die Mineraloberflächen im Gesteinsinneren lückenlos mit einem elastischen, sehr dünnen Film überziehen sollten, ohne die kapillare Wegsamkeit zu beeinträchtigen. Damit sollte zugleich das Gefüge stabilisiert, das hygrische Schwinden und Quellen stark vermindert und die Einwirkung aggressiver Schadstofflösungen auf die Gesteinskomponenten verhindert werden. Die Forschungen orientierten sich u.a. an der Vorgabe, daß der abgeschiedene Bindemittelanteil der Festigungslösungen ca. 20-30 M.-% betragen müsse, um die gewünschte lückenlose Filmausbildung erzielen zu können. Bei diesen Untersuchungen wurden u.a. auch Epoxidharze auf ihre Eignung hin untersucht und z.T. gezielt synthetisiert. Die Ergebnisse wurden in mehreren Aufsätzen und 2 Dissertationen veröffentlicht.[102] Besondereres Augenmerk galt dabei dem Problem der Phasentrennung zwischen Harz und Härter und der Beständigkeit der ausgehärteten Epoxidharzfilme gegen wässrige Lösungen. Hierzu wurde die Verteilung von Harz- und Härterkomponente mittels photoakustischer Infrarotspektroskopie und Röntgenphotoelektronenspektroskopie untersucht. Die Wasser- und Chemikalienbeständigkeit wurde an ausgehärteten Epoxidharzfilmen getestet, die für 21 Tage 5 %-igen sauren und basischen Lösungen bzw. entmineralisiertem Wasser ausgesetzt wurden.
Zunächst wurden aufgrund ihrer sehr niedrigen Viskosität aliphatische Epoxidharze des Typs Hexandiglycidylether bevorzugt, die in Butanon gelöst mit tetrafunktionellen Diaminen des Typs 1,6-Diaminotrimethylhexan (TMD) gehärtet wurden. Die resultierenden Filme wiesen eine nur geringe Säurebeständigkeit und eine starke Volumenvergrößerung bei Wassereinwirkung auf. Daraufhin wurden Harze des Typs Bisphenol-A-Diglycidylether verwendet. Um eine chromatographische Entmischung von Harz und Härter während des Tränkungsvorgangs zu verhindern, die insbesondere bei deutlich unterschiedlicher Molekülgröße von Harz und Härter bzw. aufgrund deren großen sterischen und elektronischen Unterschieden eintrat, wurde eine Vorreaktion von je zwei Harzmolekülen mit einem Härtermolekül realisiert. Quasieinkomponentige Lösungen, die auf dieser Basis hergestellt wurden, zeigten aber entweder eine zu geringe Eindringtiefe aufgrund der rigiden Struktur des Dianharzes oder reagierten zu langsam, woraus eine ungleichmäßige Harzverteilung infolge von Migrationseffekten resultierte.[103] Daraufhin wurde eine Flexibilisierung des Bisphenol-A-Diglycidylethers durch Hydrierung erzeugt. Dieses Harz wies aber eine unvollständige Aushärtung und eine verringerte chemische Resistenz auf. Die besten Ergebnisse wurden mit einem Epoxidharz erzielt, bei dem Bisphenol-A mit Bisphenol-F-Einheiten[104] regelmäßig abwechselten und das mit tetrafunktionellen Diaminen des Typs 1,6-Diaminotrimethylhexan (TMD) als Härter zu einem

---

nach einer Kieselsäureestervorfestigung 10 und 20 %-ige, mitunter auch 50 %-ige Epoxidharzlösungen in größerem Umfang eingesetzt wurden. Hierzu wurden als Epoxidharz Epilox T 19-32, als Härter Epilox DPTA und als Lösemittel Toluol und Aceton im Verhältnis 3:2 Gewichtsteilen verwendet.

[100] Frdl. mdl. Mtlg. von Herrn Prof. Thomas Staemmler vom 14.02.03

[101] Eine Ausnahme bildet wohl folgende Untersuchung: Marschner, Hannelore (1980): Prüfung von Steinimprägnierungen mit neuentwickelten Epoxidharzen, in: Sitzung des Arbeitskreises "Naturwissenschaftliche Forschung an Kunstgütern aus Stein" am 6. und 7. März 1980, S. 94-101

[102] Littmann, Klaus, Riecken, Bärbel, Sasse, H.R. (1998): Steinschutzstoffe nach dem Aachener Konzept, in: Snethlage, Rolf: (Hg.): Denkmalpflege und Naturwissenschaft. Natursteinkonservierung II, S. 207-226; Heßland, A. (1991): Epoxidharze und ihre Eignung für den Bautenschutz. Dissertation an der RWTH Aachen; Hoffmann, Nils (2000): Modifizierte Epoxidharze für die Anwendung in der Natursteinrestaurierung. Dissertation an der RWTH-Aachen; Hoffmann, Nils, Höcker, Hartwig (1998): Molekulare Änderungen und ihre makroskopischen Folgen. Die Entwicklung eines Steinschutzstoffes auf Epoxidharzbasis, in: Snethlage, Rolf: (Hg.): Jahresberichte aus dem Forschungsprogramm Steinzerfall - Steinkonservierung Band 6, 1994-1996, S. 45-53

[103] Offenbar wurde eine Klimatisierung mit Lösemitteln zur Unterbindung von Migrationsprozessen nicht erwogen.

[104] Der Literatur war leider nicht zweifelsfrei zu entnehmen, ob eine Epoxidharz des Typs Bisphenol-F-Diglyciylether mit einem cycloaliphatischem Epoxidharz identisch ist, das durch Hydrierung von Bisphenol-A-Komponenten gewonnen wird.

Quasi-Einkomponenten-System verknüpft war. Es wurden eine akzeptable Penetrationsfähigkeit und Chemikalienbeständigkeit erzielt. Negativ war dagegen der überhöhte Anstieg der Festigkeit und des E-Moduls in unmittelbarer Nähe zur Tränkungsseite zu bewerten.

Die referierten Forschungsergebnisse aus dem BMBF-Projekt lassen vermuten, daß auch die von Domasłowski beobachtete Phasentrennung sich möglicherweise nicht auf ein Vorauseilen des Lösemittels beschränkte, sondern daß auch hier Harz und Härter mit ungleichmäßiger Geschwindigkeit in das poröse Gefüge penetrierten. Hierdurch wäre selbstverständlich eine stöchiometrische Lösungszusammensetzung über den gesamten durchtränkten Gefügequerschnitt nicht mehr gegeben, was eine unvollständige Aushärtung des Harzes zur Folge hätte.

4.3.3 Auswahl der Epoxidharze

Grundlage für die Auswahl der Epoxidharze waren die Forschungsergebnisse und Erfahrungsberichte, die im vorherigen Unterkapitel dargestellt wurden. Sowohl niedermolekulare Harze des Typs Bisphenol-A-Diglycidylether als auch cycloaliphatische Epoxidharze kamen demnach in Frage. Bei der Auswahl der Härter sollten die Empfehlungen der jeweiligen Hersteller berücksichtigt werden. Angesichts der kaum zu überblickenden Vielzahl an Epoxidharzen und Härtern auf dem Markt erschien es sinnvoll, auf bereits für Festigungszwecke bewährte Harz-Härter-Kombinationen zurückzugreifen und dabei insbesondere an die langjährigen Erfahrungen im Thüringer Raum anzuknüpfen. Hierfür sprach auch, daß diese Produkte leichter zu beziehen sind als z.B. ausländische Fabrikate.

Nach Mitteilung des Herstellers besteht das im letzten Jahrzehnt im Thüringer Raum verwendete Epoxidharz Epilox T 19-32 zu 80 M.-% aus Bisphenol-A-Diglycidylethern und zu 20 M.-% aus Hexandioldiglycidylether (aliphatisches Epoxidharz), der auch als Reaktivverdünner bezeichnet wird.[105] Auch das Vorgängerprodukt Epilox EGK 19 war bereits modifiziert. Dies geht eindeutig aus dem technischen Datenblatt dieses Harzes hervor, wenngleich genauere Angaben zu Art und Menge der modifizierenden Komponente nicht gegeben werden. Der Fachliteratur läßt sich aber entnehmen, daß die Modifizierung mit einem reaktiven Verdünnungsmittel erfolgte.[106] Hierfür spricht auch die für lösemittelfreie Dianharze außergewöhnlich niedrige Viskosität von 1.700 bis 3.000 mPas.

Die geschilderten negativen Erfahrungen hinsichtlich der Wasserbeständigkeit von kurzkettigen, aliphatischen Epoxidharzen gaben Anlaß zu Bedenken, ob diese Modifizierung nicht nachteilige Auswirkungen haben könnte. Daher entschied ich mich, die beiden Grundsubstanzen, die auch einzeln angeboten werden, in getrennten Gebinden zu beziehen. Dies ermöglichte vergleichende Versuche mit dem unverschnittenen Dianharz, dem reinen Reaktivverdünner und der modifizierten Formulierung aus beiden Komponenten.

- Das Produkt Epilox A 19-00 wird als mittelviskoses Epoxidharz des Typs Bisphenol-A-Diglycidylether charakterisiert. Es ist frei von Lösemitteln und nahezu farblos. Das Epoxidäquivalent wird mit 182-192 angegeben, was einer Epoxizahl von 0,52 bis 0,55 entspricht. Das durchschnittliche Molekulargewicht ist kleiner oder gleich 700 g/mol, die Dichte beträgt ca. 1,16 g/cm³. Die Viskosität liegt bei 9.000-13.000 mPas (25° C). Zur Kalt- oder Warmhärtung werden Polyamine, modifizierte Polyamine oder Polyamidoamine empfohlen. Das Anwendungsspektrum ist breit gefächert. U.a. wird es als Bindemittel von Reaktionsharzmörteln und –betonen, für Beschichtungen und zur Rißverpressung empfohlen.
- Das Produkt Epilox P 13-20 ist ein niedrigviskoses aliphatisches Epoxidharz des Typs 1,6-Hexandioldiglycidylether. Es ist frei von Lösemitteln und farblos. Das Epoxidäquivalent wird mit 140-160 angegeben, was einer Epoxizahl von 0,63 bis 0,71 entspricht. Das Molekulargewicht ist nicht angegeben. Der chemischen Formel nach beträgt es 230 g/mol. Die Dichte liegt bei ca. 1,06 g/cm³, die Viskosität bei 15 bis 25 mPas (25° C). Angaben zu geeigneten Härtern liegen nicht vor. Das Harz wird nicht für Alleinanwendungen sondern ausschließlich als Reaktivverdünner für andere Epoxidharze empfohlen.

[105] Frdl. mdl. Mtlg. von Herrn Dr. Wolfram Tänzer, LEUNA-Harze GmbH, vom 14.02.2003
[106] Jahn, Hans (1969): Epoxidharze, S. 74, Tabelle 12

Als Härter wurden zum einen der bereits erwähnte, als sehr giftig eingestufte DPTA-Härter, zum anderen auf Empfehlung des Herstellers ein nicht toxisches Polyaminaddukt ausgewählt.

- Epilox – Härter DPTA ist ein dünnflüssiges, aliphatisches Polyamin des Typs Dipropylentriamin. Es ist frei von Lösemitteln und farblos. Das Aminäquivalent wird mit 26 g/Äquiv. angegeben, d.h. 26 g des Härters enthalten ein Mol reaktionsfähigen Wasserstoff. Die Dichte liegt bei 0,92-0,935 g/cm³, die Viskosität bei 10 mPas (25° C). Die angegebene Mindestreaktionstemperatur beträgt 15° C. Es wird laut Gefahrenstoffverordnung als „Sehr Giftig" und „Ätzend" bezeichnet. Der pH-Wert einer 10 %igen wässrigen Lösung beträgt 12.
- Das Produkt Epilox – Härter H 10-34 ist ein flüssiges, modifiziertes Polyaminaddukt. Es enthält 3-Aminomethyl-3,5,5-trimethylcyclohexylamin (25-50 %), Benzylalkohol[107] (25-50 %) und Nonylphenol (2,5-10 %). Das Aminäquivalent wird mit 93 g/Äquiv. angegeben, d.h. 93 g des Härters enthalten ein Mol reaktionsfähigen Wasserstoff. Die Dichte liegt bei 1,02 g/cm³, die Viskosität bei ca. 100 mPas (25° C). Die angegebene Mindestreaktionstemperatur beträgt 10° C. Es wird laut Gefahrenstoffverordnung als „Ätzend" und „Umweltgefährdend" bezeichnet. Der pH-Wert beträgt 10.

Neben den bereits genannten BADGE-Epoxidharzen und Härtern wurden auch cycloalifatische Epoxidharze ausgewählt. Aufgrund seiner häufigen Verwendung und der vorliegenden Untersuchungsberichte bot sich die Verwendung von Eurostac EP 2101 der italienischen Firma STAC (Mailand) an.

- Eurostac EP 2101 ist ein cycloaliphatisches Epoxidharz, das als Lösung in Toluol und Isobutylalkohol[108] vertrieben wird. Genaue Angaben zur Art des Harzes, zur Lösungskonzentration und zu den exakten Mischungsverhältnissen der Lösemittel sind den Datenblättern nicht zu entnehmen. Der Harzanteil liegt unter 30 %, der Toluolanteil unter 35 % und der Isobutanolanteil unter 45 %. Die Viskosität der Lösung wird mit 25 mPas angegeben.[109] Das Harz hat ein Molekulargewicht < 700 g/mol. Als Härter ist das Produkt Eurostac Indurente K 2102 vorgesehen.[110] Als Mindesttemperatur für die Aushärtung ist 12° C angegeben. Das System ist ausdrücklich für Imprägnierungen konzipiert. Die begrenzte Mischbarkeit der Lösung mit Wasser erlaubt laut Hersteller auch eine Anwendung auf leicht feuchten Untergründen. Es wird auf die Notwendigkeit verwiesen, nach Abschluß des Mischvorgangs von Harz- und Härterkomponente eine temperaturabhängige Induktionszeit bis zur Applikation abzuwarten. Anhaltswerte zur Dauer dieser Induktionzeit, in Abhängigkeit von der Temperatur, werden nicht gegeben. Die Topfzeit bei 20° C beträgt 24 Stunden. Nach der Aushärtung sei eine sehr gute Beständigkeit gegen Wasser, saure und alkalische Lösungen und keinerlei Vergilbungsneigung unter UV-Einfluß gegeben. Das Harz ist als Xi „Reizend" eingestuft.

Auf Nachfrage beim Hersteller ergab sich, daß Harz und Härter auch ungelöst erhältlich sind.[111] Die Verwendung der ungelösten Komponenten ermöglicht eine freie Wahl der Lösemittel und die Herstellung von beliebigen, exakt festgelegten Lösungskonzentrationen. Daher wurden die nachfolgend näher beschriebenen Produkte dem gelösten Harz vorgezogen.[112]

- Resina 150/9 der Fa. STAC, Mailand, ist ein nahezu farbloses, lösemittelfreies, modifiziertes, cycloalifatisches Epoxidharz auf der Basis von Cycolhexandimethanoldiglycidylether. Der Gehalt der cycloaliphatischen Komponente liegt zwischen 50 und 75 %. Weitere Inhaltsstoffe werden nicht benannt. Aufgrund der relativ niedrigen Viskosität (500 mPas bei 25° C) halte ich eine Abmischung mit einem aliphatischen Epoxidharz als Reaktivverdünner für möglich. Epoxidäquivalent und durchschnittliches Molekulargewicht werden nicht angegeben. Das Harz ist in Aromaten und Ketonen löslich. Das Produkt wird für die Herstellung von lösemittelfreien Anstrichen und Überzügen und als Bindemittel von Mörteln und Kitten für Restaurierungsarbeiten oder für die Herstellung von Kopien empfohlen. Eine Verwendung als Festigungsmittel nach Herstellen einer Lösung wird nicht erwähnt.
- Zur Kalthärtung dient der Härter Indurente 150/9 der Fa STAC, Mailand, ein cycloalifatisches Polyamin auf der Basis von Isoforondiamin (50-75 %) mit einer Viskosität von ca. 20 mPas bei 25° C. Der pH-Wert beträgt 12 (bezogen auf 1 kg Härter in 1 l Wasser). Eine Mindesttemperatur zur Aushärtung ist nicht angegeben. Harz und Härter sind als Xi „Reizend", der Härter auch als C „Ätzend" eingestuft. Die Topfzeit der Harz-Härter-Mischung ohne Lösemittelzugabe betrage 4-5 h Stunden bei 20°C. Die

[107] Benzylalkohol ist ein Reaktionsbeschleuniger.

[108] Offensichtlich wurde inzwischen das früher verwendete Isopropanol gegen Isobutanol ausgetauscht.

[109] Im Vergleich mit meiner subjektiven Wahrnehmung erscheint dieser Wert erstaunlich hoch. Möglicherweise liegt hier eine fehlerhafte Angabe vor, zumal Festigerlösungen dieser Viskosität wohl kaum nennenswerte Eindringtiefen erreichen können.

[110] Zum Härter liegen mir keine Datenblätter vor.

[111] Frdl. mdl. Mtlg. von Herrn Marinelli, STAC srl

[112] Die nachfolgenden Angaben sind dem technischen Merkblatt und den Sicherheitsdatenblättern entnommen (s. Anhang).

Gelierung setze ein, wenn ein Polymerisationsgrad von 65-70 % erreicht sei. Bei dünnen Filmen sei dieser Zustand bei einer Umgebungstemperatur von 20°C und ohne Zugabe von Lösemitteln nach 16-24 Stunden erreicht. Nach 7-15 Tagen betrage der Polymerisationsgrad ca. 95 %. Für eine nahezu 100 %-ige Vernetzung sei eine thermische Nachbehandlung erforderlich, z.B. eine Erhitzung auf 60° C für 1 bis 2 Tage. Es handelt sich demnach um ein relativ langsam erhärtendes System. Es ist anzunehmen, daß die Reaktionsgeschwindigkeit von Lösungen dieser Harz-Härter-Kombination je nach Art der verwendten Lösemittel und nach Lösungskonzentration noch bedeutend niedriger liegt. Für das unverdünnte, erhärtete Polymer werden nach 15-tägiger Aushärtung bei 25° C folgende Eigenschaften angegeben: Zugfestigkeit 55-65 N/mm², Druckfestigkeit 90-110 N/mm², Biegezugfestigkeit 75-90 N/mm².[113] Der Glasübergangsbereich liegt bei 60-65° C.

Vergleichend wurde ein weiteres cycloaliphatisches Epoxidharz verwendet:

- Das Produkt Epilox P 22-00 der LEUNA-Harze GmbH ist ein niedrigviskoses, cycloaliphatisches Epoxidharz des Typs hydrierter Bisphenol-A-Diglycidylether. Es ist frei von Lösemitteln und nahezu farblos. Das Epoxidäquivalent wird mit 205-235 angegeben, was einer Epoxizahl von 0,43 bis 0,49 entspricht. Das durchschnittliche Molekulargewicht ist nicht angegeben. Die Viskosität liegt bei 1.500-3.000 mPas bei 25° C. Zur Härtung wurde seitens des Herstellers auf Nachfrage das modifizierte Polyaminaddukt Epilox-Härter H 10-34 empfohlen. Das Harz wird als Bindemittel für die Formulierung von Lacken und Beschichtungen verwendet.

Beiden cycloaliphatischen Harzen wird von den Produzenten eine sehr gute Lichtbeständigkeit attestiert.

Die Einbeziehung eines der im BMBF-Projekt entwickelten Epoxidharz in die Versuche war nicht zu realisieren, da der Beschaffung dieser Harze große Schwierigkeiten entgegenstanden.[114]

4.3.4 Auswahl weiterer Festigungsmittel

In der gesichteten Literatur wurde häufiger von der Verwendung von Paraloid B 72-Lösungen für die Sicherung oder Fixierung verlustgefährdeter Glasur wie auch für die Festigung von Terrakotta berichtet. Auch Radujkovic verwendete dieses Acrylharz in ihrer Diplomarbeit. Daher erschien es sinnvoll, hieran anzuschließen und Paraloid B 72 in das Untersuchungsprogramm aufzunehmen.

- Paraloid B 72 ist eine Acrylharz der Fa. Rohm und Haas. Es ist ein Copolymer aus 70 % Ethylmethacrylat und 30 % Methylacrylat mit einem Glasübergangsbereich um 40° C. Aufgrund seiner sehr guten UV-Beständigkeit ist es alterungsstabil, d.h. es vergilbt nicht und bleibt auch nach langer Zeit löslich. Es besitzt eine gute Beständigkeit gegen Wasser, saure und basische Lösungen sowie gegen Mikroorganismen und Salze. Es ist löslich in aromatischen und chlorierten Kohlenwasserstoffen, in Estern, Ketonen und Ethylenglykolether. Die Viskosität einer 10 %-igen Lösung in Toluol, dem am häufigsten verwendeten Lösemittel, ist infolge des niedrigen Molekulargewichts von ca. 900 g/mol mit 5,8 mPas relativ gering. In anderen Lösemitteln gelöst variiert die Viskosität zwischen 2,7 und 59 mPas.[115]

Wünschenswert erschien auch die Einbeziehungung eines sog. Glas-ORMOCER®s in die Untersuchungen, da es ebenfalls von Radujkovic im Rahmen ihrer Diplomarbeit für die Glasurfixierung eingesetzt worden war. Es handelt sich bei diesem Produkt um ein organisch-anorganisches Hybridmaterial, das von der Fraunhofer Gesellschaft für Silikatforschung entwickelt wurde, und gewöhnlich in Abmischung mit Paraloid B 72 eingesetzt wird. Aus zeitlichen und organisatorischen Gründen ließen sich Versuche mit diesem Material nicht realisieren.

Häufig wird in der Literatur auch über Festigungen keramischer Materialien mit Kieselsäureethylester berichtet. Der Vorteil dieser Festigertyps liegt v.a. im hydrophilen Charakter der gefestigten Materialien

---

[113] Angabe nach UNI-Normen. Vermutlich handelt es sich um italienische Normen.

[114] In Gesprächen mit Herrn Dr. Nils Hoffmann und Prof. Dr. Klaus Littmann stellte sich heraus, daß aufgrund personeller Wechsel bei dem damaligen Hersteller des Harzes, der Bakelite AG in Duisburg, eine erneute Synthese der seinerzeit in kleinen Mengen als Versuchsprodukte hergestellten Harze nicht ohne weiteres möglich ist. Eine kommerzielle Herstellung für den Markt wurde nicht aufgenommen.

[115] Horie, C.V. (1987): Materials for conservation. Organic consolidants, adhesives and coatings, S. 107; Ciabach, Jerzy (1998): Zywice i tworzywa sztuczne stosowane w konserwacji zabytków (Kunstharze und Kunststoffe in der Konservierung), S. 121 f.

nach Abschluß der Gelbildung. Dies ist insbesondere bei der Notwendigkeit von salzvermindernden Maßnahmen nach einer Vorfestigung und/oder bei der Verwendung von Injektionsmassen auf der Basis wässriger Bindemittel nach einer Festigungsmaßnahme von Vorteil. Nachteilig ist dagegen der für Kieselsäureester typische starke Anstieg des Elastizitätsmoduls. Daher wurde einer elastifizierten Sorte der Vorzug gegeben.

- Funcosil® KSE 300 E der Fa. Remmers hat einen Kieselsäureethylestergehalt über 40 M.-% und eine Gelabscheidungsrate von ca. 300 g/l. Im technischen Datenblatt werden keine Angaben zum verwendeten Lösemittel und zur elastifizierenden Komponente gemacht. Die Gelbildung soll bei 20°C und 50 % rH nach ca. 3 Wochen abgeschlossen sein. Nach eigenen praktischen Erfahrungen mit diesem und anderen Kieselsäureestern kann eine vorübergehende Hydrophobie der gefestigten Substrate jedoch noch über einen wesentlich längeren Zeitraum anhalten. Verschiedenen Veröffentlichungen ist zu entnehmen, daß der Elastifizierungseffekt nicht sehr hoch ist.[116] Im Vergleich zu nicht elastifizierten Kieselsäureesterfestigern vermindert sich der Anstieg des Elastizitätsmoduls nur um etwa 20 %. Das Produkt wurde daher für die Festigungsversuche 1:1 mit Ethanol verdünnt, in der Absicht, hierdurch bei ausreichendem Festigkeitszuwachs den E-Modul-Anstieg zu begrenzen.

Schließlich wurde ein Hybridfestiger aus Kieselsäureethylester Funcosil® KSE 300 E und Paraloid B 72 verwendet. Zunächst wurde versucht, den Paraloidanteil direkt im Kieselsäureester zu lösen, in der Annahme, daß sich Ester der Acrylsäure in Estern der Kieselsäure lösen lassen.[117] Da diese Versuche fehlschlugen, wurde das Acrylat in Xylol gelöst dem KSE-Produkt zugesetzt.

4.3.5 Auswahl der Lösemittel

Zur Auswahl geeigneter Lösemittel für die Herstellung der Epoxidharzlösungen wurden zunächst relevante Literaturdaten zusammengestellt.[118] Sie betreffen das Lösungsvermögen, das kapillare Anstiegsvermögen, das im wesentlichen durch Oberflächenspannung und Viskosität bestimmt wird, die Flüchtigkeit sowie toxikologische Gesichtspunkte. Eine Übersicht gibt die folgende Tabelle, wobei die besonders geeignet erscheinenden Lösemittel gelb hervorgehoben sind.
Nach den Untersuchungen von Domaslowski sind Mischungen aus einem Aromat und einem Alkohol die geeignetste Lösemittelkombination für Lösungen von Dianharzen. Wohl aufgrund der relativ guten Penetrationsgeschwindigkeit wurde die Kombination Toluol/Methanol favorisiert. Aus toxikologischen Gründen erschien mir die Lösemittelkombination Xylol und Ethanol vorteilhafter, trotz ihrer langsameren kapillaren Eindringgeschwindigkeit. Das geringere Schädigungspotential von Xylol im Vergleich zu Toluol resultiert nicht nur aus einer geringeren toxikologischen Wirkung, sondern ist v.a. Folge der geringeren Verdunstungsgeschwindigkeit. Die meisten Versuche wurden daher mit Lösungen von Epoxidharz in Xylol und Ethanol durchgeführt. Zusätzlich wurden Untersuchungen mit Harzlösungen in Toluol und Aceton vorgenommen, da diese Lösemittelkombination im Thüringer Raum bevorzugt verwendet wurde.
Für die Verdünnung des elastifizierten Kieselsäureesters wurde 99 %-iges, mit MEK vergälltes Ethanol verwendet.

[116] Boos, Markus, Sattler, Ludwig (2001): Vergleichende Untersuchung zur Wirkung unterschiedlicher Steinfestiger auf Basis Kieselsäureester, in: Grobe, Joseph (Hg.): Natursteinkonservierung - Grundlagen, Entwicklungen und Anwendungen, S. 41
[117] Diesen Hinweis verdanke ich Herrn Dipl.-Rest (FH) Olaf Pung.
[118] Die Angaben beruhen hauptsächlich auf Pietsch, Annik (o. J.): Lösemittel. Ein Leitfaden für die restauratorische Praxis, und den bereits mehrfach zitierten Untersuchungen von Prof. Dr. Domasłowski.

Bezeichnung	Stoffklasse	Lösungs-vermögen für BAD-GE-Harze[119]	Oberflä-chen-spannung [mN/m, bei 20°C]	Viskosität [mPas bei 20°C]	Eindring-geschwin-digkeit im Vergleich zu Wasser [+ %][119]	Retention	Verdun-stungs-zahl	MAK-Wert [ppm]	Schäd lich-keits-fak-tor[120]	zusam-menfas-sende Bewer-tung
Toluol	Aromat	stark	29,1	0,54	+ 78	schwach	6,1	50	32,8	O
Xylol	Aromat	stark	29,0	0,56	+ 122	schwach	13,5	100	7,4	+
Dioxan	heterocycli-scher KW	stark	33,7	1,15	+ 244	sehr stark	7,3	20	68,5	- -
Ethylacetat	Ester	ja	24,7	0,41	+ 111	mittel	2,8	400	8,9	+
n-Butylacetat	Ester	ja	25,7	0,64	-	mittel	12	100	8,3	O
Aceton	Keton	stark	24,9	0,31	+ 44	mittel	2,1	500	9,5	O / +
Butanon	Keton	stark	25,1	0,36	+ 78	mittel	6,3	200	7,9	+
Cyclohexanon	cyklisches Keton	stark	34,8	2,10		mittel	40	20	12,5	- -
Cyclohexanol	cyclischer Alkohol	stark	34,2	56,20						- -
Diethylenglykol	zweiwertiger Alkohol	stark	45,7	38,00						- -
Methanol	Alkohol	schwach	23,8	0,52	+ 133	mittel	6,3	200	7,9	O / -
Ethanol	Alkohol	schwach	22,9		+ 344	mittel	8,3	500	2,4	O / +
i-Propanol	Alkohol	schwach	21,7	2,22	+ 778	mittel	11	200	4,5	-
n-Butanol	Alkohol	schwach	um 23,5	2,96		mittel	33	100	3,0	
Testbenzin	KW	keins	17,9	0,89	+ 233	schwach				O

Tabelle 2: Zusammenstellung einiger relevanter Eigenschaften von Lösemitteln

4.3.6 Ansetzen der Epoxidharzlösungen

Für alle Voruntersuchungen sowie für die Festigungsversuche an den Modellpräparaten wurden die Harzlösungen nach folgendem Schema angesetzt:
Die Abmessung der Lösungsbestandteile erfolgte nach Gewicht auf der Waage Mettler Toledo PB 3002 (Max 3.100 g, Min 0,5 g, Auflösung 0,01g, Meßunsicherheit ± 0,1 g). Die Verwendung dieser relativ ungenauen Waage war notwendig, da für das Ansetzen der Lösungen Glasgefäße von 500 ml Fassungsvermögen verwendet wurden. Deren Gesamtgewicht mit Lösungsinhalt überstieg den Wägebereich von 300 g, den eine genauere Waage aufwies (Mettler PJ 300, Max 300 g, Auflösung 0,001 g, Meßunsicherheit ± 0,01 g).
Zunächst wurde das jeweilige Epoxidharzanteil in das Gefäß eingewogen, hiernach das jeweils gewählte aromatische Lösemittel (Xylol oder Toluol). Anschließend wurde nach kurzem Vorschütteln von Hand 5 Minuten mittels Magnetrührer gerührt. Hierauf wurde das Lösungsmittel 2 eingewogen (Ethanol oder Aceton) und erneut 5 Minuten gerührt. Dieser Harzlösung wurde die berechnete stöchiometrische Härtermenge mittels Spritzen und ggf. Kanülen zugewogen und erneut 5 Minuten gerührt. Der Zeitpunkt der Härterzugabe wurde notiert.

Alle genannten Harze und Härter gelten als potentiell sensibilisierend, die Härter sind überdies ätzend, z.T. auch giftig. Bei der Verarbeitung muß konsequent mit Schutzbrille und Schutzhandschuhen gearbeitet werden. Aufgrund der Verdunstung der Lösemittel und der bei einigen Produkten in geringem Maße gegebenen Flüchtigkeit von Harz und/oder Härter sollte mit Atemschutzmaske oder unter dem Abzug gearbeitet werden.

[119] Domaslowski, Wieslaw (1966): Badania nad strukturalnym wzmacnianiem kamieni roztworami zywic epoksydowych, in: Bibliotheka Muzealnictwa i Ochrony Zabytków, S. 135, Tabelle 33
[120] Der Schädlichkeitsfaktor wird berechnet aus der Zahl 10.000, dividiert durch das Produkt aus MAK-Wert und Verdunstungszahl. Durch die Berücksichtigung der Verdunstungsgeschwindigkeit ergibt sich eine praxisnähere Einschätzung der Gefährdung. Je höher der Betrag des angegebenen Schädlichkeitsfaktors, desto höher ist das Gefährdungspotential. Pietsch, Annik (o. J.): Lösemittel. Ein Leitfaden für die restauratorische Praxis, S. 31 f.

4.3.7 Stöchiometrische Berechnungen zur Dosierung der Härter

Eine optimale Aushärtung von Epoxidharzen setzt u.a. voraus, daß die jeweils stöchiometrisch benötigte Härtermenge, bezogen auf die Masse des Epoxidharzes, zugegeben wird. Eine zu geringe Härterdosierung hat eine unvollständiges Ausreagieren des Epoxidharzes zur Folge. Doch auch ein Härterüberschuß kann die Eigenschaften des abgebundenen Harzes verschlechtern, z.B. die Vergilbung begünstigen.
Meist können den technischen Merkblättern der Hersteller entsprechende Angaben zur Härterdosierung entnommen werden. Doch nicht immer liegen für die jeweils verwendete Harz-Härter-Kombination solche Angaben vor. Außerdem handelt es sich hierbei um Durchschnittswerte. Infolge herstellungsbedingter Eigenschaftsschwankungen der Epoxidharze variiert die tatsächlich benötigte Härtermenge je nach Produktionscharge leicht. Eine genaue Berechnung des jeweils benötigten Härteranteils ist möglich, wenn das Epoxidäquivalent und das Aminäquivalent in [g/mol] der jeweiligen Charge bekannt ist. Das Epoxidäquivalent gibt an, wieviel Gramm des Epoxidharzes exakt 1 Gramm epoxidisch gebundenen Sauerstoffes enthalten, das Aminäquivalent gibt an, wieviel Gramm des Aminhärters ein Mol reaktionsfähige, an Stickstoff gebundene H^+-Ionen enthalten.
Für die Berechnung des Härteranteils in M.-% des Harzanteils werden diese Angaben in folgende Formel eingesetzt:

$$\text{Härteranteil [M.-\%]} = \frac{\text{Aminäquivalent} \times 100}{\text{Epoxidäquivalent}} \qquad (1)$$

Für die Epilox-Harze der Fa. Leuna-Harze lagen entsprechende Analysedaten vor.[121] Eine Berechnung des Härteranteils war für jene Rezepturen, bei denen zwei verschieden Harzsorten gemischt wurden, ohnehin erforderlich und wurde daraufhin für alle verwendeten Harz-Härter-Kombinationen der Fa. Leuna-Harze durchgeführt. Dagegen erfolgte die Härterdosierung bei den italienischen Produkten Eurostac EP 150/9 und EP 2101 nach Herstellerangaben.

Nr.	Harztyp	Epoxid-äquivalent [g/mol]	Härtertyp	Amin-äquiva-lent [g/mol]	Stöchiome-trische Härter-menge in M.-% des Harzanteils	berichtigte Härter-menge
1A	Epilox A 19-00 (80 M%) Epilox P 13-20 (20 M%)	174,6	Epilox Härter DPTA	26	15,015	14,891
1B	Epilox A 19-00 (80 M%) Epilox P 13-20 (20 M%)	174,6	Epilox Härter H 10-34	93	53,707	53,265
2A	Epilox A 19-00	182	Epilox Härter DPTA	26	14,286	
2B	Epilox A 19-00	182	Epilox Härter H 10-34	93	51,099	
3A	Epilox P 13-20	145	Epilox Härter DPTA	26	17,931	
3B	Epilox P 13-20	145	Epilox Härter H 10-34	93	64,138	
4	Epilox P 22-00	223	Epilox Härter H 10-34	93	41,704	
5	Eurostac resina 150/9	k.A.	Eurostac indurente 150/9	k.A.	26,000	
6	Eurostac resina 2101	k.A.	Eurostac indurente K 2102	k.A.	20,000	

Erläuterung: k.A. keine Angaben des Herstellers verfügbar

Tabelle 3: Stöchiometrisch erforderliche Härtermenge bei den untersuchten Harz-Härter-Kombinationen

Fehlerbetrachtung:

Wie der Tabelle entnommen werden kann, unterlief bei der Berechnung der stöchiometrischen Härtermenge für die Mischharze Nr. 1A und 1B ein Fehler, der erst nach Abschluß aller Vorversuche und nach der Tränkungen der Modellpräparate bemerkt wurde. Demzufolge wurden den Lösungsansätzen jeweils ein Überschuß von 0,83 M.-% Härter zugegeben. Nachfolgend soll dieser Fehler in Bezug zu der erreichbaren Wägegenauigkeit gesetzt werden. Die maximale verwendete Lösungskonzentration betrug 20 %. Der größte Einzelansatz hatte eine Masse von 500 g (Harz plus Lösemittel). Der Harzanteil beträgt demnach 100 g. Bei Verwendung des aliphatischen Aminhärters Epilox H 10-34 beträgt die überschüssige Härtermenge dabei 53,707 - 53,265 g = 0,442 g. Bei Verwendung des DPTA-Härters wurden nur 10 %-ige

[121] s. Anhang 7, Technische Merkblätter und Sicherheitsdatenblätter der verwendeten Materialien

Lösungen hergestellt. Bei einem Lösungsansatz von 500 g wurden demnach zu 50 g Harz 7,501 g statt 7,446 g Härter gegeben. Der überschüssige Härteranteil beträgt 0,055 g. Im Verhältnis zur Meßunsicherheit der verwendeten Waage von ± 0,1 g sind diese Fehlerbeträge als gering zu bezeichnen, zumal die notwendige Härtermenge über- und nicht unterschritten wurde. Durch den dargestellten Berechnungsfehler in der Härterdosierung ist keine relevante Beeinflussung der Untersuchungsergebnisse zu erwarten.

5. Untersuchungsmethoden

5.1 Charakterisierung der Füllstoffe der Injektionsmörtel

5.1.1 Bestimmung der Schüttdichte in Anlehnung an DIN EN 1097-3 (Juni 1998)[122]

Das Volumen der verwendeten Füllstoffe hängt in starkem Maße von der Mahlfeinheit, der Kornform und der Reindichte ab. Bei der Rezeptierung führte daher der Austausch einzelner Füllstoffe bei gleichen Gewichtsteilen zu sehr unterschiedlichem Füllungsgrad der Injektionsmassen. Dies erschwert eine vergleichende Beurteilung des Einflusses unterschiedlicher Füllstoffe auf die Mörteleigenschaften. Daher ist es vorteilhafter, zur Bemessung des Füllstoffanteils die Schütt- und/oder die Stampfdichte heranzuziehen. Da entsprechende Angaben nur für einige Produkte vorlagen und die Vergleichbarkeit dieser Angaben nicht gesichert war, wurden die Schüttdichten durch eigene Messungen in Anlehnung an DIN EN 1097-3 bestimmt.
Die Schüttdichte ist definiert als Quotient aus der Masse des unverdichteten Füllstoffs in einem festzulegenden Meßgefäß durch dessen Volumen. Zur Berechnung dient folgende Formel:

$$Schüttdichte = \frac{Masse_2 - Masse_1}{Volumen} \qquad (2)$$

wobei $Masse_1$ die Masse des leeren Meßgefäßes und $Masse_2$ die Masse des befüllten Gefäßes ist.

Als Meßbecher wurde ein Edelstahlbehälter der Fa. VMA-Getzmann verwendet. Sein Volumen wurde durch Befüllen mit Wasser von 20° C Temperatur mit 279,87 ml bestimmt, wobei durch das Aufschieben einer Glasplatte eine Meniskusbildung oder unvollständige Becherfüllung ausgeschlossen wurde. Die Gewichtsbestimmungen erfolgten mit der Waage Mettler Toledo PB 3002 (Max. 3100 g, Auflösung 0,01 g, Meßunsicherheit ± 0,1 g).
Die Füllstoffe wurden nach Trocknung für 24 h bei 105°C und Abkühlung im Exsikkator über Silicagel zunächst in ein größere Schüssel gegeben und durch längeres Durchmischen aufgelockert. Dies erwies sich als notwendig, da in Abweichung zur genannten DIN, Mehrfachmessungen an ein und derselben Füllstoffprobe statt an mehreren Einzelmeßproben durchgeführt wurden. Hierbei ergab sich eine fallende Tendenz der ermittelten Massen, die nach einer Füllstoffauflockerung in der beschriebenen Weise vor Meßbeginn nicht mehr auftrat.
Nach der Auflockerung wurden die Füllstoffproben vorsichtig mit einer Laborschaufel in das Meßbehältnis eingefüllt und unter möglichster Vermeidung einer Verdichtung an der Oberfläche mit einem Metallspachtel bündig abgezogen und gewogen.
Je Füllstoff wurden 4 Einzelmessungen durchgeführt. Die Einzelmeßwerte und ihre statistische Auswertung sind im Anhang 2 protokolliert.

5.1.2 Lasergranulometrie

Die Untersuchungen wurden dankenswerterweise von der Fa. Dörentrup Quarz GmbH & Co KG, Duhingen, mit einem CILAS-Granulometer Typ 920 Nummer 202T durchgeführt.
Etwa 0,2 g der zu untersuchenden Probe wird für 60 Sekunden mittels Ultraschall in Wasser dispergiert und die Suspension mit einem Laserstrahl durchleuchtet. Anhand der Lichtbeugung ist eine genaue Analyse der Korngrößenverteilung im Korndurchmesserbereich von 0,7 bis 400 µm möglich (Durchgangswerte). Je Meßprobe werden 20 Einzelmessungen durchgeführt und gemittelt. Die Meßergebnisse werden tabellarisch und als Diagramm ausgegeben. Zusätzlich werden die 50, 95 und 97 %-Werte der Durchmesser in [µm] angegeben und die spezifische Oberfläche in [cm^2/g] berechnet.
Die Meßprotokolle sind im Anhang 2 dokumentiert.

[122] DIN EN 1097-3 (Juni 1998): Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen. Teil 3: Bestimmung von Schüttdichte und Hohlraumgehalt

5.2 Untersuchungsmethoden von Frischmörteleigenschaften

Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungsmethoden dienen der Charakterisierung der Frischmörteleigenschaften. Sie bilden zugleich die Grundlage für die angestrebte Optimierung der Mörtelrezepturen in der Rezeptierungsphase und für die Auswahl von Injektionsmörteln für weiterführende Untersuchungen (Haftzugfestigkeitsmessungen). Die Untersuchungen beziehen sich auf das Fließ- und Penetrationsvermögen, die Sedimentationsgeschwindigkeit und die Kanülengängigkeit.

5.2.1 Charakterisierung des Fließvermögens mittels Auslaufbechers

Für die Untersuchung des Fließvermögens wurde ein Auslaufbecher verwendet, wie er z.B. für die Qualitätskontrolle von Lacken und Anstrichstoffen üblich ist. Es handelt sich um einen Aluminiumbecher von 100 ml Inhalt mit austauschbaren Düsen aus poliertem Edelstahl. Das Modell entspricht aufgrund der auswechselbaren Düsen und der geringen Länge der Auslaßöffnungen nicht den Vorschriften der EN ISO 2431 (Mai 1996). Es wurde durchgängig eine Auslaufdüse mit einem Öffnungsdurchmesser von 2 mm verwendet.

Zur Durchführung der Messung wird die Düsenöffnung mit einem Finger verschlossen, der Injektionsmörtel in den Trichter gefüllt und der Meniskus mit einer Petrischale bündig abgestrichen. Die Messung beginnt mit Freigabe der Düsenöffnung und endet mit dem ersten Abreißen des Flüssigkeitsfadens an der Düsenöffnung.

Fließeigenschaften sind stark temperaturabhängig, da die innere Reibung von Flüssigkeiten mit steigender Temperatur abnimmt. Für eine uneingeschränkte Vergleichbarkeit der Meßergebnisse ist daher die Temperierung der zu untersuchenden Flüssigkeiten und des Auslaufbechers in einem engen Temperaturintervall Voraussetzung. Dies war aufgrund der stark schwankenden Raumtemperaturen im Untersuchungszeitraum (20 bis 30° C) und der je nach Rezeptur und Mischparametern unterschiedlichen Erwärmung der Mörtel während des Dispergierens nicht zu realisieren. Bei der Reinigung des Auslaufbechers unter fließendem Wasser ergaben sich je nach Wassertemperatur zusätzliche Temperatureinflüsse.
Die Temperatur des ausfließenden Mörtels wurde mit einem elektronischen Laborthermometer erfaßt.[123] Die ermittelten Mörteltemperaturen während der Rezeptierungsphase liegen für die Injektionsmörtel auf der Basis von Syton X 30 zwischen 22,6° und 26,3° C, für die Injektionsmassen auf der Basis der Nanokompositdispersion zwischen 24,3° und 29,4° C, für die HGZ-Injektionsmörtel zwischen 28,3° und 32,4° C. Die Meßergebnisse der Auslaufzeit sind damit v.a. zwischen den verschiedenen Bindemittelgruppen nur eingeschränkt vergleichbar. Die gemessenen Temperaturen wurden in den Untersuchungsprotokollen dokumentiert. Damit wird eine eingeschränkte Bewertung der Auslaufzeiten trotz der Temperaturschwankungen möglich.

5.2.2 Untersuchung des Penetrationsvermögens

Der Versuch wurde in Anlehnung an Knöfel[124] und Böttger[125] durchgeführt. Meßprinzip ist die Bestimmung der Zeitdauer, die Injektionsmörtel zur vollständigen Durchdringung einer Sandschüttung definierter Korngröße und Füllhöhe in einem Glasgefäß benötigt. Die genannten Autoren schlagen vor, den Überstand des Injektionsmörtels über der Sandschüttung während der gesamten Versuchsdauer konstant auf 20 mm zu halten.
Als Glasgefäße wurden Reagenzgläser mit einem Außendurchmesser von 16 mm und einer Höhe von 160 mm verwendet, die mit einem Sand der Kornklasse 1 bis 2 mm auf eine Höhe von 110 mm befüllt wurden.[126] Die Wahl der Kornklasse folgt der Versuchsdurchführung bei Böttger. Um den Versuchsablauf möglichst einfach und reproduzierbar zu gestalten, wurde ein Mörtelvolumen von 7 ml in einem Zuge

[123] Bravo® Electronic Thermometer Fa. Hanna Instruments Deutschland GmbH, Kehl/Baden. Meßbereich –40,0 bis 99,9° C, Auflösung 0,1° C, Meßunsicherheit laut Kalibrierprotokoll ± 0,2° C
[124] Knöfel, D., Schubert, P. (Hg., 1993): Handbuch Mörtel und Steinergänzungsstoffe in der Denkmalpflege, S. 155 f., Abschnitt 4.4.1.2 Penetration in mit Sand gefüllte Gläser
[125] Böttger, K. G. (1997): Mörtel für die Erhaltung historischer Kalkputze. Haftmörtel, Hinterfüllmörtel und Kalkputze. Dissertation an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar, S. 50 f., Abschnitt 3.2.4 Penetrationsverhalten
[126] Verwendet wurde ein Grubensand aus Kirchhellen nach entsprechender Maschinensiebung.

innerhalb einer Zeitspanne von 10 Sekunden mittels Injektionsspritze auf die Sandschüttung gegeben.[127] Zwar nimmt der hydrostatische Druck durch diese Änderung in der Versuchsdurchführung im Verlauf der Messung mit fortschreitender Mörteleindringung ab, doch wird die Aussagekraft der vergleichend angelegten Untersuchung hierdurch nicht geschmälert.
Die Wahl der Körnung und die Art ihrer Verdichtung hat einen großen Einfluß auf das Meßergebnis und seine Wiederholbarkeit. Ideal wäre eine Schüttung aus Kugeln gleicher Größe, da hiermit am ehesten ein definierter Porenraum erzeugt werden kann. Böttger erzielte die geringste Streuung der Meßergebnisse bei Verwendung von Normsand und einer Auflockerung des Sandbettes durch ein mehrmaliges Kippen und Drehen des Reagenzglases. Als Alternative kam eine Verdichtung der Schüttung in Betracht.
Eigene Vorversuche zeigten, daß bei einer Auflockerung des Sandbettes in der beschriebenen Weise schon kleinste Erschütterungen während der Versuchsdurchführung zu einer Verdichtung der Sandfüllung führten. Stabile Versuchsbedingungen wurden dagegen nach einer Verdichtung mittels Vibrationstisch erreicht. Die Verdichtung erfolgte für 5 Sekunden mit einem Vibrationstisch.[128] Es wurde so oft Sand nachgefüllt oder ausgeschüttet, erneut auflockert und verdichtet, bis der Füllstand des verdichteten Sandes der angestrebten Höhe von 110 mm entsprach. Wiederholungen des Verdichtungsvorgangs nach erneutem Aufschütteln der Reagenzglasfüllung zeigten, daß die Verdichtung weitgehend reproduzierbar ist.

Zunächst waren die Meßergebnisse der Eindringzeit keineswegs reproduzierbar. Die Einzelmeßwerte bei Stichprobengrößen von 7 Röhrchen schwankten in einem Maße, das keine statistische Auswertung erlaubte. Auch als die Sandfüllung durch Glaskugelschüttungen ersetzt wurde, konnte keine wesentliche Verbesserung erzielt werden. Die Unregelmäßigkeiten betrafen v.a. auch das sehr ungleichmäßige Eindringen des Mörtels. Es bildeten sich dünne Mörtelfahnen, die bevorzugt entlang der Reagenzglaswandung hinabwanderten, während der Mörtel an anderer Stelle verharrte. Hierdurch war eine Bestimmung des Eindringhorizontes zu bestimmten Zeitpunkten gänzlich unmöglich. Offenbar verhinderte das Luftvolumen in der Sandschüttung ein gleichmäßiges Eindringen einer geschlossenen Mörtelfront.
Als Maß des Penetrationsfortschritts wurde daraufhin das Absinken des Mörtelspiegels definiert, das mittels einer aufgeklebten Millimeterskala gut zu verfolgen war. Reproduzierbare Meßwerte konnten aber auch hierdurch nicht erzielt werden. Eine durchschlagende Verbesserung trat erst ein, als in den Reagenzglasboden mittels Zahnarztbohrer ein kleines Loch von etwa 1 mm Durchmesser gebohrt wurde, durch das die eingeschlossene Luft entweichen konnte.[129] Mit nur drei Parallelmessungen und bei Verwendung der genannten Sandschüttung konnten nun sehr geringe Meßwertstreuungen erzielt werden.
Trotzdem wurde weiterhin das Absinken des Mörtelspiegels als Maß des Penetrationsfortschrittes beibehalten. Notiert wurden die maximale Eindringtiefe der Injektionsmörtel nach 3, 8, 15 und 30 Minuten sowie nach 1 und 2 Stunden, zudem der Zeitpunkt des erstmaligen Erreichens des Reagenzglasbodens. Gleichfalls wurde der zu diesem Zeitpunkt erreichte Verfüllungsgrad prozentual abgeschätzt, wie er sich an der Reagenzglaswandung abzeichnete, und die Höhe des Injektionsmörtelspiegels zu diesem Zeitpunkt festgehalten.
Selbstverständlich beeinflußt die Mörteltemperatur nicht nur die Auslaufzeit sondern auch die Geschwindigkeit der Mörteleindringung. Wie bereits erläutert, war Temperaturkonstanz nicht gegeben. Daher gelten auch für die Meßergebnisse der Penetrationsmessung die im vorherigen Unterkapitel angesprochenen Einschränkungen hinsichtlich der Vergleichbarkeit der Meßergebnisse.

5.2.3 Bestimmung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Je Injektionsmörtel wurden 3 Reagenzgläser mit 20 ml Mörtel befüllt und mit Parafilm verschlossen. Gemessen wurde sowohl die Flüssigkeitsabsonderung im oberen Teil der Mörtelsäule als auch der Sedimentationshorizont am Boden der Reagenzgläser. Dieser Bodensatz war erst sicher zu erkennen, sobald der Sedimentationshorizont die Abrundung des Reagenzglasbodens überstieg (Höhe ca. 7 mm). Die Zeitabstände der Messungen betrugen 0,25 h, 0,5 h, 1 h, 2 h, 1 Tag, 2 und 7 Tage.

---

[127] Aus dem Innendurchmesser der Reagenzgläser von 14 mm ergibt sich nach der Formel $r^2 \bullet \pi$ ein Querschnitt von 154 mm². Bei Multiplikation des Durchmessers mit der Höhe des verbliebene Luftraums von 50 mm oberhalb der Sandschüttung ergibt sich ein Volumen von 7,7 ml.
[128] Vibrator KV 26 der Fa. Wassermann Dentalmaschinen GmbH, Leistung 70 W, Stufe 1: 3000 Schwingungen/min, Stufe 2: 6000 Schwingungen/min. Die Verdichtung erfolgte mit Stufe 2.
[129] Die Perforierung nahm dankenswerterweise meine Zahnärztin, Frau Drewniak aus Hildesheim, vor.

5.2.4 Kanülengängigkeit

Ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit von Injektionsmörteln ist deren Applizierbarkeit. Ideal ist die Injizierbarkeit mit sehr geringen Kanülendurchmesser, um auch enge Hohlräume verfüllen zu können. Die Kanülengängigkeit der Hinterfüllmörtel wurden mit Kanülen der Durchmesser 0,6, 0,8, 1,0 und 1,5 mm, selten auch mit 0,4 mm überprüft. Beurteilt wurde dabei der notwendige Preßdruck und die Gleichmäßigkeit des Mörtelflusses. Die Einschätzung hat subjektiven Charakter.

5.3 Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Rißbildung, Verformung und Haftung

Aus Kunststoffabflußrohren mit einem Durchmesser von 50 mm wurden Ringe von ca. 5 mm Höhe gesägt[130] und mit Polyethylen-Heißkleber auf Glasplatten und auf engobierten Keramikplatten[131] aufgeklebt. In diese Ringformen wurden mittels einer Injektionsspritze die Hinterfüllmörtel eingebracht, wobei auf den Glasuntergrund jeweils 8 ml und auf die Terrakottaplatten 10 ml aufgegeben wurden. Die Keramikplatten wurden bei ca. 20° C/ 50 % rF gelagert.
Bei allen Mörteln war nach einer Zeitspanne von einer Woche optisch keine Veränderungen mehr festzustellen. Nach etwa 7-14 Tagen wurde das Erscheinungsbild der Mörtel nach den Kriterien Erhärtungsschwinden, Rißausbildung, Verformung, Phasentrennung, Oberflächenglanz beschrieben und fotografisch dokumentiert. Anschließend wurden die Ringformen nach Anquellen des Heißklebers mit Ethylalkohol abgelöst und die Haftung der Mörtelscheiben am Untergrund mittels vorsichtigen Hebelns mit einem Skalpell abgeschätzt.

5.4 Kennwertermittlung an Mörtelprismen

Für eine umfassende Eignungsbeurteilung von Injektionsmörteln sollten neben den genannten Frischmörteleigenschaften und Haftzugfestigkeitswerten auch die folgenden Kenngrößen herangezogen werden:

- Erhärtungsschwinden
- hygrische und thermische Dehnung
- dynamischer Elastizitätsmodul
- Wasseraufnahmegrad
- Kapillaraszension (w-Wert)

Entsprechende Untersuchungen setzen die Herstellung von Injektionsmörtelprismen und keramischer Vergleichskörper gleicher Größe voraus. Da die angeführten Festmörteleigenschaften aus arbeitsökonomischen Gründen als Mehrfachuntersuchungen an einem Probensatz ermittelt werden sollten, war die Probengröße an den Anforderungen jener Meßmethode auszurichten, die die größte Probendimension erfordert. Diese Anforderungen werden durch die zur Verfügung stehenden Meßgeräte und ihre Meßunsicherheit bestimmt und werden nachfolgend erläutert.

Für Messungen des dynamischen E-Moduls stand ein Ultraschallmeßgerät der Fa. Geotron Elektronik zur Verfügung. Das Meßprinzip beruht auf der Erzeugung von Dehnwellen mittels Ultraschallanregung und Messung der hierbei auftretenden Resonanzfrequenz mit speziellen Dehnwellenprüfköpfen. Aus den Meßgrößen Longitudinalwellengeschwindigkeit und Dehnwellenresonanz berechnet die Software mittels FFT-Analyse die Dehnwellengeschwindigkeit und die elastischen Konstanten dynamischer E-Modul und Poissonzahl. Die Proben müssen einen runden oder quadratischen Querschnitt und eine stabförmige Geometrie aufweisen, wobei die Probenlänge das Doppelte bis Vierfache des Querschnitts betragen muß. Die Mindestgröße der Proben ist mit 20 x 10 x 10 mm festgelegt.

Messungen des Wasseraufnahmegrads und der kapillaren Sauggeschwindigkeit sind an keine bestimmte Probenform und Mindestprobengröße gebunden, sofern eine Waage mit adäquater Auflösung bzw. Meßunsicherheit zur Verfügung steht.

---

[130] Die Höhe der Ringe schwankt zwischen 4,5 und 5,5 mm.

[131] Die Massezusammensetzung des rotbrennenden Scherbens und das Brennregime der engobierten Keramikplatten entsprach den Angaben auf S. 52 f.. Als Engobe wurde ohne weiteren Zusatz in drei Lagen auf die ungeschrühten, lederharten Rohlinge aufgestrichen

Zur Bestimmung der hygrischen und thermischen Dilatation stand ein Meßgerät mit einer Meßuhr der Fa. Käfer zur Verfügung. Der Meßweg dieser Uhr beträgt 5 mm, die Skalenteilung 0,001 mm. Die Meßunsicherheit solcher einfachen mechanischen Meßinstrumente ist jedoch beträchtlich größer, als es die Skalenteilung vermuten läßt. Nach DIN 878 ist die Abweichungsspanne f_e bei einem Meßweg von 5 mm bei maximal 12 µm festgelegt.[132] Eigene Kalibriermesssungen mit Parallelendmaßen erbrachten Meßabweichungen zwischen + 7 und – 3 µm. Bezogen auf das Meßergebnis mit der Einheit [mm/m] ergibt sich bei einer Probenlänge von 100 mm eine Verzehnfachung des Meßunsicherheitsbetrages, der damit eine Größenordnung von ± 0,05 bis 0,1 mm/m annimmt. In Relation zu den erwarteten relativ geringen hygrischen Dilatationswerten keramischer Scherben von 0,1 bis 0,2 mm/m[133] bewegt sich dieser Meßunsicherheitsbetrag bereits hart an der Grenze des noch Tolerierbaren. Aus den genannten Erwägungen durfte daher bei den Injektionsmörtelprismen eine Probenlänge von 100 mm keinesfalls unterschritten werden.

Zur Quantifizierung des Erhärtungsschwindens sollte die Länge der einzelnen Prismenfächer in den Probenformen mittels einer mechanischen Schieblehre mit einer Auflösung von 0,02 mm ermittelt und mit der Länge der Prismen nach dem Ausschalen verglichen werden.[134]

5.5 Haftzugfestigkeitsmessungen

Für die Problemstellung dieser Diplomarbeit, der Fixierung verlustgefährdeter Glasurbereiche, erschien die quantitative Bestimmung der erzielten Glasurhaftung ein entscheidendes und unverzichtbares Kriterium zur Eignungsbeurteilung ausgewählter Injektionsmassen und Festigungsmittel. Daher wurde auf die Vorbereitung und Durchführung dieser Messungen besonderes Gewicht gelegt.
Radujkovic hatte in ihrer Diplomarbeit die Glasuranhaftung ihrer Modellpräparate mittels eines Klebebandes gemessen, das auf die Glasur ihrer Modellpräparate aufgebracht und mittels einer Universalprüfmaschine abgezogen worden war.[135] Im Prinzip handelt es sich hierbei um eine Schälwiderstandsmessung, bei der die aufgewendete Kraft zur Probenbreite in Bezug gesetzt wird und folglich mit der Einheit [N/mm] anzugeben wäre. Sie wird z.B. für die Haftungsmessung flexibler Bodenbeläge angewendet.[136] Für starre Körper ist sie dagegen nicht geeignet, da die eingeleiteten Kräfte aufgrund des mehr oder weniger starren Materialeigenschaft der Glasurschicht nicht linear, sondern flächig einwirken. Eine quantitative Auswertung ist folglich nicht möglich. Um eine Festigkeitsmessung im eigentlichen Sinne handelt es sich bei diesem Meßverfahren nicht, da der Begriff Festigkeit als Krafteinwirkung auf eine Fläche definiert ist. Bei dem beschriebenen Versuchsaufbau steht der aufgebrachten Kraft jedoch keine definierte Fläche in [mm²] gegenüber.

Wesentlich geeigneter sind Haftzugfestigkeitsmessungen, bei der die gesamte Glasurfläche der Modellkörper gleichmäßig auf Zug beansprucht wird. Für eine korrekte Meßdurchführung müssen die Lasteinleitungspunkte der Probe koaxial und zentrisch angeordnet sein. Andernfalls können kombinierte Spannungszustände aus Zug und Scherung entstehen. Da sich Scher- und Zugfestigkeiten mineralischer Werkstoffe in ihrem Betrag unterscheiden, ist eine Vergleichbarkeit der Meßwerte nur bei Ausschluß wechselnder Beanspruchungsarten gegeben.

---

[132] DIN 878 (10/1983): Meßuhren (Skalenteilungswert 0,01 mm); eine Normung für Meßuhren mit einem Skalenteilungswert von 0,001 µm gibt es nicht, so daß die Bestimmungen der angegebenen Norm auch für diese Gruppe von Meßuhren zutrifft. Ein Normenentwurf für Meßuhren mit einem Skalenteilungswert von 0,001 mm und einer Meßspanne von 1 mm DIN EN ISO 463 (5/1996) wurde im Juno 1998 zurückgezogen.

[133] Weiß, Gustav (1991): Keramik Lexikon. Praktisches Wissen griffbereit, Stichwort Feuchtigkeitsdehnung, S. 102; Salmang, Hermann., Scholze, Horst (1983): Keramik. Teil 2: Keramische Werkstoffe, S. 99 f.

[134] vgl. Böttger, Karl Georg (1997): Mörtel für die Erhaltung historischer Kalkputze. Haftmörtel, Hinterfüllmörtel und Kalkputze. Dissertation an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar, S. 53

[135] Radujkovic, Sonja (2000): Erhaltung farbiger Glasuren auf Terrakotta. Herstellung und künstliche Bewitterung von Modellpräparaten und Versuche zur Konservierung, S. 19 f., 84-86, 120-131

[136] s. z.B. DIN 53 278, Teil 2 (12/1978): Prüfung des Schälwiderstandes von Klebungen. Reaktionsklebstoffe für Elastomerbeläge nach DIN 16 852

Zur Realisierung einer reinen Zugbeanspruchung wurden daher auf die Probenober- und -unterseite (Glasur und Scherben) Haftzugstempel koaxial, zentrisch und planparallel aufgeklebt. Hierzu wurden die Proben zunächst nach Augenmaß zentrisch zwischen den mit Klebstoff bestrichenen Prüfstempeln positioniert. Zur planparallelen und koaxialen Ausrichtung der Stempel wurden eine Lehre und ein Druckstempel verwendet, der in einem Bohrmaschinenständer eingespannt war (Abb. 1). Die maximalen Abweichungen von einer ideal zentrischen Ausrichtung der Zugstempel konnten auf diese Weise auf maximal 1-2 mm begrenzt werden. Aufgrund der Verkrümmungen der keramischen Proben war eine streng rechtwinklige Krafteinleitung nicht zu realisieren. Die maximalen Abweichungen betragen etwa 2°. Bei Proben mit ‚Überlänge' wurden beim Aufkleben der Zugstempel durch eine entsprechende Kleberanböschung der überstehenden Probenkanten auf eine kraftschlüssige Anbindung der gesamten Probenober- bzw. -unterseite geachtet.

Abb. 1: Vorrichtung zum koaxialen und planparallelen Aufkleben der Zugstempel

Für die Klebung wurde ein relativ niedrigviskoses Epoxidharz verwendet, daß durch Einarbeiten von pyrogener Kieselsäure standfest eingedickt wurde.[137] Um eine Verfälschung der Meßergebnisse durch eine Anhaftung des Harzes an den Probenschmalseiten zu verhindern, wurden diese vor dem Aufkleben der Haftzugstempel mit Paraffin abgedichtet (Abb. 3, folgende Seite).

Bei dem Umfang von mehreren hundert Proben war eine größere Anzahl von Haftzugstempeln erforderlich, um einen zügigen Meßablauf zu ermöglichen. Aus Flachstahl des Querschnitts 20 x 40 mm wurden 140 Abschnitte der Größe 40 x 40 x 20 mm gesägt. Auf deren quadratische Grundfläche wurde mittels einer Vorrichtung zentrisch eine Mutter mit M 18-Gewinde planparallel aufgeschweißt.[138]

Die Haftzugfestigkeitsmessungen wurden im Labor für Holztechnik (LHT) in Hildesheim an der Fakultät Bauwesen der FH Hildesheim/Holzminden/Göttingen durchgeführt. Hierzu stand eine Materialprüfmaschine der Fa. Zwick des Typs Z020/TN2A zur Verfügung. Die Steuerung der oberen Traverse erfolgte wegegesteuert. Die eingeleitete Kraft wurde mit einer 20 kN Meßdose erfaßt. Gemäß Kalibrierprotokoll[139] nimmt die relative Meßunsicherheit mit ± 0,29 % bei 40 N auf ± 0,14 % im Kraftbereich zwischen 200 und 2000 N ab. Dies entspricht der Klasse 0,5 nach DIN EN ISO 7500-1 und ist damit genauer, als für die hier durchgeführten Messungen erforderlich.

[137] Araldit AY 103 mit Härter HY 991, 10:4 Gewichtsteile. Klebeversuche mit einer höherviskosen Epoxidharzsorte (Araldit AW 106 mit Härter HV 953 U, 10:8 Gewichtsteile) führten dagegen nicht zu zufriedenstellenden Ergebnissen, da sich durch die Zugabe von pyrogener Kieselsäure keine standfeste Konsistenz einstellen ließ. Die fluchtend positionierten Haftzugstempel verschoben sich hierbei nachträglich. Auch ein Acrylharz (Akemi Marmorkitt Super mit Dibenzoylperoxidhärter) und ein Polyesterharz (Airocoll Typ S Stein- und Marmorkitt mit Dibenzoylperoxidhärter) bewährten sich nicht, da sie nur sehr kurze Topfzeiten von wenigen Minuten aufweisen, bei deren Überschreiten ein Versagen der Klebung schon bei geringen Spannungen auftrat.

[138] Die Anfertigung der Haftzugstempel übernahm Saskia Detering, Studentin für Metallgestaltung an der FH Hildesheim.

[139] DKD-Kalibrierschein vom 25.04.03 für Zwick Materialprüfmaschine Z020/TN2A, Seriennr. 132842, Baujahr 1996 und 20 kN Kraftaufnehmer Typ K der Fa. GTM, einzusehen im Labor für Holztechnik der FH Hildesheim/Holzminden Göttingen, Hohnsen 2, 31134 Hildesheim

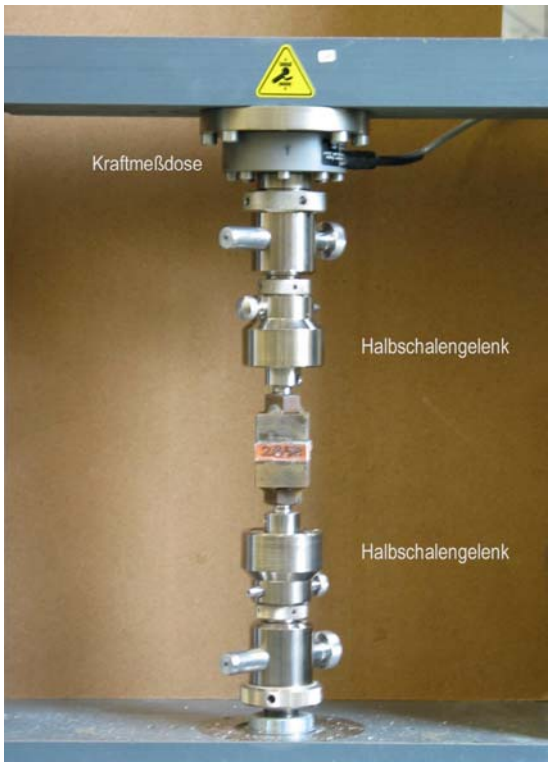


Abb. 2: Probeneinspannung in der Materialprüfmaschine Zwick Z020/TN2A

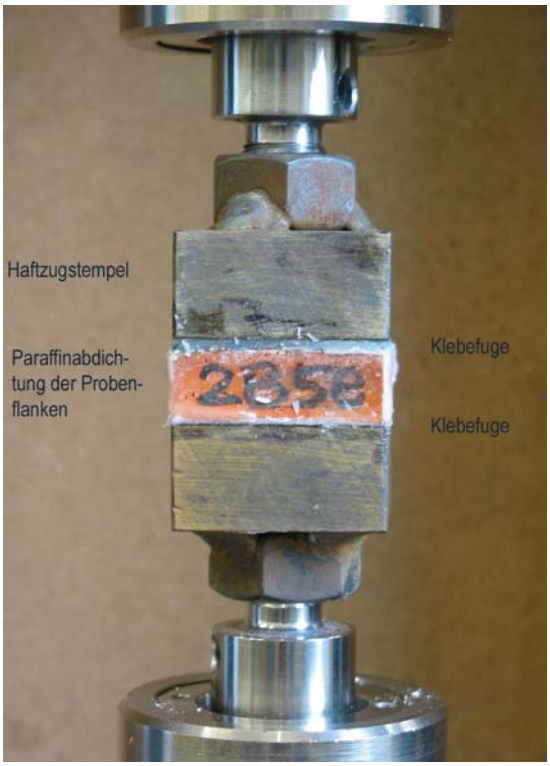


Abb. 3: Ausrichtung der Proben zwischen den Haftzugstempeln und Stempelankopplung

Die Ankopplung der oberen und unteren Prüfstempel an den Traversen erfolgte über bewegliche Halbschalengelenke, die geringfügige Abweichungen in der angestrebten zentrischen Positionierung der Zugstempel kompensieren (Abb. 2).
Die Kraftmessung wurde bei beidseitig locker eingeschraubter Probe genullt.[140] Zur Überwindung des Schlupfs in der Ankopplung und zur Realisierung eines zügigen Meßablaufs wurde eine Vorlast von 15 N mit einer Geschwindigkeit von 10 mm/min angefahren.[141] Der Kraftsteigerung erfolgte wegegesteuert bei allen Versuchen mit einheitlich 0,2 mm/min. Die Bruchabschaltschwelle wurde auf 80 % der Maximalkraft f_{max} eingestellt. Durch diese Einstellungen ergaben sich je nach Haftzugfestigkeit Prüfzeiten zwischen 10 und 70 Sekunden.
Im Anschluß an die Haftzugfestigkeitsmessungen wurden die Bruchbilder der Proben beschrieben und fotografisch dokumentiert (s. Anhang, Teil 5). Dabei sind in Anlehnung an DIN 18555, Teil 6[142], folgende Fälle zu unterscheiden:

a. Bruch in der Haftfläche Injektionsmasse/Engobe (Adhäsionsbruch)
b. Bruch innerhalb des Injektionsmörtels (Kohäsionsbruch)
c. Bruch in der Engobe oder im Scherben (Kohäsionsbruch)
d. Bruch in der Klebefuge Prüfstempel/Probe (Versuchswiederholung erforderlich)

Die Haftzugfestigkeit berechnet sich im Fall a wie folgt:

$$\beta_{HZ} = \frac{f_{\max}}{A} \qquad (3)$$

mit $ß_{HZ}$ Haftzugfestigkeit in [N/mm²], f_{max} Maximalkraft in [N] und A Fläche in [mm²], wobei die Probenmaße

[140] Das Gewicht der Proben mit beidseitig aufgeklebten Prüfstempeln betrug im Mittel 6,3 N. Auf eine Addition der Masse von unterem Prüfstempel und Probe von insgesamt etwa 4 N zur aufgebrachten Zuglast wurde bei allen Versuchen verzichtet.
[141] Eine Vorlast von 10 N erwies sich als nicht ausreichend, da sich hierbei bei einigen Messungen Prüfzeiten bis zu 5 Minuten ergaben. Da die Vorlast in die Meßwerte der Maximalkraft f_{max} eingeht, erübrigt sich eine gesonderte Berücksichtigung.
[142] DIN 18555, Teil 6 (11/1987): Prüfung von Mörteln mit mineralischem Bindemittel. Bestimmung der Haftzugfestigkeit, Abschnitt 6.2 (Bruchbilder)

vor der Paraffinisierung der Probenflanken mittels Meßschieber ermittelt wurden.

In den Fällen b und c übersteigt die Haftzugfestigkeit des Injektionsmörtels die Zugfestigkeit des keramischen Trägermaterials. Daher gilt eigentlich:

$$\beta_{HZ} > \frac{f_{\max}}{A} \qquad (4)$$

Da die Berechnung statistischer Maßzahlen mittels Tabellenkalkulationsprogramm durch die Größer/Kleiner-Zeichen erschwert wird und das Versagen des Gesamtsystems im Mittelpunkt der Betrachtung steht, wurden die Haftzugfestigkeiten bei sämtlichen Messungen mit Bruchbild a bis c einheitlich nach Formel (3) berechnet.
Im Fall d war die Messung ungültig und wurde nach erneutem Aufkleben der Prüfstempel 2 Tage später wiederholt.
Die jeweiligen Anteile der unterschiedlichen Bruchbilder wurden geschätzt und in Flächenprozent ausgedrückt. Soweit erkennbar wurde zusätzlich der flächenbezogene Verfüllungsgrad des injizierten Hohlraumes prozentual abgeschätzt und das Auftreten von Schwindrissen notiert.

Die Berechnung eines statischen Elastizitätsmoduls des Injektionsmörtels aus den Haftzugmessungen ist angesichts der geringen Probendicke und des mehrschichtigen Probenaufbaus nicht möglich, da die unterschiedlichen Dehnungsbeträge des Scherbens, der Engobe, der Injektionsmasse und des Prüfstempelklebemittels eingehen und nicht separiert werden können. Hinzu treten Schlupf und Verformungen der Materialprüfmaschine bzw. der Prüfmimik. Aus diesen Gründen erschien auch eine Dokumentation der aufgezeichneten Kraft-Wege-Diagramme im Anhang dieser Arbeit verzichtbar.

5.6 Untersuchungen zum Erhärtungsverlauf von Epoxidharzlösungen

Wie in Kapitel 4.2 dargestellt, bestehen bei der Anwendung von Epoxidharzlösungen für Festigungszwecke erhebliche Unterschiede im Härtungsverlauf je nach Harz-Härter-Kombination, Lösungskonzentration, verwendeten Lösemitteln und Temperatur, um nur die wichtigsten Einflußfaktoren zu nennen. Daher sind Versuche erforderlich, um die Eigenschaften verschiedener Lösungszubereitungen zu erkennen und gezielt für den jeweiligen Anwendungsfall günstige Formulierungen auswählen zu können.
Von besonderem Interesse sind dabei Untersuchungen des Härtungsverlaufs, da dieser die Zeitspanne bestimmt, innerhalb derer die Lösungen nach Zugabe des Härters für Tränkungen eingesetzt werden können und für die nach Abschluß der Tränkungen eine Nachklimatisierung der getränkten Objekte erforderlich ist, um ein Aufkonzentrieren der eingebrachten Harze an der Objektoberfläche durch Rückwanderung infolge Lösemittelverdunstung zu verhindern (Migration).

5.6.1 Bestimmung des Zeitpunkts einer Niederschlagsbildung aus den Lösungen

Nach Zugabe der stöchiometrischen Härtermenge wurden jeweils 20 ml der Harzlösungen in Reagenzgläser abgefüllt, mit Parafilm verschlossen und in Reagenzglasständer gestellt. Je Epoxidharzlösung wurden drei Reagenzgläser befüllt. Die Beobachtung visueller Veränderungen der Lösungen wurde mittels Fotomonitoring vorgenommen. Erste Versuche zeigten, daß eine im Internet erhältliche Steuersoftware für Webcams nicht geeignet war, da die am Markt zu erschwinglichen Preisen erhältlichen Webcams mit 480 x 640 Pixeln eine viel zu geringe Auflösung haben, um zugleich 4 Reagenzglasständer mit jeweils 12 Reagenzgläsern hinreichend auflösen zu können. Mit Erfolg wurde eine Digitalkamera der Firma Canon, Modell G 2 eingesetzt. Über die zum Lieferumfang gehörende Software kann eine computergesteuerte Aufnahmefrequenz zwischen wenigen Sekunden und 60 Minuten eingestellt werden. Die Aufnahmen werden direkt auf der Festplatte in einem anzugebenden Verzeichnis gespeichert, wobei der Aufnahmezeitpunkt Teil der gespeicherten Angaben ist. Zur Auswertung werden die Bilder zu einem beliebigen Zeitpunkt aufgerufen und in Art einer Diashow relativ schnell durchgesehen. Visuelle Veränderungen der zunächst transparenten Lösungen sind dabei aufgrund des gleichbleibenden Bildausschnitts leicht zu erkennen. Die Bildnummer, ab der die Veränderung zu beobachten ist, wird notiert und später die zugehö-

rige Uhrzeit der Aufnahme ermittelt. Auf diese Weise können diese Untersuchungen quasi „nebenher" laufen, was insbesondere bei sehr langsam reagierenden Lösungen vorteilhaft ist.[143]

5.6.2 Untersuchungen zur Viskositätsveränderung von Epoxidharzlösungen

Je nach Rezeptur kann im Reaktionsverlauf eine Veränderung der Ausgangsviskosität der Lösungen eintreten. Eine Viskositätserhöhung ist hinsichtlich der hierdurch verschlechterten Penetration des Porenraums der zu tränkenden Objekte von erheblicher Relevanz. Messungen der Viskositätsentwicklung geben damit weitere Hinweise, wie lange die Lösungen verwendet werden können bzw. bis zu welchem Zeitpunkt die Tränkung abgeschlossen sein muß, gerechnet ab dem Zeitpunkt der Härterzugabe. Da bei Viskositätsmessungen generell ein großer Einfluß der Temperatur gegeben ist, werden entsprechende Untersuchungen am besten bei isothermen Bedingungen durchgeführt. Bei Messung von zeitbedingten Viskositätsveränderungen an Epoxidharzlösungen ist dies besonders wichtig, da auch die Reaktionskinetik sehr stark von der Lösungstemperatur abhängt.
Exakte Viskositätsmessungen können mit Fallkörper-Viskosimetern z.B. nach Höppler, mit Rotationsviskosimetern und mit Kapillarviskosimetern durchgeführt werden.[144] Entsprechende Meßgeräte standen nicht zur Verfügung. Zudem werden Messungen mit entsprechenden Geräten insbesondere aufgrund der notwendigen Reinigung nach den einzelnen Messungen als zu zeitaufwendig eingeschätzt. Als Alternative kommt die Bestimmung der Auslaufzeiten mit einem Auslaufbecher in Betracht (vgl. Kap. 5.2.1). Hierbei handelt es sich nicht um eine exakte Viskositätsmessung, da aufgrund der einfache Gerätekonstruktion der statische Druck der Flüssigkeitssäule während des Meßvorgangs abnimmt, was sich als Verminderung des je Zeiteinheit ausgeflossenen Flüssigkeitsvolumens im Verlauf der Messung bemerkbar macht. Für die begrenzte Aufgabenstellung, die zeitabhängige Änderung der Lösungsviskosität infolge der Härtungsreaktion zu erfassen, ist dieses Verfahren aber geeignet. Nachteilig ist auch hier die zeitaufwendige Nachreinigung des Gerätes und die Tatsache, daß mit 100 ml ein relativ großes Lösungsvolumen je Messung benötigt wird.
Aus diesen Gründen wurde zur Abschätzung der Viskositätsentwicklung ein sehr einfaches Verfahren benutzt.[145] Von den mit der stöchiometrischen Härtermenge versetzten Lösungen wurde mittels Peleusballs ein definiertes Volumen mit einer kalibrierten Vollpipette angesaugt und durch Drücken des Auslaßventiles die Zeit bis zur Entleerung der Pipette bestimmt. Parallel dazu wurde die Temperatur der Lösung gemessen. Vorversuche zeigten, daß sich die Auslaufzeiten bei Vollpipetten von 10, 20 und 50 ml Volumen kaum unterscheiden. Sie sind mit etwa 10 bis 15 Sekunden relativ kurz, daher ist die Genauigkeit der Messungen nicht sehr hoch zu veranschlagen. Um auch mit kleinen Lösungsansätzen arbeiten zu können, wurde der Vollpipette mit 10 ml Volumen der Vorzug gegeben. Sämtliche Messungen wurden mit derselben Vollpipette durchgeführt, da die Auslauföffnungen nicht kalibriert sind. Dies macht eine sehr gute Nachreinigung erforderlich, um ein Absetzen von Epoxidharz an den Pipettenwandungen, insbesondere im Mündungsbereich, zu verhindern. Hierzu wurde nach jeder Messung mehrfach mit Aceton nachgespült. Bei dem beschriebenen Verfahren handelt es sich nicht um eine Viskositätsmessung im strengen Wortsinn. Eine Abschätzung der relativen Viskositätsentwicklung ist hiermit aber möglich.

5.6.3 Untersuchungen zur Veränderung des Brechungsindex

Es ist bekannt, daß sich der Brechungsindex von Kunstharzen bei ihrer Aushärtung verändert. Durch Meßung dieses Index mittels Refraktometer, die an den Epoxidharzlösungen in bestimmten zeitlichen Abständen nach Härterzugabe erfolgen, sind Hinweise zum Reaktionsverlauf zwischen Harz und Härter zu erwarten.
Für diese Untersuchungen stand ein Handrefraktometer zur Verfügung, dessen Skalierung zwei Dezimalstellen umfaßt.[146] Die dritte Dezimalstelle kann mit einer Auflösung von 0,002 geschätzt werden. Von den Epoxidharzlösungen wurden direkt nach Härterzugabe und Abschluß des Mischvorgangs jeweils ein Tropfen mittels Pipette auf das Prisma getropft und nachfolgend der Brechungsindex abgelesen. Danach wurde die Prismenoberfläche abgewischt und mittels Aceton nachgereinigt. Je Lösungen und Meßzeitpunkt wurden 6 Parallelmessungen durchgeführt.

---

[143] Eine Tag und Nacht gleichbleibende Beleuchtung wurde durch die normale Raumbeleuchtung eines Kellerraumes realisiert. Es empfiehlt sich, den Lichtschalter außer Funktion zu setzen, um ein versehentliches Ausschalten des Raumlichts zu verhindern.
[144] Römpp, Lexikon der Chemie, Version 2.0, Stichwort Viskosimetrie
[145] Die Wahl dieses Verfahrens beruht auf einer Empfehlung meines Zweitprüfers, Herr Prof. Dr. Thielmann.
[146] Herrn Prof. Nielsen sei an dieser Stelle für die leihweise Überlassung des Meßgerätes gedankt.

5.7 Messungen der Haftzugfestigkeit an gefestigten Modellpräparaten

Die Ausführungen in Kap. 5.5 gelten auch für die Haftzugfestigkeitsmessungen an den mit Festigungsmitteln behandelten Modellpräparaten des Typus 2. Allerdings ergibt sich eine andere Zuordnung der Bruchbilder:

a. Bruch in der Haftfläche Engobe/Scherben (Adhäsionsbruch)
b. Bruch innerhalb der Engobe (Kohäsionsbruch)
c. Bruch im Scherben (Kohäsionsbruch)
d. Bruch in der Klebefuge Prüfstempel/Probe (Versuchswiederholung erforderlich)

Bei der Beurteilung der Bruchbilder wurde neben der farblichen Erscheinung der Bruchflächen v.a. deren Oberflächenmorphologie im Streiflicht berücksichtigt. Bereiche, bei denen nur ein dünner Engobefilm oder eine Kornlage der Engobe am Scherben haftete, wurden dem Bruchbild a zugeordnet, wenn die betreffenden Engobebereiche keine weiteren Ausbrüche aufweisen. Hierdurch ergibt sich ein relativ großer Anteil an Adhäsionsbruch, obwohl nur kleine Teile der Bruchflächen die braunorange Färbung des Scherbens aufweisen (s. Anhang 6).

5.8 Untersuchung der Wasserbeständigkeit an freien Epoxidharzfilmen

Die negativen Erfahrungen hinsichtlich der Wasserbeständigkeit von aliphatischen Epoxidharzen in der Literatur ließen es sinnvoll erscheinen, insbesondere an dem sog. Reaktivverdünner Epilox P 13-20, einem Hexandioldiglycidylether, entsprechende Untersuchungen vorzunehmen. Hoffmann hatte zur Herstellung freier Filme 20-25 %-ige Harzlösungen in Teflonschalen gegeben, aus denen sich die erhärteten Filme nach 28 Tagen entnehmen ließen.[147] Da Teflonschalen nicht zur Verfügung standen, wurden zur Filmpräparation Petrischalen verwendet, die mit Teflonspray isoliert wurden. Es zeigte sich aber, daß eine Entnahme der Filme ohne deren Beschädigung nicht möglich war, da die Anhaftung zu groß war. Die vorgesehenen Untersuchungen konnten daher nicht durchgeführt werden.

[147] Hoffmann, Nils (2000): Modifizierte Epoxidharze für die Anwendung in der Natursteinrestaurierung. Dissertation aus dem Wollforschungsinstitut an der RWTH-Aachen, S. 133-135

6. Probenpräparation

6.1 Herstellung keramischer Modellkörper

6.1.1 Bisheriger Stand der Modellkörperpräparation

Ausgehend von den restauratorischen und naturwissenschaftlichen Untersuchungsergebnissen an einer Terrakotta der Fassade Lünerstr. 3 in Lüneburg und anhand von Vorversuchen hatte Radujkovic im Rahmen ihrer Diplomarbeit keramische Modellpräparate für die Durchführung von Konservierungsversuchen hergestellt.[148]
Hierzu wurden ebenflächige Plättchen der Größe 40 x 20 x 8 mm aus einem kalkarmen, rotbrennenden Ton der Backsteinwerk Rettmer GmbH (Inhaber J. Fuhrhop) zugeschnitten und nach dem Trocknen zweimal mit einem hellbrennenden Engobeschlicker aus einem mageren Tonmehl bestrichen. Der Schrühbrand erfolgte mit einer Aufheizrate von 100° C/h mit einer Maximaltemperatur von 950° C bei einer Haltezeit von 15 Minuten. Anschließend wurden die Engoben bei einmaligem Pinselauftrag mit drei verschiedenen Glasurschlickern überzogen. Es handelt sich um eine durch Kupferoxidzugabe grün gefärbte, transparente Bleisilikatglasur, eine durch Kobaltoxid blau gefärbte halbtransparente bis opake Bleizinnglasur sowie um eine opake, weiße Bleizinnglasur mit höherem Anteil des Trübungsmittels Zinnoxid. Der Glattbrand wies bei einer Aufheizrate von 125° C/h eine Haltezeit von 40 Minuten bei der Maximaltemperatur von 1050° C auf.

Zur Erzeugung der am Original beobachteten Schäden wurden die Proben nachfolgend einer künstlichen Bewitterung unterzogen. Hierzu wurden die Proben zunächst in Anlehnung an DIN 52111 einmalig für 16 Stunden mit einer gesättigten Natriumsulfatlösung getränkt.[149] Die mit Salzlösung gesättigten Proben wurden danach für 24 Stunden bei 105° C getrocknet, um die Masse des aufgenommenen Salzes ermitteln zu können (1,5-1,9 M-%). Nachfolgend wurden die Modellkörper für 14 Tage im Klimaschrank einem zyklischen Wechsel von Temperatur und relativer Luftfeuchte bei permanentem Schadgaseinfluß unterzogen. Hierbei wurde auf ein Verwitterungssimulationsprogramm zurückgegriffen, daß von Frau Troll im Rahmen ihrer Dissertation am Fraunhofer Institut für Silikatforschung (ISC) entwickelt worden war.[150] Bei einer konstanten Belastung von 5 ppm SO_2 wurde die Temperatur in drei Stufen zwischen + 40°, 0° und – 20° C sowie die relative Luftfeuchte zwischen 95 % und 35 % variiert. Jeder Zyklus von 12 Stunden Dauer umfaßt dabei eine längere Periode hoher Temperatur und Luftfeuchte, eine kürzere Phase ariden Klimas, eine kurze Frostphase, bei der die relative Luftfeuchte nicht regelbar war und eine Periode, in der die Temperatur bei hoher Luftfeuchte allmählich wieder auf 40° C anstieg.[151]

Als Folge der Verwitterungssimulation war eine starke Zerrüttung der Engobe festzustellen, die jedoch nur bei etwa einem Drittel der versalzten Proben eine ganzflächige Glasurablösung zur Folge hatte. Bei den restlichen Proben traten dagegen keine oder nur Teil-Ablösungen auf. Die Größe der abgesprengten Glasurstücke variierte je nach Glasurzusammensetzung von kleinteiligen (grüne Glasur) bis hin zu großflächigen, die gesamte Probengröße umfassenden Glasurschollen (blaue Glasur). Ferner waren ein Absanden des Scherbens, Salzausblühungen an den Scherbenaußenseiten, in der Engobe und im Glasurkrakelee sowie ein Irisieren der grünen Glasuroberfläche zu beobachten.

Radujkovic wertet insbesondere die Zerrüttung der Engobe infolge der starken Natriumsulfatbelastung als einen Effekt, der weit über das am Original zu beobachtende Schädigungsmaß hinausgeht. Die an diesen Proben durchgeführten Konservierungsmaßnahmen seien daher als „Extremversuche" zu werten, zumal vor der Applikation der Konservierungsmittel keine Salzverminderung vorgenommen wurde.[152] Versuche,

[148] Radujkovic, Sonja (2000): Erhaltung farbiger Glasuren auf Terrakotta. Herstellung und künstliche Bewitterung von Modellpräparaten und Versuche zur Konservierung, S. 28-44
[149] DIN 52 111 (3/1990): Prüfung von Naturstein und Natursteinkörnungen. Kristallisationsversuch mit Natriumsulfat. Verfahren A
[150] Troll, Carola (1998): Untersuchungen zu Schadensphänomenen an Emails und Glasuren. Dissertation an der Jul.-Max.-Univ. Würzburg, S. 40-42 u. S. 55 f.
[151] Ein Diagramm hierzu ist bei Radujkovic, Sonja (2000): Erhaltung farbiger Glasuren auf Terrakotta, S. 37 abgebildet.
[152] Radujkovic, Sonja (2000): Erhaltung farbiger Glasuren auf Terrakotta, S. 39,

Glasurabrisse gänzlich ohne Salzbelastung oder mit einer auf 10 M.-% verringerten Konzentration der Natriumsulfatlösung zu erzielen, schlugen fehl.[153]

Nach Konservierung und Ablauf einer Reaktionszeit von 35 Tagen wurden die konservierten Proben erneut einer Verwitterungssimulation von einwöchiger Dauer unterzogen.[154] Abschließend wurde (u.a.) die erzielte Glasuranhaftung mittels ‚Tesatest' untersucht, wobei sich bereits bei Aufbringen des Klebefilms bei einem Großteil der Proben die Glasur ablöste.[155] Diese geringe Haftung war aber nicht allein der Natriumsulfatbelastung geschuldet, sondern beruhte auch auf der nur punktuellen Anbindung der Glasur als Folge der ausschließlichen Verwendung von Festigerlösungen zur Refixierung der abgelösten Glasurschollen.

Im Rahmen des Projektes „Glasierte Ziegel und Terrakotten" wurden im Fraunhofer Institut für Silikatforschung, Bronnbach, weiterhin keramische Modellpräparate für Konservierungsversuche nach dem beschriebenen Vorgehensweise hergestellt. Etwa seit Sommer 2002 wurde jedoch die Schadenssimulation an den keramischen Modellpräparaten des Typs Lüneburg verändert.[156] Zwar werden die Modellproben weiterhin einmalig für 16 Stunden in einer gesättigten Natriumsulfatlösung getränkt und anschließend für 6 Stunden bei 105° C getrocknet, doch erfolgt gleich anschließend eine Salzverminderung (zweimaliges Einlegen der Proben in ein Bad von Leitungswasser für jeweils 5 Stunden, anschließend Kompressenbehandlung für 24 Stunden). Hierdurch konnte der Ausgangssalzgehalt von 3-4 M-% um ca. 80 % gesenkt werden. Erst hierauf werden die Proben einer 14-tägigen Klimaschrankbewitterung nach dem von Troll erarbeiteten Schema unterzogen. Allerdings konnten durch dieses entschärfte Schädigungsverfahren nur noch an einem sehr kleinen Teil der Proben Glasurabrisse erzeugt werden.

6.1.2 Weiterführende Überlegungen zur Probenpräparation und zum Anforderungsprofil an keramische Modellkörper

Der Eintrag gesättigter Natriumsulfatlösungen in das Probengefüge stellt ein erhebliches Problem bei der Durchführung und Auswertung von Konservierungsversuchen dar.
Eine Salzverminderung an den Modellkörpern vor einer Applikation von Konservierungsmitteln ist daher eine wesentliche Verfahrensverbesserung, erhöht aber auch den präparatorischen Aufwand. Doch auch Restgehalte von 0,3 bis 0,8 M-% Natriumsulfat in den Modellproben stellen keinesfalls eine zu vernachlässigende Größenordnung dar, zumal bei den bisher untersuchten Lüneburger Terrakotten keine Belastung mit Natriumsulfat nachgewiesen werden konnte. Beispielsweise ist durch den verbliebenen Natriumsulfatgehalt eine Störung der Konservierungsmittelanbindung an die Mineraloberflächen nicht auszuschließen.
Problematisch ist auch die Tatsache, daß nur bei einem Drittel der versalzten Proben das für die Konservierungsversuche erwünschte Schadensbild eine ganzflächige Glasurablösung zu verzeichnen war. Die anzufertigende Probenanzahl wäre mindestens mit dem Faktor 3 zu multiplizieren, um ein ausreichend großes Probenkollektiv mit vergleichbaren Eigenschaften zur Verfügung zu haben. Da für die vorgesehene Ermittlung der Haftzugfestigkeit von Injektionsmassen ohnehin eine Anzahl von etwa 250 Proben mit vollflächiger Glasurablösung benötigt wurde, hätte dies einen kaum noch zu bewältigenden präparatorischen Aufwand bedeutet. Dagegen erschienen für Versuche mit Festigungslösungen Modellpräparate mit einer Glasurablösung nicht geeignet, da eine kraftschlüssige Überbrückung von Hohlräumen und eine klebende Anbindung von Abrißflächen allenfalls bei sehr hohen Wirkstoffkonzentrationen zu erwarten sind.

Aus diesen Gründen erschien es sinnvoll, nach neuen Präparationsmöglichkeiten für besser geeignete keramische Modellkörper zu suchen. Statt Modellpräparate herzustellen, die möglichst weitgehend dem Original ähneln, aber erst durch eine nachfolgende künstliche Schädigung für Konservierungsversuche

---

[153] Radujkovic, Sonja (2000): Erhaltung farbiger Glasuren auf Terrakotta, S. 38
[154] Radujkovic, Sonja (2000): Erhaltung farbiger Glasuren auf Terrakotta, S. 70
[155] Radujkovic, Sonja (2000): Erhaltung farbiger Glasuren auf Terrakotta, S. 85 u. 88
[156] Präsentationen von Herrn Dr. Peter Mottner (ISC) auf der 4. Projektsitzung Perleberg am 16.09.02 sowie der Jahressitzung des Projektes „Glasierte Ziegel und Terrakotten" am 17.09.02, jeweils in Perleberg, und auf der 4. Projektgruppensitzung zu den Terrakotten in der Lüner Str. 3 in Hannover am 09.12.02. Auf die hiervon zu unterscheidenden Verwitterungssimulation der Modellpräparate des Typs Perleberg wird hier nicht näher eingegangen.

vorbereitet werden müssen, erschien es mir sinnvoller, durch eine Veränderung des primären Herstellungsverfahren direkt die erwünschten Probeneigenschaften zu erzielen, d.h. unter Verzicht auf eine nachträgliche Schädigung. Gerade Keramik als künstliches Material bietet hierfür viele Möglichkeiten durch Variationen des Herstellungsprozesses.

Für die Messungen der erzielten Haftung nach Applikation von Injektionsstoffen und Festigern wurden zwei Probentypen mit unterschiedlichem Anforderungsprofil benötigt:

- Typus 1 sollte eine ganzflächige Glasurablösung aufweisen, wobei die Trennfläche in der Engobe liegen sollte. Die mittig aufgespaltene Engobe sollte sowohl am Scherben wie auch an der Glasurrückseite gut haften. Zur Vereinfachung des präparatorischen Aufwandes bei der Vorbereitung und Durchführung der Injektionen war ein Zerfall der Glasur in mehrere Bruchstücke unerwünscht. Daher sollte das abgelöste Glasurplättchen eine hinreichende Festigkeit aufweisen.. Zur Realisierung dieser Anforderungen war eine Trennschicht in der Engobe vorgesehen.

- Typus 2 sollte eine sehr geringe Festigkeit der Engobe bei geschwächter, aber noch vollflächiger Engobeanhaftung aufweisen. Es wurde erwartet, daß sich Unterschiede in der Wirkung verschiedener Festigungslösungen insbesondere bei geringer Wirkstoffkonzentration besser bei geringem Ausgangsniveau der Haftfestigkeit erkennen lassen. Dabei sollte die Engobehaftung am Scherben und an der Glasur zwar gemindert, doch nicht gestört sein. Insbesondere sollten keine als Hohlstellen detektierbaren partiellen Ablösungen auftreten. Dieses Anforderungsprofil sollte durch eine Abmagerung der Engobe umgesetzt werden.

6.1.3 Keramische Modellkörper des Typus 1 zur Untersuchung von Injektionsmörteln

6.1.3.1 Masseaufbereitung, Herstellung der Tonplättchen und Schrühbrand

Zur Herstellung der Modellpräparate standen getrocknete Tonplatten einer Lüneburger Ziegelei zur Verfügung.[157] Es handelt sich hierbei um eine kalkarme Masse, die überwiegend Ton aus einer Grube bei Lüneburg enthält und der zu ca. 15 % Westerwälder Ton beigemischt ist.[158] Analysewerte der Masse bzw. des aus ihr gebrannten Scherbens liegen nicht vor. Aufgrund der überwiegend regionalen Herkunft der Rohstoffe ist aber davon auszugehen, daß die chemisch-mineralogische Zusammensetzung der Masse weitgehend jener Tonmischung entspricht, die zur Anfertigung der renaissancezeitlichen Terrakotten in Lüneburg verwendet wurde. Die Masse enthielt produktionsbedingt zu einem geringen Anteil Schamotte und Verunreinigungen mit Kunststofffasern als unerwünschte Bestandteile.
Die gelieferten Tonplatten wurden vollständig neu aufbereitet, einerseits, um die gewünschten Probenformate herstellen zu können und andererseits, um unerwünschte Bestandteile entfernen zu können. Nach einer Vorzerkleinerung mittels Vorschlaghammer wurden sie im Backenbrecher gebrochen. Mit einem Handsieb der Maschenöffnungsweite 2 mm wurden größere Verunreinigungen und Schamottestückchen aussortiert. Der auf dem Siebboden verbleibende Rest wurde zurück in den Backenbrecher gegeben. Das Tonpulver wurde für wenigstens eine Woche in reichlich Wasser eingesumpft. Nach Absaugen des überschüssigen Wassers wurde dem Tonschlamm durch Lagerung zwischen Gipsplatten überschüssiges Wasser entzogen, bis eine plastische Konsistenz erreicht war. Die Masse wurde in Portionen von 10 bis 20 kg nach Töpferart durch Schlagen homogenisiert[159] und anschließend zu Masseblöcken mit annähernd quadratischer Grundfläche mit einer Kantenlänge von etwa 19 cm geformt. Mittels Schneidedraht wurden über Holzleisten Platten mit einer Dicke von 14 mm geschnitten und etwa einen Tag offen gelagert, bis sie lederhart waren und davon dann mit einem Messer Tonplättchen mit einer Kantenlänge von ca. 4 cm zugeschnitten.

Der Schrühbrand erfolgte in einem Elektroofen der Fa. Linn Elektrotherm GmbH mit der Bezeichnung KK 120.16. Die Brenntemperatur wird bei diesem Ofen mit einem Thermocomputer der Fa. Bentrup, Typ TC 405, gesteuert. Für den Schrühbrand wurden folgende Parameter gewählt:

---

[157] Backsteinwerk Rettmer GmbH, Heiligenthaler Straße 1, 21335 Rettmer (früherer Firmenbezeichnung: Fuhrhop)
[158] frdl. fernmündliche Auskunft von Herrn Jörg Fuhrhop, Backsteinwerke Rettmer GmbH, Lüneburg
[159] Leach, Bernard (1971): Das Töpferbuch, S. 76 f.; Weiß, Gustav (1991): Keramik Lexikon. Praktisches Wissen griffbereit, Stichwort Masseschlagen, S. 201-203

Aufheizrate 60 K/h,
Maximaltemperatur 950° C
Haltezeit bei T_{max} 20 Minuten,
Abkühlgeschwindigkeit (Soll): 200 K/h[160]

Zur Überprüfung der Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung im Ofen wurden beim ersten Brand Segernormalkegel des Typs 010a bis 06a in mehreren Höhenebenen des Ofenbesatzes aufgestellt. Hierbei handelt es sich um schlanke Keramikkegel dreieckigen Querschnitts, die in leichter Schräglage auf einem Tonbatzen fixiert werden. Je nach ihrer Zusammensetzung erweichen diese keramischen Pyroskope bei unterschiedlichen Temperaturen und biegen sich dabei um. Die Falltemperaturen der Segerkegel sind sowohl von der Maximaltemperatur als auch von der Aufheizgeschwindigkeiten abhängig und in Abständen von ca. 20° C gradiert.[161] In der unteren und oberen Ofenlage berührten die Kegel Nr. 08a mit ihren Spitzen den Boden, in der mittleren Ofenlage dagegen Kegel 07a. Daraus läßt sich auf eine erzielte Brenntemperatur zwischen 930 und 970° C schließen. Die maximale Temperaturdifferenz innerhalb eines Brandes dürfte demnach ca. 20° C betragen haben.

Das Gesamtschwindmaß aus Trocken- und Brennschwindung wurde an 3 Proben ermittelt, die bereits etwas angetrocknet waren, aber noch keinen lederharten Zustand erreicht hatten. Das Trockenschwindmaß betrug linear etwa 6 %. Eine hierüber hinausgehende Brennschwindung war nicht festzustellen.[162]

6.1.3.2 Vorversuche zur Zusammensetzung von Engobe und Trennschicht

In der Diplomarbeit von Radujkovic diente eine Elementanalyse der Originalengobe mittels EDX als Grundlage für die Engobeauswahl der Modellpräparate.[163] Die Analyseergebnisse ließen mit einem SiO_2-Gehalt von 70 M-% und einem Al_2O_3-Anteil von 18 M-% auf eine relativ magere Engobezusammensetzung schließen. Nach Vorversuchen hatte sie sich für die Verwendung eines mageren, sehr feinkörnigen Tonmehls als alleinigem Engoberohstoff entschieden[164], das einen SiO_2-Gehalt von 78,5 M-% und einem Al_2O_3-Anteil von 13,8 M-% aufweist, also deutlich magerer ist. Ein ‚fetteres' Tonpulver mit höherem Tonmineralgehalt hatte sich aufgrund zu starker Schwindung als weniger geeignet erwiesen.[165]
Bei auflichtmikroskopischen Untersuchungen einer Reihe renaissancezeitlicher Terrakotten im Museum für das Fürstentum Lüneburg[166] und der ausgebauten Medaillons der Fassade Lünerstr. 3[167] ließ sich an den meisten Engoben feststellen, daß in die cremefarbene Matrix Quarzkörner mit mittleren Durchmessern von 0,1 bis 0,3 mm und einem Größtkorn bis 0,5 mm, mitunter sogar bis 1 mm eingebettet waren. Bei der Nachstellung der Engobe an den Modellpräparaten schien daher eine Zugabe von Quarzsand zu dem feinen Tonmehl ratsam. Die Veränderung der bisherigen Engoberezeptur erschien v.a. deshalb sinnvoll, da ein Einfluß gröberer Engobebestandteile auf die Anhaftung von Injektionsmassen zu erwarten war, da eine Engobe mit gröberer Körnung vermutlich eine bessere mechanische Verkrallung der Injektionsmassen und damit eine Erhöhung der Haftzugfestigkeit bewirkt. Das Hauptziel der Engobemodifikation war weniger die optische Angleichung der Modellengoben an die Originalengoben als vielmehr eine Annähe-

[160] Die tatsächlich erreichte Abkühlgeschwindigkeit ist dagegen wesentlich geringer. Hierdurch zieht sich die gesamte Dauer eines Brandes über etwa 36 Stunden hin. Bei den letzten Bränden wurde nach Abkühlung auf 300° C die Ofentür einen Spalt weit geöffnet.
[161] Weiß, Gustav (1991): Keramik Lexikon. Praktisches Wissen griffbereit, Stichwort Segerkegel, S. 270; Matthes, Wolf, E. (1985): Keramische Glasuren. Grundlagen, Eigenschaften, Rezepte, Anwendungen, S. 479; Hamer, Frank, Hamer, Janet (1990): Lexikon der Keramik und Töperei. Material, Technik, Geschichte. Übers. u. Bearb. d. dt. Ausg. v. B. Pfannkuche, Stichwort Segerkegel, S. 311-313
[162] Gesamtprobenlänge ca. 12-15 cm, Länge der aufgezeichneten Strecken 100 mm, nach Trocknung und Schrühbrand jeweils 94 mm
[163] Radujkovic, Sonja (2000): Erhaltung farbiger Glasuren auf Terrakotta. Herstellung und künstliche Bewitterung von Modellpräparaten und Versuche zur Konservierung. Unveröffentlichte Diplomarbeit im Studiengang Restaurierung der FH Potsdam, S. 29
[164] Tonmehl mager, Nr. 163, Lieferant Fa. Börkey, Keramik-Bedarf, Berlin. Eine Elementanalyse dieses Tonpulvers befindet sich im Anhang der Diplomarbeit von Radujkovic.
[165] Radujkovic, Sonja (2000): Erhaltung farbiger Glasuren auf Terrakotta, S. 35
[166] D'ham, Gerhard: Untersuchungsprotokolle der renaissancezeitlichen Terrakotten des Museums, die in den Jahren 2001/2002 entstanden (unveröffentlicht)
[167] D'ham, Gerhard, Lemnitz, Henriette, Piepo, Larissa (2001): Bericht zur restauratorischen Untersuchung und Kartierung der ausgebauten, polychrom glasierten Terrakottamedaillons Lünerstr. 3 in Lüneburg, Anhang, Medaillon 4 (< 0,5 mm) und Medaillon 11 (< 0,4 mm)

rung der Haftungsbedingungen an die Originale und damit eine verbesserte Übertragbarkeit der Haftzugfestigkeitsergebnisse.
In Vorversuchen zeigte sich, daß sich die Modellengoben bei Beimischung von Sanden der Korngrößen 0,25- 0,5 und 0,5-1 mm wesentlich schlechter aufstreichen ließen. Als Kompromiß zwischen einer Angleichung an die Originalengoben und einer guten Verarbeitbarkeit des Engobeschlickers wurde daher eine Zugabe von 0,5 Gewichtsteilen des relativ feinkörnigen Sandes 12 f der Fa. Dörentrup Quarz GmbH, Dörentrup, zu 1 Gewichtsteil des bisher verwendeten Tonmehls gewählt. Dieser Sand hat einen Anteil von 84 M-% der Kornklasse 0,063-0,125 mm und einen Anteil von 16 M-% der Kornklasse < 0,063 mm. Durch diese Quarzsandzugabe war mit einer Verringerung der Engobefestigkeit zu rechnen. Eine maßvolle Festigkeitsreduzierung erschien aber aus folgenden Gründen akzeptabel: Zum einen war eine verbesserte Vergleichbarkeit der Injektionsmassenanbindung zu erwarten, die die Übertragbarkeit der Haftzugfestigkeitsergebnisse auf die Originale erleichtert. Zum anderen dürften jene Engobebereiche der Terrakotten, an denen sich die Glasur ablöst, bereits eine verminderte Festigkeit aufweisen. Die vermutete Reduzierung der Engobekohäsion und –adhäsion infolge des zusätzlichen Magerungsanteils wurde später durch Haftzugfestigkeitsmessungen an unbehandelten Referenzproben mit unveränderter und gemagerter Engobe experimentell verifiziert (Kap. 7.3.1).

Die Engobe wurde nach trockenem Vormischen der beiden Engobebestandteile zunächst mit relativ wenig Wasser angeteigt, um ein Verklumpen des Tonmehls zu verhindern, und danach mit variablen Wasseranteilen zu streichfähiger Konsistenz verdünnt, wobei der Wassergehalt der Engobe stets deutlich unter 50 % der Gesamtmasse lag.

Um eine Engobeablösung zu erzielen, wurden verschiedenen Trennschichtrezepturen erprobt. Als Materialien hierfür wurden Quarzsand 12 f (Fa. Dörentrup Quarz, Dörentrup), Quarzmehl W 12 (Fa. Quarzwerke, Weferlingen), Stuckgips, wässrige Lösungen von Tylose MH 300, einer Methylhydroxyethylcellulose, in Konzentrationen von 0,5, 1, 2 und 5 M-% in Wasser verwendet. Cellulosederivate und Polyvinylerzeugnisse sind gebräuchliche Zusatzstoffe in der (industriellen) Keramikproduktion, die insbesondere die Grünstandfestigkeit und den Engobesitz vor dem Brand verbessern. Sie zersetzen sich nahezu vollständig und rückstandsfrei beim Brand. Ihre Aufgabe war die temporäre Bindung der Trennschicht an die obere und untere Engobeschicht. Angestrebt wurde eine Trennschicht, die die Probentrocknung ohne Abriß übersteht und erst beim Schrühbrand zu einem Haftungsverlust der oberen Engobeschicht führt. Hierdurch sollte einer Verformung der oberen Engobeschicht entgegengewirkt werden.

Die Engobe wurde jeweils in zwei sich kreuzenden Lagen mit einem Pinsel auf die annähernd lederharten Tonplättchen aufgetragen. Nach deren Antrocknung wurde die Trennschicht aufgestrichen und nach erneutem Antrocknen nochmals zwei Engobeschichten darüber gelegt.
Die besten Resultate wurden mit einer 5 %igen Tylose-Trennschicht ohne Füllstoff erzielt. Bei Zugabe von Quarzmehl und Quarzsand bestand die Notwendigkeit, vor einer Injektion die anhaftenden Füllstoffe an beiden Engobeflächen mittels Pinsel zu entfernen, was die Probenpräparation wesentlich aufwendiger gestaltete und zu größerem Ausschuß infolge häufigeren Zerbrechens des oberen Engobeplättchens führte. Andererseits bestand in niedrigeren Konzentrationen kein hinreichendes Bindevermögen bei Füllstoffzugabe, wodurch sich die obere Engobeschicht bereits vor dem Schrühbrand ablöste, bzw. keine hinreichende Trennwirkung, wenn auf einen Füllstoffzusatz verzichtet wurde.

Probleme ergaben sich z.T. hinsichtlich der Haftung der unteren Engobeschicht am Scherben, insbesondere bei einer zu hohen Trocknungsgeschwindigkeit. Daher wurde im folgenden die Trocknung durch zeitweises Abdecken der Proben mit Folie verlangsamt. Desweiteren war an einem Teil der Proben eine geringfügige Verformung des im Brand abgelösten oberen Engobeplättchens zu beobachten.

6.1.3.3 Glasurberechnung und Veränderung der Glasurzusammensetzung

Bei den an den Lüneburger Terrakotten verwendeten Glasuren handelt es sich um Blei-Alkali-Glasuren und um Blei-Zinn-Glasuren, die ebenfalls einen Anteil alkalischer Flußmittel enthalten. Radujkovic hatte auf der Grundlage von EDX-Analysen an Originalglasuren Rezepturen für eine grüne, weiße und blaue Modellglasur entwickelt. Hierzu hatte sie aus den analysierten Metalloxidanteilen in M-% die sog. Segerformel in Mol-% berechnet und hieraus den Glasurversatz in g abgeleitet.

Im folgenden werden die Einzelschritte der Glasurberechnung aus den Analyseergebnissen näher dargestellt.[168]

1. Zunächst werden die Analysewerte der Metalloxide in M-% durch das jeweilige Molgewicht dividiert. Hierdurch erhält man die molaren Anteile der einzelnen Metalloxide in der Glasur.

2. Nachfolgend werden die molaren Anteile jeweils durch die Summe der molaren Anteile aller basischen Oxide dividiert. Hierdurch ergibt sich die sog. Segerformel, eine Darstellung, bei der die Summe aller Molanteile der basischen Metalloxide gleich 1 ist und die der amphoteren und sauren Oxide hierzu ins Verhältnis gesetzt sind.
   Zum besseren Verständnis sei das Konzept der Segerformel näher erläutert. Hierbei wird nur auf jene Metalloxide Bezug genommen, die für die Glasuren der Lüneburger Terrakotten von Bedeutung sind. Der Keramikwissenschaftler Hermann Seger hatte die Glasurbestandteile in basische, amphotere und saure Metalloxide eingeteilt. Die Gruppe der basichen Metalloxide besteht aus denen der ein- und zweiwertigen Metallen, die als Flußmittel oder Netzwerkwandler allgemein eine Erniedrigung des Schmelzbereichs der Glasuren bewirken. Zu ihnen gehören v.a. das Bleioxid PbO und die Gruppe der Alkalioxide, v.a. Natriumoxid Na_20 und Kaliumoxid K_2O als gleichfalls starke Flußmittel, ferner Calciumoxid CaO und Magnesiumoxid MgO sowie die farbgebenden Oxide Kobaltoxid CoO und Kupferoxid CuO. Die Gruppe der amphoteren Metalloxide umfaßt die der dreiwertigen Metalle, v.a. Aluminiumoxid Al_2O_3 sowie Eisen(III)Oxid Fe_2O_3. Die Gruppe der sauren Oxide umfaßt die der vierwertigen Metall, v.a. Siliciumdioxid SiO_2 als wichtigsten Glasbildner. Auch Zinnoxid SnO_2 ist Teil dieser Gruppe. Durch diese Einteilung ergibt sich die folgende Darstellung der Glasurzusammensetzung:

   allgemeine Segerformel $RO + R_2O$ R_2O_3 RO_2

   R bedeutet chemisches Radikal, hier ist das Metallatom gemeint.
   Sinn und Zweck der Segerformel ist es, anhand der übersichtlichen Darstellung der Glasurzusammensetzung als oxidische Molekularformel die Vergleichbarkeit von Glasurrezepturen zu erleichtern eine ungefähre Abschätzung des Schmelzbereiches der Glasuren zu ermöglichen.

3. Auf der Grundlage der Segerformel kann aus den eingesetzten Glasurrohstoffen der Glasurversatz berechnet werden. Entspricht ein Glasurrohstoff in seiner chemischen Zusammensetzung exakt einem Metalloxid, das durch diesen Rohstoff in den Glasurversatz eingebracht werden soll, so wird der nach der Segerformel berechnete Molanteil mit dem Molgewicht [g/mol] multipliziert und man erhält die Masse des einzuwiegenden Rohstoffes in [g]. Ein Teil der Glasurrohstoffe besteht aber aus Verbindungen mehrerer Metalloxide. Hier sind v.a. Bleimonosilkatfritte $PbO \cdot SiO_2$ sowie die Feldspäte zu nennen: Natronfeldspat (Albit) mit der idealisierten Formel $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ sowie Kalifeldspat (Orthoklas) mit der gleichfalls idealisierten Formel $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$.[169] Natrium- und Kaliumoxid werden heute bevorzugt durch Feldspäte in den Glasurversatz eingebracht, da diese Alkalioxide in anderen Verbindung wasserlöslich sind.[170] Aus toxikologischen Gründen wird Bleioxid meist als Fritte eingebracht. Da die genannten Verbindungen neben den genannten Metalloxiden PbO, Na_2O und K_2O auch beträchtliche Anteile amphoterer und saurer Oxide enthalten, muß dies bei der Bemessung der Rohstoffe Quarzmehl und Tonerde entsprechend berücksichtigt werden, damit die berechneten Molanteile an Al_2O_3 und SiO_2 nicht überschritten werden.[171] Daher empfiehlt es sich, bei der Berechnung des Glasurversatzes zunächst mit den komplexeren Verbindungen zu beginnen.

---

[168] Weiß, Gustav (1991): Keramik Lexikon. Praktisches Wissen griffbereit, Stichwort Segerformel, S. 268-270; Matthes, Wolf, E. (1985): Keramische Glasuren. Grundlagen, Eigenschaften, Rezepte, Anwendungen, S. 116-125

[169] Die Zusammensetzung der Feldspäte weist je nach Abbauort natürliche Unterschiede auf, wobei auch weitere Stoffe beteiligt sein können. Für Glasurberechnungen sind die angegebenen Idealformeln brauchbar, wenn keine Analysewerte des jeweils verwendeten Feldspatrohstoffs zur Verfügung stehen.

[170] Für historische Glasuren kommen als Alkaliquellen durchaus auch wasserlösliche Alkaliverbindungen in Betracht wie z.B. Kochsalz, Soda und Natriumsalpeter für Natrium sowie Alaun und Kalisalpeter für Kalium (Weiß, Gustav (1985): Alte Keramik neu entdeckt. Mit Anleitungen für die schönsten Techniken, S. 305).

[171] So übersteigt etwa in dem von Radujkovic vorgestellten Versatz der blauen Glasur der molare Anteil an Aluminiumoxid durch die Verwendung der Feldspäte den aus der Glasuranalyse berechneten molaren Anteil. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, daß sich die renaissancezeitlichen Töpfer Lüneburgs als Natriumquelle weniger der Feldspäte sondern des reichlich vorhandenen Kochsalzes bedient haben.

4. Aus den berechneten Rohstoffanteilen am Glasurversatz in [g] läßt sich durch Division durch die Gesamtmasse des Versatzes und Multiplikation mit 100 der prozentuale Anteil der einzelnen Rohstoffe am Versatz berechnen.

In praktischen Versuchen hatte Radujkovic festgestellt, daß die Modellglasuren erst bei einer Brenntemperatur von 1050°C befriedigend ausschmolzen, während bei Brenntemperaturen von 950° und 1000°C die Glasuren keine glatte Oberflächen ausbildeten und matt wirkten.

Aus verschiedenen Gründen, die nachfolgend dargestellt werden, schienen mir Versuche zur Modifizierung der von Radujkovic angegebenen Glasurrezepturen sinnvoll:

- Phasenanalytische Untersuchungen am Scherben einiger Terrakotten des Hauses Lünerstr. 3 ergaben Hinweise, daß die Brenntemperaturen bei 950°C oder leicht darüber gelegen haben dürften.[172] Daher erschien eine Glattbrandtemperatur von 1050° C für die Modellpräparate zu hoch. Wenn aber die aus den Glasuranalysen abgeleiteten Modellglasuren bei niedrigeren Temperaturen nicht befriedigend ausschmelzen, mußte es Gründe für diese Diskrepanz geben.
- Bei meiner Untersuchung des gesamten renaissancezeitlichen Terrakottabestandes in Lüneburg zeigte sich, daß das Erscheinungsbild der einzelnen Glasuren hinsichtlich Farbigkeit, Glanz, Krakelierung, Scherbenbenetzung und Nadelstichigkeit eine größere Bandbreite aufweist, die auf wechselnde Glasurzusammensetzungen und/oder Brandführungen verweist.
- Die von Radujkovic erstellten Rezepturen beruhen auf Punktuntersuchungen mittels EDX an den Glasuren einer einzigen Terrakotta von der Fassade Lünerstr. 3 in Lüneburg. Im Anhang ihrer Diplomarbeit ist eine Auswahl von Analyseergebnissen wiedergegeben, die für die einzelnen Glasurfarben z.T. auch größere Unterschiede in der Glasurzusammensetzung zeigen. Die Glasurrezeptierung basiert auf einer als typisch angesehenen Auswahl aus diesen Analyseresultaten.
- Bei der Interpretation dieser Analyseergebnisse sind folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen:
  - Im Glasurbrand verdampft ein Teil des im Glasurversatz enthaltenen Bleioxids. Dies betrifft nicht nur Rohglasuren, bei denen das Bleioxid als Bleiglätte (PbO), Mennige (Pb_3O_4), Bleiglanz oder Bleisulfid (PbS) oder als basisches Bleicarbonat bzw. Bleiweiß ($PbCO_3$) in den Glasurversatz eingebracht wird, sondern auch Fritteglasuren auf der Basis von Bleimonosilikat- ($PbO{\cdot}1SiO_2$) oder Bleidisilikatfritte ($PbO{\cdot}2SiO_2$). Die Menge des verdampfenden Bleis hängt dabei von der Brennführung ab, wobei die Verlustrate sich oberhalb von 500°C nicht weiter erhöht und damit wesentlich eine Funktion der Brenndauer ist. Für eine Bleimonosilikatfritte wird der Bleiverlust auf ca 20 % beziffert, wodurch sich das molare Verhältnis von Bleioxid zu Siliciumdioxid von 1:1 auf 1:1,23 verschiebt.[173]
  - Infolge jahrhundertelanger Bewitterung ist mit einer weiteren Reduzierung des Bleianteils durch saure Lösungen zu rechnen (sog. Bleiverarmung). Sie hängt sowohl von der konkreten Exposition als auch von der Bleilässigkeit der Glasuren ab, die je nach Glasurzusammensetzung sehr unterschiedlich sein kann.
- Der Temperaturbereich, in dem Bleiglasuren ausschmelzen, hängt in starkem Maße vom Verhältnis der basischen zu den sauren Oxiden ab, wobei die Vielzahl der beteiligten Stoffe wie etwa auch der Anteil amphoterer Oxide und das Brennregime eine präzise Vorhersage der zum Ausfließen notwendigen Brenntemperatur unmöglich macht. Trotzdem gilt die allgemeine Regel, daß ein höherer Anteil an Flußmitteln den Schmelzbereich herabsetzt. Wenn also der analysierte Anteil von Bleioxid infolge von Bleiverdampfung und Bleiverarmung gegenüber dem ursprünglichen Glasurversatz in unbekanntem Maße reduziert ist, so führt eine Rezeptierung der Modellglasuren auf der Grundlage dieser Analyseergebnisse zu einem Glasurversatz, dessen Schmelzbereich höher liegt als bei dem unbekannten, ursprünglichen Versatz.

Aus den genannten Gründen erschien es mir statthaft und zweckmäßig, die von Radujkovic erarbeiteten Glasurzusammensetzungen zu modifizieren mit dem Ziel, ein gutes Ausschmelzen bei Brenntemperaturen um 950° C zu erzielen. Hierzu sollte bei den blauen und grünen Glasuren der Bleianteil im Verhältnis zu

[172] Schwarz, Hans-Jürgen (2002): Untersuchungen am Bürgerhaus in der Lüner Str. 3 in Lüneburg zur Erhaltung der glasierten Baukeramik und Terrakotta-Medaillons. Unveröffentlichter Bericht, S. 8

[173] Weiss, Gustav (1991): Keramik Lexikon. Praktisches Wissen griffbereit, S. 49, Stichwort Bleiverdampfung

den anderen Glasurbestandteilen erhöht werden. Es wurden je Farbe Versuche mit fünf verschiedenen Glasurrezepturen unternommen. Jeweils eine Glasur ist mit den Rezepturen von Radujkovic identisch (Glasur B5 bei den blauen und Glasur G5 bei den grünen Glasuren).[174] Bei den anderen Glasuren B1 bis B4 und G 1 bis G4 wurde durch die Erhöhung des Anteils basischer Oxide (Flußmittel) bzw. die Reduzierung des Anteils der schwer schmelzenden sauren Oxide (SiO_2 und SnO_2) eine Herabsetzung des Schmelzbereiches versucht. Dabei wurde bei einem Teil der Rezepturen der Anteil an Bleisilikatfritte vermindert und statt dessen Bleioxid in Form von Mennige eingeführt, um auf diese Weise den Anteil an Siliziumdioxid senken zu können.[175] Zusätzlich wurde der Anteil des Bleioxides innerhalb der Gruppe der basischen Oxide variiert.
Zudem wurde mit einer relativ niedrigen Aufheizrate von 60°C/h gebrannt, die Haltezeit der Maximaltemperatur betrug 40 Minuten.[176] Hierdurch sollte das Ausschmelzen der Glasuren bei niedrigeren Temperaturen erleichtert werden.
Die Berechnungen des Versatzes der genannten Glasuren finden sich im Anhang 1. Die nachfolgend angegebenen Segerformeln geben einen Überblick zur Glasurzusammensetzung:

Glasurbezeichnung blaue Glasuren	Segerformel	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	WAK 10^{-6}/K
B 1	1 : 0,14 : 1,2	0,800	0,069	0,052	0,041	0,036	0,020	0,121	0,040	1,160	9,626
B 2	1 : 0,30 : 1,5	0,650	0,121	0,092	0,072	0,062	0,036	0,264	0,069	1,431	9,297
B 3	1 : 0,20 : 2	0,800	0,069	0,052	0,041	0,036	0,026	0,174	0,040	1,960	7,663
B 4	1 : 0,25 : 2	0,650	0,121	0,092	0,072	0,062	0,036	0,213	0,069	1,931	8,392
B 5 (=Rezeptur Radujkovic)	1 : 0,30 : 3,54	0,581	0,146	0,111	0,087	0,075	0,043	0,257	0,083	3,458	6,452

Glasurbezeichnung grüne Glasuren	Segerformel	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CuO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	WAK 10^{-6}/K
G 1	1 : 0,08 : 1,24	0,800	0,025	0,018	0,018	0,139	0,012	0,068	-	1,239	8,928
G 2	1 : 0,15 : 1,3	0,671	0,042	0,029	0,029	0,230	0,020	0,131	-	1,300	8,923
G 3	1 : 0,17 : 1,5	0,800	0,025	0,018	0,018	0,139	0,020	0,148	-	1,500	7,991
G 4	1 : 0,15 : 1,5	0,671	0,042	0,029	0,029	0,230	0,020	0,131	-	1,500	8,442
G 5 (=Rezeptur Radujkovic)	1 : 0,15 : 2,05	0,671	0,042	0,029	0,029	0,230	0,020	0,131	-	2,045	7,355

Tabelle 4: Segerformeln und Wärmeausdehnungskoeffizienten der Glasuren des 1. Glattbrandversuchs

Nach dem Probebrand waren folgende Ergebnisse zu verzeichnen:

Alle 10 Glasurversätze flossen bei dieser Brennführung befriedigend aus, also auch die unverändert aus der Diplomarbeit von Radujkovic übernommenen Rezepturen. Dies wird auf das veränderte Brennregime mit langsameren Aufheizraten zurückgeführt. Allerdings nahmen Glanzgrad und Ebenheit der Glasuroberfläche erwartungsgemäß mit steigendem Verhältnis amphoterer und saurer Oxide zur Gruppe der basischen Oxide ab. Dies dürfte auf ein Viskositätsanstieg der Glasurschmelze bei geringerem Anteil an Flußmitteln zurückzuführen sein. Alle blauen Glasuren zeigten Nadelstiche, wie dies in gleicher Weise auch an den blauen Originalglasuren zu beobachten ist. Als Ursache hierfür kommt der Gehalt an Zinnoxid in Betracht, der ebenfalls die Viskosität der Glasurschmelze erhöht. Hierdurch kann die Glasuroberfläche nach dem Austritt von Gasblasen nicht zu einem glatten Spiegel verlaufen. Kupferoxidgehalte über 5 Masseprozent bei den grünen Glasuren hatten metallisch-opake, kristalline Ausscheidungen an der

[174] Allerdings wurde bei den Glasurrohstoffen die kalzinierte Tonerde (Al_2O_3) gegen Kaolin ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$) ausgetauscht, da Kaolinzugabe der Sedimentation von Glasurbestandteilen entgegenwirkt und damit die Verarbeitungseigenschaft des Glasurschlickers verbessert. Entsprechend wurde der Anteil von Quarzmehl reduziert.
[175] 1 Mol Pb_3O_4 enthält 3 Mol PbO. Dies ist bei der Berechnung des Glasurversatzes aus der Segerformel zu beachten.
[176] Die Angaben zur Brennführung bei Radujkovic sind nicht eindeutig (a.a.O., S. 33). Vermutlich aber lag die Aufheizrate im Glasurbrand mit 125°C/h mehr als doppelt so hoch.

Glasuroberfläche zur Folge[177]. Nur an den Rändern dieser Probeplättchen, an denen die Schichtdicke der Glasuren dünner war, stellte sich noch eine grüne Glasurfarbigkeit ein.
Auf den Modellkörpern des Typus 2 (mit fest haftender Engobe) wiesen die Glasuren ein Krakelee auf. Die Weite dieses Rißnetzes war bei den blauen Glasuren deutlich größer als bei den grünen Glasuren. Auch dieser Befund entspricht den Beobachtungen an den Originalglasuren. Bei den Modellkörpern des Typus 1 (mit ganzflächiger Engobeablösung) wiesen alle Engobeplättchen eine konkave Verwölbung der Glasurseite bei Fehlen von Glasurrissen auf, was, ebenso wie das Krakelee bei den Proben des Typus 2, auf einen höheren Wärmeausdehnungskoeffizienten der Glasuren im Verhältnis zur Engobe hinweist.[178] Da an den für die Injektion von Hinterfüllmassen vorgesehenen Proben des Typus 1 aus Gründen der Vergleichbarkeit der Ergebnisse eine möglichst einheitliche Spaltweite zwischen engobiertem Scherben und glasiertem Engobeplättchen eingestellt werden sollte, war die – ungleichmäßige - Verbiegung der glasierten Engobeplättchen unerwünscht. Hinzu kommt, daß sich das Keramikplättchen schon während der Trocknung gegenläufig verbiegt, vermutlich als Folge des einseitigen Engobeauftrags und des hiermit verbundenen einseitig höheren Feuchtigkeitsgehalts des Rohlings. Durch eine zielgerichtete Veränderung der Glasurrezepturen sollte daher in einem weiteren Schritt der Ausdehnungskoeffizient der Glasuren gesenkt und damit die Verformungsneigung des Engobeplättchens im Glasurbrand aufgehoben oder zumindest vermindert werden.

Hierzu wurde der lineare Wärmeausdehnungskoeffizient (WAK) der 10 Glasurrezepturen berechnet. Der Ausdehnungskoeffizient α gibt an, um welchen Betrag sich ein Stoff je Grad Temperaturdifferenz im Bezug zu seiner Ausgangslänge ausdehnt bzw. zusammenzieht. Die Berechnungen erfolgten nach dem Verfahren von Appen. Hierbei wird der molare Anteil der einzelnen Metalloxide nach der Segerformel zunächst in Molprozente umgerechnet und so dann mit bestimmten Wärmeausdehnungsfaktoren multipliziert, wobei bei einigen Oxiden je nach Glasurzusammensetzung zwischen verschiedenen Faktoren zu wählen ist. Hierdurch werden auch Wechselwirkungen zwischen einzelnen Glasurbestandteilen berücksichtigt. Die Addition der berechneten Wärmeausdehnungskoeffizienten der einzelnen Metalloxide ergibt den Gesamtausdehnungskoeffizient der jeweiligen Glasur.[179] Die Rechenwerte nach Appen stellen Näherungswerte dar, die für den hier angestrebten Zweck ausreichend genau erschienen. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in der vorstehenden Tabelle 4 in der letzten Spalte angegeben. Nachfolgend wurden drei Rezepturen mit relativ niedrigem WAK ausgewählt (Glasur G 3, G 5 und B 5) und durch Variation der molaren Anteile der gegebenen Glasurrohstoffe, d.h. ohne Einführung neuer Verbindungen oder Weglassen nachgewiesener Glasurbestandteile eine rechnerische Verminderung des Ausdehnungskoeffizienten durchgeführt. Hierzu wurde v.a. der Anteil an Natrium- und Kaliumoxid gesenkt, da diesen Oxiden sehr hohe Ausdehnungsfaktoren zugewiesen sind. Bei einer Glasur wurde das Natriumoxid versuchsweise durch Kochsalz statt durch Natronfeldspat eingeführt (B 5d). Bei den grünen Glasuren wurde der Gehalt an Kupferoxid auf ca. 3 Masseprozent abgesenkt, was neben einer leichten Verminderung des Ausdehnungskoeffizienten vor allem einen metallisch-opaken Oberflächeneindruck verhindern sollte. In der nachfolgenden Tabelle sind die Segerformeln, die molaren Anteile der Oxide und die Wärmeausdehnungskoeffizienten der neuberechneten Glasurversätze G 3a und G 5a sowie B 5a bis B 5d aufgeführt. Die jeweiligen Ausgangsrezepturen sind zu Vergleichszwecken ebenfalls aufgeführt (graue Schriftfarbe). Die Berechnungen des Glasurversatzes und des WAK sind im Anhang 1 dokumentiert.

[177] Weiß, Gustav (1991): Keramik Lexikon. Praktisches Wissen griffbereit, Stichwort Kupfer in Glasuren, S. 182 f.
[178] Matthes, Wolf, E. (1985): Keramische Glasuren. Grundlagen, Eigenschaften, Rezepte, Anwendungen, S. 37 f.
[179] Stefanov, Stefan, Batschwarow, Svetlan (1988): Keramik Glasuren - Ceramic Glazes. Chemie, Technologie und Anwendung mit 1400 Rezepten, S. 42-44; Weiß, Gustav (1991): Keramik Lexikon. Praktisches Wissen griffbereit, Stichwort Wärmeausdehnungskoeffizient, S. 310 f.

Glasurbezeichnung blaue Glasuren	Summe Seger-formel	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	WAK
B 5 (=Rezeptur Radujkovic)	1 : 0,30 : 3,54	0,581	0,146	0,111	0,087	0,075	0,043	0,257	0,083	3,458	6,452
B 5a	1 : 0,26 : 3,54	0,619	0,124	0,095	0,087	0,075	0,043	0,219	0,083	3,458	6,253
B 5b	1 : 0,24 : 3,54	0,650	0,110	0,083	0,082	0,075	0,043	0,193	0,083	3,458	6,113
B 5c	1 : 0,21 : 3,54	0,676	0,095	0,072	0,082	0,075	0,043	0,167	0,083	3,458	5,973
B 5d	1 : 0,12 : 3,54	0,676	0,095	0,072	0,082	0,075	0,043	0,072	0,083	3,458	6,046

Glasurbezeichnung grüne Glasuren	Summe Seger-formel	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CuO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	WAK
G 3	1 : 0,15 : 1,5	0,800	0,025	0,018	0,018	0,139	0,020	0,148	-	1,500	7,991
G 3a	1 : 0,15 : 1,5	0,820	0,020	0,014	0,016	0,130	0,014	0,148	-	1,500	7,900
G 5 (=Rezeptur Radujkovic)	1 : 0,15 : 2,05	0,671	0,042	0,029	0,029	0,230	0,020	0,131	-	2,045	7,355
G 5a	1 : 0,15 : 2,05	0,787	0,035	0,024	0,024	0,130	0,014	0,131	-	2,045	7,191

Tabelle 5: Segerformeln und Wärmeausdehnungskoeffizienten der überarbeiteten Glasurrezepturen

Als weitere Maßnahme wurde bei den Proben des zweiten Glattbrandversuchs die Dicke des Glasurschlickerauftrages im Vergleich zum ersten Glasurbrand vermindert., da Differenzen zwischen den Ausdehnungskoeffizienten von keramischen Trägermaterial und Glasur sich um so stärker auswirken, je dicker die Glasur aufgetragen wird.[180] Hierzu wurden zum einen die Glasurschlicker durch einen höheren Wasseranteil dünnflüssiger eingestellt und zum anderen die Modellkörper nur noch zweimal anstatt zuvor dreimal mit dem Schlicker bestrichen.

Als wichtigstes Ergebnis dieses neuerlichen Glattbrandversuches ist festzuhalten, daß zwar eine Verminderung der Engobenverformung, nicht jedoch deren vollständige Aufhebung erreicht werden konnte. Die ungleichmäßige Spaltweite ist auf Abb. 4 deutlich zu erkennen. Weitere Versuche zur Modifizierung der Glasurrezepturen wurden nicht unternommen, da eine weitere Absenkung des Wärmeausdehnungskoeffizienten bei gleichzeitig niedrigem Schmelzbereich der Glasuren nur durch das Einführen weiterer Stoffe wie z.B. Boroxid möglich ist, die aber in den renaissancezeitlichen Glasuren nicht verwendet wurden.

Abb. 4: Probentypus 1 mit Glasur B 5c

Die modifizierte Glasurrezeptur B 5c, die nach Auswertung der Glasurversuche für die Herstellung der Probensätze ausgewählt wurde, unterscheidet sich in ihrer Zusammensetzung nur geringfügig von der von Radujkovic entwickelten Modellglasur (Glasurrezeptur B 5).

6.1.3.4 Herstellung der Probensätze des Typus 1

Für die Herstellung der Modellpräparate des Typus 1 wurden die Engobe 4 (gemagert durch einen zusätzlichen Anteil von 0,5 Gewichtsteilen Quarzsand im Verhältnis zu einem Gewichtsteil Tonpulver) und die Glasur B 5C ausgewählt. Die Berücksichtigung unterschiedlicher Glasurfarben erschien für die Konservierungsversuche aus den oben angeführten Gründen nicht notwendig. Der blauen Glasur wurde der Vorzug gegeben, da aufgrund der höheren Schichtdicke dieser Glasur die Engobeplättchen robuster waren. Dies erleichterte die späteren Präparationsschritte.

[180] Matthes, Wolf, E. (1985): Keramische Glasuren. Grundlagen, Eigenschaften, Rezepte, Anwendungen, S. 59

Zur rationellen Anfertigung der Tonrohlinge wurden Schablonen verwendet, mit deren Hilfe je Tonplatte 16 Proben geschnitten wurden. Der Engobeschlicker wurde mithilfe des Dispergiergeräts homogenisiert. Hierdurch konnte eine Klümpchenbildung des Tonmehls, die bei den Vorversuchen Schwierigkeiten bereitet hatte, vermieden werden. Die Engobierung erfolgte im Gegensatz zu den Vorversuchen in zweimal 3 Lagen. Hierdurch sollte die Stabilität der abgelösten Engobeplättchen erhöht und deren Verbiegung nach dem Glasurbrand weiter vermindert werden. Als Trennschicht wurde eine 5 %-ige Lösung von Tylose MH 300 verwendet. Randlich überstehender Engobeschlicker wurde nach dessen Antrocknung mit einem Japanspachtel bündig abgenommen.
Im Gegensatz zu den Vorversuchen, die an jeweils drei bis fünf Proben durchgeführt worden waren, traten bei der ersten größeren Probenserie beträchtliche Probleme in der Anhaftung der unteren Engobelage am Scherben auf. Nach einer Qualitätskontrolle mittels Perkussionsuntersuchung wurde ein Großteil der geschrühten Proben der ersten Großserie verworfen, da sie hohlliegende Engobebereiche aufwiesen. Ursache dieser Haftungsprobleme sind unterschiedliche Schwindmaße von Engobe, Trennschicht und Scherben. Eine große Rolle spielt dabei der Trocknungszustand der Tonplättchen zum Zeitpunkt des Engobeauftrages sowie die Steuerung des weiteren Trocknungsprozesses. Diese Vorgänge sind ohne größere Erfahrungen auf keramischen Gebiet kaum zu beherrschen. Bei dem nächsten Probensatz wurde die Engobe daraufhin statt mit Wasser mit einer 1 %-igen Lösung von Tylose MH 300 angemacht. Hierdurch konnten die Haftungsprobleme gelöst werden. Weitere Probleme ergaben sich beim Glasurauftrag. Hier kam es zu Entmischungen des Glasurschlickers, die durch die unterschiedliche Dichte der eingeführten Rohstoffe, deren Mahlfeinheit und einen hohen Wasseranteil hervorgerufen werden können und ein ständiges Aufrühren des Schlickers erforderlich machen. Daraufhin wurde der Flüssigkeitsgehalt des Glasurschlickers herabgesetzt und das Wasser durch wässrige Lösungen von Cellulosederivaten ersetzt. Verwendung fand eine 2,5 %-ige Lösung von Klucel E, einer relativ niedrigmolekularen Hydroxypropylcellulose, und - da die angestrebte Sedimentationsstabilität hiermit noch nicht erreicht werden konnte – zusätzlich ein kleinerer Anteil einer 5 %-igen Lösung von Tylose MH 300.[181] Zur Homogenisierung des Schlickers wurde ebenfalls das Dispergiergerät eingesetzt. Hierbei wurden im begrenzten Maße Luftblasen eingetragen, die sich aber nicht als störend erwiesen. Der relativ hochviskose Schlicker ließ sich hervorragend aufstreichen (zweimaliger, kreuzweiser Auftrag). Auf diese Weise konnten die technischen Probleme der Probenherstellung gelöst werden, abgesehen von der erwähnten konkaven Verwölbung der glasierten Engobeplättchen.
Aufgrund der sehr hohen Ausschußquote des ersten Probensatzes bestand der Verdacht, daß auch bei jenen Proben, an denen sich keine hohlliegenden Bereiche nachweisen ließen, die Engobehaftung am Scherben beeinträchtigt sein könnte. Desweiteren war die Engoberezeptur bei der zweiten Probenserie durch die Zugabe des Celluloseäthers verändert worden. Eine identische Beschaffenheit sämtlicher Proben des Typus 1 konnte daher nicht vorausgesetzt werden.
Bei der Zusammenstellung der Probenkollektive, die für eine Hinterfüllung mit den verschiedenen Injektionsmassen vorgesehen waren, wurde darauf geachtet, daß jeder Injektionsmasse die gleiche Anzahl an Proben der ersten Serie zugeordnet wurde.[182] Hierdurch sollte die Vergleichbarkeit der Haftzugergebnisse sicher gestellt werden.

6.1.4 Keramische Modellkörper des Typus 2 zur Untersuchung von Festigungsmitteln

6.1.4.1 Vorversuche zur Erzielung einer Engobe geringer Festigkeit bei ausreichender Haftung

Zur Erzielung einer Engobe von geringer Festigkeit und ebenfalls geringer, aber noch ungestörter Scherbenanhaftung waren umfangreiche Versuche mit verschiedenen Magerungsmitteln in unterschiedlichen Anteilen sowie mit verschiedenen haftungsverbessernden Zusätzen erforderlich. Als Magerung wurde der bereits für die Engobe des Probentypus 1 verwendete feinkörnige Quarzsand 12 f der Fa. Dörentrup, das Quarzmehl Millisil W 12 der Fa. Quarzwerke, Weferlingen und Engobe-Schamotte verwendet, die aus gebrannter Engobe durch Brechen und Aussieben selbst hergestellt wurde. Zur Verbesserung der Haftung während des Trocknungsprozesses wurden Lösungen von Tylose MH 300 in Konzentrationen von 0,5, 1, 2,5 und 5 %, ferner Dextrinzugaben, Lösungen des Polyvinylacetats Moviol 8-88 in verschiedenen Konzentrationen bis 5 % sowie die Acryldispersion Primal AC 33 verwendet. Letztere war durch Wasserver-

[181] 175 g Glasurtrockenmischung wurden mit 75 g der 2,5 %-igen Klucel-E-Lösung und 10 g 5 %-iger Lösung von Tylose MH 300 angemischt.
[182] Die Proben der ersten Fertigungsserie tragen die Nummern 1 A 1 bis 1 A 49, die der zweiten Serie die Nummern A 29 sowie A 50 bis A 232.

dünnung auf einen Feststoffgehalt von 5, 10 und 20 % eingestellt worden. Die Vorversuche, die an jeweils 3 bis 6 Proben durchgeführt wurden, hatten folgende Ergebnisse:

- Die ausschließliche Verwendung von Quarzsand als Magerungsmittel führte zu einer schlechten Verarbeitbarkeit der Engoben. Durch Zugabe von Quarzmehl ließen sich die Engoben wesentlich besser aufstreichen. Als geeignet erwies sich ein Verhältnis von Quarzsand zu Quarzmehl von 2 : 1.
- Übersteigt der Magerungsanteil den Anteil von Tonmehl, so führt dies häufig zum Engobeabriß bei der Trocknung. Es ist zu vermuten, daß bei geringem Tonanteil die Trockenschwindung der Engobe im Vergleich zum Scherben zu niedrig ist. Höhere Magerungsanteile können nur bei Zusatz temporärer Haftvermittler verwendet werden.
- Primal AC 33 führte bei allen getesteten Konzentrationen zu einer Verbesserung der Engobeanhaftung. Auch die Lösungen von Tylose MH 300 verbesserten die Engobeanhaftung merklich, je nach Magerungsanteil auch schon bei niedrigen Konzentrationen. Dies dürfte nicht allein auf das Klebevermögen, sondern v.a. auf die wasserrückhaltende und damit trocknungsverlangsamende Wirkung zurückzuführen sein, was zu einem spannungsärmeren Verbund führt.
- Der maximale Anteil an Magerung im Verhältnis zum Tonmehl beträgt 5:1 Gewichtsteile, wenn zum Anmachen der Engobe Tylose MH 300 in 2,5 %-iger Konzentration verwendet wird und 1 M-% Dextrin zugegeben wird. Allerdings ist bei diesem Mischungsverhältnis bereits mit größerem Ausschuß zu rechnen.

6.1.4.2 Herstellung der Probensätze

Die Formatierung der Tonplättchen und das Anmischen der Engobe mittels Dispergiergerät wurden in der bereits beschriebenen Weise durchgeführt (Kap. 6.1 3.4). Als Engobe wurde folgende Rezeptur ausgewählt:
1,0 Gewichtsteil mageres Tonmehl No. 163
2,6 Gewichtsteile Quarzsand 12 f
1,4 Gewichtsteile Quarzmehl Millisil W 12
2,5 %-ige Lösung von Tylose MH 300 zum Anmischen der Engobe.
Entgegen den Ergebnissen der Vorversuche traten auch bei diesem Probentypus bei der Herstellung der ersten Großserie sehr starke Probleme hinsichtlich der Engobehaftung am Scherben auf. Es traten an vielen Proben hohlliegende Engobebereiche mit einer Flächenausdehnung von 5 % bis 75 % auf. Bei einem Teil der Proben war sogar ein vollständiger Engobeabriß zu verzeichnen. Diese Probleme konnten auch bei der zweiten Probenserie durch eine Erhöhung des Tylosekonzentration auf etwa 3,5 % und weiteres Herabsetzen der Trocknungsgeschwindigkeit durch temporäres Abdecken der Proben mit einem Folienkasten nicht gelöst werden. Möglicherweise war auch ein noch zu hoher Feuchtegehalt der Tonplättchen zum Zeitpunkt des Engobeauftrags Ursache der Haftungsprobleme. Aufgrund des höheren Tylosegehalts der Engobe bei der Anfertigung des zweiten Probensatzes wurden die beiden Serien als Subtypus 2 A (erster Probensatz) und Subtypus 2 B (zweiter Probensatz) unterschieden.
Die Glasierung erfolgte in gleicher Weise wie bei Probentypus 1 beschrieben.

6.1.4.3 Problematik der Eigenschaftsstreuung und Probenzuordnung

Um die beiden Probensätze 2 A und 2 B trotz ihrer stark streuenden Eigenschaften für vergleichende Haftzugmessungen nach einer Applikation verschiedener Festigungsmittel verwenden zu können, wurde an jeder Probe die Flächenausdehnung der hohlliegenden Engobebereiche mittels Perkussionsuntersuchungen (Abklopfen mit dem Fingernagel) abgeschätzt. Die Präzision dieses Verfahrens ist nicht sehr hoch, stellte aber angesichts der Anzahl von ca. 260 Proben die einzige praktikable, d.h. hinreichend schnelle Methode zur Hohlstellenquantifizierung dar. Eine Wiederholung dieser Untersuchung zu einem späteren Zeitpunkt erbrachte bei den meisten Proben übereinstimmende Ergebnisse oder Abweichungen um 10 %. Die maximale Differenz zwischen beiden Perkussionsuntersuchungen betrug 20 %.
Etwa die Hälfte der Proben wies eine geringere Engobeanhaftung als 50 Flächenprozent auf und wurde ausgesondert. Die verbleibenden Proben wurden nach Ausdehnung der hohlliegenden Bereiche in 4 Klassen sortiert: Hohllagen von 0 bis 10 %, 15-20 %, 25-35 % und 40-50 %. Je Modellkörpersubtypus 2 A und 2 B standen damit je 65 Proben zur Verfügung. Dabei zeigte sich, daß der Probensatz 2 A im Durchschnitt eine bessere Engobehaftung aufwies als der Probensatz 2 B.

Nachfolgend wurde eine möglichst gleichmäßige Verteilung der in unterschiedlichem Maße fehlerbehafteten Proben auf die vorgesehenen Applikationen bzw. die Gruppe der unbehandelten Nullproben vorgenommen. Jedem Festigungsmittel wurden dabei je 5 Proben der Subtypen 2 A und 2 B zugeordnet. Der arithmetische Mittelwert der Hohlstellen schwankt für die einzelnen Probensätze zwischen 23 und 33 Flächenprozent.

Fraglich bleibt allerdings, ob die akustische Detektierung hohlliegender Engobebereiche eine hinreichende Zustandseinschätzung der Probenqualität gewährleisten kann. Möglicherweise ist die Engobehaftung auch in den übrigen, v.a. in den direkt an die Hohlstellen angrenzenden Bereichen bereits gestört, ohne daß dies mittels Perkussionsuntersuchung festzustellen ist. Hierdurch wäre die Vergleichbarkeit der ermittelten Haftzugfestigkeiten weiter in Frage stellt.

6.1.5 Abschließende Bewertung der Präparation keramischer Modellproben

Die Herstellung geeigneter keramischer Modellproben erwies sich als wesentlich schwieriger und zeitaufwendiger, als dies bei der Planung der Diplomarbeit und nach ersten Vorversuchen angenommen wurde. Die erzielten Probeneigenschaften decken sich nur zum Teil mit dem in Kapitel 6.1.2 formulierten Anforderungsprofil. Hierdurch ergeben sich auch Einschränkungen in der Auswahl der Konservierungsmittel für die geplanten Haftzugversuche. Die gegenläufige Verformung von abgelöstem, glasierten Engobeplättchen und engobiertem Scherben bei Probentypus 1 hatte eine variable und insbesondere an den Probenaußenkanten beträchtliche Breite des zu injizierenden Spaltes zur Folge. Die häufig sehr schmalen Abstände zwischen hohlliegender Glasur und keramischem Träger, die an den Originalen zu beobachten sind, konnte daher nicht simuliert werden. Damit entfiel auch die Möglichkeit, Versuche mit sehr niedrigviskosen Formulierungen von Injektionsstoffen durchzuführen, die zur konservatorischen Behandlung solcher Bereiche an den Terrakotten sicherlich benötigt werden. Durch die Haftungsprobleme der stark gemagerten Engobe am Scherben des Probentypus 2 ergaben sich bei diesem Probensatz große Unterschiede in den Probeneigenschaften. Hierdurch waren die Ergebnisse der Haftzugmessungen an den gefestigten Modellproben nur eingeschränkt vergleichbar und es bedurfte rechnerischer Korrekturen, um gleichwohl eine statistische Auswertung dieser Versuchsreihe und eine Beurteilung der Versuchsergebnisse zu ermöglichen. Diese Problematik wird in Kapitel 8.2 eingehend diskutiert.
Trotz dieser Einschränkungen halte ich den Ansatz, durch gezielte Modifizierung des Herstellungsprozesses keramische Modellpräparate zu erzeugen, die die gewünschten Eigenschaften auch ohne nachträgliche Schädigung aufweisen, nach wie vor für richtig. Allerdings hätte es einer längeren Vorversuchsphase und einer noch intensiveren Auseinandersetzung mit den handwerklichen und theoretischen Grundlagen der Keramik bedurft, um die präparatorischen Schwierigkeiten erfolgreich zu meistern und Proben herstellen zu können, die uneingeschränkt dem formulierten Anforderungsprofil entsprechen. Hierbei wäre über die in Anspruch genommene Beratung hinaus auch eine praktische Zusammenarbeit mit erfahrenen Keramikern sicherlich sehr hilfreich gewesen.

6.2 Vorbereitung und Durchführung der Konservierungsmaßnahmen an den keramischen Modellkörpern

6.2.1 Vorbereitung und Durchführung der Injektionen an den Modellkörpern des Typus 1

Zur Vorbereitung der Injektionen mußten die glasierten Engobeplättchen und die keramischen Träger in einem möglichst einheitlichen Abstand fixiert und an drei Probenseiten reversibel abgedichtet werden. Zur Einstellung eines gleichmäßigen Abstandes wurden Bügel aus Draht der Stärke 0,8 mm verwendet, die in der Nähe der Probenaußenkanten positioniert und nach seitlicher Abdichtung der Proben herausgezogen werden konnten. Aufgrund der geschilderten Verformungen der Proben bei der Trocknung und den beiden Bränden variiert die Höhe des auf diese Weise eingestellten Hohlraumes sowohl über den Querschnitt jeder einzelnen Probe als auch zwischen den einzelnen Proben. Die Spaltweite ist jeweils in der Probenmitte am geringsten und öffnet sich zu den Außenkanten hin bis zu einem Millimeter.
Für die seitliche Abdichtung wurden in Vorversuchen verschiedene Materialien getestet. Als wenig geeignet erwiesen sich Polyethylen-Heißkleber und Paraffin: Beide dringen bei größeren Spaltweiten und stärkerer Erhitzung randlich in den zu verfüllenden Hohlraum ein und können hierdurch kaum oder nur bei Beschädigung der Proben wieder entfernt werden. Um mögliche Verfälschungen der Haftzugwerte zu

vermeiden, erschien eine restlose Entfernung der seitlichen Abdichtung aber unabdingbar. Überdies wies der Heißkleber trotz einer Vorbehandlung mit Ethanol teilweise eine so starke Untergrundhaftung auf, daß sich bei seiner Entfernung das fixierte Glasurplättchen löste. Auch eine Fixierung mittels Papierklebeband bewährte sich nicht, da die Injektionsmassen vielfach an den Probenaußenflächen austraten. Zudem war das Klebeband nur nach längerem Einweichen der Proben in Wasser wieder zu entfernen.
Als praktikabel erwies sich eine Kaschierung mit doppelt gelegten Japanpapierstreifen, die mit einer 2,5-prozentigen Lösung von Tylose MH 300 fixiert wurde. Diese Abdichtungsart hat die Eigenschaft, daß ein Flüssigkeitsüberschuß aus der Vornetzung oder der Injektionsmasse in gewissem Maße durch das Japanpapier nach außen diffundieren kann. Zudem ist die Fixierung des Glasurplättchens nicht starr und kann sich hierdurch dem Schwinden der Injektionsmasse anpassen. Hierdurch wird deren Abreißen von der Glasuruntersseite verhindert.
Die genannten Eigenschaften dieser Abdichtungsvariante werden positiv bewertet, da sie eine vollständige Verfüllung des Hohlraumes begünstigen, was eine bessere Vergleichbarkeit der erzielten Haftzugfestigkeitswerte erwarten läßt. Auch an den Originalterrakotten ist mit einem Absaugen überschüssiger Flüssigkeit durch die an den zu hinterfüllenden Hohlraum angrenzenden Partien zu rechnen und eine gewisse Flexibilität der zu fixierenden Glasurschollen gegeben.

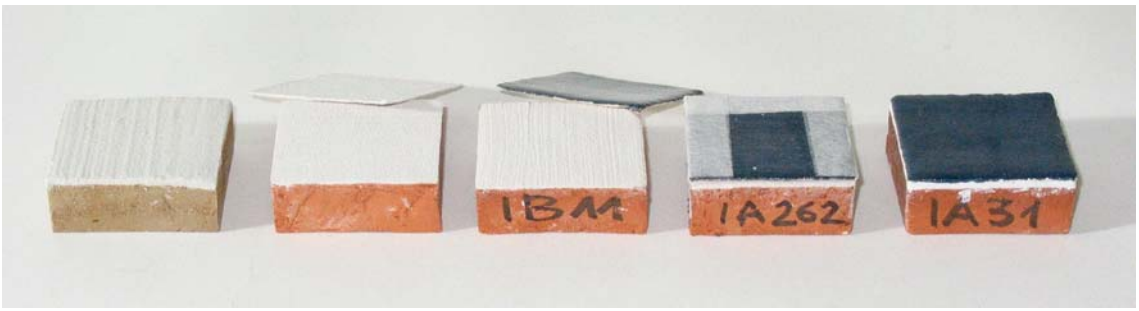


Abb. 5: Modellpräparat Typus 1 (v.r.n.l.): ungebrannte trockene Probe / nach dem Schrühbrand / nach dem Glasurbrand / nach der Abdichtung des zu injizierenden Spalts mittels Japanpapierkaschierung / nach Injektion und Entfernung der Kaschierung

Die Spaltverfüllung mit den verschiedenen Injektionsmassen wurde nach folgendem Schema durchgeführt: In der Regel wurden die zu verfüllenden Spaltöffnungen mittels 10 ml Injektionsspritze und 0,8 mm Kanüle in liegender Position mit ca. 1 bis 1,5 ml Flüssigkeit vorgenetzt, bis das Vornetzmedium an der offenen Probenseite heraustrat. Hierzu wurde die Injektionsnadel etwa 3 cm tief entlang einer abgeklebten Probenseite in den Hohlraum eingeführt. Nach einer Wartezeit von ca. 10 Minuten wurden die Proben vertikal auf einer Zellstoffunterlage aufgerichtet und in gleicher Weise mit den Injektionsmörteln verfüllt. Sofern sich noch überschüssige Vornetzflüssigkeit im Injektionshohlraum befand, wurde sie durch die Injektionsmasse verdrängt und trat an der offenen Probenseite aus. Hier wurde sie mit einem Zellstofftuch aufgenommen. Infolge Flüssigkeitsentzugs durch Engobe und Scherben sackten bei allen Injektionsmörteln die Hohlraumverfüllungen stark nach. Durch wiederholtes Nachgeben der Hinterfüllmörtel wurde eine vollständige Verfüllung des gesamten Hohlraums angestrebt. Die Proben wurden zur Aushärtung der Injektionsmassen horizontal bei einem Klima von ca. 22-24° C und einer relativen Luftfeuchte um 60 % gelagert.
8 Tage nach der Injektion wurde die Papierkaschierung mit einem Skalpell entfernt, nachdem der Celluloseäther durch vorsichtiges Benetzen mit Wasser aufgeweicht worden war. Um eine Störung bzw. Forcierung des Abbindeprozesses der Kieselsäureester-gebundenen Injektionsmassen möglichst gering zu halten, wurde an diesem Probensatz die Papierkaschierung erst nach 11 Tagen entfernt.
Bei keiner der Proben des Typus 1 trat ein Versagen der Injektionsmassenhaftung während des Ablösens der seitlichen Abdichtung auf. Damit hat sich diese Präparationsart in der Praxis bewährt.

6.2.2 Vorbereitung und Durchführung der Tränkungen an den Modellkörpern des Typus 2

Die Tränkungen wurden in Glaswannen vorgenommen, die mittels Parafilm und Glasplattenabdeckung gegen ein Verdunsten der Lösemittel und damit gegen eine Konzentrationsänderung der Festigungslösungen geschützt wurden. Die Proben wurden hierbei auf Dreikantleisten gelegt, wobei sie etwa 3-5 mm in die Lösungen eintauchten. Nach vollständiger Durchfeuchtung wurden die Proben entnommen und

überschüssiges Lösung allseitig mit Zellstofftüchern abgetupft. Die Glasurseite wurde zudem mit einem mit Lösemittel durchfeuchteten Tuch nachgewischt. Um eine Rückwanderung der eingebrachten Festigungsmittel zu den Probenaußenflächen und eine Störung der Härtungsreaktion der Epoxidharze durch CO_2-Aufnahme aus der Luft zu verhindern, wurden die mit Kunstharzen getränkten Proben nach Abschluß der Tränkungen für 8 Tage in einem Exsikkator mittels Benzindämpfen klimatisiert.[183] Auch für die mit Lösung 7 getränkten Proben wurde aufgrund des Acrylharzanteils diese Nachbehandlung gewählt. Eine verzögerte Abscheidung von Kieselgel aus dem Kieselsäureethylesteranteil der Lösung wurde dabei in Kauf genommen. Dagegen wurden die mit reinem Kieselsäureethylester getränkten Proben bei etwa 23° C und 65 % relativer Luftfeuchte gelagert.

6.3 Herstellung von Mörtelprismen

Aufgrund des hohen Flüssigkeitsanteils der Injektionsmassen war mit einem großen Schwindmaß und einhergehend mit hoher Rißbildungsneigung der Massen zu rechnen. Um trotzdem Prismen in prüffähiger Qualität zu erhalten, erschien eine Reduzierung der Probengröße gegenüber den Normprismen nach DIN 18555 mit den Abmessungen 160 x 40 x 40 mm erforderlich. Über eine Minimierung der Probenabmessungen hinaus erschien eine Reduzierung des Flüssigkeitsanteils der Injektionsmassen notwendig, um Schwindrißbildung zu vermeiden. Ausgehend von der Überlegung, daß ein beträchtlicher Anteil der Flüssigphase der injizierten Massen von Engobe und Scherben abgesaugt wird, ist eine Herabsetzung des Flüssigkeitsanteils nicht nur statthaft, sondern notwendige Voraussetzung, um realitätsnahe Festmörtelkennwerte zu erzielen.[184]

Die Probengröße wurde auf 100 x 30 x 30 mm festgelegt, was die der Mindestgröße für die Dilatationsmessungen entspricht und in der stabförmigen Probengeometrie den Anforderungen des Ultraschall-Dehnwellenmeßverfahrens gerecht wird (vgl. Kap. 5). Entsprechende Probenformen mit 6 oder 8 Prismenfächern wurden aus beidseitig beschichteten Preßspanplatten hergestellt. Die offenen Schnittkanten wurden mit Polyesterspachtel beschichtet, um ein eventuelles Aufquellen durch Feuchtigkeitseintrag zu verhindern bzw. zu minimieren. Die Formen wurden mit Teflonspray isoliert.

Zur Quantifizierung des Flüssigkeitsentzugs durch poröse mineralische Substrate hatte Böttger Injektionsmörtel für 15 Minuten in einem Spalt von 5 mm Weite zwischen zwei Sandsteinplatten gegeben und anschließend das Ausbreitmaß dieses Mörtels nach kurzem Homogenisieren mittels Normmischer bestimmt. Für die Herstellung von Mörtelprismen wurde nachfolgend dieses Ausbreitmaß der Flüssigkeitsbemessung der Mörtel zugrunde gelegt.[185]

Nach eigenen Erfahrungen ist die Dispergierung der Feststoffe (pyrogene Kieselsäure und Zuschläge) sowie der Zusatzmittel bei einer sehr erheblichen Reduzierung des Flüssigkeitsanteils schwierig und kann je nach Rezeptur z.T. eine beträchtliche Erhöhung der Umdrehungsgeschwindigkeit notwendig machen. Eine Änderung der Mörteleigenschaften durch die höhere Scherleistung ist nicht auszuschließen.

Daher wurden zunächst ein anderes Vorgehen favorisiert: Eine Injektionsmasse auf der Basis von Kieselsol wurde zunächst mit unvermindertem Flüssigkeitsanteil hergestellt und anschließend auf Gipsplatten[186] ausgegossen, um ihr einen Teil der Flüssigkeit zu entziehen. Erst nach Ablauf mehrerer Stunden war eine deutliche Flüssigkeitsreduzierung erreicht, wobei sich über einem sehr zähen Bodensatz eine noch recht niedrigviskose Schicht befand, die z.T. bereits von einer Haut bedeckt war. Der eingedickte Mörtel wies also eine sehr uneinheitliche Konsistenz auf und war durch Rühren von Hand nicht zu homogenisieren. Erst durch 30-minütiges Nachdispergieren bei Geschwindigkeiten von 6 m/s ließ sich eine homogene Masse von zähflüssiger Konsistenz gewinnen. Aufgrund des unerläßlichen Nachdispergierens bei relativ

[183] Hierzu wurde eine Mischung der aromatenfreien Sorten Siedegrenzbenzin 100/140 und Shellsol T verwendet. Nicht unerwähnt bleiben soll, daß als zusätzliche Etagen zur Probenlagerung in den Exsikkator eingestellte Kunststoffgitter im Laufe einiger Tage in den Lösungsmitteldämpfen erweichten und an einigen Probenaußenflächen Spuren dieses thermoplastischen Kunststoffes haften blieben. Eine Beeinflussung der Haftzugfestigkeiten war hierdurch aber nicht zu erwarten. Desweiteren verschoben sich einige Male die Deckel der Exsikkatoren infolge des Dampfdruckes der verwendeten Benzinsorten und einer Verflüssigung des Schliffettes durch Resorption der Benzindämpfe. Hierdurch war zwar ein hermetischer Abschluß des Exsikkatorinneren von der umgebenden Atmosphäre nicht mehr gegeben, doch aufgrund des hohen Dampfdruckes der verwendeten Benzinsorten dürfte die Wirksamkeit der Klimatisierung hierdurch nicht beeinträchtigt worden sein.

[184] Böttger, Karl Georg (1997): Mörtel für die Erhaltung historischer Kalkputze. Haftmörtel, Hinterfüllmörtel und Kalkputze. Dissertation an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar, S. 117

[185] Böttger (1997), S. 117

[186] Gipskartonplatten eigneten sich hierfür nicht, da sich deren Sauggeschwindigkeit auch nach Ablösung der Kartonkaschierung als viel zu gering erwies. Daher wurden Platten aus normalem Stuckgips verwendet.

hohen Geschwindigkeiten und der Langwierigkeit des gesamten Prozesses wurde das geschilderte Vorgehen als nicht geeignet verworfen.
In einem weiteren Versuch wurde der Flüssigkeitsanteil beim Herstellen der Injektionsmasse um 33,3 % reduziert. Hierbei mußte die Umfangsgeschwindigkeit der Dissolverscheibe von 6 auf 10 m/s erhöht werden, da andernfalls ein Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure nicht möglich gewesen wäre.

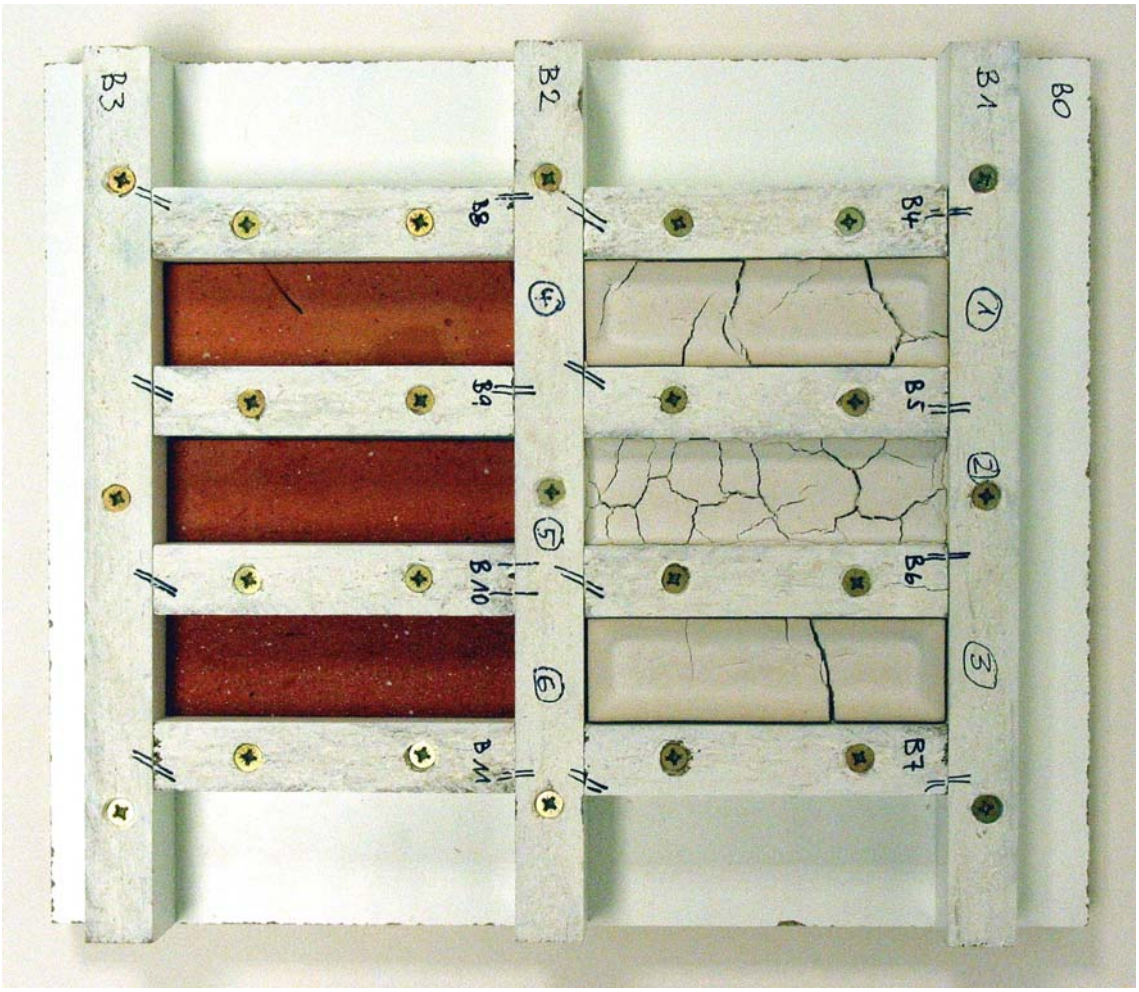


Abb. 6: Prismenform mit eingelegten Terrakottastücken und gerissenen Injektionsmörtelprismen

Nach dem Einfüllen der beiden Massen in die Prismenformen war im Verlauf mehrer Tage ein starkes mittiges Einfallen der Mörteloberfläche und die Ausbildung sehr kräftige Schwindrisse zu beobachten, die beim Entschalen zu einem Zerfall der Prismen in mehrere Teilstücke führten. Auch Versuche, durch Einlegen paßgenau zugeschnittener Terrakottastücke von 12 mm Dicke in die Prismenformen durch schnelleren Flüssigkeitsentzug und geringere Mörtelschichtdicke eine Verbesserung zu erzielen, schlugen fehl.

Aufgrund der geschilderten präparatorischen Schwierigkeiten und aus zeitlichen Gründen konnte die Herstellung von Mörtelprismen im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht weiter verfolgt werden. Hierdurch konnten entsprechende Kennwerte der Wasseraufnahme, des dynamischem E-Moduls, des Erhärtungsschwindens und der hygrischen und thermischen Dehnung der Injektionsmassen nicht ermittelt werden.

7. Untersuchungen von Injektionsmörteln

7.1 Herstellung von Injektionsmörteln mittels Dispergieren

Das von Lehmkuhl beschriebene Verfahren, durch Dispergieren von amorpher Kieselsäure sedimentationsstabile Injektionsmassen zu erzielen, wurde bereits in Kapitel 2 beschrieben. Hier soll näher auf den Dispergiervorgang eingegangen werden, da verfahrenstechnische Parameter neben der Auswahl und Dosierung der Inhaltsstoffe einen großen Einfluß auf die Eigenschaften der dispergierten Massen haben.

Aufbau und Eigenschaft des dreidimensionalen Netzwerks aus amorpher Kieselsäure in Flüssigkeiten hängen von den Eigenschaften der flüssigen Phase und der pyrogenen Kieselsäure, ihrem Masseverhältnis zueinander und von der Güte ihrer Durchmischung ab. Wichtig ist dabei die vollständige Benetzung der pyrogenen Kieselsäure durch die flüssige Phase, wobei Agglomerate in ihre Einzelpartikel (Aggregate) zerteilt werden müssen. Dies ist nur bei Eintrag hoher Scherkräfte möglich, was den Einsatz von geeigneten Rührgeräten erfordert. Bewährt haben sich hierfür sogenannte Dispergiergeräte oder Dissolver, schnelldrehende, in ihrer Geschwindigkeit steuerbare Hochleistungsrührwerke, die mit zweckmäßig geformten Rührwerkzeugen, den Dissolverscheiben ausgestattet sind. Sie weisen entlang ihrer Außenkanten eine Zahnung auf, die abwechselnd nach oben und unten gebogen ist.

Zwei wichtige Größen zur gezielten Steuerung der Dispergierarbeit sind die Dauer des Dispergierprozesses und die Umfangsgeschwindigkeit der Dissolverscheibe in [m/s], die sich gemäß nachfolgender Formel aus dem Durchmesser *d* der Dissolverscheibe in [m] und der Drehzahl *n* der Rührwelle in [min^{-1}] errechnet:

$$v = \frac{\pi \bullet d \bullet n}{60} \qquad (5)$$

Lehmkuhl erwähnt in seiner Arbeit mehrfach, daß zum optimalen Anmischen von Injektionsmassen auf der genannten Stoffbasis Umfangsgeschwindigkeiten von 10 m/s notwendig sind, obwohl eine Zerteilung der Agglomerate und vollständige Benetzung der pyrogenen Kieselsäure bereits bei Geschwindigkeiten von 7 m/s zu erzielen sei. Die Erhöhung der Scherleistung auf 10 m/s, auch als Überdispergierung bezeichnet, führe zu zwei Effekten: Zum einen werde das bereits bei niedrigeren Geschwindigkeiten entstandenene ideale Kieselsäurenetzwerk, dessen Ausbildung mit einer Erhöhung der Viskosität und dem Aufbau thixotroper Eigenschaften einhergehe, in kleinere Einheiten zerschlagen. Hierdurch werde die Viskosität der Dispersion wieder reduziert, was zur Erzielung guter Fließeigenschaften unabdingbar sei. Zum anderen erreiche bei dieser Dispergiergeschwindigkeit die Sedimentationsstabilität der Suspension ihr Maximum.[187]

Nach Angabe des Dispergiergerätehersteller VMA/Getzmann wird der optimale Energieeintrag in den Mischansatz nur dann erzielt, wenn sich während der Dispergiervorgangs ein bestimmtes, laminares Fließbild ergibt, das wegen seiner Ähnlichkeit zu einem amerikanischen Gebäckstück als sog. „Doughnut-Effekt" bezeichnet wird. Es bildet sich eine Trombe, d.h. eine trichterförmige Vertiefung im Mischansatz aus, wodurch die achsnahen Bereiche der Dissolverscheibe blank liegen. Der höchste Punkt des Mischansatzes liegt dabei nicht direkt an der Behälterwand, sondern befindet sich in einiger Entfernung von dieser. Bei Erzielung des Doughnut-Effektes ergibt sich ein relativ ruhiges Strömen der Mischflüssigkeit bei maximalem Eintrag von Scherkräften. Dagegen zeigt ein unruhiges Mischbild, ein Auf- und Abschwappen des Mischansatzes im Rührbehälter, das Herausspritzen größerer Tropfen und stärkere Geräusche wie lautes Rauschen und Schmatzen an, daß turbulente Strömungen vorherrschen und Luft in den Mischansatz eingetragen wird, wodurch die Dispergierarbeit in unkontrollierter Weise erfolgt.

Es erschien zweifelhaft, ob bei solchen Fließbildern reproduzierbare Mischergebnisse zu erzielen sind.

---

[187] Lehmkuhl, Thomas (1990): Injektionsfähige Hinterfüllmassen auf der Basis kolloidaler Kieselsäuredispersion zur Fixierung dünner Schuppen und Schalen an Objekten aus Baumberger Kalksandstein. Unveröffentl. Diplomarbeit an der FH Köln, Fachbereich Restaurierung und Konservierung von Kunst- und Kulturgut, S. 50-52, Anm. 69

Mögliche Einflußfaktoren auf den Dispergiervorgang und die Ausbildung des Doughnut-Effektes sind:

1. eine nichtzentrische Ausrichtung der Dispergierscheibe im Mischgefäß
2. das Verhältnis des Dissolverscheibendurchmessers zum Behälterinnendurchmesser
3. die Füllhöhe des Mischansatzes im Mischgefäß
4. der Bodenabstand der Dissolverscheibe in Abhängigkeit vom Volumen des Mischansatzes
5. die Umfangsgeschwindigkeit der Dissolverscheibe
6. die Viskosität des Mischansatzes in Abhängigkeit von der Ausgangviskosität der flüssigen Phase und der Kornfeinheit und Menge der zugegebenen Füllstoffe
7. die Temperatur des Mischansatzes
8. die Ausformung der Dissolverscheibe
9. Die Art und Geschwindigkeit der Feststoffzuführung

In Restauratorenkreisen werden meist Dispergiervorrichtungen der Fa. VMA/Getzmann verwendet. Es gibt aber eine ganze Reihe weiterer Hersteller, die z.T. wesentlich kostengünstigere Geräte anbieten. Im Fachbereich Restaurierung der FH Hildesheim/Holzminden/Göttingen wurde im März 2003 ein Dispergiergerät der Fa. Distech angeschafft.[188] Als Rührwerkzeuge standen drei Dissolverscheiben des gleichen Herstellers mit den Nenndurchmessern 30, 40 und 60 mm sowie als Mischbehältnisse drei einwandige Edelstahlbecher der Fa. VMA Getzmann mit den Nennvolumina 0,25, 0,5 und 1 l zur Verfügung.
Es erschien sinnvoll, für die ersten Dispergierversuche zunächst weitgehend der von Lehmkuhl angegebenen Grundrezeptur und den entsprechenden Mischvorschriften zu folgen.[189] Aus Kostengründen wurden aber einige Veränderungen vorgenommen: Das Kieselsol Syton X 30 wurde stets 1:1 mit destilliertem Wasser verdünnt. Statt des von Lehmkuhl verwendeten Füllstoffs wurde ein andere Quarzmehlsorte verwendet, die bereits zur Verfügung stand. Anstelle des Produkts Cab-O-Sil M5 wurde für einige Vorversuche ein andere pyrogene Kieselsäure verwendet (Aerosil 200)[190]. Schließlich wurde die Ansatzgröße halbiert und vorzugsweise einem Mischbehältnis von 500 ml Fassungsvermögen gearbeitet. Es ergibt sich folgende Grundrezeptur:

Abb. 7: Dispergiergerät der Fa. Distech

Syton X 30	5 Gewichtsteile	100 g
H_20_{dest}	5 Gewichtsteile	100 g
pyrogene Kieselsäure (Aerosil 200)	1 Gewichtsteil	20 g
Quarzmehl Millisil W12 (Quarzwerke, Standort Weferlingen)	10 Gewichtsteile	200 g
Stabilisators Tween 20	0,1 Gewichtsteil	2 g

[188] Fa. Distech-Dispergiertechnik, Kirchen; Gerätebezeichnung DB 13 mit Wechselstrommotor der Fa. Emod, Leistungsaufnahme 1 KW, max. Umdrehungszahl der Rührwelle 17.600 U/min, Frequenzumrichter Typ Siemens Mikromaster 420, mit elektrischer Hebevorrichtung mittels Hubstangenmotor und separatem Steuergerät, Digitalanzeige der Drehzahl (muß mit dem Faktor 10 multipliziert werden)
[189] Lehmkuhl, Thomas (1990): Injektionsfähige Hinterfüllmassen, S. 73 - 76
[190] Die spezifische Oberfläche dieser amorphen Kieselsäure liegt mit 200 m²/g etwas unter der später verwendeten Sorte Cab-O-Sil M 5 mit 250 m²/g.

Der Mischvorgang selber gestaltete sich folgendermaßen: Zunächst wurde bei Umfangsgeschwindigkeiten von 2 bis 7 m/s die pyrogene Kieselsäure mittels Papiertrichter in die Flüssigkeitsvorlage eingestreut und für 5 Minuten bei 10 m/s dispergiert. Hierauf wurde das Quarzmehl sukzessive zugegeben und ebenfalls für 5 Minuten bei 10 m/s dispergiert. Meist mußten nach Beendigung des Einstreuens noch an der Becherwandung haftende, unbenetzte Stoffe mit einem Hölzchen der Mischung zugeführt werden, um eine homogene Durchmischung des gesamten Ansatzes zu erzielen. Die Stabilisatorzugabe erfolgte tropfenweise bei einer Geschwindigkeit von 2m/s. Danach wurden die Injektionsmassen bei gleicher Umfangsgeschwindigkeit für weitere 2 Minuten homogenisiert. Die angegebene Dispergierdauer ist jeweils auf den Zeitpunkt bezogen, zu dem die Materialzugabe abgeschlossen und die Becherwandungen freigeräumt waren.

Die Mischversuche führten zu folgenden Ergebnissen: Weder konnte das angestrebte Fließbild des Doughnut-Effektes, noch die vorgegebenen Umfangsgeschwindigkeiten erzielt werden. Zu beobachten waren schon bei Umfangsgeschwindigkeiten von 5-7 m/s ein heftiges Auf- und Abschwappen der Flüssigkeit an den Behälterwänden, laut schmatzende und gurgelnde Geräusche und eine Trichterausbildung im Mischansatz, bei der die gesamte Oberseite der Dissolverscheibe einschließlich der nach oben gebogenen Zähne freilag. Bei weiterer Geschwindigkeitserhöhung schwappten Teile des Mischansatzes über die Becherwandungen. Nur bei einer drastischen Reduzierung der Dispergiergeschwindigkeit und bei weit höheren Zugabemengen von Quarzmehl ließ sich eine Ähnlichkeit mit dem Doughnuteffekt erzielen. In zahlreichen Versuchen wurden daraufhin Bechergrößen, Scheibendurchmesser, Mischansatzvolumina und Abstand der Dissolverscheibe zum Behälterboden variiert, ohne daß bei Beibehaltung der oben angegebenen Rezeptur und unter Beachtung der von Lehmkuhl angegebenen Mischvorschriften eine wesentliche Verbesserung des Fließbildes erzielt werden konnte.

Gemeinsame Dispergierversuche mit dem Werkstattleiter der Abteilung Steinrestaurierung an der FH Potsdam, Herrn Peter Kozub, zeigten dagegen ein günstigeres Mischbild. Hierbei wurde ein Dispergiergerät der Fa. VMA/Getzmann verwendet. Zwar wurde auch hier der Doughnut-Effekt bei einer Umfangsgeschwindigkeit von 10 m/s nicht erreicht, doch ergab sich ein deutlich ruhigeres Fließbild, wobei die Oberseite der Dissolverscheibe nur zu einem kleinen Teil freilag. Gleiche Erfahrungen wurden bei einem Besuch von Herrn Thomas Lehmkuhl erzielt. Bei den Versuchen in den genannten Werkstätten wurden die oben angegeben Stoffe verwendet.

Dies ließ vermuten, daß die andere Form der dort eingesetzten Dissolverscheiben einen großen Einfluß hat.

Während die gelieferten Scheiben der Fa. Distech eine sehr grobe Zahnung aufweisen, sind die Dispergierscheiben der Fa. Getzmann wesentlich filigraner ausgebildet: die Anzahl der Zähne ist höher, ihre Abmessungen geringer (Abb. 8). Die günstigeren Eigenschaften dieses Scheibentyps bei der gegebenen Mörtelrezeptur bestätigten sich, nachdem sie an das Dispergiergerät der Fa. Distech adaptiert worden waren.[191] Das Fließbild beruhigte sich daraufhin, doch konnte auch dann eine Scherleistung von 10 m/s nicht erzielt werden, ohne Streuverluste durch hinausspritzendes Mischgut in Kauf zu nehmen.

Abb. 8: Dissolverscheiben der Fa. Distech (hintere Reihe, Ø 60, 40 und 30 mm) und der Fa. VMA/Getzmann (vordere Reihe, Ø 40, 30 und 25 mm)

[191] Hierzu mußte die zentrische Bohrung von 5 mm Durchmesser auf 6 mm erweitert werden und die Scheibe auf die Adapterhülse der Fa. Distech aufgeschraubt werden. Dabei ist zu beachten, daß die Zähne der Getzmannscheiben leicht schräg stehen. Die nach Außen weisende Zahnseite muß nach dem Aufschrauben der Adapterhülse auf die Rührwelle in Laufrichtung zeigen.

Aus diesen Vorversuchen ließen sich folgende Schlußfolgerungen ableiten:

- Bei den relativ geringen Füllstoffmengen der oben angegebenen Rezeptur kann ein Doughnuteffekt nicht erzielt werden. Dies ist nur bei einer wesentlich höherer Viskosität des Mischguts infolge eines deutlich erhöhten Füllstoffanteils möglich. Das unruhige Fließbild ist Folge einer überhöhten Dispergiergeschwindigkeit im Verhältnis zur Viskosität der Mischung.
- Eine starke Erhöhung des Füllstoffanteils zur Erzielung des Doughnut-Effektes stellt keine Verfahrensalternative dar, da hierdurch selbstverständlich die Eigenschaften der Massen sehr stark verändert werden. Auch die nachträgliche Verdünnung einer mit erhöhtem Füllstoffanteil dispergierten Masse kam nicht in Betracht, da Untersuchungsergebnisse von Lehmkuhl eine drastische Verschlechterung der Sedimentationsstabilität der Injektionsmassen bei nachträglicher Verdünnung erwarten ließen.[192]
- Daher mußten die Umfangsgeschwindigkeiten bei den folgenden Versuchsreihen reduziert werden.

[192] Lehmkuhl, Thomas (1990): Injektionsfähige Hinterfüllmassen, S. 70-72. Möglicherweise könnte aber durch ein nochmaliges Dispergieren nach Zugabe von destilliertem Wasser als nachträglicher Verdünnung eine gute Sedimentationsstabilität erreicht werden. Die Idee zu dieser Verfahrensalternative kam mir erst zu einem sehr späten Zeitpunkt und wurde daher noch nicht experimentell überprüft.

7.2 Untersuchungen der Rezeptierungsphase

Im folgenden werden die Untersuchungen der Rezeptierungsphase, die der Entwicklung geeigneter Massen und der Bestimmung ihrer Eigenschaften dienten, nach Bindmittelgruppen geordnet dargestellt.

Die Rezepturen, Kennwerte zum Verhältnis flüssiger und fester Bestandteile und die wichtigsten Meßergebnisse der Mörteleigenschaften sind in zwei Übersichtstabellen vorangestellt. Auf diese Tabellen 5 und 6 wird in der weiteren Darstellung der Untersuchungsergebnisse Bezug genommen.
Nachfolgend einige Erläuterungen zum Tabellenaufbau und einigen Rubriken:

- Die Bezeichnung der Massen in der 1. Spalte nimmt auf das jeweilige Bindemittel Bezug.
- In der 2. Spalte ist die Geschwindigkeit angegeben, mit der dispergiert wurde.
- Im nachfolgenden Block werden die Gewichtsanteile von Bindemittel und Wasser und ihr Verhältnis zueinander angegeben.
- Für die pyrogene Kieselsäure wurde eine Extraspalte vorgesehen, da sie weder den Zusatzmitteln noch den Zuschlägen zuzuordnen ist.
- Es folgt ein Block, in dem die Gewichtsanteile der einzelnen Zuschläge angegeben sind.
- Der nächste Block dient der Charakterisierung und besseren Vergleichbarkeit der Mörtelrezepturen. Zunächst wird der Zuschlagsanteil aufsummiert, bezogen auf die Masse und auf das Volumen. Der Volumenangabe liegen die berechneten Schüttvolumina aus der Bestimmung der Schüttdichte zugrunde (s. Kap. 4.2.4). In der nächsten Spalte wird das Gesamtvolumen von flüssigem Bindemittel und Wasser angegeben, wobei die Dichte von Syton mit 1,2 g/cm³ zu berücksichtigen war. Nachfolgend wird das Verhältnis von Flüssigkeit (=flüssiges Bindemittel + Wasser) zu Zuschlag angegeben, zunächst als Masseverhältnis, dann als Volumenverhältnis.
- In Tabelle 6 waren Angaben zum Verhältnis Flüssigkeit/Zuschlag nur begrenzt möglich und sinnvoll. Von einigen Stoffen waren die Dichte bzw. die Schüttdichte nicht bekannt. Dort wird nur das massebezogene Verhältnis angegeben. Für alle HGZ-Injektionsmörtel ist das Verhältnis Flüssigkeit/Zuschlag nicht von Interesse. Hier wären Angaben zum Verhältnis Flüssigkeit zu Feststoff (= Bindemittel und Zuschlag) sowie zum Verhältnis Bindemittel zu Zuschlag aussagekräftiger, konnten aber nicht in Tabellenstruktur integriert werden.
- Der nächste Block gibt Art und Masse der Zusatzmittel an.
- Im letzten Block werden die wichtigsten Meßergebnisse der Rezeptierungsphase zusammengestellt. Den Meßergebnissen der Auslaufzeit (Fließfähigkeit), der Sedimentation und des Penetrationsvermögens liegen die Medianwerte zugrunde. Die Meßergebnisse der Sedimentationsneigung beziehen sich auf die Flüssigkeitsabsonderung im oberen Teil der Reagenzgläser. Die Füllstoffsedimentation im unteren Teil der Reagenzgläser ist in diesen Übersichtstabellen aus Platzgründen nicht aufgeführt. Diese Meßergebnisse können den Einzelprotokollen im Anhang entnommen werden. Zur Charakterisierung der Kanülengängigkeit und der Festmörteleigenschaften werden Symbole verwendet, die keiner weiteren Erklärung bedürfen.
- Rezepturen, die später für die Haftzugfestigkeitsmessungen ausgewählt wurden, sind farblich hervorgehoben.

Tabelle 5: Rezepturen sowie Frisch- und Festmörteleigenschaften der Injektionsmörtel auf der Basis von Syton X 30

		Flüssigkeitsanteil					Zuschlagsstoffe									Zusätze				Mörteleigenschaften																		
Nr.	V	Bindemittel		H_2O_{dest}	BM/ H_2O	Cab-O-Sil M 5	Zuschlag 1		Zuschlag 2		Zuschlag 3		Summe Zuschlag	Summe Zuschlag	FVZ	RVZ	Zusatz 1		Zusatz 2		Fließfähigkeit			imentator		Penetration	Kanülengängigkeit				Festmörteleigenschaften						
		Art	Masse	Masse		Masse	Art	Masse		Masse		Masse	Masse	Volumen			Masse		Masse		Temp.	Zeit	Volumen	2 h	1 d	7 d	Zeit	Tiefe	0,6	0,8	1,0	1,5	Schwund und Risse	Verformung	Phasentrennung	Haftung
	[m/s]		[g]	[g]	[g:g]	[g]		[g]		[g]		[g]	[g]	[ml]	[g:g]	[ml:ml]		[g]		[g]	[°C]	[min:sek]	[ml]	[mm]	[mm]	[mm]	[h:min:sek]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]				
Syton 1	9	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	200					200	240	1 : 1	1 : 1,31	Tween 20	2			23,0	03:06	>98	< 1	3	15	15:00	110	/	O+	/	++	- -	- -	++	- -
Syton 2	7,5	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	200					200	240	1 : 1	1 : 1,31	Tween 20	2			23,6	03:12	>98	n.e.	3	11	15:00	110	/	O+	+	++	- -	- -	++	- -
Syton 3	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	200					200	240	1 : 1	1 : 1,31	Tween 20	2			23,8	03:32	95	n.e.	2	7	25:00	110	-	O+	+	++	- -	- -	++	- -
Syton 4	4,5	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	200					200	240	1 : 1	1 : 1,31	Tween 20	2			24,1	03:35	95	n.e.	2,5	8	25:00	110	/	/	/	/	- -	- -	++	- -
Syton 5	3	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	200					200	240	1 : 1	1 : 1,31	Tween 20	2			22,6	04:45	93	n.e.	2	5	02:54:00	110	O-	O+	+	++	- -	- -	++	- -
Syton 6	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM 300 SGL	200					200	264,8	1 : 1	1 : 1,44	Tween 20	2			23,8	04:23	96	n.e.	1	3,5	- -	/	O-	O	O+	+	- -	O/-	++	- -
Syton 7	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM 44 µm	100	CM 8 µm	100			200	327,7	1 : 1	1 : 1,79	Tween 20	2			24,6	04:00	98	n.e.	1	4	37:00	110	O-	O	O	O+	- -	- -	++	- -
Syton 8	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	10	QM W 12	200					200	240	1 : 1	1 : 1,31	Tween 20	2,15			23,2	01:16	100	3,5	30,5	58	00:37	110	O+	+	++	++	O	O/-	- -	+/++
Syton 9	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	15	QM W 12	200					200	240	1 : 1	1 : 1,31	Tween 20	2			24,0	01:43	100	2,5	10	48	02:00	110	/	/	/	/	O/-	- -	- -	+/++
Syton 10	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	25	QM W 12	200					200	240	1 : 1	1 : 1,31	Tween 20	2,1			23,3	04:10	62	n.e.	n.e.	1,5	- -	/	/	/	/	/	-	- -	++	- -
Syton 11	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	200					200	240	1 : 1	1 : 1,31	Tween 20	1,6			23,1	03:22	98	<1	3,5	14,5	10:00	110	/	/	/	/	- -	- -	++	- -
Syton 12	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	200					200	240	1 : 1	1 : 1,31	Tween 20	2,4			24,0	03:41	97,5	n.e.	2	8,5	41:00	110	/	/	/	/	- -	- -	++	- -
Syton 13	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	250					250	300	1 : 1,25	1 : 1,64	Tween 20	2			23,2	04:21	96	<1	3	10,5	< 54:00	110	O-	O+	+	++	O/-	O	++	- -
Syton 14	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	300					300	360	1 : 1,5	1 : 1,96	Tween 20	2			23,5	05:21	89	<1	3	11	- -	77-91	-	O	+	++	O	O/+	++	+
Syton 15	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	100	Plast. 00	100			200	260,1	1 : 1	1 : 1,42	Tween 20	2			23,6	04:30	81	n.e.	<1	2,5	- -	57-69	- -	O	+	++	O/-	O/-	++	- -
Syton 16	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	100	Plast. 0000	100			200	286,2	1 : 1	1 : 1,56	Tween 20	2			24,4	05:25	85	n.e.	<1	1,5	- -	62-77	-	O	+	++	O/-	O/-	++	- -
Syton 17	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	100	Plast. super	100			200	316,1	1 : 1	1 : 1,72	Tween 20	2			25,2	04:51	74	n.e.	n.e.	<1	- -	46-57	-	O	+	++	O/-	O/-	++	- -
Syton 18	6	Syton X 30	150	50	3 : 1	10	QM W 12	80	Plast. 0000	128	BVK 1	32	240	335,7	1 : 1,2	1 : 1,75	Tween 20	2			24,5	03:51	99	2	6,5	27,5	12:30	110	O	+	++	++	+	++	-	+
Syton 19	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	300					300	360	1 : 1,5	1 : 1,96	Tween 20	0	Lapon 890	1,5	24,8	02:12	99	3,5	15	40	03:05	110	- -	+	++	++	+	+	-	++
Syton 20	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	300					300	360	1 : 1,5	1 : 1,96	Tween 20	1	Lapon 890	1,5	24,3	04:53	94	n.e.	6,5	35,5	16:15	110	O-	O+	+	++	O/+	O/+	++	++
Syton 21	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	300					300	360	1 : 1,5	1 : 1,96	Tween 20	0,5	Lapon 890	1,5	23,9	03:12	98	1	12	39,5	05:30	110	O-	O+	+	++	+	++	-	++
Syton 22	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	400					400	480	1 : 2	1 : 2,62	Tween 20	0,5	Lapon 890	1,5	25,0	07:07	91	2,5	11,5	31	< 27:30	110	O-	O+	+	++	++	++	O/+	+-/O
Syton 23	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	200	Plast. 0000	100			300	406,2	1 : 1,5	1 : 2,22	Tween 20	0,5	Lapon 890	1,5	24,7	05:01	95	2,5	10	33	14:00	110	O-	O+	+	++	+	+	O	+-/O
Syton 24	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	300					300	360	1 : 1,5	1 : 1,96	Tween 20	1	Lapon 890	1	25,0	04:50	96	1,5	6	34	14:00	110	O-	O+	+	++	+	+	O/+	+
Syton 25	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM 44 mm	200	CM 8 µm	100			300	455,8	1 : 1,5	1 : 2,49	Tween 20	1	Lapon 890	1	24,5	04:51	90	< 1	3,5	10,5	09:00	110	- -	O	+	++	+	O	++	- -
Syton 26	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM 44 mm	240	CM 8 µm	60			300	427,2	1 : 1,5	1 : 1,96	Tween 20	1	Lapon 890	1	25,2	04:55	95	< 1	4	15	09:30	110	- -	O	+	++	+	O	++	- -
Syton 27	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM 44 mm	260	CM 8 µm	40			300	412,9	1 : 1,5	1 : 2,25	Tween 20	1	Lapon 890	1	25,4	04:56	96	n.e.	4	18,5	10:30	110	- -	O	+	++	O/+	+	++	-/O
Syton 28	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM 44 mm	150	CM 8 µm	150			300	491,6	1 : 1,5	1 : 2,68	Tween 20	1	Lapon 890	1	25,5	05:52	91	n.e.	2,5	7	09:30	110	/	/	/	/	O/+	O	++	- -
Syton 29	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	150	Plast. 0000	150			300	429,3	1 : 1,5	1 : 2,34	Tween 20	1	Lapon 890	1	26,3	08:13	83	1,5	6,5	29,5	58:30	110	- -	O	+	++	++	++	O/+	-/O
Syton 30	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	150	Plast. 0000	110			260	362,8	1 : 1,3	1 : 1,98	Tween 20	1	Lapon 890	1	24,8	05:23	93	1,5	6	32,5	20:00	110	- -	O	+	++	+	++	O/+	+/O
Syton 31	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	100	Plast. 0000	140			240	352,7	1 : 1,2	1 : 1,92	Tween 20	1	Lapon 890	1	24,6	05:34	93	1,5	5,5	26	16:00	110	-	O	+	++	+	O/+	++	O/-
Syton 32	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	200	Plast. 0000	70			270	356,3	1 : 1,35	1 : 1,94	Tween 20	1	Lapon 890	1	23,6	05:42	92	1,5	6,5	28,5	23:00	110	- -	O	+	++	+	O/+	O/+	-
Syton 33	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	90	Plast. 0000	126	BVK 1	33,6	249,6	345,7	1 : 1,25	1 : 1,89	Tween 20	1	Lapon 890	1	24,1	05:28	93	< 1	5,5	30,5	18:00	110	/	O	+	++	+	O/+	O/+	-
Syton 34	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	80	Plast. 0000	112	BVK 1	67,2	259,2	338,8	1 : 1,3	1 : 1,85	Tween 20	1	Lapon 890	1	24,6	05:24	91	< 1	4,5	27,5	22:30	110	- -	O	+	++	+	O/+	O/+	-
Syton 35	9	Syton X 30	100	100	1 : 1	20	QM W 12	150	Plast. 0000	110			260	362,8	1 : 1,3	1 : 1,98	Tween 20	1	Lapon 890	1	25,2	05:20	94	1,5	4	19,0	17:00	110	O-	O	+	++	+	+	++	- -
Syton 36	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	15	QM W 12	150	Plast. 0000	110			260	362,8	1 : 1,3	1 : 1,98	Tween 20	1	Lapon 890	1	24,4	04:12	98	2	6,5	34,5	11:00	110	O-	O	+	++	+	++	+	+
Syton 37	6	Syton X 30	100	100	1 : 1	10	QM W 12	150	Plast. 0000	110			260	362,8	1 : 1,3	1 : 1,98	Tween 20	1	Lapon 890	1	24,5	02:42	98	3	14,5	40	04:15	110	/	/	/	/	+	+	- -	O/+

Erläuterung der Abkürzungen:

V	Umfangsgeschwindigkeit der Dissolverscheibe
BM/H_2O	Verhältnis Bindemittelanteil zu Wasser
FVZ	Verhältnis Flüssigkeitsanteil zu Zuschlag
d	Tag
h	Stunde
min	Minute
sek	Sekunde
QM W 12	Quarzmehl Millisil W 12 (Quarzwerke Weferlingen)
QM 300 SGL	Sikron Feinstmehl 300 SGL (Quarzwerke Weferlingen)
QM 44 µm	Quarzmehl mittel, Nennkorngröße 44 µm (Kremer-Pigmente)
CM 8 µm	Cristobalitmehl feinst, Nennkorngröße 8 µm (Kremer-Pigmente)
Plast.	Plastorit (Luzenac-Naintsch)
BVK 1	Borosilikatvollglaskugeln Spheriglass 3000 CP 00 (Potters Europe)
n.e	nicht erkennbar
/	nicht ermittelt

Tabelle 6: Rezepturen sowie Frisch- und Festmörteleigenschaften der Injektionsmörtel auf der Basis von KSE, HGZ, Nanokompositdispersion und Primal

		Flüssigkeitsanteil				Zuschlagsstoffe								Zusätze						Mörteleigenschaften															
Nr.	V	Bindemittel		H_2O_{ges}	BM/ H_2O	Cab-O-Sil M 5	Zuschlag 1		Zuschlag 2		Summe Zuschlag		FVZ	FVZ	Zusatz 1		Zusatz 2		Zusatz 3		Fließfähigkeit			Sedimentation			Penetration		Kanülengängigkeit				Festmörteleigenschaften			
		Art	Masse	Masse		Masse	Art	Masse		Masse	Masse	Volumen			Masse		Masse		Masse		Temp	Zeit	Volumen	2 h	1 d	7 d	Zeit	Tiefe	0,6	0,8	1,0	1,5	Schwund und Risse	Verformung	Phasentrennung	Haftung
	[m/s]		[g]	[g]	[g:g]	[g]		[g]		[g]	[g]	[ml]	[g:g]	[ml:ml]		[g]		[g]		[g]	[°C]	[min:sek]	[ml]	[mm]	[mm]	[mm]	[h:min:sek]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]				
KSE	6	KSE	204	0		0	Füllstoff A	120	Füllstoff B	60	180										27,6	01:58	100	1,5	6,5	37,5	02:35	110	O	+	++	++	O/-	O/+	++	- / - -
HGZ 1	6	HGZ	125	125	1 : 1	0	Dorsilit 1600	100	BVK 2	25	125				Desmodur	10					28,3	01:11	97	5			01:30	110	/	O/-	/	/	++	++	+/-	++/-
HGZ 2	6	HGZ	125	110	1 : 0,88	0	Dorsilit 1600	100	BVK 2	25	125				Desmodur	10					28,7	01:23	97	/	/	/	02:15	110	/	/	/	/	/	/	/	/
HGZ 3	6	HGZ	125	100	1 : 0,8	0	Dorsilit 1600	100	BVK 2	25	125				Desmodur	10					28,9	01:38	96	/	/	/	01:08	110	/	/	/	/	/	/	/	/
HGZ 4	AEG	HGZ	125	100	1 : 0,8	0	Dorsilit 1600	100	BVK 2	25	125				Desmodur	10					31,4	01:29	100	/	/	/	?	110	/	/	/	/	/	/	/	/
HGZ 5	Rotel 3	HGZ	125	100	1 : 0,8	0	Dorsilit 1600	100	BVK 2	25	125				Desmodur	10					32,0	01:09	97	/	n.e.	n.e.	00:54	110	/	/	/	/	++	++	+/-	++/- -
HGZ 6	Rotel 1	HGZ	125	100	1 : 0,8	0	Dorsilit 1600	100	BVK 2	25	125				Desmodur	10,1					32,4	01:31	100	< 1	n.e.	/	01:30	110	- -	O	+	++	++	++	+/-	++/- -
HGZ 7	Rotel 1	HGZ	100	100	1 : 1	0	Dorsilit 1600	160	BVK 2	40	200				Desmodur	12					32,1	/	97,5	/	/	/	-	64-80	/	-	O/-	/	/	/	/	/
HGZ 8	Rotel 1	HGZ	100	111	1 : 1,11	0	Dorsilit 1600	160	BVK 2	40	200				Desmodur	12,1					28,6	02:04	100	/	/	/	03:55	110	/	/	/	/	/	/	/	/
HGZ 9	Rotel 1	HGZ	100	120	1 : 1,2	0	Dorsilit 1600	160	BVK 2	40	200				Desmodur	12					30,1	01:36	100	/	n.e.	/	02:20	110	/	/	/	/	/	/	/	/
HGZ 10	Rotel 1	HGZ	62,5	125	1 : 2	0	Dorsilit 1600	200	BVK 2	50	250				Desmodur	12					31,4	02:04	100	/	n.e.	/	02:00	110	/	-	O/-	++	++	++	+/-	++/-
Nano 1	6	NKD	50	150	1 : 3	10	QM W 12	150	Plast. 0000	110	260	362,82	1 : 1,3	1 : 1,81	Tween 20	1	Lopon 890	1			24,3	01:58	99	n.e.	< 1	2,0	01:10	110	+	++	++	++	++/+	++/+	++	++/-
Nano 2	6	NKD	50	150	1 : 3	10	QM W 12	150	Plast. 0000	110	260	362,82	1 : 1,3	1 : 1,81	Tween 20	1	Lopon 890	1			28,4	01:26	98	4	27,5	46,5	01:05	110	/	/	/	/	+/O	+	- -	++
Nano 3	6	NKD	50	150	1 : 3	10	QM W 12	150	Plast. 0000	110	260	362,82	1 : 1,3	1 : 1,81	Tween 20	1	Lopon 890	1			29,4	01:47	100	n.e.	1,5	3,5	01:40	110	/	/	/	/	/	/	/	/
Nano 4	7,5	NKD	75	225	1 : 3	15	QM W 12	225	Plast. 0000	165	390	544,23	1 : 1,3	1 : 1,81	Tween 20	1,5	Lopon 890	1,5	Basonat	7,5	24,9	00:58	n.e.	/	/	/	-	15-20	/	/	/	/	/	/	/	/
Primal	6	Primal	50	150	1 : 3	10	QM W 12	150	Plast. 0000	110	260	362,82	1 : 1,3	1 : 1,81	Tween 20	1	Lopon 890	1			25,4	02:24	94	n.e.	2,0	5,0	-	8-13	+	++	++	++	/	/	/	/

Erläuterung der Abkürzungen:

V	Umfangsgeschwindigkeit der Dissolverscheibe
BM/H_2O	Verhältnis Bindemittelanteil zu Wasser
FVZ	Verhältnis Flüssigkeitsanteil zu Zuschlag
d	Tag
h	Stunde
min	Minute
sek	Sekunde

QM W 12	Quarzmehl Millisil W 12 (Quarzwerke Weferlingen)
Plast. 0000	Plastorit 0000 (Luzenac-Naintsch)
BVK 2	Borosilikatvollglaskugeln (Sorte und Hersteller unbekannt))
Basonat	Polyisocyanat Basonat HW 180 PC (BASF)
KSE	Funcosil KSE 500 STE (Remmers)
NKD	Nanokompositdispersion (BASF)
Primal	Primal AC 33 neu
HGZ	Hüttensand/Gips/Zement-Bindemittel (Minercs)
Desmodur	Polyisocyanat Desmodur DA-L (Bayer)
Dorsilit 160	Quarzmehl Dorsilit 1600 (Dorfner)

n.e	nicht erkennbar
/	nicht ermittelt

Der Darstellung der Untersuchungsergebnisse seien einige Bemerkungen zu den Untersuchungsverfahren vorausgeschickt.

- Sämtliche Untersuchungsergebnisse der Rezeptierungsphase sind aufgrund der wenigen Parallelmessungen statistisch nicht abgesichert. Meistens zeigen die Einzelmeßwerte der Auslaufzeit mit 2 Parallelmessungen und die Meßwerte der Eindringgeschwindigkeit in eine Sandschüttung mit 3 Parallelmessungen akzeptable bis geringe Meßwertstreuungen. Bei den Messungen der Sedimentationsgeschwindigkeit besteht ein sehr hohes Maß an Übereinstimmung zwischen den 3 Einzelmessungen. Bei den genannten Verfahren erfolgt die Ergebnisdarstellung auf der Basis der Medianwerte. Ggf. wird auf größere Streubreiten bei den Einzelmeßwerten hingewiesen. Trotz dieser Einschränkungen aus statistischer Sicht ergeben sich meist so deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Mörteln, daß eine Interpretation der Meßwerte möglich ist.
- Unterschiede zwischen den verschiedenen Injektionsmörteln hinsichtlich der rheologischen Eigenschaften zeichnen sich wesentlich deutlicher bei den Meßergebnissen der Penetration als bei jenen der Auslaufzeit ab.
- Die Darlegungen zu den Festmörteleigenschaften beruhen auf Untersuchungen an jeweils einer Probe je Injektionsmasse und Untergrundart (engobierte Terrakotta und Glas). Testweise wurden bei einer Injektionsmasse 4 Ringformen je Untergrundart befüllt. Zwar zeigten sich Unterschiede im Rißbild, doch bestand weitgehende Übereinstimmung hinsichtlich der Schwindung, der Verformungsneigung, der Phasentrennung und der Haftung. Die Beobachtungen an den erhärteten Mörtelscheiben waren daher als Anhaltspunkte für die Weiterentwicklung der Rezepturen und für die spätere Auswahl von Injektionsmörteln für die Haftzugfestigkeitsmessungen geeignet.

7.2.1 Injektionsmörtel auf der Basis von Syton X 30 und pyrogener Kieselsäure

Es wurden 37 verschiedene Mischungen hergestellt und auf ihre Eigenschaften untersucht. Die genauen Rezepturen können der Tabelle 5 entnommen werden. Sie sind überdies im Anhang 3 protokolliert, ebenso wie die Parameter des Mischvorgangs und die Einzelergebnisse der Untersuchungen an diesen Mörteln.

7.2.1.1 Rezepturentwicklung

Zunächst soll ein Überblick zur Rezepturentwicklung gegeben werden.
Der Einfluß der Bindemittelkonzentration auf die Mörteleigenschaften wurde nicht thematisiert. Für alle Mischungen wurde das Bindemittel Syton X 30 im Verhältnis 1:1 mit destilliertem Wasser verdünnt.[193]
Ausgehend von der auf S. 66 dargelegten Basisrezeptur wurde zunächst der Einfluß unterschiedlicher Dispergiergeschwindigkeiten auf die Frischmörteleigenschaften untersucht. Dabei wurde mit Umfangsgeschwindigkeiten von 9 / 7,5 / 6 / 4,5 und 3 m/s gearbeitet (Rezepturen Syton 1 bis Syton 5). Die weiteren Versuche erfolgten mit einer einheitlichen Umfangsgeschwindigkeit von 6 m/s. Zu einem späteren Zeitpunkt wurde der Einfluß der Dispergiergeschwindigkeit auf die Frischmörteleigenschaften noch einmal thematisiert (Rezeptur Syton 35).
In den Rezepturen Syton 6 und 7 wurde die bisher verwendete Quarzmehlsorte durch andere Sorten ersetzt. Mit den folgenden fünf Mischungen wurde der Einfluß der Dosierung der pyrogenen Kieselsäure und des Stabilisators untersucht (Rezeptur Syton 8-12). In den nachfolgenden Mischungen wurde der Zuschlagsanteil stufenweise erhöht, um die starke Schrumpfung der bisherigen Injektionsmassen herabzusetzen (Rezepturen Syton 13 und 14). Es folgen drei Rezepturen, bei denen mit Mischungen verschiedener Füllstoff gearbeitet wurde. Hierbei wurden die Hälfte des Quarzmehls durch verschiedene Plastoritsorten ersetzt. Mit Injektionsmasse Syton 18 wurde einer Rezepturangabe von Herrn Dr. Wendler nachgestellt.
Die folgenden 20 Mörtel enthalten zusätzlich das Fließmittel Lopon 890. Es diente in erster Linie zur Erhöhung des Füllstoffanteils, ohne eine Verschlechterung der Fließeigenschaften in Kauf nehmen zu müssen. In den Rezepturen Syton 19-21 sowie 24 werden die Wechselwirkungen zwischen dem Fließmittel und dem Stabilisator Tween 20 untersucht. Es folgt eine Reihe von Rezepturen mit verschiedenen Kombinationen von Zuschlägen in wechselnden Verhältnissen (Syton 23 sowie Syton 25-34). Schließlich wurde bei

[193] Einzige Ausnahme ist Injektionsmörtel Syton 18.

den letzten beiden Rezepturen Syton 36 und 37 der Anteil an pyrogener Kieselsäure Cab-O-Sil stufenweise herabgesetzt in der Absicht, das Fließ- und Penetrationsvermögen zu verbessern.

7.2.1.2 Einfluß der Dispergiergeschwindigkeit

Die Injektionsmassen Syton 1 bis 5 wurden nach identischer Rezeptur hergestellt. Es wurden lediglich die Dispergiergeschwindigkeit variiert, was sich folgendermaßen auf die Frischmörteleigenschaften auswirkte:

Bei den Parametern Fließ- und Penetrationsvermögen werden die günstigsten Meßwerte bei der höchsten Dispergiergeschwindigkeit von 9 m/s erzielt. Bei einer Geschwindigkeitsreduzierung verschlechtern sich diese Eigenschaften. Eine drastische Verschlechterung des Penetrationsvermögens ist aber erst bei einer Mischgeschwindigkeit von 3 m/s zu verzeichnen. Für die vollständige Penetration der Sandschüttung wurde hier mit fast 3 Stunden die sechsfache Zeit benötigt. Dagegen ist die Sedimentationsstabilität bei der geringsten Umfangsgeschwindigkeit am besten und sinkt kontinuierlich mit deren Steigerung. Dieser Befund steht im Widerspruch zur Aussage Lehmkuhls, daß sich die Sedimentationsstabilität durch Überdispergieren verbessere.[194]
Die Beobachtungen lassen sich folgendermaßen interpretieren[195]: Die Viskosität der Injektionsmassen hängt aufgrund des Anteils pyrogener Kieselsäure maßgeblich von der Dispergiergeschwindigkeit ab. Schon bei niedriger Mischgeschwindigkeit, bei der erst ein Teil der Kieselsäureagglomerate in ihre Aggregate zerteilt wird, bildet die pyrogene Kieselsäure mit dem polaren Bindemittel Kieselsol und dem polaren Verdünnungsmittel Wasser ein stabiles Netzwerk aus. Durch Steigerung der Scherleistungen vermindert sich der Prozentsatz noch nicht zerteilter Kieselsäureagglomerate. Hierdurch wandelt sich die Struktur des Kieselsäurenetzwerks. Der Anteil der polaren Flüssigphase am Netzwerk sinkt, was eine Verringerung der Viskosität zur Folge hat. Bei Dispergiergeschwindigkeiten von ca. 7 m/s sind keine Kieselsäureagglomerate mehr vorhanden. Durch Überdispergierung, d.h. bei Umfangsgeschwindigkeiten oberhalb von 7 m/s und/oder längerer Dispergierdauer, werden auch die einzelnen Kieselsäureaggregate zu einem Teil zerschlagen. Hierdurch kann sich kein ideales Kieselsäurenetzwerk mehr ausbilden, was eine weitere Abnahme der Viskosität zur Folge hat. Die Viskosität wirkt sich gleichgerichtet auf die Fließ- und Penetrationsgeschwindigkeit der Injektionsmassen wie auch auf die Sedimentationsgeschwindigkeit der Zuschläge aus: Sie steigen mit Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit. Eine Erhöhung der Sedimentationsstabilität durch Überdispergieren widerspräche der Logik dieser Interpretation.

Auswirkungen der Dispergiergeschwindigkeit auf die Kanülengängigkeit und die Festmörteleigenschaften Erhärtungsschwinden, Phasentrennung und Haftung sind dagegen nicht zu erkennen. Bei allen Dispergiergeschwindigkeiten konnte bei den Hinterfüllmassen der Grundrezeptur ein sehr hohes Schwindmaß in Verbindung mit kräftigen Rissen, sowie eine starke konkave Verformung des Festmörtels festgestellt werden.[196] Die Anhaftung war sehr schwach, z.T. gar nicht vorhanden. Dies ist v.a. auf die Verwölbung der Mörtelscheiben zurückzuführen, durch die die Kontaktfläche zum Untergrund sehr klein war. Eine Erhöhung des Füllstoffanteils erschien als eine Möglichkeit, das hohe Schwindmaß und die starke Verformung zu reduzieren und hierdurch eine verbesserte Anhaftung zu erzielen.

Aufgrund des sehr unruhigen Mischbildes bei Dispergiergeschwindigkeiten von 7,5 und 9 m/s und der besseren Sedimentationsstabilität bei niedrigeren Mischgeschwindigkeiten wurden die weiteren Injektionsmörtel der Rezeptierungsphase mit 6m/s dispergiert.

7.2.1.3 Einfluß erhöhter Zuschlagsmengen

Durch eine Erhöhung des Zuschlagsanteils um 25 und 50 % bei den Injektionsmassen Syton 13 und 14 konnte erwartungsgemäß das Erhärtungsschwinden, die Rißbildung und die Verformung der Festmörtelproben vermindert werden. Eine Verbesserung der Haftung wurde aber nur bei einer Erhöhung des Zuschlaganteils um 50 % erzielt. Dagegen verschlechterten sich alle Frischmörteleigenschaften, insbesonde-

[194] Lehmkuhl, Thomas (1990): Injektionsfähige Hinterfüllmassen auf der Basis kolloidaler Kieselsäuredispersion zur Fixierung dünner Schuppen und Schalen an Objekten aus Baumberger Kalksandstein. Unveröffentl. Diplomarbeit an der FH Köln, Fachbereich Restaurierung und Konservierung von Kunst- und Kulturgut, S. 50-52, Anm. 69
[195] Diese Interpretation beruht z.T. auf einer frdl. mdl. Mtlg. von einem Mitarbeiter der Fa. Cabot, Herrn Dr. Thomas Korr.
[196] Die etwas verringerte Rißbildung, die bei der Injektionsmasse Syton 5 (niedrigste Dispergiergeschwindigkeit von 3 m/s) beobachtet wurde, geht nicht mit einer Abnahme des Erhärtungsschwindens einher und ist daher irrelevant.

re das Fließ- und Penetrationsvermögen. Bei 50 %-iger Erhöhung des Zuschlags konnte keine vollständige Penetration der Sandschüttung mehr erreicht werden. Die Erhöhung des Zuschlaganteils erschien daher nur sinnvoll, wenn zugleich die Grundrezeptur auch in anderen Punkten geändert wurde.

7.2.1.4 Einfluß der Zugabemenge von pyrogener Kieselsäure und Stabilisator

Im nächsten Schritt wurde die Menge der zugegebenen pyrogenen Kieselsäure variiert. Es wurden Mischungen hergestellt, die 50, 75 oder 125 % der Ausgangsmenge von Cab-O-Sil bei sonst unveränderter Rezeptur enthielten (Injektionsmörtel Syton 8-10).[197] Dies hatte folgende Auswirkungen:
Bei den Mischungen mit verringertem Anteil pyrogener Kieselsäure verkürzten sich die Auslaufzeiten auf ein Drittel bzw. die Hälfte. Die notwendige Zeit zur vollständigen Durchdringung der Sandschüttung wurde in noch weit höherem Maße beeinflußt: Sie verminderte sich bei halbiertem Cab-O-Sil-Anteil um über 97 % auf 37 Sekunden und bei einem nur um ein Viertel reduzierten Cab-O-Sil-Anteil um 92 % auf 2 Minuten. Die Sedimentationsstabilität der Injektionsmasse nahm deutlich ab: Schon nach wenigen Minuten bildete sich ein Bodensatz, der ein sehr häufiges Aufrühren der Massen erforderlich macht. Bereits nach einer halben Stunde setzte sich eine wässrige Schicht auf der Mörteloberfläche ab. Diese Auftrennung der Injektionsmörtel in flüssige und feste Bestandteile war auch an den Festmörtelproben abzulesen: Die Proben auf nichtsaugendem Glasträger zeigten auf ihrer Oberfläche eine bindemittelreiche, stark krakelierte Schicht mit schüsselartig verwölbten Schollen. Auch die Proben auf Terrakottagrund wiesen eine Bindemittelanreicherung auf der Oberfläche auf, erkennbar an einem leichten Glanz. Sehr bemerkenswert ist, daß die Verformung der Mörtelscheiben wesentlich geringer war als bei den Injektionsmassen 1-5 und eine gute bis sehr gute Haftung auf beiden Trägermaterialien zu verzeichnen war. Offenbar waren die während der Trocknung entstehenden Spannungen bei diesen Mörteln wesentlich geringer. Es ist zu vermuten, daß dies in direktem Zusammenhang mit der verminderten Sedimentationsstabilität der Massen steht. Das Bindemittel reichert sich hierdurch an der Mörteloberfläche an, was eine Ausmagerung im unteren Teil der Proben zur Folge hat. Das Bindevermögen reicht aber offensichtlich noch aus, um eine gute Anhaftung zu erzielen.
Es bleibt festzuhalten, daß eine Verminderung des Anteils pyrogener Kieselsäure Fließ- und Penetrationsvermögen sowie die Haftungseigenschaften der Injektionsmörtel wesentlich verbessert, wenngleich hierdurch die Sedimentationsneigung stark zunimmt.

Eine Erhöhung des Anteils pyrogener Kieselsäure bewirkt eine deutliche Verschlechterung des Fließ- und Penetrationsvermögens (Injektionsmasse Syton 10). Dagegen ist auch nach 7 Tagen nur eine sehr geringe Sedimentation und Flüssigkeitsabsonderung zu erkennen. Schwinden, Rißbildung und Verformung werden reduziert, aber keine Verbesserung der Haftung erzielt. Aufgrund der stark verschlechterten Fließ- und Penetrationseigenschaften wurden weitere Versuche mit einem erhöhtem Anteil pyrogener Kieselsäure nicht durchgeführt.

Nachfolgend wurde bei sonst unveränderter Grundrezeptur die Zugabemenge des Stabilisators Tween 20 variiert. Bei einer Reduzierung um 20 % (Injektionsmasse Syton 11) wurde die Auslaufzeit nicht signifikant beeinflußt. Dagegen wurde die benötigte Penetrationszeit mehr als halbiert. Die Sedimentationsstabilität verschlechterte sich im Vergleich zur Grundrezeptur, während sich die Haftung leicht verbesserte. Eine Erhöhung des Stabilisatoranteils um 20 % bewirkte lediglich eine Verringerung der Penetrationsgeschwindigkeit (Injektionsmasse Syton 12).

Die Versuche zeigen, daß die Viskosität von Injektionsmassen auf der Basis der Grundrezeptur ohne Veränderung des Flüssigkeits-Zuschlagsverhältnisses allein durch die Zugabemenge von pyrogener Kieselsäure und (mit deutlich geringerem Einfluß) durch Variierung der zugegebenen Stabilisatormenge gesteuert werden kann. Hierdurch können Fließ- und Penetrationsvermögen sowie die Haftungseigenschaften in sehr hohem Maße beeinflußt werden. Die Sedimentationsstabilität nimmt dabei aber so stark ab, daß die Verarbeitung dieser modifizierten Injektionsmassen sehr erschwert und die Dauer ihrer Verwendbarkeit stark herabgesetzt wird.

[197] Der Anteil an Stabilisator variiert leicht aufgrund von Dosierungsfehlern, doch ist eine wesentliche Beeinflußung der Meßergebnisse hierdurch nicht zu erwarten.

7.2.1.5 Einfluß unterschiedlicher Zuschlagsarten

Bei den Injektionsmassen Syton 6 und 7 wurden statt des Quarzmehls Millisil W 12 andere Zuschläge verwendet, das Quarzmehl Sikron Feinstmehl 300 SGL und eine Mischung aus Quarzmehl (44 µm) und Cristobalitmehl (8 µm) im Masseverhältnis 1:1. Letztgenannte Zuschlagsmischung entspricht weitgehend dem von Lehmkuhl verwendeten Zuschlag. Das Masseverhältnis Flüssigkeit zu Zuschlag wurde gegenüber der Grundrezeptur nicht verändert.
Bei Verwendung dieser Zuschläge waren folgende Effekte zu beobachten: Fließ- und Penetrationsvermögen verschlechterten sich und die Sedimentationsstabilität wurde erhöht. Die Festmörteleigenschaften veränderten sich nicht, abgesehen von einer verringerten Verformung bei Verwendung des Sicron-Feinstmehls. Die Verschlechterung der Fließ- und Penetrationsgeschwindigkeit im Vergleich zur Grundrezeptur mit Millisil W 12 dürfte mit dem höheren Volumen der beiden alternativen Zuschläge zusammenhängen.
Da die einzelnen Zuschläge aufgrund unterschiedlicher Mahlfeinheit und Kornform in Schüttdichte bzw. Schüttvolumen sowie hinsichtlich ihrer spezifischen Oberfläche große Unterschiede aufweisen, ergibt sich bei einem Austausch des Zuschlags bei unverändertem Masseanteil ein verändertes Volumenverhältnis von Flüssigkeit zu Zuschlag.
Demnach erhöht sich das Volumenverhältnis Flüssigkeit zu Zuschlag von 1:1,31 (Grundrezeptur) bei Verwendung von Sikron Feinstmehl 300 SGL um etwa 10 % auf 1:1,45 sowie bei Verwendung der Quarzmehl-Cristobalitmehl-Mischung um 37 % auf 1:1,79. Demnach wäre zu erwarten, daß der Injektionsmörtel Syton 7 (Quarzmehl-Cristobalitmehl-Mischung) schlechtere Fließ- und Penetrationseigenschaften aufweist als der Injektionsmörtel Syton 6 (Sikron 300 SGL). Genau das Gegenteil ist der Fall. Injektionsmörtel Syton 6 vermag das Sandbett innerhalb von 2 Stunden nicht vollständig zu durchdringen, während die Penetration bei Injektionsmörtel 7 bereits nach ca. 37 Minuten abgeschlossen ist.[198] Die Unterschiede bei den Messungen der Auslaufzeit sind weniger deutlich, weisen aber in die selbe Richtung. Als Erklärung für diesen erstaunliche Befund bietet sich das Konzept der Ausfallkörnung an, das bereits in Kapitel 4.1.2 angesprochen wurde: Möglicherweise haben sich bei der Füllstoffmischung nach Flüssigkeitsbenetzung die sehr feinen Körner des Cristobalitmehls vorzugsweise in die Kornzwischenräume des gröberen Quarzmehls eingelagert, so daß sich in ein relativ geringes Gesamtvolumen ergibt. Hierdurch könnte auch die innerer Reibung minimiert und das Fließvermögen positiv beeinflußt worden sein.
Das Sikron-Quarzmehl erschien aufgrund der referierten Meßergebnisse als Zuschlag für Injektionsmassen weniger geeignet und wurde im folgenden nicht mehr verwendet. Dagegen wurden weitere Versuche mit der Zuschlagsmischung Quarzmehl-Cristobalitmehl als sinnvoll erachtet, zumal sich die Fließ- und Penetrationseigenschaften gegenüber der Injektionsmasse 3 (Zuschlag Millisil W 12) trotz des wesentlich höheren Schüttvolumens nicht sehr stark verschlechtert hatten.

Bei den folgenden Injektionsmassen Syton 15 bis Syton 17 wurde jeweils die Hälfte des Quarzmehlanteils (Millisil W 12) durch den gleichen Gewichtsteil Plastorit ersetzt. Dabei wurden drei verschiedene Plastoritsorten verwendet, die sich in ihrer Mahlfeinheit unterscheiden. Die volumenbezogene Flüssigkeits-Zuschlags-Verhältnisse steigen durch die Plastoritverwendung um 8 % auf 1:1,42 (Syton 15 mit Plastorit 00), um 19 % auf 1:1,56 (Injektionsmasse Syton 16 mit Plastorit 0000) und um 31 % auf 1:1,72 (Injektionsmasse Syton 17 mit Plastorit Super), jeweils bezogen auf die Grundrezeptur.
Bei allen 3 Injektionsmassen verschlechterten sich Fließ- und Penetrationsvermögen sehr deutlich: Es gelang keiner Masse, die Sandschüttung innerhalb von 2 Stunden vollständig zu durchdringen. Die Fließfähigkeit nahm so stark ab, daß ein nicht unbeträchtlicher Teil des Mörtelvolumens im Auslaufbecher zurückblieb. Dagegen wurde die Sedimentationsstabilität wesentlich verbessert, das Schwinden, die Rißbildung sowie die Verformung der Festmörtelproben stark reduziert. Eine Haftungsverbesserung konnte hierdurch jedoch nicht erzielt werden. Ich nehme an, daß die Viskositätserhöhung als Ursache der verschlechterten Fließ- und Penetrationseigenschaften durch die plattige Kornform des Plastoritzuschlags hervorgerufen wird.
Da die Injektionsmassen mit Plastoritzusatz aber in einigen Punkten günstige Eigenschaften zeigten, erschienen weitere Versuche mit diesem Zuschlag sinnvoll. Die Verwendung von Plastorit 0000 hatte

[198] Bei Injektionsmörtel Syton 7 weisen die Einzelmessungen sehr unterschiedliche Werte auf. Trotzdem ist der Unterschied zu Injektionsmörtel 6 signifikant.

noch zu den vergleichsweise besten Frischmörtelergebnissen geführt.[199] Daher wurden bei den weiteren Untersuchungen die Sorten 00 und Super nicht mehr verwendet.

Möglichkeiten, die positiven Einflüsse des Plastoritzusatzes zu nutzen, ohne zugleich eine inakzeptable Verschlechterung des Fließ- und Penetrationsvermögens in Kauf nehmen zu müssen, sind in einer Verringerung des Anteils pyrogener Kieselsäure, dem Zusatz von Vollglaskugeln und in der Verwendung eines Fließmittels zu sehen.
Die ersten beiden Möglichkeiten werden bei Injektionsmasse Syton 18 genutzt, die auf einer Rezeptur von Herrn Dr. Wendler basiert.[200] Teil der Rezeptur ist aber auch die Erhöhung des Bindemittelanteils auf eine Konzentration von 22,5 %.
Im Vergleich zu Injektionsmasse Syton 3 halbiert sich die Penetrationszeit, während sich die Auslaufzeit etwas verlängert. Die Sedimentationsstabilität verschlechtert sich deutlich, allerdings weit weniger als bei Injektionsmasse Syton 8, bei der ebenfalls der Anteil pyrogener Kieselsäure halbiert wurde. Erhärtungsschwinden, Rißbildung und Verformungsneigung werden deutlich reduziert und die Haftung stark verbessert. Trotz der vergleichsweise guten Ergebnisse wurde diese Injektionsmasse nicht als Basis der weiteren Rezepturentwicklung herangezogen, da die Anzahl der Einflüsse zu hoch war (Veränderungen des Bindemittelkonzentration, Veränderung des Anteils pyrogene Kieselsäure, Veränderung des Verhältnisses Quarzsand zu Plastorit und Einführung von Vollglaskugeln als dritter Zuschlagsart). Es erschien sinnvoller, zunächst weiter den Einfluß von Einzelfaktoren zu untersuchen.

7.2.1.6 Effekte der Fließmittelzugabe

Basis der weiteren Rezeptierung war Injektionsmasse Syton 14, die gegenüber der Grundrezeptur einen um 50 M-% erhöhten Zuschlagsanteil aufweist (Millisil W 12). Diese Ausgangsrezeptur wurde durch die Zugabe des Fließmittels Lopon 890 verändert. Dabei war die Zielstellung, die günstigen Einflüsse eines erhöhten Zuschlagsanteils auf die Festmörteleigenschaften zu nutzen und zugleich das Fließ- und Penetrationsvermögen zu verbessern. Das volumenbezogene Verhältnis Flüssigkeit zu Feststoff erhöht sich gegenüber der Grundrezeptur von 1:1,31 um 50 % auf 1:1,96.
Vorversuche ergaben, daß Lopon 890 auch bei hohen Dispergiergeschwindigkeiten keine Schaumbildung hervorruft. Es wurde daher noch vor Beginn des Mischvorgangs in die Flüssigkeitsvorlage gegeben. Beim Einstreuen der pyrogenen Kieselsäure war gegenüber der Grundrezeptur eine erhöhte Anfangsviskosität festzustellen, die auch noch bei der Zugabe des Zuschlags bemerkbar war. Offenbar bestehen Wechselwirkungen zwischen dem Fließmittel und dem System aus Kieselsol und pyrogener Kieselsäure. Es ist daher anzunehmen, daß das Fließmittel auch Einfluß auf die Struktur und Qualität des sich ausbildenden Kieselsäurenetzwerks nimmt. Es zeigte sich weiterhin, daß eine unverminderte Zugabe des Stabilisators Tween 20 zu einem puddingartigen Eindicken des Mischansatzes führt. Daher ging es in den folgenden Versuchen zunächst darum, eine Abstimmung der beiden Zusatzmittel vorzunehmen (Injektionsmassen Syton 19-21 und Syton 24).
Die Zugabemenge von Lopon 890 betrug zunächst 1,5 g. Dies entspricht einem Gehalt von etwa 0,3 M-%, bezogen auf die anwendungsfertige Injektionsmasse. Der vollständige Verzicht auf einen Stabilisatorzusatz bei Injektionsmasse Syton 19 hat ein hervorragendes Fließ- und Penetrationsvermögen zur Folge. Erhärtungsschwinden, Rißbildung und Verformung wurden minimiert und eine sehr gute Haftung erzielt. Nachteilig war die geringe Sedimentationsstabilität, die auch an einer Phasentrennung der Festmörtelprobe sichtbar wird. Die Zugabe unterschiedlicher Mengen an Stabilisator Tween 20 führte nur zu einer geringfügigen Verbesserung der Sedimentationsneigung, verschlechterte aber das Fließ- und Penetrationsvermögen beträchtlich (Injektionsmassen Syton 20 und 21). Bei einem Fließmittelanteil von 1 g und gleichem Anteil an Stabilisator wurden relativ ausgewogene Mörteleigenschaften erzielt (Injektionsmasse Syton 24): Gegenüber der Grundrezeptur (Injektionsmasse Syton 3) wurde die Penetration um ca. 44 % beschleunigt und die Festmörteleigenschaften Erhärtungsschwinden, Rißbildung, Verformung und Anhaftung stark verbessert. Die Auslaufzeit wurde hingegen um 38 % verlängert und die Sedimentationsneigung war nach wie vor deutlich erhöht.

---

[199] Der vergleichsweise ungünstige Medianwert der Auslaufzeit bei Injektionsmörtel Syton 16 basiert auf einer sehr hohen Differenz zwischen den beiden Einzelmessungen und wurde daher bei der Auswahl nicht mitbewertet.
[200] Frdl. mdl. Mtlg. vom 28.02.2003. Die Injektionsmasse Syton 18 unterscheidet sich von der Rezepturvorgabe durch die verwendete Quarzmehlsorte, vermutlich auch in der Glaskugelsorte. Ob die vorgegebene Rezeptur auch die Verwendung eines Stabilisators einschließt, ist mir nicht bekannt.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die oben genannte Zielsetzung durch die Kombination von Fließmittelzugabe und Reduzierung des Stabilisatoranteils im wesentlichen erreicht wurde. Bei einem um 50 % erhöhten Zuschlagsanteil wurde die Penetrationsgeschwindigkeit der Injektionsmasse erhöht und zugleich die wichtigsten Festmörteleigenschaften verbessert. Als problematisch erwies sich die deutlich verringerte Sedimentationsstabilität. Sie resultiert aus der notwendigen Reduzierung des Stabilisatoranteils.

7.2.1.7 Einfluß unterschiedlicher Zuschlagsarten bei Fließmittelzugabe

Auf der Basis der Injektionsmassenrezeptur Syton 24 wurde nachfolgend mit unterschiedlichen Zuschlägen experimentiert. Zunächst wurden 4 Injektionsmassen mit der Zuschlagsmischung Quarzmehl (44 µm) / Cristobalimehl (8 µm) hergestellt, wobei das Verhältnis der beiden Zuschlagsarten zueinander variiert wurde. Hierdurch sollten Möglichkeiten ausgelotet werden, eine Optimierung der Korngrößenverteilung im Sinne einer Ausfallkörnung zu erzielen. Die Gesamtmasse des zugegebenen Zuschlags blieb dabei unverändert. Hierdurch ergeben sich volumenbezogene Verhältnisse von Flüssigkeit zu Zuschlag zwischen 1:2,25 und 1:2,68. Es ist bemerkenswert, daß alle 4 Injektionsmörtel Syton 25-28 trotz des höheren Zuschlagvolumens eine um ca. 15 bis 30 % erhöhte Penetrationsgeschwindigkeit aufweisen. Zwischen den verschiedenen Injektionsmassen sind die Unterschiede in der Eindringgeschwindigkeit aber relativ gering. Schlußfolgerungen hinsichtlich einer optimierten Korngrößenverteilung sind daher nicht möglich. Auch die Sedimentationsstabilität wurde im Vergleich zu Rezeptur Syton 24 verbessert. Dies dürfte auf der Verwendung des feinen Cristobalitmehls beruhen. Der Vergleich der 4 Rezepturen zeigt, daß das Maß von Flüssigkeitsabsonderung und Bodensatzbildung mit der Menge des zugegebenen Cristobalitmehls korreliert. Den genannten Vorteilen stehen eine verringerte Kanülengängigkeit und v.a. eine gravierende Verschlechterung der Haftungseigenschaften gegenüber. Die schlechte Untergrundhaftung dürfte auch mit einer, wenngleich geringen, Verformung der Mörtelscheiben zusammenhängen.

Nachfolgend wurden Injektionsmörtel hergestellt, bei denen ein Teil des Quarzmehls Millisil W 12 durch Plastorit 0000 ersetzt wurde. Zunächst wurde dabei die Gesamtmasse an Zuschlag nicht verändert, die je zur Hälfte aus Quarzmehl und Plastorit bestand (Injektionsmasse Syton 29). Hierdurch erhöht sich das volumenbezogene Verhältnis Flüssigkeit zu Zuschlag von 1:1,96 um 19 % auf 1:2,34. Es ergab sich eine sehr deutliche Verlängerung der Auslaufzeit um 70 % und eine Abnahme der Eindringgeschwindigkeit um ca. 320 %. Sedimentationsneigung, Schwinden, sowie Rißbildungs- und Verformungsneigung werden reduziert. Dagegen verschlechtert sich die Untergrundanhaftung. Offenbar tritt durch die Plastoritzugabe eine starke Viskositätserhöhung ein. Eine detailliertere Analyse und Interpretation ist jedoch kaum möglich, da neben dem füllstoffspezifischen Einfluß des Zuschlags Plastorit zugleich das erhöhte Füllstoffgesamtvolumen zu bedenken ist. Um diesen zweiten Einflußfaktor auszuschalten, wurden nachfolgend drei Rezepturen erstellt, die bei einem annähernd konstanten Zuschlagsvolumen um 360 ml wechselnde Anteile von Quarzmehl Millisil W 12 und Plastorit 0000 aufweisen.[201] Bezogen auf das Schüttvolumen ergeben sich folgende Verhältnisse von Quarzmehl zu Plastorit: 1:1 (Injektionsmasse Syton 30), 1:2 (Injektionsmasse Syton 31) und 2:1 (Injektionsmasse Syton 31).
Kanülengängigkeit und Fließfähigkeit sind bei allen drei Mischungen mit Plastoritanteil schlechter als bei Injektionsmasse 24 mit reinem Quarzmehlzuschlag, unterscheiden sich untereinander aber nicht oder nur geringfügig,. Dagegen sind beim Penetrationsvermögen und bei der Sedimentationsstabilität größere Unterschiede zu erkennen. Die besten Ergebnisse werden bei diesen Parametern von Injektionsmasse Syton 31mit einem volumenbezogenen Zuschlagsverhältnis Quarzmehl zu Plastorit von 1:2 erzielt. Auch im Vergleich mit Rezeptur Syton 24 (mit reinem Quarzmehlzuschlag) wird die Sedimentationsstabilität etwas verbessert, die Eindringgeschwindigkeit verschlechtert sich jedoch um etwa 15 %. Bei den Festmörteleigenschaften schneidet dagegen Injektionsmasse Syton 30 mit einem volumenbezogenen Zuschlagsverhältnis Quarzmehl zu Plastorit von 1:1 am besten ab. Sie erzielt die beste Haftung, verbunden mit der geringsten Verformung. Eine signifikante Verbesserung gegenüber der Injektionsmasse Syton 24 ohne Plastoritanteil ist jedoch nicht festzustellen.

[201] Daß die Zuschlagsvolumina bei diesen Rezepturen nicht absolut identisch sind, liegt an kleineren Fehlern bei der Rezepturberechnung, die erst in der Auswertungsphase erkannt und berichtigt wurden. Die Interpretierbarkeit der Meßergebnisse wird hierdurch jedoch nicht geschmälert.

Da sich die Fließ- und Penetrationseigenschaften bei Zusatz von Plastorit deutlich verschlechtern, wurde nachfolgend untersucht, ob die Zugabe von Vollglaskugeln diese Nachteile auffangen kann. Als Grundlage der Rezeptierung diente Injektionsmasse Syton 31. Es wurden 8,2 und 16,6 V-% des Füllstoffanteils durch Borosilikatvollglaskugeln Spheriglass 3000 CP 00 ersetzt. Das Volumenverhältnis von Flüssigkeit zu Füllstoff beträgt bei diesen beiden Rezepturen Syton 33 und 34 1:1,85 bzw 1:1,86. Bei keiner Frisch- oder Festmörteleigenschaft konnte durch den Zusatz von Vollglaskugeln eine signifikante Verbesserung erzielt werden. Bei einigen Parametern, v.a. bei der Penetrationsgeschwindigkeit und bei der Untergrundanhaftung, entstanden sogar Eigenschaftsverschlechterungen. Zieht man das etwas verringerte Füllstoffgesamtvolumen dieser beiden Mischungen in Betracht, so wäre zumindest bei der Penetrationsfähigkeit eine Verbesserung zu erwarten gewesen.

Es bleibt festzuhalten, daß bei Injektionsmassen auf der Basis des Kieselsols Syton X 30 und pyrogener Kieselsäure Cab-O-Sil M 5 bei Zusatz des Fließmittels Lopon 890 keine wesentlichen Eigenschaftsverbesserungen durch den Austausch von Teilen des Quarzmehlzuschlags durch volumenäquivalente Anteile von Plastorit 0000 erzielt werden konnten, ausgenommen einer Verringerung der Sedimentationsneigung. Der Plastoritzuschlag wirkte sich v.a. auf das Fließ- und Penetrationsvermögen nachteilig aus. Entgegen den Erwartungen konnten durch den Zusatz von Vollglaskugeln diese Eigenschaften nicht verbessert werden, führten aber zu einer deutlichen Verschlechterung der Untergrundanhaftung.

7.2.1.8 Einfluß erhöhter Dispergiergeschwindigkeit und reduzierten Anteils von pyrogener Kieselsäure bei Fließmittelzugabe

Auf der Basis von Rezeptur Syton 30 wurden nochmals der Einfluß einer höheren Dispergiergeschwindigkeit und einer Reduzierung des Anteils pyrogener Kieselsäure nach Zugabe eines Fließmittels untersucht.

Injektionsmasse Syton 35 wurde bei unveränderter Rezeptur mit einer Umfangsgeschwindigkeit von 9 m/s dispergiert. Hierdurch wurden eine Reihe von Veränderungen bewirkt: Während sich das Fließvermögen kaum veränderte, wurde die Eindringgeschwindigkeit um ca. 15 % erhöht. Im Gegensatz zu den Ergebnissen bei den Injektionsmassen Syton 1 bis 5 wurde auch die Sedimentationsstabilität durch die höhere Dispergiergeschwindigkeit verbessert. Schließlich verschlechterte sich die Haftung signifikant. Die beiden letztgenannten Beobachtungen waren vor dem Hintergrund der bisherigen Versuchsergebnisse nicht zu erwarten. Weitere Versuche mit unterschiedlichen Dispergiergeschwindigkeiten wären notwendig, um diese Beobachtungen zu überprüfen und einer Erklärung näher zu kommen.

Da Fließ- und Penetrationsgeschwindigkeit der Injektionsmassen mit Fließmittelzusatz zumindest für Injektionenen von geringen Spaltweiten zu niedrig waren, wurden Rezepturen mit einem reduziertem Anteil pyrogener Kieselsäure untersucht. hierzu wurde der Cab-O-Sil-Anteil auf 75 und 50 % der ursprünglichen Zugabemenge reduziert (Injektionsmassen Syton 36 und 37).
Die erwartete Wirkung konnte erzielt werden. Die Auslaufzeiten verminderten sich um ca. 20 und 50 %, die Penetrationsgeschwindigkeiten nahmen um 45 bzw. 79 % zu. Eine Verschlechterung der Sedimentationsstabilität trat nur bei Reduzierung des Cab-O-Sil-Anteils auf 50 % ein. Die Festmörteleigenschaften wurden wenig verändert, abgesehen von der erhöhten Bindemittelkonzentration an der Mörteloberfläche bei Halbierung des Anteils pyrogener Kieselsäure.
Demnach bietet eine Verringerung des Anteils pyrogener Kieselsäure bei den Kieselsol-gebundenen Injektionsmassen mit Fließmittelanteil die Möglichkeit, trotz relativ hohen Füllstoffanteils die Fließ- und Penetrationseigenschaften gezielt zu steuern.

7.2.1.9 Untersuchungen zur Dauer der Gebrauchsfähigkeit

Ein wichtiges Beurteilungskriterium für Injektionsmassen ist die Dauer ihrer Gebrauchsfähigkeit. Insbesondere für den in-situ-Einsatz, bei dem gewöhnlich kein Dispergiergerät zur Verfügung steht, sollten Injektionsmörtel über eine Gebrauchsfähigkeit von mehreren Tagen verfügen. Die wichtigsten Kriterien für die Gebrauchsfähigkeit sind die Sedimentationsstabilität und Veränderungen der Fließ- und Penetrationseigenschaften.
Hinsichtlich einer Veränderung der Fließ- und Penetrationseigenschaften ist in Betracht zu ziehen, daß Injektionsmassen auf der Basis von Kieselsol Syton X 30 und pyrogener Kieselsäure ‚nachdicken'. Dies

erwähnt auch Lehmkuhl in seiner Diplomarbeit.[202] Die Ursache hierfür ist im thixotropen Charakter des Kieselsäurenetzwerks zu sehen. Bei intensiver Bewegung wird die Netzwerkstruktur zu kleineren Einheiten abgebaut, bei Ruhe bilden sich erneut Wasserstoffbrückenbindungen aus.
Es erschien daher sinnvoll, an einigen Injektionsmörteln die Dauer der Gebrauchsfähigkeit näher zu untersuchen. Hierzu wurden die für die Haftzugfestigkeitsmessungen ausgewählten Rezepturen herangezogen. Diese Injektionsmassen sind in ihrer Rezeptur mit den entsprechenden Mörteln der Rezeptierungsphase identisch. Verändert wurde die Ansatzgröße (Faktor 1,5) und die Dispergiergeschwindigkeit. Sie betrug 7,5 m/s statt 6 m/s.
Zunächst wurden das Fließ- und Penetrationsvermögen direkt nach Beendigung des Mischvorgangs als Referenzwert bestimmt, zumal durch die Erhöhung der Dispergiergeschwindigkeit gerade bei diesen Parametern mit Veränderungen zu rechnen war. Nach ca. 24 Stunden und nach ca. 7 Tagen wurden die Massen von Hand wieder aufgerührt. Je nach Bodensatzbildung wurden hierzu Spachtel oder auch stabile Schraubenzieher verwendet. Anschließend wurden die Messungen der Auslaufzeit und der Penetrationsgeschwindigkeit durchgeführt. Bei einigen Massen folgte nach 7 Tagen noch eine Nachdispergierung (10 Minuten bei 2 m/s).[203] Nach deren Ende wurden die Frischmörteleigenschaften ein weiteres Mal bestimmt. Das Nachdispergieren hatte die Zielsetzung, durch das Einleiten von größeren Scherkräften eine homogenere Durchmischung der Massen und eine größere Destabilisierung des Kieselsäurenetzwerks zu erreichen und damit das Fließ- und Penetrationsvermögen zu erhöhen. Die einzelnen Beobachtungen und Meßergebnisse sind in den Injektionsmassenprotokollen der Haftzugfestigkeitsmessungen protokolliert (Anhang 4). Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchungen vorgestellt.

Fließ- und Penetrationsvermögen nach Beendigung des Mischvorgangs (Referenzwert)
Ausnahmslos bei allen Mörteln war im Vergleich zu den Messungen der Rezepturphase eine Verbesserung des Fließ- und Penetrationsvermögens festzustellen. Die Unterschiede liegen im Bereich zwischen 4 und 22 % für die Auslaufzeit und 6 bis 47 % bei der Penetrationsgeschwindigkeit. Bei der geringen Anzahl an Meßwerten (Einfachbestimmungen bei der Auslaufzeit, Doppel- oder Dreifachbestimmungen bei der Penetrationszeit) sind diese Veränderungen zwar statistisch nicht abgesichert, aufgrund der durchgängig gleichen Tendenz gleichwohl unbezweifelbar. Diese Eigenschaftsverbesserungen lassen sich jedoch allenfalls zu einem Teil auf die Erhöhung der Dispergiergeschwindigkeit zurückzuführen, da auch Injektionsmasse Syton 2, die bereits in der Rezeptierungsphase mit 7,5 m/s dispergiert worden war, eine Verbesserung dieser Parameter aufwies. Ein größerer Einfluß ist möglicherweise den Mörteltemperaturen zuzuschreiben. Sie lagen bei diesen Messungen um durchschnittlich 4° C höher als bei den Messungen der Rezeptierungsphase. Die höhere Mörteltemperatur dürfte in beträchtlichem Maß zu einer Viskositätsverminderung beigetragen haben.

Veränderungen des Fließ- und Penetrationsvermögens in Abhängigkeit von der Standzeit
Die Injektionsmassen Syton 2H und Syton 7H mit einem 10 %-igen Zusatz an pyrogener Kieselsäure (bezogen auf die Flüssigkeitseinwage) zeigen bereits nach einem Tag eine deutliches Nachlassen des Fließ- und Penetrationsvermögens. Die Auslaufzeiten erhöhen sich nach einem Tag um ca. 30 % und nach 7 Tagen um ca. 40 %. Die Eindringzeiten nehmen um ca. 100 % zu, wobei sich eine längere Standzeit kaum bemerkbar macht.
Die Injektionsmasse Syton 9H mit einem auf 5 % reduzierten Anteil an pyrogener Kieselsäure zeigt nach einem Tag einen wesentlich geringeren Anstieg der Auslaufzeit um 10 % und der Eindringzeit um 23 %.
Bei Injektionsmasse Syton 11H mit einem reduzierten Stabilisatoranteil erhöht sich die Auslaufzeit nach einem Tag um 25 %. Nach 7 Tagen hat sich das Fließvermögen wieder etwas verbessert (Anstieg um 19 %). Das gleiche Phänomen zeigt sich beim Penetrationsvermögen: Zunächst läßt die Eindringgeschwindigkeit um 42 % nach, doch beträgt die Veränderung gegenüber der Referenzmessung nach 7 Tagen nur noch 19 %. Eine ähnliche Entwicklung ist auch bei Injektionsmasse Syton 18H mit einem auf 5 % reduzierten Anteil an pyrogener Kieselsäure zu beobachten: Zunächst ein Anstieg der Auslauf- und Penetrationszeit um 39 bzw. 85 %, nach 7 Tagen dagegen nur noch eine relativ geringfügige Erhöhung um 23 % bei der Auslaufzeit und um 16 % bei der Penetrationsdauer, bezogen auf die Ausgangswerte.
Die Injektionsmassen Syton 30H, 31H und 33H mit einem 10 %-igen Zusatz an pyrogener Kieselsäure, Fließmittelzugabe und reduziertem Stabilisatoranteil weisen dagegen keine signifikante Verschlechterung

[202] Lehmkuhl, Thomas (1990): Injektionsfähige Hinterfüllmassen, S. 108
[203] Höhere Dispergiergeschwindigkeiten hätten zu einer Schaumbildung aufgrund des Stabilisatoranteils geführt.

des Fließ- und Penetrationsvermögens auf. Bei den Injektionsmassen Syton 31H und 33 H ist sogar eher eine Tendenz zu einer Verkürzung der Eindringzeit mit verlängerter Standzeit festzustellen.
Bei der Injektionsmasse Syton 37H mit einem 5 %-igen Zusatz an pyrogener Kieselsäure und Fließmittelzugabe verlängern sich Auslauf- und Penetrationszeit nach einem Tag um 40 bzw. 60 %.

Aufgrund wechselnder Mörteltemperaturen wird die Interpretation der Meßergebnisse erschwert. Für alle prozentualen Veränderungsbeträge gilt aber, daß sie unter Berücksichtigung der Temperaturunterschiede zwischen den einzelnen Meßzeitpunkten wesentlich höher sind, als bei den Differenzbeträgen zwischen den Referenzmessungen und Meßwerten der Rezeptierungsphase. Daraus ist zu folgern, daß es sich tatsächlich um Eigenschaftsänderungen handelt, die in erster Linie eine Funktion der Zeit sind, die seit dem Anmischen der Injektionsmassen vergangen ist.
Die beobachteten Viskositätserhöhungen an den Injektionsmassen ohne Fließmittelzusatz und mit 10 %-igem Anteil pyrogener Kieselsäure (Syton 2H und 7H) sind als Thixotropieeffekte anzusprechen. Nach Abschluß der Dispergierung stabilisiert sich das Kieselsäurenetzwerk, wodurch eine Viskositätserhöhung eintritt. Die beim Aufrühren von Hand eingeleiteten Scherkräfte reichen offenbar nicht aus, um die Thixotropie vollständig zu überwinden. Die Thixotropie des Systems Kieselsol/pyrogene Kieselsäure ist bei Halbierung des Anteils pyrogener Kieselsäure deutlich geringer ausgeprägt (Injektionsmasse Syton 9H). Bei Reduzierung des Stabilisatoranteils um 20 % (Injektionsmasse Syton 11H) oder bei Halbierung des Anteils pyrogener Kieselsäure (Injektionsmasse Syton 18H) ist zu beobachten, daß sich die Thixotropie nach einer Woche etwas reduziert hat. Dieser Effekt könnte auf einem Nachlassen der Stabilisatorwirkung beruhen. Es ist denkbar, daß dies erst sichtbar wird, wenn die Zugabemenge einer der beiden stabilisierenden Rezepturkomponenten (pyrogene Kieselsäure oder Stabilisator) reduziert wird. Bei Zugabe eines Fließmittels, Reduzierung des Stabilisatoranteils um 50 % und einem Anteil an pyrogener Kieselsäure von 10% waren keine thixotropen Effekte zu beobachten (Injektionsmassen Syton 30H, 31H, 33H). Hieraus läßt sich folgern: Durch Zugabe des Fließmittels und Halbierung des Stabilisatoranteils wird das System Kieselsol/pyrogene Kieselsäure so verändert, daß entweder eine ideale Stabilisierung des Kieselsäurenetzwerks in Ruhestellung nicht mehr möglich ist oder schon die geringen Scherkräfte beim händischen Aufrühren der Injektionsmassen ausreichen, um das Kieselsäurenetzwerk zu destabilisieren. Weiter ist zu folgern, daß die Wirkung des Fließmittels im Lauf der Zeit zumindest nicht nachläßt. Die zu beobachtende Verbesserung des Fließ- und Penetrationsvermögens im Vergleich zu den Ausgangseigenschaften könnte auf ein Nachlassen der Stabilisatorwirkung verweisen. Daß bei Injektionsmasse Syton 37H mit halbiertem Anteil pyrogener Kieselsäure trotz Fließmittelzugabe ein thixotroper Effekt zu beobachten war, läßt sich folgendermaßen erklären: Nach Lehmkuhl soll die Dosierung des Stabilisators 10 M-% des Anteils pyrogener Kieselsäure betragen. Dieser Anforderung wird durch Rezeptur Syton 37 H genau entsprochen. Die Thixotropie dieser Injektionsmasse dürfte daher vom Stabilistoranteil herrühren. Daraus läßt sich schlußfolgern, daß die Aufhebung der Thixotropie bei den Injektionsmassen Syton 30H, 31H und 33H in erster Linie auf den geringen Stabilisatoranteil zurückzuführen ist und nicht oder im geringeren Maß auf den Fließmittelanteil.

Aufbereitungsaufwand

Bei den meisten Injektionsmassen mußte erhebliche Mühe investiert werden, um den gebildeten festen Bodensatz aufarbeiten zu können. Der Aufwand stieg naturgemäß mit der Standzeit. Spätestens nach 7 Tagen ist eine Aufbereitung mittels Spachtel nicht mehr möglich. Man muß hierzu schon zu einem stabileren Werkzeug greifen.
Eine Ausnahme bildet Injektionsmasse Syton 7H mit der schon von Lehmkuhl verwendeten Quarzmehl/Cristobalitmehl-Zuschlagsmischung, die sich auch noch nach 7 Tagen relativ leicht mit einem Spachtel aufrühren ließ. Die Injektionsmassen Syton 9H und 37H, bei denen der Anteil pyrogener Kieselsäure halbiert wurde, sind nach 7 Tagen nicht mehr verwendbar.

Nachdispergieren

Vier Injektionsmassen wurden 7 Tage nach ihrer Herstellung bei niedriger Geschwindigkeit erneut dispergiert. Durch den Dispergiervorgang traten dabei keine oder nur sehr geringe Temperaturveränderungen auf.[204] Bei den Injektionsmassen Syton 7H, Syton 11H und Syton 31H mit einem Anteil pyrogener Kieselsäure von 10 % (bezogen auf die Flüssigkeitseinwaage) und einer Bindemittelkonzentration von 15 %

[204] Die gemessenen Temperaturdifferenzen betrugen bei den Injektionsmassen Syton H7 und 18H 0°C, bei der Injektionsmasse Syton 11H -0,2°C und bei Injektionsmasse Syton 31H –0,8°C.

führte das Nachdispergieren zu einer Erhöhung der Auslaufzeit um 10 bis 30 %. Bei Injektionsmasse Syton 7H verminderte sich das Penetrationsvermögen um 125 %. Bei Injektionsmasse Syton 18H mit einem auf 5 % reduzierten Anteil pyrogener Kieselsäure und einer Bindemittelkonzentration von 22,5 % wurden dagegen das Fließ und Penetrationsvermögen verbessert. Hierdurch wurden annähernd wieder die Ausgangswerte nach Fertigstellung der Injektionsmasse erreicht.
Nachdispergieren führt demnach bei Rezepturen mit einem hohen Anteil pyrogener Kieselsäure nicht zu einer Wiederherstellung der Ausgangseigenschaften, sondern zu einer weiteren Verschlechterung des Fließ- und Penetrationsvermögens. Die besseren Ergebnisse bei Injektionsmasse Syton 18H hängen möglicherweise mit dem halbierten Kieselsäureanteil und der höheren Bindemittelkonzentration zusammen.

Die Untersuchungen zeigen, daß sich bei einer längeren Standzeit die Gebrauchseigenschaften verschlechtern. Aufgrund der ausgeprägten Sedimentationsneigung der meisten Injektionsmassen ist ein erheblicher Kraftaufwand erforderlich, um wieder eine verarbeitungsfähige, homogene Konsistenz zu erlangen. Überdies verschlechtern sich bei vielen Injektionsmassen das Fließ- und Penetrationsvermögen aufgrund von Thixotropieeffekten. Eine Ausnahme bilden jene Hinterfüllmassen, deren Stabilisatoranteil halbiert wurde und die ein Fließmittel enthalten. Sie können ohne Eigenschaftsverschlechterung auch über mehrere Tage verwendet werden, sofern man sich der Mühe der Rehomogenisierung unterzieht.

7.2.2 Injektionsmörtel auf der Basis von Funcosil KSE 500 STE

Im Vergleich zu den Injektionsmassen auf der Basis von Syton X 30 ist die Rezeptur des Kieselsäureester-gebundene Mörtels relativ schlicht. Sie wurde unverändert aus dem technischen Merkblatt des Bindemittels Funcosil KSE 500 STE übernommen. Dem zur Verteilung der enthaltenen pyrogenen Kieselsäure ausreichend geschüttelten Gebinde wurden 204 g Kieselsäureester entnommen und mit 120 g Füllstoff A (nicht näher gekennzeichnetes Mineralmehl) und 60 g Füllstoff B (Quarzmehl) bei 6 m/s für 5 Minuten dispergiert.
Fließfähigkeit und Penetrationsvermögen sind mit einer Auslaufzeit von knapp 2 Minuten und einer Durchdringungsdauer von 2,5 Minuten gut. Auch die Sedimentationsstabilität ist zufriedenstellend, so daß die Verarbeitung nicht nennenswert behindert wird. Insbesondere bildet sich innerhalb einer Zeitspanne von mehreren Stunden kein harter Bodensatz, wie dies bei vielen Sytonrezepturen beobachtet wurde. Auf dem Glasuntergrund tritt ein sehr starkes Schrumpfen, verbunden mit einer Verformung und Ablösung vom Untergrund auf. Auch auf dem Terrakottaträger ist das Schwinden nicht unbeträchtlich und die erzielte Anhaftung gering. Dies dürfte mit dem relativ geringen Füllstoffanteil und dem für Kieselsäureester typischen spannungsreichen Schwinden infolge der Kondensationsvorgänge zusammenhängen. Versuche mit erhöhtem Füllstoffanteil erscheinen daher sinnvoll, wurden aber im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht vorgenommen.
Der Hersteller empfiehlt, nur kleinere Mengen für den sofortigen Verbrauch anzumischen. Daher wurden auf Untersuchungen zur Dauer der Gebrauchsfähigkeit verzichtet.

7.2.3 HGZ Injektionsmörtel

7.2.3.1 Rezeptierung

Ausgangspunkt der Versuche waren die Rezepturangaben in der Dissertation von Böttger, die nachfolgend wiedergegeben werden.[205]

HGZ-Bindemittel:		50 M-%
Quarzmehl SP 10:		40 M-%
Borosilikatvollglaskugeln:		10 M-%
Verflüssiger[206]	+	0,3 M-%, bezogen auf Bindemittel und Zuschlag
Stabilisator[207]	+	0,1 M-%, bezogen auf Bindemittel und Zuschlag
Polyurethan[208]	+	4 M-%, bezogen auf Bindemittel und Zuschlag
Kunststoffdispersion[209]	+	2 M-%, bezogen auf Bindemittel und Zuschlag
Wasser:		50 M-% (Wasser-Bindemittelverhältnis 1:1)

Gegenüber den ursprünglich verwendeten Rohstoffen ergaben sich folgende Änderungen:

- Durch wesentlich feinere Aufmahlung des Hüttensandanteils erzielte das ‚neue' Bindemittel HGZ erheblich höhere Festigkeiten
- Das Quarzmehl SP 10 mit einem mittleren Korndurchmesser d_{50} um 21 µm, einem oberen Korndurchmesser d_{95} um 80 µm wurde durch das Quarzmehl Dorsilit 1600 der Fa. Dorfner ersetzt.
- Das seinerzeit benutzte Polyurethan, ein Versuchsprodukt der Fa. Bayer, war nicht mehr erhältlich und wurde durch das aliphatische Polyisocyanat Desmodur DA-L ersetzt.
- Der Zusatz der Kunststoffdispersion ist nach Aussage von Herrn Böttger verzichtbar.
- Der angegebene Wasseranteil von 50 M-% kann nach Aussage von Herrn Böttger aufgrund der veränderten Ausgangsrohstoffe herabgesetzt werden.

Als sehr hinderlich erwies sich, daß technische Merkblätter mit eindeutigen Angaben zur Zusammensetzung und den Inhaltsstoffen der einzelnen Komponenten, deren Dosierung und mit Vorschriften zum Mischvorgang werksseitig nicht erhältlich waren. So kam es zu Mißverständnissen und in deren Folge zu einer Reihe von Fehlversuchen. Erst nach einiger Zeit stellte sich heraus, daß die HGZ-Komponente bereits einen Füllstoffanteil von 50 M-% gemäß oben angegebener Rezeptur enthielt. Weiter war zu klären, das sowohl dem HGZ-Trockenmörtel als auch der Zuschlagsmischung aus Quarzsand und Glaskugeln bereits werksseitig die angegebene Anteile an Fließmittel und Stabilisator beigemischt sind. Schließlich lagen zunächst keine Angaben zum Wirkstoffgehalt des Polyisocyanats Desmodur DA-L vor, die für eine Dosierung gemäß obenstehender Rezeptur benötigt wurden, da sich deren Prozentangaben auf den Feststoffgehalt beziehen. Erst zu einem späten Zeitpunkt erreichte mich eine Mischanweisung, der zu entnehmen war, daß die Gebrauchsdauer des Mörtels auf 30 Minuten beschränkt ist und Temperaturen über 30° C zu vermeiden seien.

In den Versuchen waren folgende Fragen zu klären:

- Welche Geräte und welche Mischgeschwindigkeiten eignen sich am besten für das Anmischen des Mörtels, insbesondere für das Emulgieren des Polyisocyanats im Anmachwasser zu Beginn des Mischvorgangs?
- In welchem Maße kann und muß dem Werktrockenmörtel, bestehend aus einem Gewichtsteil Bindemittel und einem Gewichtsteil Zuschlag zusätzlicher Füllstoff zugegeben werden, um ein angepaßtes Festigkeitsniveau zu erzielen?

---

[205] Böttger, Karl Georg (1997): Mörtel für die Erhaltung historischer Kalkputze. Haftmörtel, Hinterfüllmörtel und Kalkputze. Dissertation an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar, S. 105; S. 218 f., Tabellen A 28 u. A 29, sowie Rezeptur HGZ2 Kd, auf S. 222., Tabelle A 32

[206] FMF-Konzentrat (pulverförmig) auf Melaminharzbasis

[207] pulverförmiges Produkt, enthält Polyethylenoxid

[208] aliphatisches Polyisocyanat, wasseremulgierbar bei Zusatz eines Emulgators

[209] copolymere Acrylat / Styrol-Dispersion, 50 M-% Feststoffanteil

- Wie ist das Anmachwasser in Abhängigkeit vom Füllstoffanteil der jeweiligen Rezepturen optimal zu dosieren, um die geringste Sedimentationsneigung bei ausreichendem Fließ- und Penetrationsvermögen zu erzielen?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden eine Reihe von Mischungen hergestellt, von denen in dieser Arbeit 10 vorgestellt werden. Folgende Phasen lassen sich unterscheiden:

1. Bestimmung eines günstigen Wasseranteils auf der Grundlage der leicht abgewandelten Grundrezeptur und bei Mischung mit dem Dissolver der Fa. Distech (Injektionsmassen HGZ 1-3)
2. Erprobung anderer Mischgeräte und unterschiedlicher Umdrehungszahlen zur Verbesserung der Mörteleigenschaften, wobei die beste Rezeptur von Untersuchungsschritt 1 zugrunde gelegt wurde (Injektionsmassen HGZ 4-6)
3. Bestimmung eines günstigen Wasseranteils bei Erhöhung des Zuschlaganteils auf ein Verhältnis Bindemittel zu Füllstoff von 1:2 und 1:4 (Injektionsmassen 7-10)

7.2.3.2 Untersuchungsergebnisse der Rezeptierungsphase

Während der gesamten Entwicklungsarbeit des HGZ-Injektionsmörtel an der Uni Siegen wurde zum Mischen ein Pürierstab mit 13.000 Umdrehungen pro Minute verwendet. Angaben zur Form und zum Durchmesser des eigentlichen Rührwerkzeuges lagen nicht vor, so daß die Berechnung der Umfangsgeschwindigkeit in m/s nicht möglich ist. Entsprechende Geräte waren im Studiengang nicht vorhanden bzw. defekt.[210] Zur Verfügung standen zwei robuste Kombimixer älterer Bauart (Pürierstab und Haushaltsmixer in einem Gerät) mit jeweils drei Leistungsstufen, für die aber keine Angaben zur Geschwindigkeit vorhanden waren.
Für das Anmischen mittels Dissolver lagen daher keine Erfahrungen vor. Mit diesem Gerät konnte das Emulgieren des Polyisocyanats im Anmachwasser nur bei geringen Umfangsgeschwindigkeiten um 2 m/s erfolgen, da aufgrund der geringen Viskosität die Dissolverscheibe bei höheren Geschwindigkeiten weitgehend freiliegt. Die milchige Eintrübung des Anmachwassers beim Emulgieren sprachen für ein gutes Emulgierergebnis auch bei dieser niedrigen Geschwindigkeit. Einige Zeit nach Abschluß des Mischvorgangs zeigten sich dagegen feine Tröpfchen auf der Mörteloberfläche, die auf eine unzureichende Emulgierung des Polyisocyanats hindeuteten. Ferner fiel bei der Reinigung der Misch- und Meßgerätschaften eine leichte Klebrigkeit auf, die wohl dem Polyisocyanatanteil zuzuschreiben ist und sich auch mit heißem Wasser und Seife nicht entfernen ließ.[211] Diese Phänomene traten beim Mischen mittels Pürierstab nicht bzw. weniger deutlich auf. Stattdessen bildete sich infolge der wesentlich höheren Umfangsgeschwindigkeiten in verstärktem Maße eine großblasige Schaumkrone, die aber keinen Einfluß auf die relevanten Mörteleigenschaften hatte. Desweiteren trat eine starke Erwärmung des Mischansatzes auf. Bei höchster Geschwindigkeitsstufe wurden Temperaturen von 38,7° C erreicht (Protokoll HGZ 5), bei niedrigster Geschwindigkeit (Stufe 1) von immerhin 31° bis 35° C (Protokoll HGZ 6-8 und 10). Die relativ hohen Raumtemperaturen während des betreffenden Untersuchungszeitraumes von 25°-29°C dürften hierzu beigetragen haben. Möglicherweise haben diese hohen Mörteltemperaturen das Abbinden des Mörtels beschleunigt und damit den Verarbeitungszeitraum verkürzt. Bei Wiederholung des Auslaufversuchs und der Penetrationsmessungen in verschiedenen Zeitabständen nach Beendigung des Mischvorgangs zeigte sich nämlich, daß schon weit vor Ende der angegebenen Verarbeitungszeit von 30 Minuten eine Verschlechterung des Fließ- und Eindringvermögens einsetzte. Für die Mischungen Bindemittel zu Füllstoff 1:1 und 1:2 liegt dieser Zeitpunkt bei 17 bis 21 Minuten (Protokoll HGZ 3, 5 und 9, Verhältnis Wasser/ Feststoff 0,4:1), bei der Mischung Bindemittel zu Füllstoff 1:4 setzt bereits nach 11 Minuten eine Verminderung der Eindringgeschwindigkeit ein (Protokoll HGZ 10, Wasser/Feststoffverhältnis 0,4:1). Hierbei dürfte auch der Wassergehalt eine entscheidende Rolle spielen, der bei der letztgenannten Mischung vielleicht etwas zu niedrig bemessen war. Mischungen mit einem höheren Wasseranteil weisen dieses sehr frühe Ansteifen nicht auf (Protokoll HGZ 1, Wasser/Feststoffverhältnis 0,5:1, Erhöhung der Eindringzeit nach 30 Minuten). Möglicherweise sind hier, zumindest bei relativ hoher Mischgeschwindigkeit der Verminderung des Wasseranteils durch stark verkürzte Verarbeitungszeiten Grenzen gesetzt. Abgesehen

[210] Hier wurde offenbar beim Kauf nicht darauf geachtet, daß die Leistungsfähigkeit des Motors äußerst beschränkt war und nur für kurzzeitigen Betrieb von maximal 1 Minute Dauer ausgelegt ist (KB wie Kurzzeitbetrieb = 1). Solche Billigfabrikate sind daher für die Zubereitung von Injektionsmörteln gänzlich ungeeignet.
[211] Eine Nachreinigung mit Aceton, gelegentlich auch mit Demethylformamid war erforderlich.

von der zu vermutenden Beschleunigung des Abbindeprozesses durch die Erwärmung des Mischansatzes beim Anmischen mittels Pürierstab konnte ein signifikanter Einfluß des Mischvorgangs auf die relevanten Mörteleigenschaften nicht festgestellt werden, ist aber auf der Grundlage der wenigen Versuche nicht auszuschließen.
Auffallend war bei allen Mischungen, daß sich innerhalb kürzester Zeit ein Bodensatz im Mischgefäß bildete, der ein ständiges Rühren erforderlich machte. Diese hohe Sedimentationsneigung war visuell bei den Sedimentationsmessungen mittels Reagenzgläsern nicht abzulesen. Die anfängliche Vermutung, daß die hohe Sedimentationsneigung maßgeblich auf eine ungünstigere Korngrößenverteilung des Quarzmehls Dorsilit 1600 zurückzuführen ist, wurde durch die lasergranulometrische Untersuchung des Zuschlags nicht bestätigt. Die lasergranulometrischen Meßergebnisse decken sich weitgehend mit den Kennwerten des früher verwendeten Quarzmehls SP 10.[212] Bei den Rezepturen mit erhöhtem Füllstoffanteil nimmt die Sedimentationsneigung noch zu, selbst bei sehr niedriger Wasserdosierung (Protokoll HGZ 8 und 10).

Sehr gute Eigenschaften weisen alle Rezepturen mit einem Wasser/Feststoffverhältnis von 0,4:1 oder höher hinsichtlich geringer Auslaufzeit, schneller Penetration, keiner oder nur sehr geringer Schwindung in den Ringformen, guter Planlage und hervorragender Haftung am Terrakottaträger auf. Bei erhöhtem Füllstoffanteil stellt dieser Wassergehalt jedoch bereits den untersten Grenzwert dar, da sich die Fließ- und v.a. die Eindringgeschwindigkeiten bereits merklich erhöhen.

7.2.4 Injektionsmörtel auf der Basis einer Nanokompositdispersion

Ausgangspunkt der Rezeptierung waren die positiven Ergebnisse bei den Syton-gebundenen Massen hinsichtlich einer Erhöhung des Füllstoffanteils durch Zugabe des Fließmittels einerseits und der Verbesserung von Fließfähigkeit und Eindringvermögen durch Halbierung des Anteils an pyrogener Kieselsäure andererseits. Auf Basis der Rezeptur von Injektionsmasse Syton 37 wurde das Bindemittel Syton X 30 gegen die Nanokompositdispersion ausgetauscht.
Hierbei ergab sich die Schwierigkeit, daß die Nanokompositdispersion bei Umfangsgeschwindigkeiten von 6 m/s eine starke Schaumbildung zeigte, die die Viskosität der erzielten Massen deutlich erhöhte. Zur Lösung dieses Problems boten sich zwei Wege an: Die Verwendung von Entschäumern oder die nachträgliche Zugabe des Bindemittels bei niedrigen Umfangsgeschwindigkeiten zu einer bereits fertig dispergierten Füllstoffmischung in Wasser. Die Verwendung eines weiteren Zusatzmittels ließ angesichts der bereits komplexen Zusammensetzung der Massen langwierige Vorversuche infolge von nicht vorhersehbaren Wechselwirkungen zwischen den Inhaltsstoffen erwarten. Daher wurde die zweite Möglichkeit gewählt. Allerdings ergab sich hierdurch eine graduelle Veränderung in der Zusammensetzung der Masse: Um den vorgesehenen Anteil an pyrogener Kieselsäure und Füllstoffen in der Flüssigkeitsvorlage eindispergieren zu können, mußte der Anteil des Wassers in der Rezeptur erhöht und die Konzentration des Bindemittels herabgesetzt werden. Statt eines Verhältnisses Bindemittel zu Wasser von 1:1 Gewichtsteilen ergab sich nun ein Verhältnis von 1:3. Nachfolgend die Rezepturangabe:

Bindemittel:	Nanokompositdispersion	50 g
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	150 g
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	10 g
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl Millisil W 12	150 g
	Plastorit 0000	110 g
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g
	Lopon 890	1 g

Bei einem Feststoffgehalt von 35,3 M-% der Nanokompositdispersion errechnet sich hieraus eine Bindemittelkonzentration der Flüssigphase von 8,825 M-%. Bezogen auf die Masse der Gesamtrezeptur von 422 g ergibt sich mit einem Feststoffanteil des Bindemittels von 17,75 g eine Bindemittelkonzentration von

[212] Böttger, Karl Georg (1997): Mörtel für die Erhaltung historischer Kalkputze. Haftmörtel, Hinterfüllmörtel und Kalkputze. Dissertation an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar, S. 210, Tabelle A 15 mit lasergranulometrischen Daten zum Quarzmehl SP 10

ca. 4,2 %. Es blieb abzuwarten, ob diese relativ geringe Konzentration noch ein ausreichendes Bindevermögen aufweisen würde.
Das Untermischen der Nanokompositdispersion erfolgte durch Rühren von Hand mit einem Glasstab und nachfolgendem Homogenisieren bei 2 m/s für 2 min mit dem Dissolver. Dabei trat keine Schaumbildung auf.

Die genannte Rezeptur wurde bei den Injektionsmassen Nano 1 bis Nano 3 unverändert beibehalten. Das mehrfache Anmischen nach gleicher Rezeptur hatte zum Ziel, die Gebrauchsdauer der Injektionsmasse bzw. der ihr zugrundeliegenden bindemittelfreien Füllstoffmischung zu untersuchen. Bei der Injektionsmasse Nano 4 wurde zusätzlich ein Polyisocyanat zur Erzielung einer höheren Naßfestigkeit beigemischt. Schließlich wurde zu Vergleichszwecken mit der gleichen Grundrezeptur eine Masse unter Verwendung der Acryldispersion ‚Primal AC 33 neu' statt der Nanokompositdispersion hergestellt (Injektionsmasse Primal).

Hinsichtlich des Penetrationsvermögens wurden die bereits relativ kurzen Eindringzeiten der Injektionsmasse Syton 37 (=Basis der Nanokompositmörtelrezeptur) von 4 Minuten und 15 Sekunden nochmals halbiert. Auch die Auslaufzeit wurde weiter verkürzt. Die Kanülengängigkeit ist sehr gut: Eine problemlose Verwendung des Kanülendurchmessers 0,6 mm ist möglich. Des weiteren ist die Injektionsmasse in sehr hohem Maße sedimentationsstabil, was angesichts des geringen Anteils an pyrogener Kieselsäure ein unerwartetes Ergebnis ist. Schließlich weist die Masse auf dem Terrakottaträger fast keine Schwindung, eine sehr gute Planlage und eine hervorragende Haftung auf. Es waren keine Phasentrennung, keine Glanzbildung und keine Verfärbungen zu beobachten. Auf dem Glasträger wurden schlechtere Ergebnisse hinsichtlich Haftung und Verformung erzielt.
Als problematisch erwies sich die Gebrauchsfähigkeitddauer der Masse. Fließ- und Penetrationsvermögen hatten nach 2 Tagen sehr stark abgenommen. Die Sandschüttung wurde innerhalb von 2 Stunden nur noch zur Hälfte durchdrungen. Die sehr geringe Flüssigkeitsabsonderung bei der Messung der Sedimentationsstabilität dürfte z.T. mit der offenbar eingetretenen Viskositätserhöhung der Injektionsmasse zusammenhängen.
Damit war ein wichtiges Anforderungskriterium, eine möglichst lange Gebrauchsfähigkeitsdauer, nicht erfüllt. Als eine Lösung bot sich die Herstellung eines größeren Ansatzes der wässrigen Füllstoffdispersion als Vorrat an, dem dann portionsweise das Bindemittel zuzugeben war, um bedarfsgerechte Ansatzgrößen zu erhalten. Versuche zur Lagerstabilität solcher Vorratsmischungen zeigten, daß sich nach einigen Tagen kleine Klümpchen bildeten, die ein Nachdispergieren bei niedrigen Umfangsgeschwindigkeiten erforderlich machten.[213] Nach 10 Tagen wurde dieser Füllstoffmischung die Nanokompositdispersion beigemischt. Diese Masse wies eine nochmalige Verbesserung des Fließ- und Penetrationsvermögens auf, sedimentierte aber sehr stark. Auch zeigte sich an den erhärteten Mörteln der Ringformen eine ausgeprägte Phasentrennung mit einer bindemittelreichen, stark krakelierten Deckschicht. Die Härte der Masse war hierdurch deutlich schlechter, die Haftung auf beiden Trägermaterialien aber sehr gut.
Bei der Injektionsmasse Nano 3 wurde das Bindemittel wie bei der Masse Nano 1 wieder direkt nach Herstellung der Füllstoffdispersion zugegeben. Es wurden systematisch über mehrere Tage die Auslaufzeit und die Penetrationsgeschwindigkeit bestimmt, um die Dynamik der Eigenschaftsänderung genauer zu erfassen.
Bereits nach 1 Stunde erhöhte sich die Auslaufzeit um ca. 13 %, nach 3 Stunden um 24 %, nach 1 Tag um 69 %, nach 2 Tagen um 92 %. Nach einer Woche konnte die Auslaufzeit aufgrund von Klümpchen, die die Düse verstopften, nicht mehr bestimmt werden. Die Masse wurde daraufhin erneut mittels Dissolver bei 2 m/s für 6,5 Minuten dispergiert. Daraufhin verküzte sich die Auslaufzeit wieder und lag 34 % über dem Ausgangswert direkt nach der Herstellung. Das Eindringvermögen ließ dagegen sehr viel schneller nach: Nach 1 Tag wurden zur vollständigen Durchdringung der Sandschüttung 22 Minuten statt der anfängliche 100 Sekunden benötigt. Die Masse wurde daraufhin erneut dispergiert (2 m/s, 2 min). Dies hatte eine drastische Verschlechterung des Eindringvermögens zur Folge. Nachfolgend wurden 2 Stunden benötigt und auch am darauf folgenden Tag wurden sehr ähnliche Ergebnisse erzielt. Schließlich wurde nach einer Woche nach erneutem Aufdispergieren (2 m/s, 6,5 min) wieder sehr niedrige Eindringzeiten erzielt, die mit durchschnittlich 3 Minuten 10 Sekunden nur doppelt so hoch waren wie direkt nach Mischende. Mit dieser erneut aufdispergierten Masse wurde auch die Bestimmung der Sedimentationsgeschwindigkeit wiederholt. Es zeigte sich eine Verschlechterung der Sedimentationsstabilität, die jedoch im

[213] Anhang 3, Injektionsmassenprotokoll Nano 2, Bemerkung vom 03.06.

Vergleich mit den meisten Syton-gebundenen Massen mit Fließmittelzugabe noch immer als gut zu bezeichnen ist.
Die genannten Meßergebnisse beruhen meistens auf Einzelmessungen, selten auf Doppelbestimmungen. Sie sind damit statistisch nicht abgesichert, zeigen aber Tendenzen auf.
Die Ursache für die aufgezeigten Veränderungen der Mörteleigenschaften sind noch unbekannt.

Der Versuch, durch Zugabe des Polyisocyanats Basonat HW 180 PC eine hinsichtlich der Naßfestigkeit verbesserte Injektionsmasse auf der Basis von Nanokompositdispersion herzustellen, ohne die hervorragenden Frischmörteleigenschaften nachteilig zu beeinflussen, scheiterte (Injektionsmasse Nano 4). Die additive Zugabe des Polyisocyanats bei sonst unveränderter Rezeptur in einer Dosierung von 10 M-% der Nanokompositdispersion führte zu einer enormen Viskositätserhöhung. Aufgrund der zu vermutenden Wechselwirkungen zwischen den Inhaltsstoffen ist mit einer erfolgreichen Rezeptierung erst nach einer längeren Versuchsphase zu rechnen. Daher wurden keine weiteren Versuche durchgeführt.

Die durch Austausch der Nanokompositdispersion gegen die Acryldispersion ‚Primal AC 33 neu' erzielte Injektionsmasse zeigt ein sehr geringes Eindringungs- und Fließvermögen, wobei Anzeichen für eine rasche Viskositätserhöhung nach Beendigung des Mischvorgangs vorliegen.

7.3 Haftzugfestigkeitsmessungen

7.3.1 Haftzugfestigkeitsmessungen an Referenzproben des Typus 1

Es wurden Haftzugfestigkeitsmessungen an Referenzproben mit zwei verschiedenen Engoberezepturen (gemagert und ungemagert) und zwei verschiedenen Auftragsstärken (drei- und sechslagiger Auftrag der gemagerten Engobe) an insgesamt 22 Proben vorgenommen, wovon jeweils die Hälfte im lufttrockenen und im durchfeuchteten Zustand geprüft wurde. Ziel dieser Messungen war es, einen Maßstab zur Beurteilung jener Haftzugfestigkeiten zu erhalten, die nach den Injektion am Probentypus 1 mit den verschiedenen Hinterfüllmörteln erzielt wurden.

Da ein nicht unerheblicher Teil der Referenzproben Haftungsstörungen zwischen Engobe und Scherben in Form von Hohlstellen aufwies, wurden zwei Haftzugfestigkeitswerte berechnet, der eine auf der Basis der gesamten Probenfläche ($ß_{HZ}$ 1) und der zweite unter ausschließlicher Berücksichtigung der Probenfläche mit guter Engobenhaftung ($ß_{HZ}$ 2). Die mittels Perkussionsuntersuchung quantifizierten hohlliegenden Bereiche gehen dabei nicht in die Berechnung der Haftzugfestigkeit ein, wodurch sich die Festigkeitswerte erhöhen und – im günstigsten Fall – die Streubreite der Haftzugwerte innerhalb einer Probengruppe sinkt. Die Zuordnung der Proben zu den beiden Konditionierungsarten „trocken" und „naß" wurde so vorgenommen, daß die Summe aller hohlliegenden Bereiche möglichst gleich war.

Die einzelnen Referenzprobengruppen tragen folgende Kurzbezeichnungen:
E 3 ungemagerte Engobe;
E 4 III gemagerte Engobe, dreilagig;
E 4 VI gemagerte Engobe, sechslagig

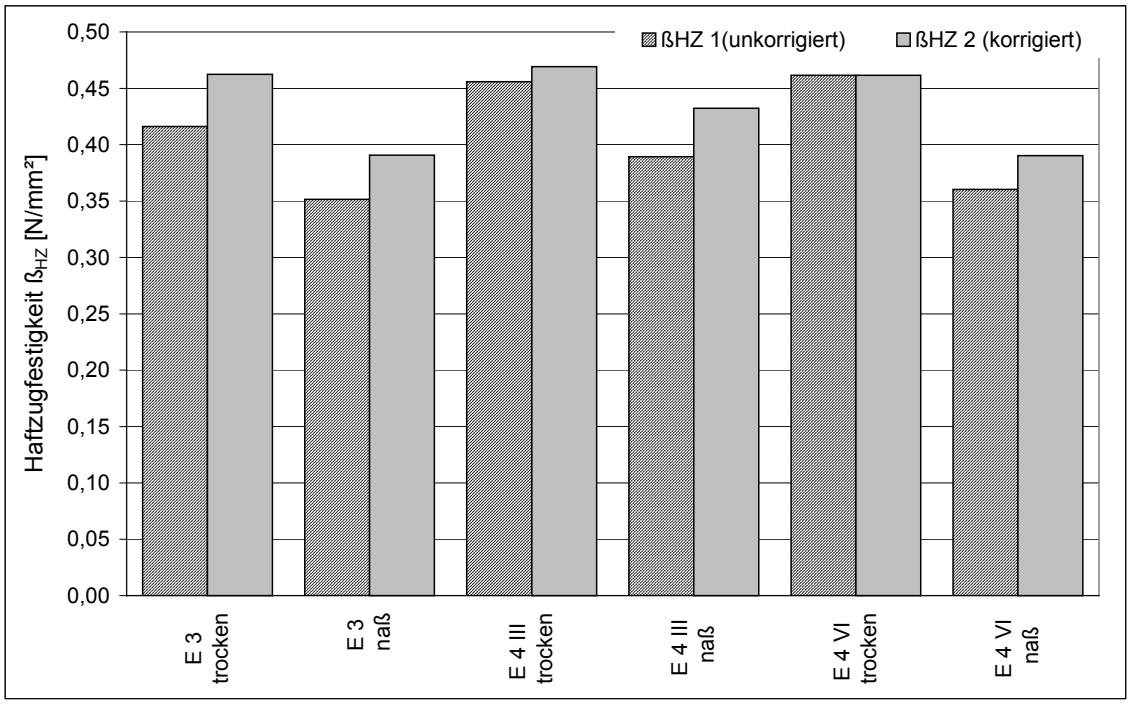


Diagramm 1: Haftzugfestigkeitswerte $ß_{HZ}$ 2 der Referenzproben des Typus 1 auf der Basis des Medians

Die Einzelergebnisse und die hieraus abgeleiteten statistischen Maßzahlen werden in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet.

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Engobetyp	Abschätzung hohlliegender Bereiche	Konditionierung	Bruchbild				f_{max}	$ß_{HZ}$ 1 (unkorrigiert)	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (korrigiert)
							a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]		[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]
E 3-2	38,9	38,9	1513,2	Engobe 3 (ungemagert)	20	trocken	100	0	0		657,6	0,43	1210,6	0,54
E 3-3	38,2	40,0	1528,0	Engobe 3 (ungemagert)	0	trocken	100	0	0		623,1	0,41	1528,0	0,41
E 3-4	40,1	39,2	1571,9	Engobe 3 (ungemagert)	10	trocken	100	0	0		733,9	0,47	1414,7	0,52
E 3-7	38,2	38,8	1482,2	Engobe 3 (ungemagert)	10	trocken	100	0	0		616,7	0,42	1333,9	0,46
E 3-8	38,5	39,0	1501,5	Engobe 3 (ungemagert)	0	trocken	100	0	0		536,7	0,36	1501,5	0,36
				Median			100	0	0			**0,42**		**0,46**
				arithm. Mittel			100	0	0			**0,42**		**0,46**
				Standardabweichung								**0,04**		**0,08**
				Variationskoeffizient [%]								**9,6**		**16,8**
E 3-1	38,9	41,5	1614,4	Engobe 3 (ungemagert)	20	naß	100	0	0		488,4	0,30	1291,5	0,38
E 3-5	38,7	38,9	1505,4	Engobe 3 (ungemagert)	10	naß	90	0	10		521,7	0,35	1354,9	0,39
E 3-6	39,9	38,8	1548,1	Engobe 3 (ungemagert)	5	naß	100	0	0		932,2	0,60	1470,7	0,63
E 3-9	39,9	40,7	1623,9	Engobe 3 (ungemagert)	10	naß	90	0	10		579,2	0,36	1461,5	0,40
E 3-10	39,3	40,1	1575,9	Engobe 3 (ungemagert)	0	naß	100	0	0		(Fehlmessung)			
				Median			95	0	5			**0,35**		**0,39**
				arithm. Mittel			95	0	5			**0,40**		**0,45**
				Standardabweichung								**0,14**		**0,12**
				Variationskoeffizient [%]								**33,7**		**27,6**
E 4 III 1	39,6	39,1	1548,4	Engobe 4 (gemagert, 3-lagig)	0	trocken	10	90	0		626,7	0,40	1548,4	0,40
E 4 III 3	40,0	39,4	1576,0	Engobe 4 (gemagert, 3-lagig)	0	trocken	20	80	0		739,4	0,47	1576,0	0,47
E 4 III 5	38,8	40,3	1563,6	Engobe 4 (gemagert, 3-lagig)	5	trocken	20	80	0		712,9	0,46	1485,5	0,48
				Median			20	80	0			**0,46**		**0,47**
				arithm. Mittel			17	83	0			**0,44**		**0,45**
				Standardabweichung								**0,03**		**0,04**
				Variationskoeffizient [%]								**7,7**		**9,0**
E 4 III 2	39,1	39,7	1552,3	Engobe 4 (gemagert, 3-lagig)	0	naß	20	80	0		671,0	0,43	1552,3	0,43
E 4 III 4	39,1	39,4	1540,5	Engobe 4 (gemagert, 3-lagig)	0	naß	30	70	0		464,2	0,30	1540,5	0,30
E 4 III 6	38,6	37,9	1462,9	Engobe 4 (gemagert, 3-lagig)	10	naß	50	50	0		569,4	0,39	1316,6	0,43
				Median			35	65	0			**0,39**		**0,43**
				arithm. Mittel			35	65	0			**0,37**		**0,39**
				Standardabweichung								**0,07**		**0,08**
				Variationskoeffizient [%]								**17,8**		**19,5**
E 4 VI 1	41,0	39,6	1623,6	Engobe 4 (gemagert, 6-lagig)	0	trocken	20	80	0		845,0	0,52	1623,6	0,52
E 4 VI 3	40,1	39,5	1584,0	Engobe 4 (gemagert, 6-lagig)	0	trocken	10	90	0		731,1	0,46	1584,0	0,46
E 4 VI 4	41,7	41,0	1709,7	Engobe 4 (gemagert, 6-lagig)	70	trocken	75	25	0		166,0	0,10	512,9	0,32
				Median			20	80	0			**0,46**		**0,46**
				arithm. Mittel			35	65	0			**0,36**		**0,44**
				Standardabweichung								**0,23**		**0,10**
				Variationskoeffizient [%]								**63,8**		**23,2**
E 4 VI 2	40,0	41,2	1648,0	Engobe 4 (gemagert, 6-lagig)	0	naß	20	80	0		616,7	0,37	1648,0	0,37
E 4 VI 5	38,8	39,9	1548,1	Engobe 4 (gemagert, 6-lagig)	30	naß	30	70	0		557,9	0,36	1083,7	0,51
E 4 VI 6	40,3	39,6	1595,9	Engobe 4 (gemagert, 6-lagig)	30	naß	50	50	0		435,9	0,27	1117,1	0,39
				Median			30	70	0			**0,36**		**0,39**
				arithm. Mittel			33	67	0			**0,34**		**0,43**
				Standardabweichung								**0,05**		**0,08**
				Variationskoeffizient [%]								**16,3**		**18,1**

Tabelle 8: Ergebnisse der Haftzugfestigkeitsmessungen an Referenzproben des Typus 1

Die Streuung der Haftzugfestigkeit $ß_{HZ}$ 1 ist in den einzelnen Probengruppen mit Variationskoeffizienten zwischen 7,7 und 63,8 z.T. sehr hoch und vermindert sich bei Berücksichtigung der hohlliegenden Engobebereiche im Haftzugfestigkeitswert $ß_{HZ}$ 2 nur bei 2 Probengruppen, steigt dagegen bei 4 Probengruppen an (Variationskoeffizienten zwischen 9 und 27,6). Obwohl die Berücksichtigung der hohlliegenden Engobebereiche im Haftzugfestigkeitswert $ß_{HZ}$ 2 nur teilweise zu der angestrebten Reduzierung des Variationskoeffizienten geführt hat, ist sie sachlogisch unverzichtbar. Daher wird bei der weiteren Auswertung ausschließlich dieser Haftzugfestigkeitswert $ß_{HZ}$ 2 zugrundegelegt.
Die Anzahl von 5 bis 3 Parallelproben je Probensubtypus und Konditionierung (trocken / naß) ist angesichts dieser Streubreiten zu gering. Die Eliminierung einzelner Meßergebnisse als Ausreißer ist bei so kleinen Probengruppen problematisch. Es empfiehlt sich in dieser Situation eine Auswertung auf der Grundlage des Medians, der als mittlerer Wert der nach Betragsgröße geordneten Meßwerte durch Extremwerte nicht beeinflußt wird.

Alle drei verschiedenen Modellprobengruppen des Typus 1 zeigen im trockenen Zustand ein annähernd identisches mittleres Haftzugfestigkeitsniveau um 0,46 N/mm², das bei Durchfeuchtung der Proben nur mäßig zwischen 6,5 und 15 % abfällt.
Wesentlich größere Unterschiede zwischen den einzelnen Probengruppen zeichnen sich beim Bruchbild ab. Probenkollektiv E 3 weist zu fast 100 % einen Adhäsionsbruch zwischen Scherben und Engobe auf. Ein geringer Anteil des Bruchbilds c (Versagen im Scherben) bei den durchfeuchteten Proben von durchschnittlich 5 % läßt vermuten, daß die Naßfestigkeit des Scherbens geringer ist als die der Engobe.
Das Vorherrschen des Adhäsionsbruchs deutet darauf hin, daß sich bei der Trocknung der Proben an der Grenzfläche Engobe zu Scherben durch Unterschiede im Schwindmaß Spannungen ausgebildet haben, die zu einer suboptimalen Engobehaftung geführt haben. Es ist anzunehmen, daß bei einer optimierten Probenherstellung bei Verwendung derselben Engoberezepturen höhere Haftzugfestigkeiten erzielt werden könnten, wobei mit einem Anstieg des Anteils an Kohäsionsbruch (Bruchbild b) zu rechnen wäre.
Das Bruchbild der Referenzproben mit gemagerter Engobe (Probengruppen E 4 III und E 4 VI) ist dagegen überwiegend vom Kohäsionsbruch innerhalb der Engobe geprägt. Eine signifikanter Unterschied ist weder zwischen den trockenen und durchfeuchteten Proben noch zwischen den Proben mit drei- und sechslagigem Engobeauftrag zu erkennen. In keinem Fall tritt ein Kohäsionsbruch im Scherben auf. Die Adhäsion dieses Engobetyps am Scherben ist offenbar höher als die Kohäsion innerhalb der Engobe. Da die Haftzugfestigkeiten der beiden Engobearten 3 und 4 auf gleichem Niveau liegen, kann gefolgert werden, daß die Adhäsion von Engobe 4 höher ist als die von Engobe 3, während die Kohäsion von Engobe 3 die von Engobe 4 übersteigt.
Die vorgestellten Ergebnisse erlauben den Schluß, daß die Variation der Engoberezeptur nach Radujkovic durch die Zugabe eines begrenzten Anteils von Quarzsand zum Tonmehl nicht zu einer wesentlichen Verminderung der Festigkeitseigenschaften der Engobe geführt hat.

7.3.2 Festlegung der Parametervariationen und Auswahl der Injektionsmörtel

Es standen insgesamt 240 Modellproben des Typus 1 für Eignungsuntersuchungen von Injektionsmassen zur Verfügung. Für die Durchführung von Haftzugfestigkeitsmessungen waren folgende Parametervariationen der Probenkonditionierung vorgesehen: Messungen im lufttrockenen Zustand, nach Durchfeuchtung und nach Durchlaufen eines Belastungszyklus durch Frost-Tau-Wechsel, Salzkristallisation oder Klimasimulationsprogramm.[214] Die Stichprobengröße je Injektionsmörtel und Konditionierungsvariante sollte n = 5 betragen. Zusätzlich war eine Probe je Injektionsmörtel für Dünnschliffuntersuchungen vorgesehen. Pro Injektionsmörtel wurden folglich 16 Proben benötigt. Somit konnten maximal 15 verschiedene Mörtelrezepturen ausgewählt werden.

Der Schwerpunkt sollte auf Injektionsmörteln auf Kieselsolbasis liegen, da der größte Teil der bisherigen Untersuchungen an Injektionsmassen mit diesem Bindemittel durchgeführt worden waren. Desweiteren war die Einbeziehung von drei Rezepturen auf der Basis von HGZ vorgesehen, bei denen der Füllstoffanteil variiert wurde. Von der Grundrezeptur ausgehend war der Füllstoffanteil verdoppelt bzw. vervierfacht worden. Hierdurch sollte überprüft werden, ob die aufgrund der sehr feinen Aufmahlung des Hüttensandanteils zu erwartenden hohen Festigkeiten der Grundrezeptur auf ein angemessenes Niveau abgesenkt werden können.
Aufgrund der guten Voruntersuchungsergebnisse und um einen Vergleich mit den Ergebnissen der Diplomarbeit von Lemnitz zu ermöglichen, wurde ein Probensatz für eine kieselsäureethylestergebundene Injektionsmasse auf der Basis von Remmers KSE 500 STE reserviert.
Schließlich war aufgrund der hervorragenden bisherigen Untersuchungsergebnisse die Einbeziehung der Injektionsmasse auf der Basis der Nanokompositdispersion vorgesehen. Von den insgesamt 14 Probensätzen verblieben also 9 Probensätze für Injektionsmörtel auf der Basis von Syton X 30. Bei der Auswahl der Rezepturen wurden folgende Einflußfaktoren auf die Haftzugfestigkeit berücksichtigt:

- Einfluß zweier unterschiedlicher Zuschlagsarten auf die Grundrezeptur nach Lehmkuhl (Injektionsmasse S 2 und S 7)

[214] Aus zeitlichen Gründen konnte die Verwitterungssimulation nicht mehr durchgeführt werden.

- Einfluß reduzierter Zugabemengen der pyrogenen Kieselsäure Cab-O-Sil M5 und des Stabilisators Tween 20 zur Verbesserung des Fließ- und Penetrationsvermögens (Injektionsmasse S 9 und S 11 im Vergleich mit der Grundrezeptur S 2)
- Einfluß einer Erhöhung des Füllstoffanteils und Verwendung drei verschiedener Füllstoffarten bei gleichzeitig reduzierter Zugabemenge der pyrogenen Kieselsäure Cab-O-Sil M 5 und des Stabilisators Tween 20 (Injektionsmasse S 18)
- Einfluß einer Zugabe von Fließmittel und erhöhter Füllstoffmenge
- Einfluß unterschiedlicher Anteile der Füllstoffarten Quarzmehl W 12, Plastorit 0000 und Borosilikatvollglaskugeln bei den Rezepturen mit Fließmittelzugabe und erhöhtem Füllstoffanteil (Injektionsmasse S 30, 31 und 33)
- Einfluß der Reduzierung des Anteils pyrogener Kieselsäure Cab-O-Sil M5 bei den Rezepturen mit Fließmittelzugabe und erhöhtem Füllstoffanteil (Injektionsmasse S 37 im Vergleich mit S 30)

7.3.3 Rezepturen und veränderte Herstellung der Injektionsmassen

Nachfolgend werden die Rezepturen der ausgewählten Injektionsmörtel tabellarisch zusammengestellt. Die Bezeichnungen aus der ersten Untersuchungsphase wurden beibehalten, wobei zur Unterscheidung den Namenskürzeln ein H angehängt wurde (H wie Haftzug).

Injektionsmörtelkürzel	V	Bindemittel		H_2O_{dest}	Cab-O-Sil M5	Zuschlag 1		Zuschlag 2		Zuschlag 3		Zusatz 1		Zusatz 2	
	[m/s]		[g]	[g]	[g]		[g]		[g]		[g]		[g]		[g]
Syton 2 H	7,5	Syton X 30	150	150	30	QM W 12	300					Tween 20	3		
Syton 7 H	7,5	Syton X 30	150	150	30	QM 44 µm	150	CM 8 µm	150			Tween 20	3		
Syton 9 H	7,5	Syton X 30	150	150	22,5	QM W 12	300					Tween 20	3		
Syton 11 H	7,5	Syton X 30	150	150	30	QM W 12	300					Tween 20	2,25		
Syton 18 H	7,5	Syton X 30	225	75	15	QM W 12	135	Plast. 0000	192	Spheriglass 3000 CP 00	48	Tween 20	3		
Syton 30 H	7,5	Syton X 30	150	150	30	QM W 12	225	Plast. 0000	165			Tween 20	1,5	Lopon 890	1,5
Syton 31 H	7,5	Syton X 30	150	150	30	QM W 12	150	Plast. 0000	210			Tween 20	1,5	Lopon 890	1,5
Syton 33 H	7,5	Syton X 30	150	150	30	QM W 12	135	Plast. 0000	189	Spheriglass 3000 CP 00	50,4	Tween 20	1,5	Lopon 890	1,5
Syton 37 H	7,5	Syton X 30	150	150	15	QM W 12	225	Plast. 0000	165			Tween 20	1,5	Lopon 890	1,5
KSE H	7,5	KSE 500 STE	204			Füllstoff A	120	Füllstoff B	60						
HGZ 6 H		HGZ-Bindemittel	125	100		Dorsilit 1600	100	BVK	25			Desmodur DA-L	10		
HGZ 9 H		HGZ-Bindemittel	100	120		Dorsilit 1600	160	BVK	40			Desmodur DA-L	12		
HGZ 10 H		HGZ-Bindemittel	62,5	125		Dorsilit 1600	200	BVK	50			Desmodur DA-L			
Nano 1 H	7,5	Nanokomposit dispersion	50	150	10	QM W 12	150	Plast. 0000	110			Tween 20	1	Lopon 890	1

Erläuterungen: V = Umfangsgeschwindigkeit der Dissolverscheibe; Plast 0000 = Plastorit 0000; BVK = Borosilikatvollglaskugeln (genaue Typenbezeichnung unbekannt); QM 44 µm = Quarzmehl, Nennkorngröße 44 µm (Kremer-Pigmente); CM 8 µm = Cristobalitmehl, Nennkorngröße 8 µm (Kremer Pigmente); QM W 12 = Millisil W 12 Quarzmehl

Tabelle 9: Rezepturen der ausgewählten Injektionsmörtel zur Ermittlung der Haftzugfestigkeit

Abweichend von Untersuchungsphase 1 wurden (mit Ausnahme der HGZ-Mörtel) alle Injektionsmassen für die Injektion der Modellpräparate mit einer Dispergiergeschwindigkeit von 7,5 m/s statt 6 m/s hergestellt. Zu dieser Änderung entschloß ich mich nach nochmaliger Durchsicht und Neubewertung der bisherigen Untersuchungsergebnisse, wobei die Verbesserung der Fließ- und Penetrationseigenschaften bei größeren Umfangsgeschwindigkeiten höher bewertet wurde als das ruhigere Mischbild beim Dispergieren und die bessere Sedimentationsstabilität, wie sie für die niedrigeren Mischgeschwindigkeiten von 6 m/s charakteristisch sind.[215]
Bei allen kieselsolgebundenen Massen wurde zudem der Mischansatz um den Faktor 1,5 vergrößert, um eine ausreichende Mörtelmenge für Wiederholungsmessungen der Auslaufzeit und Penetrationsgeschwindigkeit zur Verfügung zu haben. In den meisten Fällen wurde dabei das nächstgrößere Mischgefäß

[215] Vgl. die Untersuchungsergebnisse an den beiden Injektionsmassen Syton 2 (7,5 m/s) und Syton 3 (6 m/s)

(1000 ml, Durchmesser 100 mm) und eine Dispergierscheibe von 40 mm Durchmesser benutzt, da das größere Mischungsvolumen beim Dispergieren andernfalls über die Gefäßwandungen zu treten drohte.

7.3.4 Haftzugfestigkeitsmessungen an den injizierten Modellproben des Typus 1

Die statistisch aufbereiteten Meßergebnisse werden in der nachfolgenden Tabelle vorgestellt.

Probengruppe	Lufttrocken								Durchfeuchtet							
		Haftzugfestigkeit $ß_{HZ}$			weitere Kenngrößen					Haftzugfestigkeit $ß_{HZ}$			weitere Kenngrößen			
	Stichprobengröße	Median $ß_{HZ\,tr}$	arithm. Mittel $ß_{HZ\,tr}$	Variationskoeffizient $ß_{HZ\,tr}$	Verfüllungsgrad	Bruchbild a	Bruchbild b	Bruchbild c	Stichprobengröße	Median $ß_{HZ\,n}$	arithm. Mittel $ß_{HZ\,n}$	Variationskoeffizient $ß_{HZ\,n}$	Verfüllungsgrad	Bruchbild a	Bruchbild b	Bruchbild c
		[N/mm²]	[N/mm²]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N/mm²]	[N/mm²]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
E 3	5	0,46	0,46	17	-	100			4	0,39	0,45	28	-	95	0	5
E 4 III	3	0,47	0,45	9		20	80		3	0,43	0,39	20		35	65	
E 4 VI	3	0,46	0,44	23		20	80		3	0,39	0,43	18		30	70	
Syton 2 H	5	0,03	0,04	32	90	100			5	0,02	0,02	27	92	100		
Syton 7 H	5	0,05	0,11	79	95	99	1		5	0,01	0,02	41	95	100		
Syton 9 H	5	0,30	0,32	21	95	95	5		5	0,07	0,09	53	100	100		
Syton 11 H	5	0,31	0,30	19	100	95	5		5	0,16	0,15	28	100	100		
Syton 18 H	5	0,35	0,42	26	100	95	5		5	0,15	0,15	38	100	100		
Syton 30 H	5	0,66	0,66	8	95	89	10	1	5	0,26	0,23	25	99	97	3	
Syton 31 H	5	0,66	0,64	8	94	93	6	1	5	0,20	0,22	27	96	96	4	
Syton 33 H	5	0,61	0,61	17	99	91	8	1	5	0,30	0,29	23	95	88	12	
Syton 37 H	5	0,44	0,45	20	100	87	9	4	5	0,14	0,15	9	99	89	11	
KSE H	5	0,65	0,60	43	89	28	36	36	5	0,24	0,21	35	82	72	17	11
HGZ 6 H	5	0,79	0,76	13	n.e.	3		97	5	0,43	0,42	10	100	73	2	25
HGZ 9 H	5	0,77	0,75	12	n.e.	3		97	5	0,29	0,29	15	99	94	2	4
HGZ 10 H	5	0,67	0,68	18	n.e.	14		86	5	0,23	0,24	15	95	96		3
Nano 1 H	5	0,73	0,73	15	n.e.	3		97	5	0,19	0,19	13	99	57	43	

Tabelle 10: Ergebnisse der Haftzugfestigkeitsmessungen am Probentypus 2

Bei den statistischen Maßzahlen für die Rubriken ‚Verfüllungsgrad' und ‚Bruchbild' handelt es sich um arithmetische Mittelwerte.
Im Gegensatz zu den Referenzproben konnten bei einer Überprüfung der Modellpräparate vor der Injektion an keiner Probe Bereiche mit Haftungsproblemen der Engobe zum Scherben festgestellt werden. Daher erübrigte sich die Berechnung zwei verschiedener Haftzugfestigkeitswerte. Die Meßwertstreuungen der Haftzugfestigkeit sind in den einzelnen Probengruppen z.T sehr hoch, erkennbar an Beträgen des Variationskoeffizienten bis zu 79 %. Die Stichprobengröße erweist sich damit zumindest bei einigen Probengruppen mit n=5 als zu klein. Die Auswertung der Haftzugfestigkeit stützt sich daher, wie schon bei den Referenzproben, auf die Medianwerte der Haftzugfestigkeit. Doch auch diese Werten kann bei einigen Probengruppen aufgrund der stark divergierenden Einzelmeßergebnisse kein großes Vertrauen entgegengebracht werden. Dies ist insbesondere bei der Ergebnisinterpretation zu berücksichtigen. Die Medianwerte der Haftzugfestigkeit werden auf der folgenden Seite in einem Diagramm veranschaulicht.

Zunächst werden die Meßergebnisse an lufttrockenen Proben dargestellt.

Die Haftzugfestigkeiten der verschiedenen Injektionsmassen weisen eine sehr große Bandbreite auf. Nur sehr niedrige Werte erzielen die füllstoffarmen Massen auf Kieselsolbasis Syton 2 H und 7 H. Hier betragen die Haftzugfestigkeiten nur etwa 10 % der Referenzproben. Deutlich höhere Werte erbringen die Rezepturen Syton 9 H und 11 H, deren Haftzugfestigkeitsniveau etwa bei 65 % der Referenzproben liegt. Dieses Ergebnis ist insofern erstaunlich, als Füllstoffmenge und Bindemittelkonzentration beider Rezepturen mit der vorgenannten Injektionsmasse Syton 2 H identisch sind. Die Rezepturvariationen betreffen ausschließlich einen auf 75 % verminderten Gehalt an pyrogener Kieselsäure (Syton 9 H) bzw. eine Reduzierung des Stabilisatoranteils um 20 % (Syton 11 H). Die deutlich höheren Haftzugwerte dieser beiden Injektionsmassen bestätigen aber die Beobachtungen, die in der Rezeptierungsphase gemacht wurden. Eine nochmalige Steigerung der Haftzugfestigkeit ist bei der Injektionsmasse 18 H festzustellen, die Haftzugfestigkeit erreicht 75 % der Referenzproben. Die Rezepturveränderungen betreffen hier alle Bestand-

teile: Erhöhung des Bindemittelgehalts und des Füllstoffanteils, Verwendung verschiedener, auch sehr feinkörniger Füllstoffarten und eine Halbierung des Gehalts an pyrogener Kieselsäure. Angesichts dieser umfassenden Rezepturmodifikationen fällt der Festigkeitszuwachs im Vergleich mit den Injektionsmassen Syton 9 H und 11 H bescheiden aus.

Die füllstoffreichen Rezepturen mit Fließmittelzugabe auf Kieselsolbasis (Injektionsmassen Syton 30H, 31H, 33H und 37H) überschreiten die an den Referenzproben ermittelten Zugfestigkeiten mit ca. 40 %. Eine Ausnahme in dieser Gruppe mit erhöhtem Füllstoffanteil bildet die Rezeptur Syton 37 H. Hier liegt die Haftzugfestigkeit mit den Referenzproben auf gleichem Niveau. Die Rezeptur dieser Masse stimmt abgesehen von einer Halbierung des Anteils pyrogener Kieslsäure mit jener des Mörtels Syton 30 H überein. Auf gleichem Haftzugfestigkeitsniveau wie die Massen Syton 30, 31, 33 befindet sich die Injektionsmasse auf der Basis von KSE 500 E in der vom Hersteller angegebenen Grundrezeptierung. Nochmals überboten werden diese bereits hohen Haftzugfestigkeiten durch die HGZ-und Nanokomposit-Mörtel. Sie überschreiten das Festigkeitsniveau der Referenzproben um ca. 50 bis 70 %. Das Verhältnis Feststoff (Bindemittel und Zuschlag) zu Wasser beträgt bei allen HGZ-Rezepturen einheitlich 1:0,4. Variiert wurde hingegen das Bindemittel-Zuschlags-Verhältnis mit 1:1 (HGZ 6 H), 1:2 (HGZ 9 H) und 1:4 (HGZ 10 H). Die Rezeptur des Nanokompositmörtels stimmt bis auf den Austausch des Bindemittels mit der Zusammensetzung der Masse Syton 37 H überein. Dabei ist die Bindemittelkonzentration der Nanokompositformulierung, bezogen auf das eingebrachte Flüssigkeitsvolumen, mit 11,9 % geringer als bei der Sytonrezeptur mit 15 %-igem Bindemittelanteil.

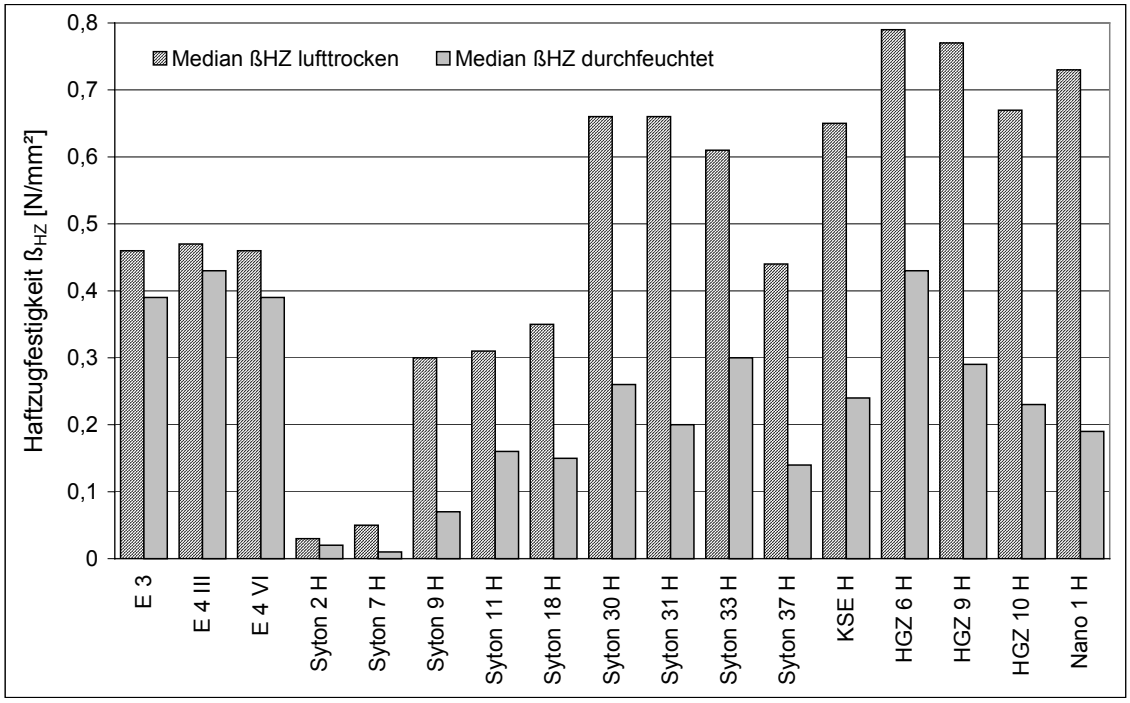


Diagramm 2: Mittlere Haftzugfestigkeiten der Referenzproben und Injektionsmörtel in lufttrockenem und durchfeuchteten Zustand auf der Basis des Medians

Wesentlich geringere Haftzugfestigkeiten wurden bei Durchfeuchtung der Proben erzielt. Dabei erreicht nur die Injektionsmasse HGZ 6 das Haftzugfestigkeitsniveau der Referenzproben bei Durchfeuchtung. Bei sämtlichen Injektionsmassen ist die Differenz zwischen der Trocken- und Naßhaftzugfestigkeit wesentlich höher als bei den Referenzproben. Die Festigkeitseinbußen liegen meist zwischen 50 und 70 %. Eine der höchsten Differenzbeträge weist die Injektionsmasse auf der Basis der Nanokompositdispersion mit 75 % auf. Bei den HGZ-Injektionsmörteln steigt die relative Festigkeitsabnahme im durchfeuchteten Zustand mit steigendem Füllstoffanteil von 46 auf 66 % an.
Für die Injektionsmassen auf der Basis von Kieselsol ist ein signifikanter Einfluß der unterschiedlichen Rezeptierungen auf das Maß der Festigkeitseinbuße im durchfeuchteten Zustand auch aufgrund der z.T. hohen Meßwertstreuung nicht zu erkennen.

Die Untersuchung der Bruchbilder zeigt, daß nur bei einer deutlichen Überschreitung der an den Referenzproben ermittelten Trockenhaftzugfestigkeiten, die Bruchebene zu erheblichen Anteilen im keramischen Trägermaterial liegt (Bruchbild c). Dies ist bei den Injektionsmassen mit den Bindemitteln KSE 500 STE, HGZ und Nanokompositdispersion der Fall. Dagegen weisen die Syton-gebundenen Injektionsmassen S 30, S 31 und S 33 trotz Trockenhaftzugwerten um 0,65 N/mm² ganz überwiegend Adhäsionsbruch auf (Bruchbild a). Generell ist bei Durchfeuchtung der Proben ein erhöhter Anteil an Bruchbild a und ein verminderter Anteil an Bruchbild c zu verzeichnen. Offenbar verringern sich die Adhäsionskräfte zwischen den Injektionsmassen und der Engobe bei Durchfeuchtung in weit höherem Maße als die Kohäsion des keramischen Trägers. Dies erklärt auch das durchgängig starke Nachlassen der Haftzugfestigkeit bei Probendurchfeuchtung.

Der Verfüllungsgrad der injizierten Hohlräume ist bei allen Probengruppen mit Werten zwischen 90 und 100 % im Durchschnitt zufriedenstellend bis sehr gut. Nur die Injektionsmasse KSE H weist geringere Beträge auf, was dem relativ geringen Füllstoffanteil der Rezeptur und dem bekanntlich hohen Schwindmaß des Bindemittels Kieselsäureethylester geschuldet sein dürfte. Diese Masse wies auch die stärkste Schwindung in den Ringformen auf. Soweit sich unzureichend verfüllte Bereiche im Bruchbild von Proben dieser und anderer Probengruppen nachweisen lassen, sind sie ganz überwiegend entlang der Probenaußenkanten zu finden. Dort ist die lichte Weite des zu verfüllenden Spaltes aufgrund der Probengeometrie am größten, was beim Schwinden der Massen zur Bildung von Hohlräumen führt. Offenbar konnte auch häufiges Nachinjizieren während des Injektionsvorgangs dieses Schwinden nicht in jedem Falle vollständig kompensieren.
3 Proben der Injektionsmasse HGZ 10 H weisen dagegen mittig Bereiche auf, die offensichtlich nie von der Injektionsmasse benetzt wurden. Ich vermute, daß bei dieser Rezeptur das Fließvermögen zum Zeitpunkt der Injektion bereits so stark abgenommen hatte, daß die geringere Spaltweite in der Probenmitte nicht mehr penetriert werden konnte. In den Vorversuchen war eine Verschlechterung der Fließeigenschaften der HGZ-Injektionsmörtel schon ca. 15 bis 25 Minuten nach Abschluß des Mischvorgangs festgestellt worden, je nach Füllstoff- und Wasseranteil. Bei der Durchführung der Injektionen wurde daher darauf geachtet, daß die Hohlraumverfüllungen bei allen HGZ-Mörteln innerhalb von 20 Minuten abgeschlossen waren. Möglicherweise ist diese Zeitspanne noch zu großzügig bemessen.

Die genannten Sachverhalte lassen sich folgendermaßen zusammenfassen und interpretieren:

- Vergleicht man die beiden Injektionsmörtel Syton 2 H und Syton 9 H (relativ geringer Füllstoffanteil, keine Fließmittelzugabe), so läßt sich ein Einfluß der Füllstoffart auf die Haftzugfestigkeit nicht nachweisen, obwohl das Füllstoffvolumen bei der wesentlich feinkörnigeren Zuschlagsmischung von Masse Syton 7 H bei gleichem Gewichtsanteil etwa 37 % höher ist. Einschränkend muß hier allerdings auf die extrem hohe Meßwertstreuung bei der Injektionsmasse Syton 7 H hingewiesen werden. Immerhin weisen 2 der 5 Einzelergebnisse eine Haftzugfestigkeit von 0,2 N/mm² aus. Zur Überprüfung ist daher für beide Probengruppen eine Versuchswiederholung bei vergrößertem Stichprobenumfang wünschenswert.
- Die beachtliche Zunahme der Haftzugfestigkeit aufgrund einer Reduzierung des Stellmittel- bzw. Stabilisatoranteils um 25 bzw. 20 % bei den Injektionsmassen S 9 H und S 11 H dürfte in erster Linie mit verringerten Spannungen der Mörtel zu erklären sein, die während der Trocknung entstehen. Daneben ist möglicherweise auch ein Zusammenhang mit dem verbesserten Fließ- und Penetrationsvermögens gegeben, wodurch vermutlich die Verklammerung mit der Engobenoberfläche verbessert und damit die Adhäsionskraft erhöht wurde.
- Die durch Fließmittelzugabe ermöglichte Erhöhung des Füllstoffanteils führt zu einem deutlichen Anstieg der Haftzugfestigkeit (Injektionsmörtel Syton 30, 31, 33 und 37). Welches Gewicht dabei den einzelnen Einflußfaktoren Fließmittelzugabe, Erhöhung des Füllstoffanteils und Reduzierung des Stabilisatoranteils zukommt, läßt sich nicht erkennen. Zur Klärung dieser Frage wären weitere Versuche mit neu zu erstellenden Mörtelrezepturen erforderlich.
- Eine Variation des Anteils der beiden Füllstoffe Millisil W 12 und Plastorit 0000 im Volumenverhältnis 1:1 und 1:2 wirkt sich bei den Massen mit erhöhtem Füllstoffanteil und Fließmittelzugabe nur auf die Naßfestigkeit aus: bei höherem Plastoritanteil sinkt die Haftzugfestigkeit um fast 25 % (Vergleich Syton 30 H und 31 H). Die Trockenfestigkeit ändert sich nicht.

- Bei Ersetzung von 10 % des Füllstoffs aus Quarzmehl Millisil W 12 und Plastorit 0000 durch Borosilikatvollglaskugeln nimmt die Trockenfestigkeit geringfügig ab und die Naßfestigkeit um 50 % zu (Vergleich Syton 31 H und 33 H).
- Eine Halbierung des Anteils von pyrogener Kieselsäure führt bei den Kieselsol-gebundenen Massen mit erhöhtem Füllstoffanteil und Fließmittelzugabe zu einer sehr deutlichen Verminderung der Haftzugfestigkeit an lufttrocken und feucht konditionierten Proben. Diese Beobachtung steht im Gegensatz zur Masse Syton 9 H ohne Fließmittel, bei der die Haftzugfestigkeit durch 25 %-ige Reduzierung des Stellmittels Cab-O-Sil deutlich angestiegen war. Übereinstimmend zeigen aber beide Mörtel die Tendenz zu sehr hoher Haftungseinbuße im durchfeuchteten Zustand.
- Die Erhöhung des Füllstoffanteils bei den HGZ-Mörteln macht sich in einem nur geringfügigen Nachlassen der Trocken- und einer etwas stärkeren Reduzierung der Naßhaftung bemerkbar.
- Der signifikante Unterschied zwischen den Haftzugfestigkeitswerten der Massen Syton 37 H und Nano H ist auf unterschiedliche Eigenschaften der Bindemittel zurückzuführen.

Abschließend ist zu sagen, daß die aufgezeigten Unterschiede in den Haftungseigenschaften der Injektionsmörtel für eine Eignungsbeurteilung ausreichen. Dagegen sind die Interpretationen hinsichtlich des Einflusses der verschiedenen Ausgangsstoffe und ihrer Dosierung aufgrund der geringen Stichprobengrößen und hohen Meßwertstreungen statistisch nicht hinreichend abgesichert. Allgemeingültige Aussagen zu stoffspezifischen Einflüssen können daraus nicht abgeleitet werden. Sie sind nur als Hinweise zu werten, die als Ausgangspunkt weiterer Untersuchungen dienen können. Um hier zu abgesicherten Aussagen zu gelangen, bedarf es nicht nur einer Erhöhung der Stichprobengrößen auf ca. n=10, sondern auch der systematischen Überprüfung einer wesentlich größeren Anzahl von Rezepturen.

8. Untersuchungen von Festigungsmitteln

8.1 Bestimmung des Zeitpunkts einer Niederschlagsbildung aus den Lösungen

An 8 verschiedenen Harz-Härter-Kombinationen in Lösemittelmischungen von Xylol und Ethanol wurden bei Harzkonzentration von 5 und 10 % systematische Untersuchungen durchgeführt. Gemäß den Forschungsergebnissen von Domaslowski wurde dabei ein hoher Alkoholanteil des Lösemittelgemisches gewählt, um eine Verzögerung der Aushärtungsreaktion bei höherem Gehalt an Aromaten zu verhindern.[216] Der Masseanteil an Xylol war dabei bei den verschiedenen Konzentrationen stets identisch mit dem Masseanteil der Epoxidharzkomponente. Der Einfluß verschiedener Verhältnisse der beiden Lösemittel auf die Härtungsgeschwindigkeiten wurden nicht weiter untersucht. Ergänzend wurden einige Tastversuche mit weiteren Harzen und anderen Lösemitteln durchgeführt.
Die Umgebungstemperatur während dieser Versuche schwankte zwischen 21 und 23 ° C.
Die Ergebnisse werden in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Lfd. Nr.	Lösungs-kürzel	Harz 1	Harz 2	Harz 1 / Harz 2 [GT]	Löse-mittel 1	Löse-mittel 2	LSM 1 / LSM 2 [GT]	Konzen-tration [%]	Härter	Zeitspanne bis zum Beginn von Veränderungen	Art der Verän-derung zum angegebenen Zeitpunkt
1	1A X/E 10	Epilox 19-00	Epilox P 13-20	4 : 1	Xylol	Ethanol	1 : 8	10	Epilox DPTA	8 h	Eintrübung
2	1B X/E 10	Epilox 19-00	Epilox P 13-20	4 : 1	Xylol	Ethanol	1 : 8	10	Epilox H 10-34	16 h	Eintrübung
3	2A X/E 10	Epilox 19-00	-	-	Xylol	Ethanol	1 : 8	10	Epilox DPTA	6 h	Eintrübung
4	2B X/E 10	Epilox 19-00	-	-	Xylol	Ethanol	1 : 8	10	Epilox H 10-34	8 - 15 h[217]	Eintrübung
5	3A X/E 10	Epilox P 13-20	-	-	Xylol	Ethanol	1 : 8	10	Epilox DPTA	> 9 Tage	keine
6	3B X/E 10	Epilox P 13-20	-	-	Xylol	Ethanol	1 : 8	10	Epilox H 10-34	> 9 Tage	keine
7	4 X/E 10	Epilox P 22-00	-	-	Xylol	Ethanol	1 : 8	10	Epilox H 10-34	ca. 5 Tage	Eintrübung
8	5 X/E 10	Resina 150/9	-	-	Xylol	Ethanol	1 : 8	10	Indurente 150/9	> 9 Tage	keine
9	1A X/E 5	Epilox 19-00	Epilox P 13-20	4 : 1	Xylol	Ethanol	1 : 18	5	Epilox DPTA	14,5 h	Eintrübung
10	1B X/E 5	Epilox 19-00	Epilox P 13-20	4 : 1	Xylol	Ethanol	1 : 18	5	Epilox H 10-34	23 h	Eintrübung
11	2A X/E 5	Epilox 19-00	-	-	Xylol	Ethanol	1 : 18	5	Epilox DPTA	9,5 h	Eintrübung
12	2B X/E 5	Epilox 19-00	-	-	Xylol	Ethanol	1 : 18	5	Epilox H 10-34	14,5 h	Eintrübung
13	3A X/E 5	Epilox P 13-20	-	-	Xylol	Ethanol	1 : 18	5	Epilox DPTA	> 9 Tage	keine
14	3B X/E 5	Epilox P 13-20	-	-	Xylol	Ethanol	1 : 18	5	Epilox H 10-34	> 9 Tage	keine
15	4 X/E 5	Epilox P 22-00	-	-	Xylol	Ethanol	1 : 18	5	Epilox H 10-34	> 9 Tage	keine
16	5 X/E 5	Resina 150/9	-	-	Xylol	Ethanol	1 : 18	5	Indurente 150/9	> 9 Tage	keine
17	1B X/E 20	Epilox 19-00	Epilox P 13-20	4 : 1	Xylol	Ethanol	1 : 3	20	Epilox H 10-34	15 h	Eintrübung
18	1B T/A 10	Epilox 19-00	Epilox P 13-20	4 : 1	Toluol	Aceton	6 : 4	10	Epilox H 10-34	> 10 Tage	keine
19	6 T/B 25	Eurostac 2101	-	-	Toluol	Iso-Butanol	4 : 6	< 30	Eurostac K 2102	ca. 5 Tage	keine

Tabelle 11: Zeitpunkt des Auftretens optischer Veränderungen von Epoxidharzlösungen

Bei allen Lösungen, die im 9 bis 10 tägigen Untersuchungszeitraum eine Veränderung der optischen Eigenschaften erkennen ließen, handelte es sich um eine gleichmäßige Eintrübung der zuvor wasserklaren Lösungen. Bei den Lösungen 1-4 und 9-11 bildete sich im weiteren Reaktionsverlauf ein weißer Bodensatz, während die darüber befindliche Flüssigkeit wieder aufklarte. Die Höhe des Bodensatzes hängt erwartungsgemäß von der Menge der in der Lösung befindlichen Harz- und Härtermenge ab, ist also eine Funktion der Lösungskonzentration. Darüber hinaus hat auch die Art der Harz-Härter-Kombination einen Einfluß auf die Niederschlagsmenge. Bei den reinen Dianharzlösungen 3 und 4 sowie 11 und 12 bildet sich ein etwas größeres Sedimentvolumen als bei jenen Lösungen, bei denen ein Fünftel des Dianharzes Epilox 19-00 durch den sog. Reaktivharzverdünner Epilox P 13-20 ersetzt worden war.
Bei der 10 %-igen Lösung des aliphatischen Epoxidharzes Epilox P 22-00 (Lösung 7) setzte sich nach der allmählichen Eintrübung der Lösung ein dichter weißer Niederschlag an den Reagenzglaswandungen ab. Daher kann nicht beurteilt werden, ob das Lösemittel in diese Härtungsprodukte eingebunden wurde oder sich als wieder aufgeklarte Flüssigphase von den Harzausscheidungen separierte. Die 10 % ige Lösung des aliphatischen Epoxidharzes Eurostac 150/9 (Lösung 8) bildete nach Ende des Beobachtungszeitraums über das gesamte Lösungsvolumen ein klares Gel aus, in dem der Lösemittelanteil vollständig resorbiert war. Die gleiche Reaktion, wenn gleich schon nach 5 Tagen, zeigte das Produkt Eurostac

[216] Domasłowski, Wieslaw (1969): Consolidation of Stone Objects with Epoxy Resins, in: Monumentum. Internatinal Council of Monuments and Sites, Vol. IV, S. 55, Tabelle 8
[217] Da während des Monitorings versehentlich das Licht ausgeschaltet wurde, fehlt eine Reihe von Bildern. Daher kann hier nur eine Zeitspanne angegeben werden, innerhalb derer die Lösungstrübung eingesetzt hat.

2101(Lösung 19), dessen Harz-Härter-Kombination mit vorgenannter Lösung identisch ist. Diese Gelbildung ist mittels Fotomonitoring nicht zu erkennen und wird erst bei Bewegung der Reagenzgläser deutlich.

Aus den ermittelten Zeiten bis zum Auftreten erster optischer Veränderungen lassen sich folgende Aussagen ableiten:

- Betrachtet man zunächst nur die Ergebnisse der 10 %-igen Lösungen, so nimmt die Art des Epoxidharzes bei der gegebenen Lösemittelkombination den größten Einfluß auf die Reaktionsgeschwindigkeit. Das reine Dianharz Epilox 19-00 härtet am schnellsten aus, gefolgt von seiner Abmischung mit Epilox P 13-20. Bei der alleinigen Verwendung dieses sog. „Reaktivverdünners" (Lösungen 5 und 6), für die dieses Harz vom Hersteller allerdings nicht empfohlen wird, sind keinerlei Anzeichen einer Erhärtung zu erkennen. Das aliphatische Epoxidharz Epilox P 22-00 weist eine sehr langsame Härtungsgeschwindigkeit auf, während das aliphatische Epoxidharz italienischer Produktion keinerlei Aushärtungsfortschritte erkennen läßt.
- Offenbar nimmt auch die Härterart einen großen Einfluß auf die Reaktionsgeschwindigkeit. Dies tritt bei einem Vergleich der Lösungen 1 bis 4 und 9 bis 12 deutlich hervor. Der DPTA-Härter (in der Tabelle grau unterlegt) führt bei den 10 %-igen Lösungen 1-4 zu einem etwa doppelt so schnellen Reaktionsverlauf als der Härter H 10-34. Bei den 5 %-igen Lösungen ist die Differenz etwas geringer.
- Gleichfalls beeinflußt die Lösungskonzentration die Reaktionsgeschwindigkeit. Der Vergleich der Ergebnisse von Lösung 2 und 3 mit Lösung 10 und 11 deutet auf eine Verlangsamung um das Eineinhalbfache bei Halbierung der Konzentration von 10 auf 5 % hin. Bei Lösung 1 und 9 ist der Unterschied noch größer. Dies wird auch bei dem aliphatischen Epoxidharz Epilox P 22-00 deutlich (Lösung 7 und 15), das bei 5 %-iger Lösungskonzentration im Untersuchungszeitraum keine Anzeichen einer Aushärtung mehr zeigt. Da bei den 5 %-igen Lösungen auch das Verhältnis der beiden Lösemittel zueinander verändert wurde, käme theoretisch auch die Erhöhung des Alkoholgehaltes als reaktionsverlangsamender Einflußfaktor in Betracht. Da die reaktionsbeschleunigende Wirkung von Alkoholen in Epoxidharzlösungen jedoch unstrittig ist, wird man einer Erhöhung des Alkoholanteils bei den niedrig konzentrierten Lösungen keine reaktionsverlangsamende Wirkung zuschreiben können.[218] Vergleicht man die Ergebnisse der 20 %-igen Lösung 17 mit der 10 %-igen Lösung 2, so liegen die Reaktionsgeschwindigkeiten trotz des Konzentrationsunterschieds auf gleichem Niveau und scheinen damit zunächst der Hypothese des Konzentrationseinflusses auf den Härtungsverlauf zu widersprechen. Die vergleichsweise ‚langsame' Reaktion der 20 %-igen Lösung läßt sich aber auf den wesentlich höheren Aromatenanteil im Lösemittelgemisch zurückführen.[219]
- Der große Einfluß der verwendeten Lösemittelarten ist bei Vergleich der Lösungen 2 und 18 zu erkennen. Die Kombination von Toluol und Aceton, die im Thüringer Raum verwendet wird, läßt auch nach 10 Tagen kein Einsetzen einer Härtungsreaktion erkennen.
- Es ist anzunehmen, daß die langsame Reaktion des aliphatischen Epoxidharzes 150/9 des Herstellers Eurostac ein Charakteristikum dieses Harzes ist und nicht darauf beruht, daß die von mir favorisierte Lösemittelkombination Xylol / Ethanol für dieses Harz ungeeignet ist. Dies läßt sich im Vergleich mit Lösung 19 ableiten. Das schon in mehreren Studien untersuchte aliphatische Epoxidharz Eurostac 2101, enthält exakt die gleiche Harz-Härter-Kombination wie Lösung 8 und 16, wird aber bereits herstellerseitig mit Lösemitteln versetzt, wobei ebenfalls eine Kombination eines Aromats mit einem Alkohol verwendet wird. Allerdings werden dabei andere Lösemittel und andere Mischungsverhältnisse verwendet. Lösung 19 zeigt ebenfalls eine ziemlich langsame Härtungsreaktion, deren höheres Tempo vor allem auf die wesentlich höhere Harzkonzentration dieser Lösung zurückzuführen sein dürfte. Da auch das aliphatische Epoxidharz Epilox P 22-00 sehr langsam reagiert, liegt die Vermutung nahe, daß generell die Klasse der aliphatischen Epoxidharze bei Verwendung aminischer Härter langsamer aushärten als die Dianharze.[220] Weitere Untersuchungen und Literaturrecherchen sind erforderlich, um diese Vermutung zu überprüfen.

[218] Selwitz, Charles (1992): Epoxy Resins in Stone Conservation, S. 57

[219] Domasłowski, Wieslaw (1969): Consolidation of Stone Objects with Epoxy Resins, in: Monumentum. Internatinal Council of Monuments and Sites, Vol. IV, S. 55, Tabelle 8

[220] Nach Ciabach, Jerzy (1998): Zywice i tworzywa sztuczne stosowane w konserwacji zabytków, S. 131, führt dagegen die Verwendung saurer Anhydrite als Härter zu wesentlich schnellerer Reaktion der cycloalifatischen Epoxidharze.

Selbstverständlich geben die hier vorgestellten Untersuchungsergebnisse nur erste Anhaltspunkte zum Reaktionsverlauf der verschiedenen Epoxidharzlösungen. Der Zeitpunkt, an dem erste sichtbare Veränderungen der Lösungen auftreten, ist weder mit dem Beginn noch mit dem Abschluß der Aushärtung gleichzusetzen. Vielmehr ist mit einem Beginn der Reaktion gleich nach der Zugabe des Härters zu rechnen und die Aushärtung ist beim ersten Auftreten von Lösungstrübungen keineswegs abgeschlossen. Der Zeitpunkt, ab dem erste Ausfällungen aus den Lösungen zu beobachten sind, ist aber ein wichtiger Anhaltspunkt für die maximale Zeitspanne, die für eine Tränkung mit diesen Lösungen zur Verfügung steht. Denn die Ausfällung von Reaktionsprodukten aus der Lösung hat zur Folge, daß sich die Konzentration der noch gelösten Epoxidharz- und Härteranteile in unbekannter Größenordnung vermindert. Bei Fortsetzung von Tränkungen über diesen Zeitpunkt hinaus ist damit eine wichtige Voraussetzung für die angestrebte gleichmäßige Verteilung des Kunstharzes im Gefüge des zu tränkenden Objektes nicht mehr gegeben. Desweiteren kommt es zu Anlagerung dieser Lösungsausfällungen an der Objektoberfläche, die sich nur noch mit stark toxischer Lösemitteln wie Dimethylformamid entfernen lassen.

8.2 Untersuchungen zur Viskositätsveränderung von Epoxidharzlösungen

Ein weiteres wichtiges Kriterium zur Beurteilung der Zeitspanne, innerhalb derer der Tränkungsvorgang abgeschlossen sein muß, ist die Viskositätsentwicklung der Lösungen. Die Ergebnisse der Auslaufversuche mit einer kalibrierten Vollpipette sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt. Die Bezeichnung, Reihenfolge und Nummerierung der untersuchten Lösungen ist mit den Angaben in Tabelle 11 (Kap. 8.1) identisch. Hieraus ergibt sich die Zusammensetzung der einzelnen Lösungen. Bei den Nummern 1 bis 8 handelt es sich um 10 %-ige Lösungen, bei den Nummern 9 bis 16 um Lösungen identischer Zusammensetzung bei einer niedrigeren Harzkonzentration von 5 %.

Nr	Lösungs Kürzel	Messung 1					Messung 2					Messung 3					Messung 4					Messung 5				
		Zeit-punkt	n	aM	Vk	T	Zeit-punkt	n	aM	Vk	T	Zeit-punkt	n	aM	Vk	T	Zeit-punkt	n	aM	Vk	T	Zeit-punkt	n	aM	Vk	T
		h:min		[sek]	[%]	[°C]	h:min		[sek]	[%]	[°C]	h:min		[sek]	[%]	[°C]	h:min		[sek]	[%]	[°C]	h:min		[sek]	[%]	[°C]
1	1A X/E 10	00:10	3	11,18	0,7	22,8	03:40	3	11,34	1,3	21,9	08:35	3	11,42	1,3	20,5										
2	1B X/E 10	00:10	3	11,14	0,9	23,3						07:20	3	11,56	1,2	20,7										
3	2A X/E 10	00:10	3	11,06	0,8	22,4						08:25	3	12,04	5,8	20,9										
4	2B X/E 10	00:10	2	11,17	0,5	22,0						07:15	3	12,12	2,2	20,8										
5	3A X/E 10	00:10	3	10,91	0,9	22,3						08:25	3	11,62	1,0	20,8										
6	3B X/E 10	00:10	3	11,04	0,4	22,5						07:05	3	12,03	2,7	20,8										
7	4 X/E 10	00:10	3	11,30	0,4	22,2						06:55	3	12,56	2,5	20,7	48:00	4	12,83	0,4	22,2	91:00	7	16,45	6,9	20,8
8	5 X/E 10	00:10	3	11,32	0,3	22,0	03:50	3	11,65	2,8	21,9	08:40	3	11,45	1,1	20,4	50:00	7	13,09	3,1	22,1	93:00	7	15,37	3,0	20,8
8K	5 X/E 10	00:10	7	14,58	4,1	22,6	(Kontrollmessung)																			
9	1A X/E 5	00:10	4	11,97	6,1	21,9																				
10	1B X/E 5	00:10	7	12,31	7,3	21,5	27:00	7	12,30	4,3	21,5															
11	2A X/E 5	00:10	4	12,00	3,9	21,3																				
12	2B X/E 5	00:10	7	11,91	3,4	21,8	27:00	7	13,34	8,0	21,5															
13	3A X/E 5	00:10	4	11,88	4,2	21,5	30:00	7	12,98	12	21,6															
14	3B X/E 5	00:10	7	12,12	2,6	21,8	27:00	7	12,16	1,9	21,4															
15	4 X/E 5	00:10	3	12,06	1,2	22,2	26:00	7	12,64	6,8	21,5															
16	5 X/E 5	00:10	3	11,71	1,5	21,3	31:00	7	12,88	9,2	21,6															

Erläuterungen:

n = Anzahl der Messungen (Stichprobenumfang)
aM = arithmetisches Mittel
vK = Variationskoeffizient
T = Temperatur

Tabelle 12: Statistische Auswertung der Messungen der Auslaufzeiten

Die Ausgangsmessung erfolgte jeweils 10 Minuten nach Härterzugabe. Bei den weiteren Messungen variieren die zeitlichen Abstände zwischen den untersuchten Lösungen leicht. Wenn zum Meßzeitpunkt bereits eine Niederschlagsbildung in den Lösungen sichtbar war, sind die betreffenden Tabellenfelder durch graue Unterlegung kenntlich gemacht. Bei bereits sehr weit fortgeschrittener Reaktion (Lösungen 9 und 11 mit DPTA-Härter) wurde auf eine Messung verzichtet.
Die größten Temperaturdifferenzen zwischen den Messungen an einer Lösung weisen die Lösungen 1 bis 3 mit Abweichungen von etwa 2,5° C auf. Bei den anderen Lösungen betragen die Temperaturunterschiede maximal 1,7° C und liegen z.T. weit darunter. Ich nehme an, daß durch diese leichten Temperaturschwankungen kein wesentlicher Fehlereinfluß auf die Meßergebnisse gegeben ist.
Die Meßwertschwankungen der Auslaufzeiten waren zunächst so gering (Messung 1, Variationskoeffizient < 1), daß eine Anzahl von 3 Parallelmessungen ausreichend erschien. Diese Schwankungsbreite stieg bei den folgenden Meßzyklen allmählich an. Daher wurde ab Messung 4 je nach Streubreite der Einzelmeßwerte mit einer variablen Anzahl von 3-7 Parallelmessungen gearbeitet, bis schließlich routinemäßig 7

Einzelmessungen je Lösung und Meßzeitpunkt durchgeführt wurden. Die Zunahme der Meßwertschwankungen deutet darauf hin, daß Veränderungen an den verwendeten Meßgerätschaften und/oder Fehler in der Meßdurchführung eingetreten sind. Mögliche Fehlerquellen sind die Ablagerungen von Epoxidharz an den Pipettenwandungen, v.a. im Mündungsbereich, sowie ein ungleichmäßiges Funktionieren der Auslaßöffnung des Peleusballs. Dies kann auf Fehlbedienungen des Auslaßventils beruhen oder auch auf einer Funktionsverschlechterung des Ventils infolge des versehentlichen Einsaugens von Lösung bzw. Lösemittel in das Ballinnere. Eine am Ende von Meßzyklus 5 durchgeführte Kontrollmessung an der neu angesetzten Lösung 8 K ergab, daß sich die Auslaufzeit gegenüber der identischen Lösung 8 um 29 % erhöht hatte. Da vereinzelt auch Messungen an Lösungen vorgenommen wurden, die bereits eine Niederschlagsbildung aufwiesen, dürfte dies vermutlich zu der Bildung von Epoxidharzablagerungen in der Pipette beigetragen haben. Möglicherweise hätte ein Nachspülen mit Dimethylformamid statt bzw. zusätzlich zur Pipettenreinigung mittels Aceton solche Ablagerungen noch beseitigen können.

Aufgrund der genannten Fehlereinflüsse und der hierdurch stark erhöhten Meßunsicherheit ist eine Auswertung der in der nachfolgenden Tabelle angegeben prozentualen Erhöhungsbeträge der Auslaufzeiten nur eingeschränkt möglich.

Nr.	Lösungs Kürzel	Zeitpunkt	Messung 2	Zeitpunkt	Messung 3	Zeitpunkt	Messung 4	Zeitpunkt	Messung 5
		h:min	[%]	h:min	[%]	h:min	[%]	h:min	[%]
1	1A X/E 10	03:40	1,4	08:35	2,1				
2	1B X/E 10			07:20	3,8				
3	2A X/E 10			08:25	8,8				
4	2B X/E 10			07:15	8,5				
5	3A X/E 10			08:25	6,4				
6	3B X/E 10			07:05	8,9				
7	4 X/E 10			06:55	11,2	48:00	13,5	91:00	45,6
8	5 X/E 10	03:50	3,0	08:40	1,1	50:00	15,6	93:00	35,9
8 K	5 X/E 10	00:10	**28,8**	(Kontrollmessung)					

Nr.	Lösungs Kürzel	Zeitpunkt	Messung 2
		h:min	[%]
9	1A X/E 5		
10	1B X/E 5	27:00	-0,1
11	2A X/E 5		
12	2B X/E 5	27:00	12,0
13	3A X/E 5	30:00	9,3
14	3B X/E 5	27:00	0,4
15	4 X/E 5	26:00	4,8
16	5 X/E 5	31:00	10,0

Tabelle 13: Prozentuale Erhöhung der Auslaufzeiten

Folgende Erkenntnisse lassen sich aus den Berechnungen trotz der gemachten Einschränkungen noch ableiten:

- Bei allen 10 %-igen Lösungen ist innerhalb eines Zeitraumes von 6 bis 8 Stunden nach Härterzugabe allenfalls mit einem geringfügigen Viskositätsanstieg zu rechnen. Messungen mit dem Auslaufbecher, die von Domasłowski durchgeführt wurden, führten zu vergleichbaren Ergebnissen.[221] Auch für alle hier untersuchten 5 %-igen Lösungen gilt, daß innerhalb einer Zeitspanne von 27 bis 31 Stunden eine deutlicher Anstieg der Viskosität nicht nachweisbar ist.
- Bei den Dianharzlösungen (Lösung 1, 3 und 9-12) tritt durch die Ausfällung von Reaktionsprodukten keine merkliche Erhöhung der Auslaufzeit ein.
- Bei den beiden 10 %-igen aliphatischen Epoxidharzlösungen steigt im Verlauf von 4 Tagen die Viskosität leicht an. Dies ist nicht von praktischer Relevanz, da Tränkungsdauern von mehreren Tagen nicht notwendig sind, zeigt aber, daß auch bei diesen Harzen, die keine oder eine sehr späte Niederschlagsbildung aufweisen, bereits zuvor eine Härtungsreaktion abläuft.

Aus anwendungstechnischer Sicht ist damit innerhalb einer realistischen Tränkungsdauer keine wesentliche Verschlechterung der Aufnahmegeschwindigkeit von 5 und 10 %-igen Lösungen infolge einer Viskositätszunahme zu befürchten. Dies muß nicht für höher konzentrierte Lösungen gelten, die aufgrund der dargelegten methodischen Probleme des Meßverfahrens nicht mehr untersucht wurden.

8.3 Untersuchungen zur Veränderung des Brechungsindex

Es wurden Messungen an den in Kapitel 8.1, Tabelle 11 aufgeführten 10 %-igen Harzlösungen vorgenommen. Dabei erwies sich das verwendete Gerät als nicht geeignet. Zum einen war die Hell-Dunkel-Grenze kaum zu erkennen, zum anderen war die Auflösungen zu niedrig, um die geringen Änderungsbe-

[221] Domasłowski, Wieslaw (1969): Consolidation of Stone Objects with Epoxy Resins, in: Monumentum. Internatinal Council of Monuments and Sites, Vol. IV, S. 52, Tabelle 3

träge, die maximal 0,003 betrugen, mit hinreichender Genauigkeit erfassen zu können. Daher wird hier auf eine Darstellung der Meßwerte verzichtet.
Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob die Messung des Brechungsindex bei Lösungen dieser Konzentration ein geeignetes Meßverfahren darstellen. Möglicherweise dominiert der hohe Lösemittelanteil die optischen Eigenschaften der Lösung in einem Maße, daß Veränderungen des Brechungsindex des Harzanteils kaum ins Gewicht fallen und selbst bei bei Verwendung eines hochauflösenden Refraktometers (4 Dezimalstellen) nicht mit hinreichender Genauigkeit erfaßt werden können.

8.4 Haftzugfestigkeitsmessungen

8.4.1 Untersuchungsergebnisse an den unbehandelten Referenzproben

Wie in Kapitel 6 dargestellt, war bei der ganz überwiegenden Anzahl der Proben vom Typus 2 keine ganzflächige Anhaftung der gemagerten Engobe am Scherben gegeben. Damit war eine Vergleichbarkeit der Proben zunächst nicht gegeben. Durch Perkussionsuntersuchungen wurden die hohl liegenden Engobebereiche an jeder Probe quantifiziert, die Proben nachfolgend in Klassen gleicher bzw. ähnlicher Engobehaftung eingeteilt und schließlich der gleichmäßig auf die vorgesehenen Behandlungen mit den verschiedenen Tränkungslösungen verteilt. Hierdurch wurde versucht, trotz heterogenen Probenmaterials eine Vergleichbarkeit der Meßwerte zu erzielen. Offen bleiben mußte dabei die Frage, ob in den Probenbereichen ohne akustisch detektierbarem Haftungsverlust eine gleichmäßige Anhaftung der Engobe am Scherben gegeben war oder ob auch hier z.T. eine verminderte Haftung oder bereits ein vollständiger Haftungsverlust vorlag. Diese Frage gilt es durch Auswertung der Messungen an unbehandelten Referenzproben zu klären. Um bei der problematischen Beschaffenheit der Modellpräparate eine ausreichende Datengrundlage zur Verfügung zu haben, wurden je Modellprobensubtypus 2 A und 2 B an je 10 unbehandelten Referenzproben Haftzugfestigkeitsmessungen durchgeführt. Im einzelnen galt es bei der Auswertung folgende Fragen zu klären:

1. In welchem Maße streuen die Meßwerte der Haftzugmessungen?
2. Beruhen diese Streuungen auf systematischen Einflüssen, die eine Meßwertkorrektur erlauben? Mit anderen Worten: Spiegeln sich die durch Perkussionsuntersuchungen quantifizierten Bereiche mit hohlliegender Glasur bzw. Engobe in einer entsprechenden Höhe der Haftzugfestigkeiten wieder?
3. Bestehen signifikante Unterschiede im Haftzugfestigkeitsniveau zwischen den beiden Probensubtypen 2 A und 2 B? Können solche Unterschiede durch Korrekturfaktoren ausgeglichen und kann damit eine rechnerische Quasihomogenität des Probenkollektivs erzeugt werden?
4. Welcher durchschnittliche Haftzugfestigkeitsbetrag der unbehandelten Referenzproben kann nach Korrektur der Meßwerte angenommen werden und damit als Maßstab zur Beurteilung der Wirksamkeit der verschiedenen Festigungsmittel dienen?

Auf der Grundlage der gemessenen Probenfläche, der Quantifizierung hohlliegender Glasurbereiche mittels Perkussionsuntersuchung und der ermittelten Zugkräfte wurden je Probe drei Haftzugfestigkeitswerte berechnet:

- Haftzugfestigkeit $ß_{HZ}$ 1: unkorrigierter Wert aus der Division der Maximalkraft f_{max} durch die Gesamtprobenfläche nach Gleichung (3)
- Haftzugfestigkeit $ß_{HZ}$ 2: Rechnerische Berücksichtigung der hohlliegenden Bereiche (Flächenkorrektur): die Maximalkraft f_{max} wird ausschließlich auf die Glasurbereiche ohne Hohlklang bezogen
- Haftzugfestigkeit $ß_{HZ}$ 3: Festigkeitsunterschiede zwischen den Probenkollektiven Subtypus 2 A und 2 B werden durch der Multiplikation der Probengruppe mit den geringeren Werten mit einem Korrekturfaktor auf das Niveau der Probengruppe mit den höheren Haftzugfestigkeitswerten angehoben. Der Korrekturfaktor wurde durch Division des arithmetischen Mittelwertes der Probengruppe mit höherer Festigkeit durch den Mittelwert der ‚schwächeren' Probengruppe gebildet.

Von besonderem Interesse ist bei dieser Behandlung der Meßwerte die Auswirkung auf den Variationskoeffizienten.

Gebildet aus der Division der Standardabweichung durch den arithmetischen Mittelwert mal 100 gibt er als relatives Streumaß Auskunft darüber, ob die Streubreite der Meßwerte durch die Meßergebniskorrekturen ab- oder zunimmt. Eine deutlicher Abnahme der Schwankungsbreite der Meßergebnisse wird als Hinweis gewertet, daß die anfängliche Meßergebnisstreuung z.T. auf den genannten systematischen Fehlern beruht und die vorgenommenen Korrekturen zulässig sind.

Die Meßergebnisse der Einzelmessungen und die statistischen Berechnungen sind in der folgenden Tabelle und dem nachfolgenden Diagramm dargestellt.

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche	Bruchbild				f_{max}	$ß_{HZ}$ 1 (ohne Korrektur)	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (Flächen-Korrektur)	$ß_{HZ}$ 3 (Korrekturfaktor 0)	Bemerkung
					a	b	c	d						
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	
2 A 20	40,0	40,0	1600	25,0	60	38	2		230,2	0,14	1200	0,19	0,19	
2 A 26	40,2	40,2	1616	30,0	55	45	0		164,2	0,10	1131	0,15	0,15	
2 A 28	39,2	41,2	1615	0,0	45	55	0		252,2	0,16	1615	0,16	0,16	
2 A 29	38,7	38,4	1486	25,0	20	80	0		171,5	0,12	1115	0,15	0,15	
2 A 34	41,0	40,4	1656	35,0	70	30	0		184,4	0,11	1077	0,17	0,17	
2 A 36	40,1	40,3	1616	10,0	35	65	0		180,5	0,11	1454	0,12	0,12	
2 A 37	39,4	38,4	1513	5,0	50	50	0		238,8	0,16	1437	0,17	0,17	
2 A 62	39,7	38,6	1532	40,0	70	30	0		172,1	0,11	919	0,19	0,19	
2 A 64	38,0	38,0	1444	50,0	80	20	0		60,0	0,04	722	0,08	0,08	
2 A 65	38,5	39,6	1525	50,0	90	10	0		99,0	0,06	762	0,13	0,13	
Median Typus 2 A				28	58	42	0			**0,11**		**0,16**	**0,16**	
arithm. Mittel Typus 2 A				27	58	42	0			**0,11**		**0,15**	**0,15**	
Standardabweichung Typus 2 A										**0,04**		**0,03**	**0,03**	
Variationskoeffizient [%] Typus 2 A										**33,2**		**21,5**	**21,5**	
2 B 02	39,8	37,8	1504	15,0	70	30	0		130,0	0,09	1279	0,10	0,14	
2 B 04	38,9	38,3	1490	20,0	70	30	0		119,1	0,08	1192	0,10	0,14	
2 B 10	39,8	39,4	1568	10,0	80	20	0		150,3	0,10	1411	0,11	0,15	
2 B 13	39,2	40,4	1584	15,0	90	10	0		157,2	0,10	1346	0,12	0,16	
2 B 15	40,8	40,3	1644	10,0	80	20	0		173,7	0,11	1480	0,12	0,16	
2 B 18	39,4	38,8	1529	0,0	65	35	0		163,4	0,11	1529	0,11	0,15	
2 B 23	40,1	40,8	1636	50,0	60	40	0	100	99,0	0,06	818	0,12	0,17	Wiederholung
2 B 33	38,2	40,1	1532	50,0	75	25	0		-	-	766	-	-	Fehlversuch
2 B 34	40,7	39,6	1612	50,0	90	10	0		82,3	0,05	806	0,10	0,14	
2 B 36	39,5	39,8	1572	50,0	85	15	0		95,2	0,06	786	0,12	0,17	
Median Typus 2 B				18	78	23	0			**0,09**		**0,11**	**0,15**	
arithm. Mittel Typus 2 B				27	77	24	0			**0,08**		**0,11**	**0,15**	
Standardabweichung Typus 2 B										**0,02**		**0,01**	**0,01**	
Variationskoeffizient [%] Typus 2 B										**25,5**		**7,8**	**7,8**	
Median Typus 2 A und 2 B				25,0	70	30	0			**0,10**		**0,12**	**0,15**	
arithm. Mittel Typus 2 A und 2 B				25,8	67	33	0			**0,10**		**0,13**	**0,15**	
Standardabweichung Typus 2 A und 2 B										**0,03**		**0,03**	**0,02**	
Variationskoeffizient [%] Typus 2 A und 2 B										**33,9**		**23,9**	**16,1**	

Tabelle 14: Ergebnisse der Haftzugmessungen an unbehandelten Referenzproben des Typus 2

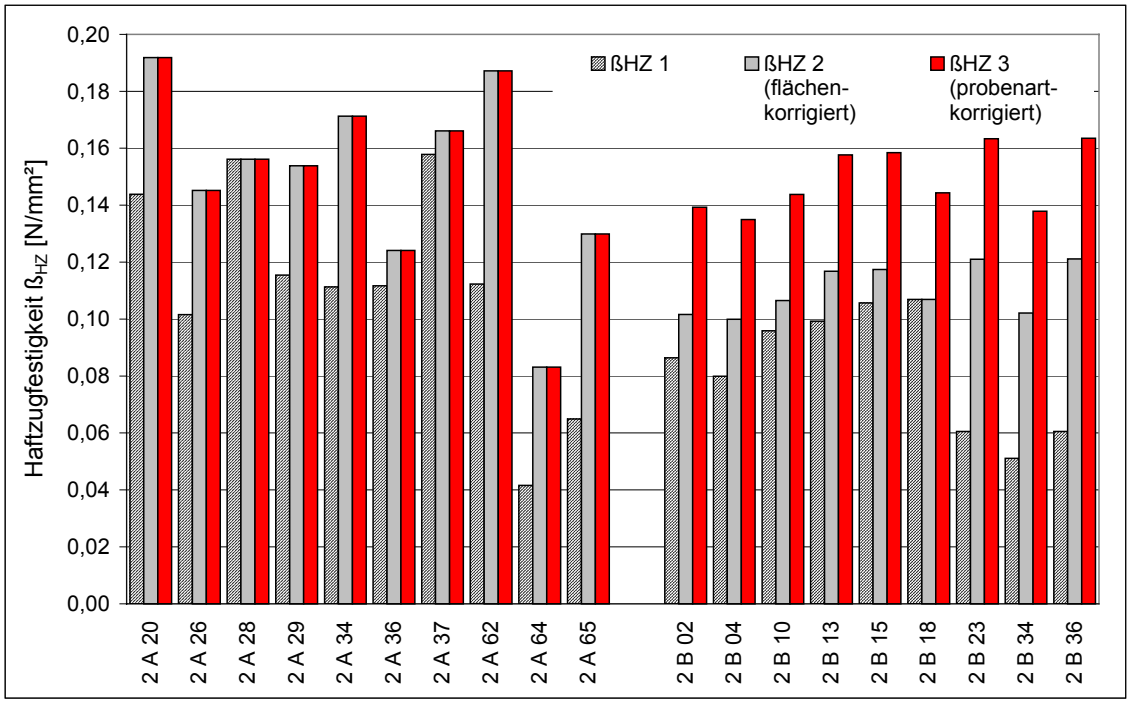


Diagramm 3: Haftzugfestigkeiten von unbehandelten Referenzproben des Typus 2

Die Meßergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Wird die Haftzugfestigkeit ohne Berücksichtigung der hohlliegenden Bereiche berechnet ($ß_{HZ}1$), weisen beide Probengruppen mit Variationskoeffizienten von 33,2 (Subtypus 2 A) bzw. 25,5 (Subtypus B) große Meßergebnisstreuungen auf. Diese Streubreiten können durch Neuberechnung der Haftzugfestigkeit ($ß_{HZ}2$) bei ausschließlicher Berücksichtigung der (vermutlich) korrekt haftenden Engobebereiche bei beiden Probengruppen gesenkt werden, bei Subtypus A um ca. 35 %, bei Subtypus B sogar um 69 %. Hierdurch verstärkt sich aber
- Nach Vornahme der Flächenkorrektur weist Subtypus 2 A im Mittel eine deutlich höhere Haftzugfestigkeit $ß_{HZ}$ 2 auf als Subtypus 2 B. Da zum einen der prozentuale Unterschiedsbetrag mit 36 % erheblich ist und zum anderen nur zwei Einzelergebnisse $ß_{HZ}$ 2 der Probengruppe 2 A kleiner oder gleich den Einzelergebnissen
- $ß_{HZ}$ 2 der Probengruppe 2 B sind, kann man von einem signifikanten Unterschied zwischen beiden Probentypen ausgehen. Die Wahrscheinlichkeit ist hoch, daß die Engobeanhaftung bei den Proben des Subtypus 2 B generell niedriger liegt.
- Daher erscheint es statthaft, durch Multiplikation aller Meßergebnisse der Probengruppe 2 B mit einem Korrekturfaktor von 1,37 deren Haftzugfestigkeitswerte anzuheben ($ß_{HZ}3$) und damit ein einheitliches Festigkeitsniveau beider Probengruppen zu erzielen. Dieses liegt im Mittel bei 0,15 N/mm².
- Die auf der Grundlage der Meßergebnisse sämtlicher Proben der Subtypen 2 A und 2 B berechneten Variationskoeffizienten nehmen durch die beiden Korrekturschritte von 33,9 % ($ß_{HZ}1$) über 23,9 % ($ß_{HZ}2$) auf 16,1 % ($ß_{HZ}3$) deutlich ab. Hierin sehe ich einen Hinweis für die Zulässigkeit der vorgenommenen Ergebniskorrekturen.
- Bei Auswertung der Bruchbildzuordnungen fällt auf, daß bei den Proben des Subtypus 2 A im Mittel mit 42 % ein relativ hoher Anteil der Bruchfläche in der Engobe liegt (Bruchbild b), während bei Subtypus 2 B mit 77 % ganz überwiegend ein Adhäsionsbruch vorliegt (Bruchbild a). Die niedrigeren Haftzugfestigkeiten $ß_{HZ}1$ und $ß_{HZ}2$ des Subtypus 2 B sind daher auf eine geringere Haftung der Engobe am Scherben, nicht auf eine geringere Zugfestigkeit der Engobe zurückzuführen. Bei der Probengruppe des Subtypus 2 A spiegelt sich zudem die relativ größere Streuung der Haftzugwerte im Vergleich zur Probengruppe 2 B auch in einer größeren Streuung bei der Bruchbildzuordnung wieder. Eine Korrelation zwischen Bruchbildzuordnung und Flächenanteil hohlliegender Bereiche ist dagegen

nicht gegeben[222]. Dies ist insofern erstaunlich, als die hohlliegenden Bereiche voll in die Bruchbildzuordnung eingehen.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß eine Korrektur der Meßergebnisse durch Berücksichtigung der akustisch detektierten hohlliegenden Bereiche bei der Haftzugfestigkeitsberechnung sowie die Anhebung des Festigkeitsniveaus der Proben des Subtypus B mittels Korrekturfaktor die Schwankungsbreite der Meßergebnisse beträchtlich verringert. Mit diesen beiden Korrekturschritten ist eine Möglichkeit gegeben, eine rechnerische Vereinheitlichung des heterogenen Probenmaterials zu erzielen und damit die Haftzugmessungen an den gefestigten Proben auswerten zu können. Allerdings ist bei jeder der gefestigten Probengruppen erneut zu überprüfen, ob die angestrebte Reduzierung der Streubreiten infolge der Meßergebniskorrekturen eintritt. Dies ist schon deshalb nicht in jedem Fall zu erwarten, weil die Probenanzahl je Festigungsmittel und Tränkungsrichtung mit n=5 nur ein Viertel der Referenzprobengruppe mit n=20 umfaßt, wodurch sich zufällige Häufungen von Extremwerten wesentlich stärker auswirken können.
Als Bezugsgrößen für eine Interpretation der Meßergebnisse der gefestigten Probengruppen ist eine Haftzugfestigkeitsniveau $ß_{HZ}$ 3 der unbehandelten Referenzproben von 0,15 N/mm² anzunehmen.

8.4.2 Auswahl der Festigungsmittel für die Haftzugmessungen

Für die Auswahl der Festigerlösungen für die Haftzugmessungen waren folgende Gesichtspunkte ausschlaggebend:

- Es standen 130 Modellpräparate des Typus 2 für Haftzugmessungen zur Verfügung. Da aufgrund der in Kapitel 6 dargestellten, herstellungsbedingt heterogenen Qualität dieses Probenkollektives mit einer größeren Streuung der Meßergebnisse zu rechnen war, mußten die Haftzugmessungen je Parametervariation an wenigstens fünf Parallelproben durchgeführt werden, um Aussicht auf interpretationsfähige Ergebnisse zu haben. Für die Referenzmessungen an den unbehandelten Modellproben des Subtypus 2 A und 2 B waren dagegen je 10 Proben vorzusehen. Damit standen 110 Modellpräparate für Festigungsversuche zur Verfügung. Die Anzahl der Festigungslösungen war damit auf 11 verschiedene Rezepturen festgelegt. Neben der Rezeptur der Festigungslösungen sollte die Tränkungsrichtung als zweiter Einflußfaktor untersucht werden. Eine weitere Differenzierung durch unterschiedliche Probenkonditionierung zum Zeitpunkt der Messung (trocken/naß) konnte bei der beschränkten Probenanzahl nicht realisiert werden.
- Der Schwerpunkt sollte auf einer Untersuchung von Lösungen auf der Basis von Epoxiddianharzen liegen, da für diese Kunstharze langjährige positive Erfahrungen in der Steinrestaurierung vorliegen. Dabei sollte der Einfluß drei unterschiedlicher Lösungskonzentrationen von 5, 10 und 20 %, von zwei verschiedenen Härtern und von zwei verschiedenen Lösemittelkombinationen auf die Haftzugfestigkeit untersucht werden. Angesichts der beschränkten Probenanzahl konnte dabei nur eine der beiden in den Vorversuchen verwendeten Harzkombinationen in das Untersuchungsprogramm aufgenommen werden, entweder das reine Dianharz Epilox P 13-20 oder eine Kombination diese Harzes mit dem Hexandioldiglycidylether Epilox P 13-20. Der Kombination von Dianharz und sog. Reaktivverdünner im Verhältnis 4:1 GT wurde der Vorzug gegeben, da sie seit vielen Jahren unter der Produktbezeichnung Epilox T 19-32 bei Steinfestigungen im Thüringer Raum eingesetzt wird. Auf Empfehlung des Herstellers Leuna-Harze und aus toxikologischen Gründen wurde als Härter das aliphatische Aminaddukt Epilox H 10-34 verwendet. Als Lösemittelmischung wurde die Kombination Xylol/Ethanol gewählt. An jeweils einer 10 %-igen Lösung wurde die Lösungsmittelkombination (Toluol/Aceton) und der Härtertyp (DPTA) variiert. Neben diesen fünf verschiedenen Lösungen auf der Basis von Dianharz wurden zwei cycloaliphatische Epoxidharzlösungen in 10 %-iger Konzentration einbezogen. Das eine Harz stammt aus der Produktion der Fa. Leuna-Harze (Epilox P 22-00), das andere wird von der Fa. Eurostac hergestellt (resina 150/9) und findet in anderer Zubereitung unter dem Namen Eurostac resina 2101 bereits seit Jahrzehnten in der Steinfestigung Verwendung. Beide Cycloaliphate wurden wie bei den Voruntersuchungen in Xylol/Ethanol gelöst.
- Es erschien sinnvoll, auch Festigungsmittel in das Untersuchungsprogramm einzubeziehen, die bereits von Radujkovic in ihrer Diplomarbeit verwendet worden waren, um eine bessere Vergleichbarkeit

[222] Das Bestimmtheitsmaß R^2 einer linearen Regression zwischen den hohlliegenden Bereichen in Flächenprozent und den Zuordnungen zum Bruchbildes a in Flächenprozent liegt bei der Probengruppe des Subtypus 2 A bei R^2=0,5433, bei Probengruppe 2 B bei R^2 = 0,0168, bei beiden Gruppen zusammen bei 0,1663.

der Ergebnisse beider Studien zu ermöglichen. Dies betraf v.a. die beiden Festigungsmittel Paraloid B 72 und Glas-ORMOCER in Abmischung mit Paraloid B 72. In Vorversuchen war eine zu geringe Sauggeschwindigkeit bei Verwendung einer 10 %-igen Lösung von Paraloid in Xylol festgestellt worden, die eine unvollständige oder ungleichmäßige Durchtränkung der Proben befürchten ließ. Daher wurde die Konzentration der Acrylharzlösung auf 7,5 % begrenzt.
Dagegen war aus zeitlichen und organisatorischen Gründen im Rahmen dieser Diplomarbeit die vorgesehenen Tränkungen mit Glas-ORMOCER nicht mehr möglich, da das Produkt ausschließlich bei Durchführung der Tränkungen im Fraunhofer Institut für Silicatforschung in Bronnbach zur Verfügung stand.

- Zu Vergleichszwecken wurde auch ein reiner Kieselsäureethylester und eine Abmischung eines Kieselsäureesters mit einem Acrylharz in die Versuchsreihe aufgenommen. Da die Neigung von KSE-Produkten zur Versprödung des Gefüges bekannt ist (stärkerer Anstieg des E-Moduls als der Festigkeitswerte), wurde einem elastifizierten Produkt der Vorzug gegeben (Remmers KSE 300 E), das zudem mit Ethanol auf die halbe Wirkstoffmenge verdünnt wurde. Durch eine Abmischung mit Paraloid B 72 bei nochmaliger Absenkung der Gelabscheidungsrate des Kieselsäureesters auf 10 % sollte die geringe Klebekraft des Kieselsäureesters verbessert werden. Versuche, das Acrylharz direkt in Kieselsäureester zu lösen, waren fehlgeschlagen. Daher wurde das Acrylpolymer als Lösung in Xylol zugegeben.

Die Kurzbezeichnungen und Zusammensetzungen der verwendeten Lösungen sind in der folgenden Tabelle aufgelistet. Die Tränkungsmodalitäten und Nachbehandlungen der Proben wurde in Kapitel 6.2.2 beschrieben.

Kürzel	Harz 1	M-%	Harz 2	M-%	Lösemittel 1	M-%	Lösemittel 2	M-%	Verhältnis LSM 1 zu LSM 2 (GT)	Wirkstoffgehalt[223]	Härter	M-% des Harzanteils
1 A	Epilox A 19-00	4	Epilox P 13-20	1	Xylol	5	Ethanol	90	1:18	5 %	Epilox H 10-34	53,707
1 B	Epilox A 19-00	8	Epilox P 13-20	2	Xylol	10	Ethanol	80	1:8	10 %	Epilox H 10-34	53,707
1 C	Epilox A 19-00	16	Epilox P 13-20	4	Xylol	20	Ethanol	60	1:3	20 %	Epilox H 10-34	53,707
2	Eurostac resina 150/9	10			Xylol	10	Ethanol	80	1:8	10 %	Eurostac indurente 150/9	26,000
3	Epilox A 19-00	8	Epilox P 13-20	2	Toluol	54	Aceton	36	6:4	10 %	Epilox H 10-34	53,707
4	Epilox A 19-00	8	Epilox P 13-20	2	Xylol	22,5	Ethanol	67,5	1:3	10 %	Epilox DPTA	14,286
5	Epilox P 22-00	10			Xylol	22,5	Ethanol	67,5	1:3	10 %	Epilox H 10-34	41,704
6	Remmers KSE 300 E	50					Ethanol	50		15 %		
7	Remmers KSE 300 E	33,3	Paraloid B 72	2,5	Xylol	14,2	Ethanol	50	~ 1 : 3,5	12,5 %		
8	Paraloid B 72	7,5			Xylol	92,5				7,5 %		

Tabelle 15: Kurzbezeichnung und Zusammensetzung der verwendeten Festigerlösungen

8.4.3 Untersuchungsergebnisse an den gefestigten Modellpräparaten

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick zu den statistisch aufbereiteten Meßergebnissen der einzelnen Probengruppen. Alle Probengruppen, deren Tränkung von der Glasurseite aus erfolgte, sind blau unterlegt.
Die Einzelmeßwerte für jede Probe und die Fotografien der Bruchbilder sind in Anhang 7 dokumentiert.

[223] Die Bezeichnung „Wirkstoffgehalt" wurde gewählt, um sowohl die Konzentration der Kunstharze als auch die abgeschiedene Kieselgelmenge des Kieselsäureesters in einem Begriff zusammenfassen zu können.

Festiger	Tränkungsseite	Probenanzahl Typus A	Probenanzahl Typus B	Lösungsaufnahme		Abschätzung hohlliegender Bereiche vor der Tränkung		Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 Tagen		Bruchbild		ßHZ 1 (unkorrigiert)		ßHZ 2 (flächenkorrigiert)		ßHZ 3 (probenartkorrigiert)	
										a	b						
				aM	Vk	aM	Vk	aM	Vk	aM	aM	aM	Vk	aM	Vk	aM	Vk
				[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N/mm²]	[%]	[N/mm²]	[%]	[N/mm²]	[%]
1 A	Glasur	3	2	8,6	1,7	25	49	25	49	58	42	0,17	32,4	0,23	33,7	0,25	23,7
1 A	Scherben	2	3	8,3	3,2	28	41	31	29	68	32	0,09	29,1	0,12	27,5	0,15	22,2
1 B	Glasur	2	3	8,6	1,3	27	69	22	67	60	40	0,19	27,8	0,24	15,5	0,29	20,4
1 B	Scherben	3	2	8,7	3,4	28	41	30	33	43	57	0,12	29,6	0,17	18,3	0,20	13,0
1 C	Glasur	2	3	9,3	3,1	27	68	19	66	60	40	0,34	23,0	0,42	16,8	0,52	24,1
1 C	Scherben	3	2	8,5	6,7	28	41	27	31	61	39	0,20	26,7	0,27	18,0	0,30	19,2
2	Glasur	2	3	8,6	1,8	26	46	21	72	72	28	0,21	18,6	0,27	18,8	0,34	29,3
2	Scherben	3	2	8,9	2,9	33	40	32	41	70	30	0,15	38,1	0,22	22,2	0,25	12,3
3	Glasur	2	3	n.b.	n.b.	25	45	28	37	62	38	0,18	24,3	0,25	16,0	0,30	12,4
3	Scherben	3	2	9,3	1,2	31	46	29	33	57	43	0,16	30,7	0,22	22,6	0,25	14,9
4	Glasur	2	3	8,8	1,3	23	59	24	34	59	41	0,17	32,2	0,22	25,5	0,26	14,7
4	Scherben	3	2	9,2	6,8	32	45	32	53	58	42	0,15	49,8	0,21	32,9	0,23	29,6
5	Glasur	2	3	8,8	2,8	27	55	24	50	51	49	0,21	28,1	0,28	22,5	0,35	35,8
5	Scherben	3	2	8,8	1,6	28	41	21	52	42	58	0,15	24,5	0,19	17,8	0,22	20,8
6	Glasur	2	3	8,9	0,9	24	54	22	59	53	47	0,17	32,6	0,22	21,1	0,27	24,5
6	Scherben	3	2	9,0	1,7	30	33	29	39	64	36	0,21	44,1	0,29	30,9	0,33	27,6
7	Glasur	2	3	n.b.	n.b.	28	53	24	58	55	45	0,14	20,8	0,18	21,9	0,23	33,6
7	Scherben	3	2	9,1	1,7	29	35	23	68	49	51	0,14	26,5	0,18	10,1	0,21	13,3
8	Glasur	2	3	9,5	1,0	26	44	27	43	47	53	0,13	42,2	0,18	27,5	0,22	25,6
8	Scherben	3	2	9,5	1,3	30	39	30	51	33	67	0,11	41,9	0,15	32,5	0,17	24,4

aM = arithmetischer Mittelwert von 5 Proben Vk = Variationskoeffizient von 5 Proben n.b. = nicht bestimmt

Tabelle 16: Übersicht zu den statistisch aufbereiteten Meßergebissen der gefestigten Probengruppen

Die durchschnittliche Aufnahme an Festigungslösung liegt zwischen 8,3 und 9,5 M-%, wobei die Schwankungsbreite innerhalb der einzelnen Probengruppen mit Variationskoeffizienten zwischen 1,0 und 3,4 meist gering ist. Nur bei den beiden Probengruppen 1 C Scherben und 4 Scherben weichen die Einzelmeßwerte stärker voneinander ab (Variationskoeffizient von 6,7 bzw. 6,8). Als Ursache dieser höheren Schwankungen kommen sowohl Porositätsunterschiede als auch eine unvollständige Durchtränkung einzelner Proben in Betracht. Für die Probengruppen 3 Glasur und 7 Glasur liegen keine Werte vor, da versehentlich das Ausgangsgewicht vor der Tränkung nicht bestimmt wurde.
Ein Einfluß der Tränkungsrichtung hinsichtlich der aufgenommenen Lösungsmengen ist nicht erkennbar. Lediglich bei den beiden Probengruppen 1 C weist die Probengruppe, die mit der Glasurseite in die Festigungslösungen gestellt wurden, eine um ca. 10 % höhere Mittelaufnahme auf als die von der Scherbenseite aus getränkte Probengruppe. Es ist nicht auszuschließen, daß die Tränkungszeit der Gruppe 1 C Scherben zu kurz bemessen war und evtl. einige oder alle Proben nicht vollständig durchtränkt waren. Im Zusammenhang mit der bereits erwähnten größeren Streubreite bei der Lösungsaufnahme ist dies wahrscheinlich.

Diese insgesamt recht gleichmäßigen Ergebnisse erlauben den Schluß, daß die Porosität der Proben nur geringfügig voneinander abweicht und die Proben unabhängig von der Tränkungsrichtung in etwa die gleiche Menge Festigungslösung aufgenommen haben. Damit ist eine wichtige Voraussetzung erfüllt, um die erzielten Haftzugfestigkeiten der einzelnen Probengruppen miteinander vergleichen zu können.

Vergleicht man die Ergebnisse der zu unterschiedlichen Zeitpunkten vorgenommenen Perkussionsuntersuchung (vor der Tränkungen und 10 Tage nach Tränkungsdurchführung), so stimmen die Mittelwerte der hohlliegenden Bereiche innerhalb der einzelnen Probengruppen meist weitgehend überein. Betrachtet man dagegen die Prozentzahlen der ermittelten Hohlstellen bei den einzelnen Proben, so sind Abweichungen zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten von maximal 20 Flächenprozent festzustellen. Meist besteht aber mit Unterschiedsbeträgen von 0 bis 10 Flächenprozent eine relativ gute Übereinstimmung. Die genannten Unterschiede können grundsätzlich sowohl auf der Meßunsicherheit des Untersuchungsverfahrens als auch auf Veränderungen an den Proben beruhen. Im Mittel ist die Reproduzierbarkeit der Perkussionsuntersuchungen zur Hohlstellenabschätzung als ausreichend zu bewerten.

Für die Durchführung der Flächenkorrekturen bei der Berechnung der Haftzugfestigkeitswerte $ß_{HZ}$ 2 wurden die Ergebnisse der zweiten Perkussionsuntersuchung zugrunde gelegt, um mögliche Eigenschaftsänderungen an den Proben in die Berechnungen mit einzubeziehen.
Aufgrund der relativ geringen Ergebnisunterschiede der beiden Perkussionsuntersuchungen und der unsystematischen Verteilung der Unterschiedsbeträge auf die beiden Meßzeitpunkte ist nicht davon auszugehen, daß durch die verwendeten Festigungslösungen eine Anbindung hohlliegender Bereiche im Sinne einer Verklebung erfolgte. Eine Ausnahme könnte dabei bei der Probengruppe 1 C Glasur vorliegen. An 4 von 5 Proben wurde eine Verminderung der hohlliegenden Bereiche nach der Tränkung ermittelt. Zieht man in Betracht, daß diese Lösung als einzige einen Bindemittelanteil von 20 % aufweist, ist die Annahme, daß hier ein Teil der hohl liegenden Engobebereiche an das Trägermaterial angebunden werden konnte, plausibel, aber selbstverständlich anhand der vorliegenden Meßwerte nicht zu beweisen.

Vergleicht man die Durchschnittswerte der Bruchbildzuordnungen an den gefestigten Probensätzen mit dem Durchschnittswert der Referenzprobengruppe (Subtypus A und B zusammen: Bruchbild a = 67 %, b = 33 %), so ist eine Erhöhung des Anteils von Bruchbild b zu verzeichnen. Daher ist zu vermuten, daß die Adhäsion der Engobe an den Scherben infolge der Behandlung mit Festigungsmittel in etwas stärkerem Maße zugenommen hat als die Kohäsion der Engobe. Am deutlichsten ist diese Tendenz bei einer Tränkung mit der 7,5 %-igen Lösung von Paraloid B 72 (Festiger 8) ausgebildet.

Vor einer Analyse der Haftzugfestigkeiten ist zu überprüfen, ob sich die Ergebnisstreuungen bei den einzelnen Probengruppen infolge der unterschiedlichen Berechnungsmodi der Haftzugfestigkeiten $ß_{HZ}$ 1, $ß_{HZ}$ 2 und $ß_{HZ}$ 3 vermindern oder erhöhen.
Bei fast allen Probengruppen sinkt der Variationskoeffizient bei einer Neuberechnung der Haftzugfestigkeit $ß_{HZ}$ 2 unter Ausschluß der hohlliegenden Engobebereiche bei der zugrundezulegenden Probenfläche. Ausnahmen bilden lediglich die Probengruppen 1 A Glasur, 2 Glasur und 7 Glasur, wobei die jeweiligen Erhöhungen des Variationskoeffizienten nur sehr gering sind. Dagegen steigt bei 8 von 20 Probensätzen der Variationskoeffizient der Haftzugfestigkeit $ß_{HZ}$ 3 z.T. sehr stark an. Bei drei Probengruppen wird dabei sogar das Ausgangsstreumaß der Haftzugfestigkeit $ß_{HZ}$ 1 überschritten. Generell liegen die Streubreiten bei den meisten gefestigten Probenserien höher als bei den unbehandelten Referenzproben.

Nachfolgend werden beide Haftzugfestigkeiten $ß_{HZ}$ 2 und $ß_{HZ}$ 3 grafisch dargestellt.

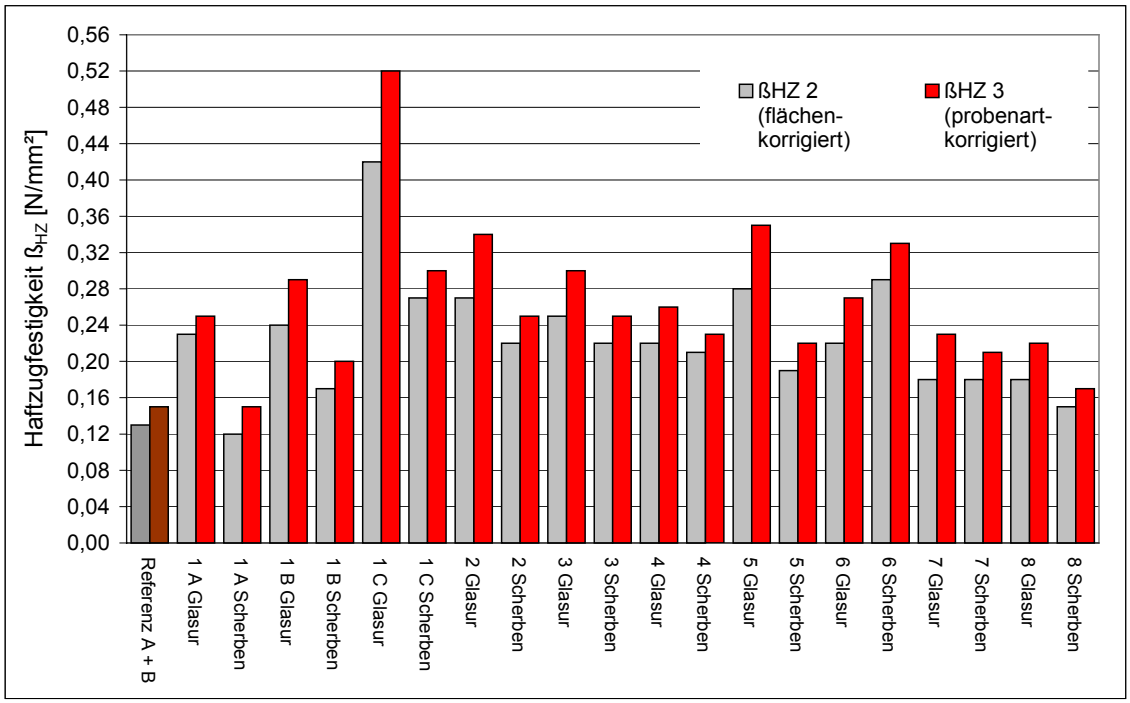


Diagramm 4: Haftzugfestigkeiten der gefestigten Probengruppen des Typus 2

Besonders deutlich wird die Wirksamkeit der verschiedenen Festigungslösungen und der Einfluß der Tränkungsmodalitäten durch eine prozentuale Angabe des Festigkeitsanstiegs, bezogen auf die Haftzugfestigkeit der unbehandelten Referenzproben:

Probengruppe		1 A	1 B	1 C	2	3	4	5	6	7	8
Prozentualer Anstieg der Haftzugfestigkeit bei Tränkung über die Glasurseite	$ß_{HZ}$ 2	76,9	84,6	223,1	107,7	92,3	69,2	115,4	69,2	38,5	38,5
	$ß_{HZ}$ 3	66,7	93,3	246,7	126,7	100,0	73,3	133,3	80,0	53,3	46,7
Prozentualer Anstieg der Haftzugfestigkeit bei Tränkung über die Scherbenseite	$ß_{HZ}$ 2	-7,7	30,8	107,7	69,2	69,2	61,5	46,2	123,1	38,5	15,4
	$ß_{HZ}$ 3	0,0	33,3	100,0	66,2	66,7	53,3	46,7	120,0	40,0	13,3

Tabelle 17: Prozentualer Anstieg der Haftzugfestigkeiten $ß_{HZ}$ 2 und $ß_{HZ}$ 3 in Bezug zu den Haftzugfestigkeiten der unbehandelten Referenzproben (Subtypus 2 A und 2 B zusammen)

Wie das Diagramm und die Werte der vorstehenden Tabelle zeigen, unterscheiden sich die ermittelten Haftzugfestigkeiten $ß_{HZ}$ 2 und $ß_{HZ}$ 3 im Vergleich zu den Unterschieden zwischen den verschiedenen Probengruppen nur relativ wenig. Auf eine Differenzierung in $ß_{HZ}$ 2 und $ß_{HZ}$ 3 wird daher in der weiteren Darstellung verzichtet. Es werden ausschließlich die Ergebnisse der Haftzugfestigkeiten $ß_{HZ}$ 3 diskutiert.

Bei Tränkung über die Glasurseite weisen alle Probengruppen eine Steigerung der Haftzugfestigkeit auf, die je nach verwendeter Lösung zwischen 50 und 250 % beträgt. Vergleicht man die Probengruppen 1 A, 1 B und 1 C, so ist verwunderlich, daß die festigkeitssteigernde Wirkung der 10 %-igen Epoxidharzlösung im Vergleich zu den Lösungen mit 5 und 20 %iger Konzentration relativ niedrig ausfällt. Von besonderem Interesse ist auch ein Vergleich der Probengruppe 1 B mit den Probenserien 3 und 4, da hier bei gleichem Epoxidharz und identischer Lösungskonzentration eine andere Lösungsmittelkombination verwendet wurde (Probengruppe 3: Toluol/Aceton statt Xylol/Ethanol) und der Härter variiert wurde (DPTA-Härter statt aliphatischem Aminaddukt). Der geringste Festigkeitszuwachs dieser 3 Probengruppen ist bei Einsatz des DPTA-Härters zu verzeichnen. Die geringfügig höhere Haftzugfestigkeit bei Probengruppe 3 ist dagegen nicht signifikant. Bemerkenswerter ist, daß ein ähnliches Festigkeitsniveau erreicht wird, während im Reagenzglastest bei dieser Lösemittelkombination auch nach 14 Tagen keinerlei Härtungsreaktion festzustellen war. Ich vermute, daß sich die Aushärtung bei dieser Lösung verstärkt nach Ende der achttägigen Klimatisierung vollzieht, wenn das Lösemittel abdampfen kann. Relativ hohe Festigkeitssteigerungen sind an den beiden Probengruppen 2 und 5 zu verzeichnen, die mit aliphatischen Epoxidharzen getränkt wurden. Nach den Untersuchungen von Domasłowski war hier eher ein geringerer Festigkeitszuwachs zu erwarten als bei den Dianharzlösungen gleicher Konzentration.[224] Die festigende Wirkung des auf 15 M-% Gelabscheidungsrate verdünnten Kieselsäureethylesters KSE 300 E reicht an die Wirkung der 10 %-igen Dianharzlösungen heran. Eine weitere Festigkeitssteigerung dieses Produkts erscheint aufgrund der etwas langsameren Gelbildung im Vergleich mit nicht elastifizierten Kieselsäureestern angesichts des kurz bemessenen Aushärtungszeitraums von 14 Tagen noch möglich. Geringer fällt der Festigkeitszuwachs bei den Probengruppen 7 und 8 mit etwa 50 % aus. Doch während bei der 7,5 %-igen Acrylharzlösung aufgrund der relativ geringen Retention des verwendeten Lösungsmittels Xylol nicht mit einem weiteren Festigkeitsanstieg zu rechnen ist, ist dieser bei dem Mischpräparat aus KSE 300 E und Paraloid B 72 insbesondere deshalb zu erwarten, weil sich die Kieselgelbildung durch die achttägige Klimatisierung mit Testbenzin merklich verzögert haben dürfte.

Die Haftzugfestigkeiten der über die Scherbenseite getränkten Probengruppen unterscheiden sich hiervon in bemerkenswerter Weise. Bei allen Kunstharzlösungen liegen sie deutlich tiefer, nur bei den mit KSE 300 E behandelten Proben steigen sie an. Hierdurch konnte bei Einsatz dieses Festigungsmittels sogar eine höhere Festigkeit als bei Verwendung der 20 %-igen Epoxidharzlösung erreicht werden. Die mittleren Festigkeitssteigerungen der mit 10 %igen Epoxidharzlösungen getränkten Probengruppen fallen auf Werte zwischen 33 und 67 %. Eine herausgehobener Festigkeitsanstieg durch Anwendung cycloaliphatischer Epoxidharze ist bei dieser Tränkungsrichtung nicht mehr gegeben. Die 5 %-ige Dianharzlösung läßt keinerlei festigkeitssteigernde Wirkung erkennen. Auch die 7,5 %-ige Lösung von Paraloid B 72 (Proben-

[224] Domasłowski, Wieslaw, Sobkowiak, Dorota (1991): Evaluation of properties of stones consolidated with light-resistant cycloaliphatic epoxy resin (Eurostac EP 2101). Ocena wlasciwosci kamieni wzmocnionych swiatlotrwala, cykloalifatyczna zywica epoksydowa Eurostac EP 2101, in: Acta Universitas Nicolai Copernici, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo, Band XVIII, S. 67-81

gruppe 8) ist annähernd wirkungslos. Die Probengruppe 7, die mit einer Mischung von Kieselsäureester und Acrylharz getränkt wurde, zeigt keine signifikante Abhängigkeit von der Tränkungsrichtung.

Da offenbar die Tränkungsrichtung bei den meisten Lösungen einen sehr großen Einfluß auf die Höhe der durchschnittlichen Haftzugfestigkeiten hat, wird in der nachfolgenden Tabelle die prozentuale Differenz der Haftzugfestigkeiten in Abhängigkeit von der Tränkungsrichtung angegeben. Basis der Berechnung sind die Haftzugfestigkeiten der über die Glasurseite getränkten Probenserien:

Festigerlösung	1 A	1 B	1 C	2	3	4	5	6	7	8
Prozentuale Veränderung der Haftzugfestigkeit $ß_{HZ}$ 3 bei Tränkung über die Scherbenseite	- 40,0	- 31,0	- 42,3	-26,5	-16,7	-11,5	-37,1	+ 22,2	-8,7	-22,7

Tabelle 18: Prozentuale Veränderung der mittleren Haftzugfestigkeit $ß_{HZ}$ 3 bei Tränkung über die Scherbenseite im Vergleich zu den Meßergebnissen bei Tränkung über die Glasurseite

Bei sämtlichen Probengruppen die mit Epoxidharzlösungen getränkt wurden (Lösungen 1 bis 5) besteht eine gleichgerichtete Abhängigkeit der erzielten Haftzugfestigkeit von der Tränkungsrichtung. Bei Tränkung über die Probenrückseite (Scherben) ist der Festigkeitszuwachs stets niedriger als bei Tränkung von der Glasurseite aus. Am deutlichsten ist dieser Effekt bei Tränkung mit den Lösungen 1 A bis 1 C sowie 5. Deutlich schwächer ausgeprägt ist er bei den Proben, die mit den Lösungen 3 und 4 behandelt wurden. Das Phänomen zeigt sich in gleicher Weise bei den mit Lösung 8 behandelten Probengruppen (Paraloid B 72).
Dagegen zeigen einzig die mit KSE 300 E getränkten Probengruppen 6 eine umgekehrte Tendenz. Diese erstaunlichen Meßergebnisse sind weder durch die vergleichsweise hohen Meßwertstreuungen noch durch Fehler in der Versuchsdurchführung hinreichend zu erklären, da beide Probegruppen nach der Tränkung in gleicher Weise gelagert wurden.
Die Probengruppe 7, die mit einer Mischung von Kieselsäureester und Acrylharz getränkt wurde zeigt keine signifikante Abhängigkeit von der Tränkungsrichtung und liegt damit logisch zwischen den beiden reinen Lösungen 6 und 8.
Als mögliche Ursache der aufgezeigten Richtungsabhängigkeit bei den mit Kunstharzlösungen getränkten Proben kann eine unvollständige Durchtränkung der Proben aufgrund ähnlicher prozentualer Werte der aufgenommenen Lösungsmengen ausgeschlossen werden. Sie kommt allenfalls bei der Probengruppe 1 C Scherben in Betracht. Als mögliche Erklärung bieten sich Chromatographieeffekte an, die zu einer ungleichmäßigen Verteilung der Kunstharze im Probengefüge geführt haben mögen. Bei schnellerer Kapillaraszension der Lösemittel kann es zu Unterschieden in der Harzkonzentration der Lösung im Probenquerschnitt kommen. Ab dem Zeitpunkt der kapillaren Probensättigung ist eine Verminderung bestehender Konzentrationsunterschiede nur noch durch die vergleichsweise langsamen Diffusionsprozesse möglich, die nicht mehr eine gleichmäßige Verteilung der gelösten Harze bewirken können. Hinzu kommt noch im Falle der Epoxidharzlösungen, daß je nach eingesetzter Harz-/Härter- und Lösemittelkombination der einsetzende Aushärtungsprozeß zu einer Immobilisierung der Harze infolge einer Viskositätserhöhung der Lösungen und Anlagerung von Harzmolekülen an den Porenwandungen führt.

Zur Verifizierung der vermuteten Phasentrennung bei den Harzlösungen sind weitere Versuche erforderlich. Hierzu sind größere Probenhöhen zweckmäßig, damit sich Chromatographieeffekte besser abzeichnen. Hierdurch sind möglicherweise auch genauere Aussagen zum Einfluß der Lösungskonzentrationen, der Lösemittelkombinationen und der verwendeten Harz- und Härterarten zu erzielen. Entsprechende Tränkungen an Terrakotta- und Kalksteinprismen wurden bereits durchgeführt. Aus Zeitmangel konnten die an diesen Proben vorgesehenen Untersuchungen nicht mehr durchgeführt werden. Eine Darstellung der diesbezüglichen Versuchsergebnisse muß daher einer überarbeiteten Fassung dieser Diplomarbeit vorbehalten bleiben.

Abschließend sei gesagt, daß die bei der Auswertung der Meßergebnisse angewendeten statistischen Methoden auf der Prämisse der Normalverteilung beruhen. Eine Überprüfung dieser Annahme, insbesondere eine eingehende Untersuchung der Meßwerte auf Ausreißer (z.B. mittels Ausreißertestverfahren), und damit eine Beurteilung der Frage, inwieweit die Anwendung der hier verwendeten statistischen Methoden zulässig ist, konnte aus zeitlichen Gründen nicht vorgenommen werden. Die z.T. erheblichen Streubreiten der Meßwerte lassen solche Überprüfungen angeraten erscheinen.

Zur Absicherung der vorgestellten Versuchsauswertung wurde eine Berechnung der prozentualen Festigkeitsveränderungen auf der Basis der Medianwerte vorgenommen. Der Median, definiert als der jeweils mittlere Wert der nach ihrem Betrag geordneten Meßergebnisse, wird durch Extremwerte nicht beeinflußt und ist daher bei Verdacht auf Ausreißer und kleinen Stichprobengrößen eine empfehlenswerte Alternative zum arithmetischen Mittel.

Probengruppe		1 A	1 B	1 C	2	3	4	5	6	7	8
Prozentualer Anstieg der Haftzugfestigkeit bei Tränkung über die Glasurseite	$ß_{HZ}$ 2	69,2	84,6	238,5	92,3	107,7	61,5	92,3	76,9	38,5	30,8
	$ß_{HZ}$ 3	53,3	73,3	206,7	113,3	93,3	73,3	133,3	66,7	46,7	60,0
Prozentualer Anstieg der Haftzugfestigkeit bei Tränkung über die Scherbenseite	$ß_{HZ}$ 2	-7,7	38,5	107,7	69,2	84,6	76,9	38,5	130,8	38,5	7,7
	$ß_{HZ}$ 3	-6,7	26,7	106,7	53,3	60,0	66,7	46,7	153,3	40,0	33,3

Tabelle 19: Berechnung des Festigkeitsanstiegs auf der Basis der Medianwerte

Ein Vergleich der prozentualen Festigkeitsveränderungen, einmal berechnet auf der Basis des arithmetischen Mittels (Tabelle 17) und einmal auf der Basis des Medians (Tabelle 19), zeigt, daß die Abweichungen relativ gering sind. Die grundsätzlichen Aussagen der vorgenommenen Auswertung werden hierdurch nicht in Frage gestellt, es ergeben sich nur leichte Verschiebungen im Detail, auf die hier nicht näher eingegangen wird.

9. Zusammenfassung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse

9.1 Konservatorische Problematik

Thema der vorliegenden Diplomarbeit ist die Sicherung und Fixierung verlustgefährdeter und bereits abgelöster Glasurbereiche an witterungsexponierter engobierter Terrakotta. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt auf der Rezeptierung und experimentellen Untersuchung von Injektionsmörteln und Festigungsmitteln.

Ausgangspunkt ist eine Gruppe von 93 renaissancezeitlichen, polychrom glasierten und engobierten Terrakotten, die an den Fassaden von 8 Lüneburger Häusern angebracht sind. Dieser, für Norddeutschland einzigartige Bestand ist insbesondere aufgrund seiner polychromen Glasierung von großer kunstwissenschaftlicher und kulturhistorischer Bedeutung.

Die Terrakotten zeigen einen dreischichtigen Aufbau: Der etwa 2-3 cm dicke, orangebraune Scherben trägt einen feinkörnigen, hellbeigen keramischen Überzug, eine sog. Engobe, die eine wechselnde Schichtdicke bis maximal 2 mm aufweist. Auf die Engobe sind verschiedenfarbige Blei- und Bleizinnglasuren aufgeschmolzen. Die Formgebung des keramischen Trägers einschließlich der Engobe erfolgte mittels Negativformen.

Keramischer Träger und Glasuren zeigen eine Reihe herstellungsbedingter Fehler, die zugleich Ansatzpunkte für den Witterungsangriff darstellen. Zu nennen sind eine Krakelierung der Glasuren, durch die Feuchtigkeit und Luftschadstoffe von außen in Engobe und Scherben gelangen können, eine bereichsweise schlechter Schichtenverbund und größere Lufteinschlüsse im Scherben aufgrund mangelnder handwerklicher Sorgfalt bei der Herstellung sowie eine z.T korrosionsanfällige Glasurzusammensetzung. Hinzu kommt die Anbringung der Terrakotten am Bauwerk mit dem ortsüblichen Gipsmörtel, die eine potentielle Quelle für den Eintrag von Gips in das keramische Gefüge darstellen.

Ein großer Teil dieser Terrakotten weist gravierende Schäden auf. Als wichtigste Schadensphänomene sind zu nennen: großflächige Glasurverluste, hohlliegende Glasurbereiche, Korrosionsschäden der Glasuroberfläche, entfestigte, z.T blätterteigartig veränderte Trägermaterialien (Scherben und Engobe), Verschmutzung und Verkrustungen der Oberflächen, Salzausblühungen. Die meisten Terrakotten sind übermalt, um Glasurfehlstellen zu kaschieren. Hierdurch ist die Beurteilung des Erhaltungszustands und die Durchführung von Konservierungsmaßnahmen zusätzlich erschwert. Glasurablösungen und bereits eingetretene Glasurverluste beinträchtigen das ästhetische Erscheinungsbild und den Aussagewert der Terrakotten am meisten. Viele Terrakotten bedürfen einer baldigen konservatorischen Behandlung, um weitere Glasurverluste abzuwenden.

Als Hauptursache der Glasurverluste ist neben den genannten technischen Mängeln die Belastung des keramischen Gefüges mit Gips und leichtlöslichen Salzen sowie das Einwirken von Wasser in Kombination mit Frost anzunehmen. Die Glasurablösungen werden durch eine Schädigung des keramischen Trägers und in besonderem Maße der Engobe hervorgerufen. Die Engobe wird im dreischichtigen Materialverbund am stärksten durch die Ausbildung oberflächennaher Gipshorizonte belastet. Hinzu kommt der Kristallisationsdruck von Salzen im Glasurkrakelee, der Scherspannungen zwischen Glasur und Engobe erzeugt. Die Materialtrennung erfolgt dabei stets in der Engobeschicht.

Ansatzpunkt einer Glasursicherung ist daher eine Stabilisierung der Engobe und des Scherbens einschließlich der Glasurschollenrückseite sowie die Schaffung eines Stoffschlusses zwischen den sich ablösenden oder bereits abgelösten Glasurschollen und der Engobe bei Schaffung einer ausreichenden Haftung. In Bereichen, in denen die Glasueranhaftung bereits geschwächt ist, aber noch keine Materialtrennung mit injizierbaren Hohlräumen erfolgt ist, könnte durch eine Tränkung mit Festigungsmitteln eine Haftungsverbesserung erzielt werden.

Zur Umsetzung dieser Zielsetzungen sind daher sowohl Tränkungen mit Festigern als auch die Überbrükkung von engen oder weiteren Hohlräumen mit füllstoffhaltigen Injektionsmassen erforderlich. Für diese

verschiedenen Aufgabenstellungen waren daher Untersuchungen sowohl zur Eignung verschiedener Injektionsstoffe als auch von Festigungsmitteln notwendig.

9.2 Konservierungsmaterialien

Als Bindemittel für die Rezeptierung von Injektionsmörteln wurden Syton X 30, Funcosil KSE 500 STE, ein hydraulisches Bindemittel auf der Basis von Hüttensand, Gips und Portlandzement (HGZ) und eine sog. Nanokompositdispersion, ein Hybridbindemittel auf der Basis von Acrylharzdispersion und Kieselsol, ausgesucht. Zur Stabilisierung der Suspensionen wurde pyrogene Kieselsäure Cab-O-Sil M 5 verwendet. Das Hauptgewicht lag dabei auf der Rezeptierung von Kieselsol-gebundenen Injektionsmassen. Als Zuschlagsstoffe kamen verschiedene Quarzmehle (Millisil W 12, Sicron Feinstmehl 300 SGL, Quarzmehl (44 µm) und Cristobalitmehl (7µm)), verschiedene Plastorit-Sorten und Borosilikatvollglaskugeln zum Einsatz. Für die Zubereitung des HGZ-Mörtels wurde eine werksmäßig gelieferte Mischung aus Quarzmehl und Vollglaskugeln verwendet. Als Zusatzmittel wurden ein Stabilisator (Tween 20) und ein Fließmittel (Lopon 890) eingesetzt. Bei den HGZ-Injektionsmörteln kam zusätzlich ein Polyisocyanat zum Einsatz (Desmodur DA-L).

Für Festigungsversuche wurden v.a. verschiedene Epoxidharze ausgesucht: Der Bisphenol-A-Diglyciylether Epilox A 19-00 (Leuna-Harze), das aliphatisches Epoxidharz Epilox P 13-20 als Reaktivverdünner und zwei cycloaliphatische Epoxidharze, Epilox P 22-00 und Resina 150/9 (STAC). Bei den Härtern für die Epilox-Harze handelt es sich um ein aliphatisches Polyamin (Epilox-Härter DPTA) und um eine modifiziertes Polyaminaddukt (Epilox-Härter H 10-34) bzw. um ein cycloaliphatisches Polyamin (Indurente 150/9). Aus toxikologischen Erwägungen wurde überwiegend mit einer Lösemittelkombination aus Xylol und Ethanol gearbeitet. Daneben wurde auch eine Lösemittelmischung aus Toluol und Aceton erprobt.

Als weitere Festigungsmittel wurden ein elastifizierter Kieselsäureester Funcosil KSE 300 E, Paraloid B 72 und eine Mischung aus beiden vorgenannten Stoffen verwendet.

9.3 Untersuchungsmethoden

Die wichtigsten Forderungen an Injektionsmassen sind, daß sie die Hohlräume möglichst vollständig verfüllen und daß nach der Aushärtung ein ausreichende Anhaftung erzielt wird.
Daher wurde bei der Konzipierung des Untersuchungsprogramms auf die Untersuchung dieser beiden Parameter der größte Wert gelegt.

Zur Charakterisierung der Frischmörteleigenschaften wurden als viskositätsbezogene Kennwerte die Fließfähigkeit mittels Auslaufbecher und das Penetrationsvermögen in eine Sandschüttung bestimmt. Hierzu wurde Sand definierter Korngröße in Reagenzgläser gefüllt, in deren Boden zur Entlüftung ein kleines Loch gebohrt worden war. Die Sandfüllung wurde in reproduzierbare Weise verdichtet. Es zeigte sich, daß die gemessenen Penetrations- und Auslaufgeschwindigkeit mitunter zu einander widersprechenden Ergebnissen führten. Generell stellt die Bestimmung des Penetrationsvermögens ein wesentlich sensibleres Meßverfahren dar, daß auch auf kleine Rezepturveränderungen bereits sehr viel deutlicher reagierte als die Bestimmung des Fließvermögens. Zur Bestimmung der Sedimentationsneigung wurden Reagenzgläser mit Injektionsmörtel befüllt. Flüssigkeitsabsonderungen an der Mörteloberfläche sowie Bodensatzbildung wurden in regelmäßigen Abständen optisch erfaßt. Dieses Bestimmungsverfahren erwies sich bei den HGZ-Mörteln als nicht aussagekräftig. Desweiteren wurde die Kanülengängigkeit getestet. Schließlich wurde das Erhärtungsschwinden, die Rißbildung und Verformung infolge der Mörtelerhärtung und das resultierende Haftungsvermögen abgeschätzt, indem definierte Mörtelmengen in Ringformen gegeben wurden, die auf Terrakotta- und Glasträgern fixiert waren. Allerdings zeigt sich im Vergleich mit den erzielten Haftzugfestigkeiten, daß die an den Mörtelscheiben beobachteten Haftungseigenschaften nicht sehr verläßlich sind (s. Injektionsmasse Syton 11H und 33H). Diese Beobachtungen können die Haftzugfestigkeitsmessungen nicht ersetzen. Es ist zu empfehlen, die Anzahl der herzustellenden Proben auf wenigstens drei zu erhöhen.
Porenraumbezogene Kennwerte, hygrische und thermische Dilatation sowie dynamischer E-Modul konnten aufgrund präparatorischer Schwierigkeiten nicht bestimmt werden.

Bei den Epoxidharzlösungen wurde der zeitliche Erhärtungsverlauf hauptsächlich anhand der Niederschlagsbildung in Reagenzgläsern bestimmt.

9.4 Probenpräparation

Abschließend wurden an keramischen Modellkörpern Haftzugfestigkeitsmessungen vorgenommen, die zuvor mit ausgewählten Injektionsmörteln und Festigern behandelt worden waren. Die Herstellung dieser keramischen Präparate hatte sich als außerordentlich schwierig und zeitaufwendig erwiesen. Bei Probentypus 1 wurde mittels einer Cellulosetrennschicht eine oberflächenparallele Engobeaufspaltung erzeugt. Hierdurch konnte ein Hohlraum zwischen Glasur und keramischen Träger erzeugt werden, der mit ausgewählten Injektionsmassen verfüllt wurde. Bei Probentypus 2 wurde die Engobe sehr stark abgemagert. Das hieraus resultierende geringe Festigkeitsniveau wurde nachfolgend durch die Applikation verschiedener Festiger in unterschiedlichem Maß angehoben. Die meisten Proben des Typus 2 wiesen eine gestörte Engobehaftung am keramischen Träger in Form von partiellen Hohlstellen auf. Durch Berücksichtigung der jeweiligen Flächenausdehnung dieser hohlliegenden Partien bei der Berechnung der Haftzugfestigkeit wurde trotz der Inhomogenität des Probenkollektivs noch eine Auswertung der Haftzugmessungen möglich.

9.5 Injektionsmörtel

Den Schwerpunkt der Untersuchungen bildeten Versuche zur Rezeptierung von Injektionsmassen auf der Basis von Kieselsol und pyrogener Kieselsäure. Es wurden viele Hinweise hinsichtlich der Wirkung einzelner Mörtelkomponenten gewonnen, die hier nur ausschnitthaft zusammengefaßt werden können.
Grundprinzip dieser Mörtel ist die Verhinderung bzw. Verzögerung einer Sedimentation des Zuschlags durch die Zugabe pyrogener Kieselsäure, die bei feiner Verteilung in der Flüssigkeit ein stabilisierendes Kieselsäurenetzwerk aufbaut. Hierzu ist eine Dispergierung der Suspension bei hohen Umfangsgeschwindigkeiten erforderlich. Es zeigte sich, daß den der Literatur entnommenen Vorgaben zur Dispergierprozeß mit dem zur Verfügung stehenden Equipment nicht entsprochen werden konnte. Die angestrebte Umfangsgeschwindigkeit von 10 m/s mußte auf 6 bzw. 7,5 m/s reduziert werden.

Ausgangspunkt der Rezepturentwicklung war eine von Lehmkuhl entwickelte Mörtelrezeptur. Das Gewichtsverhältnis Flüssigkeit zu Feststoff beträgt dabei 1:1. Es zeigte sich, daß bei diesem relativ geringen Zuschlagsanteil nur eine sehr geringe Untergrundhaftung zu erzielen war, einhergehend mit einer kräftigen Verformung. Ursache hierfür ist das äußerst spannungsreiche Auftrocknen der Masse, was maßgeblich mit der Qualität der gebildeten Netzwerkstruktur zusammenhängt. Durch Erhöhung des Füllstoffanteils, durch Reduzierung des Anteils pyrogener Kieselsäure oder durch Reduzierung des Stabilisatoranteils kann diese Trocknungsspannung reduziert und hierdurch akzeptable Haftzugfestigkeitswerte erzielt werden.

Die Injektionsmörtel Syton 9H, 18H, 30H, 31H, 33H und 37H weisen im trockenen Zustand ausreichende bis etwa um 50 % überhöhte Haftzugfestigkeitswerte im Vergleich mit den Referenzproben auf. Dies sind akzeptable Kennwerte. Die höchsten Haftzugwerte werden bei solchen Injektionmassen erzielt, die einen unveränderten Anteil an pyrogener Kieselsäure, einen erhöhten Füllstoffanteil, eine Zugabe von Fließmittel und einen verminderten Stabilisatoranteil. Welcher der genannten Faktoren der wichtigste ist, kann auf der Grundlage der erhobenen Daten nicht beurteilt werden. Festzuhalten bleibt aber, daß erst die Zugabe von Fließmittel bei reduziertem Anteil an Stabilisator eine Erhöhung des Füllstoffanteils ohne Verschlechterung des Penetrationsvermögens ermöglicht hat. Der Preis dieser Modifizierung ist jedoch eine drastische Verschlechterung der Sedimentationsstabilität.

Vorsicht ist möglicherweise geboten, wenn nach einer Injektion nachgefestigt wird. Es ist nicht auszuschließen, daß dann die sehr hohen Haftzugfestigkeitswerte der Injektionsmörtel Syton 30H, 31H und 33H im Verhältnis zum Scherben in zu hohem Maße ansteigen. Bei diesen Injektionsmassen käme auch eine Reduzierung des Bindemittelanteils in Betracht, um die Haftzugfestigkeiten etwas zu reduzieren.

Hinsichtlich der Kanülengängigkeit sind keine großen Unterschiede zu beobachten. Alle Kieselsolgebundenen Massen lassen sich mit einer 0,8 mm-Kanüle zufriedenstellend verarbeiten.

Die Untersuchungen zur Gebrauchsfähigkeitsdauer zeigen, daß Injektionsmassen auf der Basis von Kieselsol und pyrogener Kieselsäure thixotrope Eigenschaften aufweisen, die zu einer Verschlechterung des

Fließ- und Penetrationsvermögens führen. Das Ausmaß der Thixotropie hängt in erster Linie vom Gehalt an pyrogener Kieselsäure ab, in zweiter Linie von der Menge des zugegebenen Stabilisators. Durch den Zusatz des Fließmittels Lopon 890 und eine Reduzierung des Stabilisatoranteils kann ein thixotropes Verhalten von Injektionsmörteln auf der Basis von Kieselsol vermieden werden. Hierdurch nimmt aber die sedimentationsneigung sehr stark zu. Entsprechend hoch wird der Aufwand, um diese Injektionsmassen nach längerer Standzeit wieder aufzuarbeiten.

Eine allgemeine Anwendungsempfehlung für eine bestimmte Injektionsmasse kann nicht gegeben werden. Dazu ändern sich die Bedingungen am Objekt zu sehr. Je nach Spaltbreite wird man eher eine niedrigerviskose oder eine höherviskose Masse bevorzugen. Es ist auch durchaus damit zu rechnen, daß bei sehr geringen Spaltweiten weitere Modifizierungen in Richtung einer weiteren Erhöhung des Fließ- und Penetrationsvermögens notwendig sind. Hingegen muß die Eignung von Injektionsmörtel 9H aufgrund des sehr geringen ‚Naßfestigkeit' in Zweifel gezogen werden. Ebenso ist Skepsis gegenüber einer Anwendung der Injektionsmassen Syton 2H und 9H aufgrund der sehr geringen Haftzugfestigkeiten angebracht, es sei denn, eine Nachfestigung der injizierten Bereiche ist ohnehin geplant.

Die Injektionsmasse auf der Basis von Funcosil KSE 500 STE weist in allen untersuchten Parametern gute bis hervorragende Eigenschaften auf. Negativ ist einzig zu bewerten, daß sich der Bruch z.T. im keramischen Träger vollzieht. Es käme eine Modifizierung durch eine Verminderung des Wirkstoffgehalts in Betracht.

HGZ-Mörtel vermögen weniger zu überzeugen. Auch bei der stark abgemagerten Rezeptur HGZ 10 (Verhältnis Bindemittel zu Füllstoff 1:4 statt 1:1) liegt ganz überwiegend ein Trennbruch im keramischen Trägermaterial vor. Die Haftzugfestigkeitswerte sind daher als wesentlich zu hoch einzuschätzen. Hinzu kommen Verarbeitungsnachteile. Es sei an die sehr kurze Verarbeitungszeit von maximal 20-30 Minuten erinnert und an den Umstand, daß aufgrund des Polyurethananteils konsequent mit Handschuhen gearbeitet werden muß. Noch gravierender ist das überaus starke Sedimentieren des Zuschlags, das zu ständigem Aufrühren des Mörtels zwingt.

Die Injektionsmasse auf der Basis der Nanokompositdispersion weist fast ideale Eigenschaften auf: Sehr schnelle Penetration, hervorragende Kanülengängigkeit auch bei 0,6 mm Durchmesser, kein Sedimentieren. Nachteilig ist aber auch hier das zu hohe Festigkeitsniveau (Bruchbild c), sowie die Unbeständigkeit der Eigenschaften bei längerer Standzeit. Es erscheint lohnend, hier in weiteren Versuchen eine Absenkung der Trockenfestigkeit zu erzielen, etwa durch eine Verringerung des Bindemittelanteils, die Naßfestigkeit durch Zugabe eines Vernetzers zu erhöhen und eine längerfristige Stabilisierung der Masseeigenschaften zu erreichen. Voraussetzung für solche Versuche ist eine freiere Verfügbarkeit des Bindemittels.[225]

Schließlich bleibt zu bemerken, daß für eine abschließende beurteilung der Injektionsmassen noch wichtige Kennwerte fehlen. Hinsichtlich der Porenraumbezogene Kennwerte ist aber zu vermuten, daß aufgrund des hohen Flüssigkeits- und Füllstoffanteiles und des relativ geringen Bindemittelgehaltes der untersuchten Injektionsmörtel die erhärteten Injektionsmassen eine poröse, kapillargängige Struktur aufweisen. Für die HGZ-Injektionsmörtel liegen einschlägige Meßwerte vor.[226] Die entsprechenden Kennwerte liegen im Bereich von Kalkmörteln und sind daher für Terrakotta in jedem Fall unproblematisch. Bei keiner der rezeptierten Injektionsmassen ist daher zu befürchten, daß sie im Schichtengefüge der Terrakotten abdichtende Schichten bilden.
Auch für die Parameter dynamischer E-Modul, Erhärtungsschwinden, hygrische und thermische Dehnung und dynamischer E-Modul liegen keine Meßwerte vor. Das Erhärtungsschwinden konnte aber anhand der kreisförmigen Mörtelproben in der Rezeptierungsphase abgeschätzt werden und ging in die Rezepturentwicklung ein. Bei dieser Eigenschaft handelt es sich ohnehin nicht um einen unverzichtbaren Kennwert. Schwerer wiegt, daß Kennwerte für das elastische Verhalten fehlen. Bei überhöhtem E-Modul der Injektionsmassen können Schäden an den Terrakotten und eine nur kurze Dauer des Konservierungserfolgs

[225] Nach frdl. mdl. Mtlg. von Herrn Dr. Harm Wiese wird diese Dispersion, die ohnehin nur ein Versuchsprodukt ist, nicht mehr hergestellt.
[226] Böttger, Karl Georg (1997): Mörtel für die Erhaltung historischer Kalkputze. Haftmörtel, Hinterfüllmörtel und Kalkputze. Dissertation an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar, S. 226, Tabelle A 36

nicht ausgeschlossen werden. Gleiches gilt auch für die Kennwerte der Dilatation. Es erscheint daher notwendig, entsprechende Messungen noch vorzunehmen und hierzu einen neuen Anlauf zu Lösung der präparatorischen Probleme bei der Probenherstellung zu nehmen.

9.6 Festigungsmittel

Die Voruntersuchungen von Epoxidharzenlösungen dienten vor allem der Klärung der Reaktionsdynamik in Abhängigkeit von der verwendeten Lösemittelmischung. Es zeigte sich, daß die ausgewählte Lösemittelkombination aus Xylol und Ethanol für das Dianharz und die Kombination von Dianharz mit Reaktivverdünner geeignet sind, da eine Niederschlagsbildung in einem angemessenen Zeitraum erfolgte, je nach Epoxidharz, Lösungskonzentration und Härter nach 6 bis 23 Stunden. Dagegen zeigen die cycloaliphatischen Harze eine deutlich langsamer Reaktion. Aufgrund der Angaben in den technischen Merkblättern ist aber zumindest für das italienische Produkt 150/9 ohnehin mit einer relativ langsamen Reaktion zu rechnen. Es erscheint daher fraglich, ob eine andere Lösemittelkombinationen zu einer schnelleren Erhärtung führen könnte. Möglichkeiten der Reaktionsbeschleunigung bestünden evtl. durch Zugabe von Benzylalkohol.
Bei Lösung des Dianharzes in der Lösemittelmischung Aceton/Toluol waren keinerlei Anzeichen einer Aushärtungsreaktion zu erkennen.

Bei allen Epoxidharzlösungen war ein deutlich Abhängigkeit des erzielten Festigkeitszuwachse von der tränkungsrichtung gegeben, wobei bei Tränkung über die Glasurseite höhere Haftzugfestigkeiten erzielt wurden. Auch bei der Paraloidlösung waren solche Effekte zu erkennen. Dies ließe sich durch eine Phasentrennung der Lösung im Laufe des Tränkungsvorgangs erklären.
Mit allen Lösungen konnte eine Festigkeitssteigerung erzielt werden, die freilich von sehr unterschiedlicher Höhe war. Für die Epoxidharzlösungen beträgt die Steigerungen der Haftzugfestigkeit (Tränkungsseite Glasur) zwischen ca. 70 und 250 %, wobei die festigkeitssteigernde Wirkung der 5 %-igen Lösung den niedrigsten Wert bildet und die 20 %-ige Lösung die höchste Festigkeitssteigerung bewirkt. Die 10-%-igen Lösungen cycloaliphatischer Harze weisen eine höhere Wirksamkeit auf als die Mischungen aus Dianharz und Reaktivverdünner. Bemerkenswert ist auch, daß eine schlechtere Festigungswirkung bei Verwendung der Lösemittelmischung Aceton/Toluol nicht zu beobachten war.
Der auf 15 % Gelabscheidungsrate verdünnte elastifizierte Kieselsäureester ist in seiner Wirksamkeit auf gleicher Höhe wie einige 10 %-ige Epoxidharzlösungen.
Demnach sind alle Lösungen geeignet, die Anhaftung der Glasur an der Engobe zu erhöhen. Eine tränkung von der scherbenseite aus ist für die Kunstharzlösungen abzulehnen.

Selbstverständlich ist eine abschließende Eignungsbeurteilung allein auf der Grundlage der Haftzugfestigkeitsmessungen nicht möglich. Hierfür unverzichtbar sind weitere Untersuchungen zur Veränderung der porenraumbezogenen Eigenschaften, zur thermischen und hygrischen Dilatation und zur Veränderung des Elastizitätsmoduls. Auch die Vermutung, daß die Epoxidharzlösungen während der Tränkung chromatographischen Effekten unterliegen, sollte durch weitere Untersuchungen verifiziert werden. Entsprechende Messungen waren (zum Teil) geplant, konnten aber aus zeitlichen Gründen nicht mehr durchgeführt und ausgewertet werden.

10. Literaturverzeichnis

Agnini, Elena; Erb, Yvonne	1995	Die Konservierung zweier Terrakottareliefs, in: Arbeitsgemeinschaft der Restauratoren und Römisch-Germanisches Zentralmuseum Mainz (Hg.), Arbeitsblätter für Restauratoren, Heft 1, S. 83-87
Boos, Markus; Grobe, Joseph; Hilbert, Georg; Wendler, Eberhard	1999	Möglichkeiten und Grenzen der Steinfestigung im Kieselsäureester-System. Einsatzmöglichkeiten elastifizierter Kieselsäureestertypen, in: Wittmann, Folker H., Gerdes, Andreas (Hg.): Material Science and Restoration V. Werkstoffeigenschaften und Bauinstandsetzen V, Band 2, S. 1305-1313
Boos, Markus; Sattler, Ludwig	2001	Vergleichende Untersuchung zur Wirkung unterschiedlicher Steinfestiger auf Basis Kieselsäureester, in: Grobe, Joseph(Hg.): Natursteinkonservierung - Grundlagen, Entwicklungen und Anwendungen, S. 33-42
Böttger, Karl Georg	1997	Mörtel für die Erhaltung historischer Kalkputze. Haftmörtel, Hinterfüllmörtel und Kalkputze. Dissertation an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar
Bradley, Susan M.; Shashoua, Yvonne; Walker, Wendy; Pilz, Monika	1999	A novel inorganic polymer for the conservation of ceramic objects, in: ICOM Committee for conservation (Hg.): 12th Triennal Meeting Lyon 29 August-3 September 1999. Preprints Volume II, S. 770-776
Buys, Susan; Oakley, Victoria	1993	The Conservation and Restoration of Ceramics
Cavaletti, R.; Lazzarini, L.; Marchesini, L.; Marinelli, G.	1985	A new type of epoxy resin for the structural consolidation of badly decayed stones, in: Felix, G., Furlan, V. (Hg.): 5th International Congress on deterioration and conservation of stone, Lausanne 1985, S. 769-778
Ciabach, Jerzy	1998	Zywice i tworzywa sztuczne stosowane w konserwacji zabytków [Kunstharze und Kunststoffe in der Konservierung]
D'ham, Gerhard	2003	Terrakotten der Renaissance an Lüneburger Hausfassaden. Bestandsuntersuchung nach kunstwissenschaftlichen und restauratorischen Kriterien. Unveröffentlichte Facharbeit am Institut für Restaurierung der FH Hildesheim/Holzminden/Göttingen
D'ham, Gerhard	2003	Methoden der Kennwertermittlung im Tiefenprofil zur Planung und Überprüfung von Konservierungsmaßnahmen. Untersuchung ausgewählter Meßverfahren am Beispiel des Rhätsiltsteines vom Kreuzgang der St. Michaeliskirche in Hildesheim. Unveröffentlichte Facharbeit im Fachbereich Restaurierung der FH Hildesheim/Holzminden/Göttingen
D'ham, Gerhard; Lemnitz, Henriette; Piepo, Larissa	2001	Bericht zur restauratorischen Untersuchung und Kartierung der ausgebauten, polychrom glasierten Terrakottamedaillons Lünerstr. 3 in Lüneburg (unveröffentlicht)
Domaslowski, Wieslaw	1966	Badania nad strukturalnym wzmacnianiem kamieni roztworami zywic epoksydowych [Untersuchungen zur strukturellen Festigung von Stein mit Epoxidharzlösungen], in: Bibliotheka Muzealnictwa i Ochrony Zabytków, Band 15
Domaslowski, Wieslaw	1969	Consolidation of Stone Objects with Epoxy Resins, in: Monumentum. Internatinal Council of Monuments and Sites, Vol. IV, S. 51-64
Domaslowski, Wieslaw	1989	Swiatlotrwalosc kamieni wzmocnionych zywicami epoksydowymi [Lichtbeständigkeit von epoxidharzgefestigtem Stein], in: Acta Universitas Nicolai Copernici, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo, Band XIV, S. 3-21
Domaslowski, Wieslaw; Kesy-Lewandowska, Maria; Lisek, K.	1987	Badania swiatlotrwalosci zywic epoksydowych [Untersuchungen zur Lichbeständigkeit von Epoxidharzen], in: Acta Universitas Nicolai Copernici, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo, Band XII, S. 89-106
Domaslowski, Wieslaw; Kesy-Lewandowska, Maria; Lukaszewicz, Jadwiga W.	1998	Badania nad konserwacja murów ceglanych [Untersuchungen zur Konservierung von Ziegelmauerwerk]
Domaslowski, Wieslaw; Sobkowiak, Dorota	1991	Evaluation of properties of stones consolidated with light-resistant cycloaliphatic epoxy resin (Eurostac EP 2101). Ocena wlasciwosci kamieni wzmocnionych swiatlotrwala, cykloalifatyczna zywica epoksydowa Eurostac EP 2101, in: Acta Universitas Nicolai Copernici, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo, Band XVIII, S. 67-81
Domaslowski, Wieslaw; Strzelczyk, Alicia	1986	Evaluation of Applicability of Epoxy Resins to Conservation of Stone Historic Monuments, in: Case Studies in the Conservation of Stone and Wall Paintings, Bologna 1986, S. 126-132
Ettl, Hans; Sattler, Ludwig; Schuh, Horst	1999	Konservierung von Sandsteinen mit Kieselgel-gebundenen Steinersatzstoffen, in: Boué, Andreas (Hg.): Steinergänzung. Mörtel für die Steinrestaurierung, S. 89-106
Falbe, Jürgen; Regitz, Manfred (Hg.)		Roempp Lexikon Chemie, Version 2.0
Franke, Lutz; Schumann, I.	1998	Quantitative Betrachtung der Sulfatdeposition bei Sichtmauerwerksbauten, in: Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen, 4. Jg., S. 337-356
Glende, David Christopher	2002	Wässrige Primer auf porösen Substraten. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Fachbereich Bauchemie der FH Hildesheim/Holzminden/Göttingen

Hamer, Frank; Hamer, Janet	1990	Lexikon der Keramik und Töperei. Material, Technik, Geschichte. Übers. u. Bearb. d. dt. Ausg. v. B. Pfannkuche
Heßland, A.	1991	Epoxidharze und ihre Eignung für den Bautenschutz. Dissertation an der RWTH Aachen
Heuschkel, H.; Muche, K.	1974	ABC Keramik
Hoffmann, Nils	2000	Modifizierte Epoxidharze für die Anwendung in der Natursteinrestaurierung. Dissertation aus dem Wollforschungsinstitut an der RWTH-Aachen
Hoffmann, Nils; Höcker, Hartwig	1998	Molekulare Änderungen und ihre makroskopischen Folgen. Die Entwicklung eines Steinschutzstoffes auf Epoxidharzbasis, in: Snethlage, Rolf (Hg.): Jahresberichte aus dem Forschungsprogramm Steinzerfall – Steinkonservierung Band 6, 1994-1996, S. 45-53
Horie, C.V.	1987	Materials for conservation. Organic consolidants, adhesives and coatings
Jahn, Hans	1969	Epoxidharze
Kiss, Anja	2002	Acrylatgebundene Steininjektionsstoffe für Travertin am Beispiel der Marienkirche in Mühlhausen. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der FH Potsdam
Knöfel, D.; Schubert, P. (Hg.)	1993	Handbuch Mörtel und Steinergänzungsstoffe in der Denkmalpflege
Knöfel, Dietbert; Winnefeld, Frank	1997	Mörtel - Putze - Betone, in: Berufsbildungswerk des Steinmetz- und Steinbildhauerhandwerks (Hg.): Naturwerkstein und Umweltschutz in der Denkmalpflege, S. 381-431
Leach, Bernard	1971	Das Töpferbuch
Lehmkuhl, Thomas	1990	Injektionsfähige Hinterfüllmassen auf der Basis kolloidaler Kieselsäuredispersion zur Fixierung dünner Schuppen und Schalen an Objekten aus Baumberger Kalksandstein. Unveröffentl. Diplomarbeit an der FH Köln, Fachbereich Restaurierung und Konservierung von Kunst- und Kulturgut
Lemnitz, Henriette	2002	Ergänzungs- und Injektionsstoffe für engobierte und glasierte Terrakotta. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der FH Potsdam
Lenz, Horst; Recker, Bernhard; Rösch, Heinrich	1989	Der Keramikfries am Alten Rathaus in Hannover. Erhaltungsprobleme glasierter Tonziegel, in: Möller, Hans-Herbert (Hg.): Restaurierung von Kulturdenkmalen. Beispiele aus der Niedersächsischen Denkmalpflege, S. 128-135
Littmann, Klaus; Riecken, Bärbel; Sasse, H.R.	1998	Steinschutzstoffe nach dem Aachener Konzept, in: Snethlage, Rolf (Hg.): Denkmalpflege und Naturwissenschaft. Natursteinkonservierung II, S. 207-226
Lukaszewicz, Jadwiga W.	1996	The Influence of Pre-Consolidation with Ethyl Silicate on Soluble Salts Removal, in: Riederer, Josef (Hg.): Proceedings of the 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Berlin, 30. Sept. - 4. Oct. 1996, S. 1203-1208
Marschner, Hannelore	1980	Prüfung von Steinimprägnierungen mit neuentwickelten Epoxidharzen, in: Sitzung des Arbeitskreises "Naturwissenschaftliche Forschung an Kunstgütern aus Stein" am 6. und 7. März 1980, S. 94-101
Maryniak-Piaszczynska, Eva	1999	Możliwości zastosowania dyspergowanego wapna hydratyzowanego w konserwacji cegły na przykładzie romańskiej fasady kościola św. Margarety w Linnich-Kofferen (Niemcy). [Möglichkeiten der Verwendung von dispergiertem Weißkalkhydrat in der Ziegelkonservierung am Beispiel der romanischen Fassade der Kirche St. Margarta in Linnich-Kofferen (Deutschland)], in: Soldenhoff, Bozena (Hg.): Konserwcja Murów Ceglanych - Badania i Praktyka. Referaty na Ogólnopolską Konferencję w dniach 19-20.11.1999 w Toruniu [Konservierung von Ziegelmauerwerk – Forschung und Praxis. Beiträge der gesamtpolnischen Konferenz vom 19-20.11.1999 in Torun], S. 101-128
Maryniak-Piaszczynska, Eva	2000	Injektionsmassen auf der Basis von dispergiertem Kalkhydrat. Einfluß des Dispergierens auf die physiko-mechanischen Eigenschaften ausgewählter Massen, in: Jägers, Elisabeth (Hg.): Dispergiertes Weisskalkhydrat für die Restaurierung und Denkmalpflege. Altes Bindemittel - Neue Möglichkeiten, S. 35-52
Matthes, Wolf, E.	1985	Keramische Glasuren. Grundlagen, Eigenschaften, Rezepte, Anwendungen
Mikos, Elisabeth	1999	Ein neues Entwurfsverfahren für Steinergänzungsmörtel (SEM), in: Boué, Andreas (Hg.): Steinergänzung. Mörtel für die Steinrestaurierung, S. 30-39
Möller, R.	1979	Steinschäden und Konservierungsmethoden in der DDR, in: Österreichische Sektion des IIC, Redaktion Manfred Koller und Rainer Prandtstetten (Hg.): Steinkonservierung und Steinrestaurierung. Restauratorenblätter Band 3, S. 147-161
Neumann, Hans-Hermann	1994	Aufbau, Ausbildung und Verbreitung schwarzer Gipskrusten, dünner schwarzer Schichten und Schalen sowie damit zusammenhängende Gefügeschäden an Bauwerken aus Naturstein. Dissertation am Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg
Niklas, Bettina	2000	Problematik der Schalenhinterfüllung am Rosenheimer Kalkstein, einem ostbayerischen Lithothamnienkalk. Unveröffentlichte Diplomarbeit im Studiengang Restaurierung der FH Potsdam
Oberbach, Karl; unter Mitwirkung von Meyer, B.	1995	Saechtling Kunststoff-Taschenbuch. 26. Ausgabe
Pietsch, Annik	o. J.	Lösemittel. Ein Leitfaden für die restauratorische Praxis

Radujkovic, Sonja	2000	Erhaltung farbiger Glasuren auf Terrakotta. Herstellung und künstliche Bewitterung von Modellpräparaten und Versuche zur Konservierung. Unveröffentlichte Diplomarbeit im Studiengang Restaurierung der FH Potsdam
Recker, Bernhard	1990	Restaurierung eines Fayence-Ofens, in: Arbeitsgemeinschaft der Restauratoren und Römisch-Germanisches Zentralmuseum Mainz (Hg.): Arbeitsblätter für Restauratoren, Heft 2, S. 76-82
Reul, Horst	1991	Handbuch Bauchemie. Einführung in die Grundlagen - Rohstoffe, Rezepturen
Sabatzki, Christoph	2001	Konservierung von Granit. Vergleichende Untersuchungen ausgewählter Bindemittelsysteme zur Konsolidierung von Schalen und Lockerzonen. Unveröffentlichte Diplomarbeit im Studiengang Restaurierung der FH Potsdam
Salmang, H.	1954	Die physikalischen und chemischen Grundlagen der Keramik
Salmang, Hermann; Scholze, Horst	1983	Keramik. Teil 2: Keramische Werkstoffe
Sander-Cornwell, Eva	1995	Tränkung poröser Keramik, in: Arbeitsgemeinschaft der Restauratoren und Römisch-Germanisches Zentralmuseum Mainz (Hg.), Arbeitsblätter für Restauratoren, Heft 2, S. 94-97
Schindler, Claudia	2003	Untersuchung ausgewählter Materialien zur Festigung von Tuffstein an Bauwerken in Guadalajara. Unveröffentl. Diplomarbeit am Institut für Restaurierung der FH Hildesheim/Holzminden/Göttingen
Schlütter, Frank	2000	Gips im Schadensbild historischer Bauterrakotta. Kurzfassung eines Vortrags auf der Fachtagung "Gips" der Fachgruppe Wand/Stein im AdR, Iphofen, 5.-6.10.2000
Schmidt-Thomsen, Kurt	1979	Steinzerstörung, Luftverschmutzung und Konservierungsmethoden in Nordrhein-Westfalen, in: Österreichische Sektion des IIC, Redaktion Manfred Koller und Rainer Prandtstetten (Hg.): Restauratorenblätter, Band 3, S. 139-146
Schneider, G. (Redaktion)	1989	Naturwissenschaftliche Kriterien und Verfahren zur Beschreibung von Keramik, in: Acta Praehistorica et Archaeologica, Band 21
Schwarz, Hans-Jürgen	2002	Untersuchungen am Bürgerhaus in der Lüner Str. 3 in Lüneburg zur Erhaltung der glasierten Baukeramik und Terrakotta-Medaillons; unveröffentlichter Untersuchungsbericht, Stand August 2002
Selwitz, Charles	1992	Epoxy Resins in Stone Conservation
Skibinski, S.; Kwiatkowski, D.	1991	Usuwanie nawarstwień gipsowych z kamieni metodą elektrodialzy membranowej [Entfernung von Gipsauflagerungen auf Stein mittels Membranelektrodialyse], in: Acta Universitas Nicolai Copernici, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo, Band XVIII, S. 105-120
Skibinski, Slawomir	1989	Odsalanie Kamiennych Obiektów Zabytkowych (Metoda Elektrodialzy Membranowej). The desalination of stone historic objects (by means of membrane electrodialysis), in: Bibliotheka Muzealnictwa i Ochrony Zabytków, Seria B, Band 84
Skudelny, D.	1986	Füllstoffe für Reaktionsharzbeton, in: Reidt, Werner, u.a (Hg.): Methacrylat-Reaktionsharze, S. 19-45
Snethlage, Rolf; Wendler, Eberhard; Klemm, D.D	1995	Tenside im Gesteinsschutz - bisherige Resultate mit einem neuen Konzept zur Erhaltung von Denkmälern aus Naturstein, in: Snethlage, Rolf (Hg.): Denkmalpflege und Naturwissenschaft. Natursteinkonservierung I, S. 127-146
Soldenhoff, Bozena	1993	Usuwanie substancji incrustajacych warstwy korozyjne w szklach archeologicznych [Entfernung von Substanzen, die die Korrosionsschichten archäologischer Gläser inkrustieren], in: Strzelczyk, Alicia, Skibinski, Slawomir (Hg.): Naukowe podstawy ochrony i konserwacji dziel sztuki oraz zabytków kultury materialnej [Wissenschaftliche Grundlagen zu Schutz und Konservierung von Kunstwerken und historischem Kulturgut], S. 234-246
Stefanov, Stefan; Batschwarow, Svetlan	1988	Keramik Glasuren - Ceramic Glazes. Chemie, Technologie und Anwendung mit 1400 Rezepten
Steinhäußer, Ute	2000	Charakterisierung von Schadensmechanismen und Passivierungsreaktionen an vergipsten Kalksteinoberflächen am Beispiel des Halberstädter Doms. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Fachhochschule Koblenz, Fachbereich Werkstofftechnik Glas/Keramik
Strotmann, Rochus	2000	Das neue alte Bindemittel Dispergiertes Weißkalkhydrat. Entwicklung, Herstellung, Mechanismen, in: Jägers, Elisabeth (Hg.): Dispergiertes Weisskalkhydrat für die Restaurierung und Denkmalpflege. Altes Bindemittel - Neue Möglichkeiten, S. 25-34
Thiele-Wittig, Inga	2003	Möglichkeiten der Ergänzung von Glasuren auf Außenkeramik, Glasurersatz im Kaltverfahren. Unveröffentl. Facharbeit zum Diplom an der FH Hildesheim
Troll, Carola	1998	Untersuchungen zu Schadensphänomenen an Emails und Glasuren. Dissertation an der Jul.-Max.-Univ. Würzburg
Weiß, Gustav	1991	Keramik Lexikon. Praktisches Wissen griffbereit
Weiß, Gustav	1985	Alte Keramik neu entdeckt. Mit Anleitungen für die schönsten Techniken
Wendler, Eberhard	1999	Kieselgelgebundene Steinergänzungsmörtel, in: Boué, Andreas (Hg.): Steinergänzung. Mörtel für die Steinrestaurierung, S. 107-110

Wendler, Eberhard; Rückert-Thümling, Renate	1993	Gefügezerstörendes Verformungsverhalten bei salzbefrachteten Sandsteinen unter hygrischer Wechselbelastung, in: WTA Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hg.): Werkstoffwissenschaft und Bausanierung. Tagungsbericht des 3. Internationalen Kolloquiums in der Technischen Akademie Esslingen, 15.-17.12.1992, S. 1818-1830
Westenberger, Marco	1999	Schilf- und Lettenkohlensandstein: Kennwerte, Schadensmechanismen, Konservierungsmöglichkeiten. Diplomarbeit im Fachbereich Bauingenieurwesen der Fachhochschule Erfurth
Wihr, Rolf	1977	Restaurieren von Keramik und Glas. Entwicklung - Erhaltung – Nachbildung
Winnefeld, Frank	1999	Mauer- und Putzmörtel zur Restaurierung historischer Ziegelbauwerke. Dissertation an der Universität Siegen

DIN-Normen

DIN EN 197-1	02/2001	Zement. Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzementen
DIN EN 1097-3	(6/1998)	Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen. Teil 3: Bestimmung von Schüttdichte und Hohlraumgehalt
DIN 878	(10/1983)	Meßuhren
DIN 53 278, Teil 2	(12/1978)	Prüfung des Schälwiderstandes von Klebungen. Reaktionsklebstoffe für Elastomerbeläge nach DIN 16 852
DIN 18555, Teil 6	(11/1987)	Prüfung von Mörteln mit mineralischem Bindemittel. Bestimmung der Haftzugfestigkeit
DIN 52 111	(3/1990)	Prüfung von Naturstein und Natursteinkörnungen. Kristallisationsversuch mit Natriumsulfat

Anhang 1 Berechnungen zum Glasurversatz und den Wärmeausdehnungs-koeffizienten der Glasuren

A 1.1 Glasurversatz der blauen Glasuren B 1 bis B 5, berechnet aus der Segerformel..... 2

A 1.2 Glasurversatz der grünen Glasuren G 1 bis G 5, berechnet aus der Segerformel..... 4

A 1.3 Berechnung des linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten nach Appen für die blauen Glasuren B 1 bis B 5 6

A 1.4 Berechnung des linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten nach Appen für die grünen Glasuren B 1 bis B 5 7

A 1.5 Berechnung des Glasurversatzes und des linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten für die blauen Glasuren B 5a bis B 5d..... 8

A 1.6 Berechnung des Glasurversatzes und des linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten für die grünen Glasuren G 3a und G 5a..... 10

Erläuterungen zur Berechnung des linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten nach Appen: [1]

Je nach Glasurzusammensetzung werden die Partialgrößen α_i des Gesamtwärmeausdehnungskoeffizienten α für einzelne Oxide unterschiedlich berechnet. Dies betrifft Siliziumdioxid und Bleioxid. Für diese beiden Oxide gelten die folgenden Rechenvorschriften:

- $\alpha_{SiO2} \cdot 10^7 = 38 – (\text{Mol-\% } SiO_2 – 67)$

- Enthält eine Glasur des Typs $Me_2O – PbO – SiO_2$ weniger als 3 Mol-% Alkalioxide oder hat die Glasur eine kompliziertere Zusammensetzung des Typs $Me_2O – MeO – Me_mO_n$ - $PbO – SiO_2$ und ist dabei die Summe der Mol-% von $MeO + Me_mO_n > 1/3\ Me_2O$, so beträgt die Partialgröße des Wärmeausdehnungs-koeffizienten für Bleioxid
  $\alpha_{PbO} \cdot 10^7 = 130 \cdot 10^7$
  In allen anderen Fällen gilt die Formel
  $\alpha_{PbO} \cdot 10^7 = 130 + 5 \cdot (\text{Mol-\% der Oxide des Typs } Me_2O - 3)$

  Da für sämtliche Glasurrezepturen die erste oder die zweite Bedingung zutrafen, wurde für die Berechnung des Partialausdehnungskoeffizienten von PbO stets der Faktor $13 \cdot 10^{-8}$ verwendet.

[1] Stefanov, Stefan; Batschwarow, Svetlan (1988): Keramik Glasuren - Ceramic Glazes. Chemie, Technologie und Anwendung mit 1400 Rezepten, S. 42 f.

A 1.1 Glasurversatz der blauen Glasuren B 1 bis B 5, berechnet aus der Segerformel

blaue Glasur (B1) (1 : 0,14 : 1,2)	Chemische Formel	Molekulargew. [g/mol]	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	keramisch wirksame Oxidformel	Glasurversatz [g]	Glasurversatz [M%]
Summe Segerformel			0,800	0,069	0,052	0,041	0,036	0,020	0,121	0,040	1,160		287,77	100,00
Blei-Silicat-Fritte	$PbO \cdot SiO_2$	283,3	0,434								0,434	$PbO \cdot SiO_2$	122,95	42,73
Mennige	Pb_3O_4	685,6	0,366									3 PbO	83,64	29,07
Natronfeldspat	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	524,6		0,069					0,069		0,414	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	36,20	12,58
Kalifeldspat	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556,8			0,052				0,052		0,312	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	28,95	10,06
Kobalt(II)oxid	CoO	74,9					0,036					CoO	2,70	0,94
Kreide	$CaCO_3$	100,1				0,041						CaO	4,10	1,43
Eisen(III)oxid	Fe_2O_3	159,6						0,020				Fe_2O_3	3,19	1,11
Kaolin	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	258,2										$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	0,00	0,00
Zinnoxid	SnO_2	150,7								0,040		SnO_2	6,03	2,09
Quarzmehl	SiO_2	60,1										SiO_2	0,00	0,00

blaue Glasur (B2) (1 : 0,3 : 1,5)	Chemische Formel	Molekulargew. [g/mol]	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	keramisch wirksame Oxidformel	Glasurversatz [g]	Glasurversatz [M%]
Summe Segerformel			0,650	0,121	0,092	0,072	0,062	0,036	0,264	0,069	1,431		307,21	100,00
Blei-Silicat-Fritte	$PbO \cdot SiO_2$	283,3	0,051								0,051	$PbO \cdot SiO_2$	14,45	4,70
Mennige	Pb_3O_4	685,6	0,599									3 PbO	136,89	44,56
Natronfeldspat	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	524,6		0,121					0,121		0,726	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	63,48	20,66
Kalifeldspat	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556,8			0,092				0,092		0,552	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	51,23	16,67
Kobalt(II)oxid	CoO	74,9					0,062					CoO	4,64	1,51
Kreide	$CaCO_3$	100,1				0,072						CaO	7,21	2,35
Eisen(III)oxid	Fe_2O_3	159,6						0,036				Fe_2O_3	5,75	1,87
Kaolin	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	258,2							0,051		0,102	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	13,17	4,29
Zinnoxid	SnO_2	150,7								0,069		SnO_2	10,40	3,38
Quarzmehl	SiO_2	60,1										SiO_2	0,00	0,00

blaue Glasur (B3) (1 : 0,25 : 2)	Chemische Formel	Molekulargew. [g/mol]	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	keramisch wirksame Oxidformel	Glasurversatz [g]	Glasurversatz [M%]
Summe Segerformel			0,800	0,069	0,052	0,041	0,036	0,026	0,174	0,040	1,960		342,17	100,00
Blei-Silicat-Fritte	$PbO \cdot SiO_2$	283,3	0,800								0,800	$PbO \cdot SiO_2$	226,64	66,24
Mennige	Pb_3O_4	685,6										3 PbO	0,00	0,00
Natronfeldspat	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	524,6		0,069					0,069		0,414	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	36,20	10,58
Kalifeldspat	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556,8			0,052				0,052		0,312	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	28,95	8,46
Kobalt(II)oxid	CoO	74,9					0,036					CoO	2,70	0,79
Kreide	$CaCO_3$	100,1				0,041						CaO	4,10	1,20
Eisen(III)oxid	Fe_2O_3	159,6						0,026				Fe_2O_3	4,15	1,21
Kaolin	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	258,2							0,053		0,106	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	13,68	4,00
Zinnoxid	SnO_2	150,7								0,040		SnO_2	6,03	1,76
Quarzmehl	SiO_2	60,1									0,328	SiO_2	19,71	5,76

A 1.1 Glasurversatz der blauen Glasuren B 1 bis B 5, berechnet aus der Segerformel

blaue Glasur (B4) (1 : 0,25 : 2)	Chemische Formel	Molekulargew. [g/mol]	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	keramisch wirksame Oxidformel	Glasurversatz [g]	Glasurversatz [M%]
Summe Segerformel			0,650	0,121	0,092	0,072	0,062	0,036	0,213	0,069	1,931		327,02	100,00
Blei-Silicat-Fritte	$PbO \cdot SiO_2$	283,3	0,650								0,650	$PbO \cdot SiO_2$	184,15	56,31
Mennige	Pb_3O_4	685,6										3 PbO	0,00	0,00
Natronfeldspat	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	524,6		0,121					0,121		0,726	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	63,48	19,41
Kalifeldspat	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556,8			0,092				0,092		0,552	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	51,23	15,66
Kobalt(II)oxid	CoO	74,9					0,062					CoO	4,64	1,42
Kreide	$CaCO_3$	100,1				0,072						CaO	7,21	2,20
Eisen(III)oxid	Fe_2O_3	159,6						0,036				Fe_2O_3	5,75	1,76
Kaolin	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	258,2										$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	0,00	0,00
Zinnoxid	SnO_2	150,7								0,069		SnO_2	10,40	3,18
Quarzmehl	SiO_2	60,1									0,003	SiO_2	0,18	0,06

blaue Glasur (B5) (1 : 0,28 : 3,54)	Chemische Formel	Molekulargew. [g/mol]	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	keramisch wirksame Oxidformel	Glasurversatz [g]	Glasurversatz [M%]
Summe Segerformel			0,581	0,146	0,111	0,087	0,075	0,043	0,232	0,083	3,458		416,92	100,00
Blei-Silicat-Fritte	$PbO \cdot SiO_2$	283,3	0,581								0,581	$PbO \cdot SiO_2$	164,60	39,48
Mennige	Pb_3O_4	685,6										3 PbO	0,00	0,00
Natronfeldspat	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	524,6		0,146					0,121		0,876	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	76,59	18,37
Kalifeldspat	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556,8			0,111				0,111		0,666	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	61,80	14,82
Kobalt(II)oxid	CoO	74,9					0,075					CoO	5,62	1,35
Kreide	$CaCO_3$	100,1				0,087						CaO	8,71	2,09
Eisen(III)oxid	Fe_2O_3	159,6						0,043				Fe_2O_3	6,86	1,65
Kaolin	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	258,2										$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	0,00	0,00
Zinnoxid	SnO_2	150,7								0,083		SnO_2	12,51	3,00
Quarzmehl	SiO_2	60,1									1,335	SiO_2	80,23	19,24

A 1.2 Glasurversatz der grünen Glasuren G 1 bis G 5, berechnet aus der Segerformel

grüne Glasur (G1) (1 : 0,08 : 1,24)	Chemische Formel	Molekulargew. [g/mol]	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	keramisch wirksame Oxidformel	Glasurversatz [g]	Glasurversatz [M%]
Summe Segerformel			0,800	0,025	0,018	0,018	0,139	0,012	0,068	0,000	1,239		278,23	100,00
Blei-Silicat-Fritte	$PbO \cdot SiO_2$	283,3	0,800								0,800	$PbO \cdot SiO_2$	226,64	81,46
Mennige	Pb_3O_4	685,6										3 PbO	0,00	0,00
Natronfeldspat	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	524,6		0,025					0,025		0,150	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	13,12	4,71
Kalifeldspat	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556,8			0,018				0,018		0,108	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	10,02	3,60
Kupfer(II)oxid	CuO	74,9					0,139					CuO	10,41	3,74
Kreide	$CaCO_3$	100,1				0,018						CaO	1,80	0,65
Eisen(III)oxid	Fe_2O_3	159,6						0,012				Fe_2O_3	1,92	0,69
Kaolin	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	258,2							0,025		0,050	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	6,46	2,32
Zinnoxid	SnO_2	150,7										SnO_2	0,00	0,00
Quarzmehl	SiO_2	60,1									0,131	SiO_2	7,87	2,83

grüne Glasur (G2) (1 : 0,13 : 1,3)	Chemische Formel	Molekulargew. [g/mol]	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	keramisch wirksame Oxidformel	Glasurversatz [g]	Glasurversatz [M%]
Summe Segerformel			0,671	0,042	0,029	0,029	0,230	0,020	0,131	0,000	1,300		272,08	100,00
Blei-Silicat-Fritte	$PbO \cdot SiO_2$	283,3	0,671								0,671	$PbO \cdot SiO_2$	190,09	69,87
Mennige	Pb_3O_4	685,6										3 PbO	0,00	0,00
Natronfeldspat	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	524,6		0,042					0,042		0,252	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	22,03	8,10
Kalifeldspat	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556,8			0,029				0,029		0,174	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	16,15	5,93
Kupfer(II)oxid	CuO	74,9					0,230					CuO	17,23	6,33
Kreide	$CaCO_3$	100,1				0,029						CaO	2,90	1,07
Eisen(III)oxid	Fe_2O_3	159,6						0,020				Fe_2O_3	3,19	1,17
Kaolin	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	258,2							0,060		0,120	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	15,49	5,69
Zinnoxid	SnO_2	150,7										SnO_2	0,00	0,00
Quarzmehl	SiO_2	60,1									0,083	SiO_2	4,99	1,83

grüne Glasur (G3) (1 : 0,15 : 1,5)	Chemische Formel	Molekulargew. [g/mol]	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	keramisch wirksame Oxidformel	Glasurversatz [g]	Glasurversatz [M%]
Summe Segerformel			0,800	0,025	0,018	0,018	0,139	0,020	0,148	-	1,500		302,27	100,00
Blei-Silicat-Fritte	$PbO \cdot SiO_2$	283,3	0,800								0,800	$PbO \cdot SiO_2$	226,64	74,98
Mennige	Pb_3O_4	685,6										3 PbO	0,00	0,00
Natronfeldspat	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	524,6		0,025					0,025		0,150	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	13,12	4,34
Kalifeldspat	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556,8			0,018				0,018		0,174	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	10,02	3,32
Kupfer(II)oxid	CuO	74,9					0,139					CuO	10,41	3,44
Kreide	$CaCO_3$	100,1				0,018						CaO	1,80	0,60
Eisen(III)oxid	Fe_2O_3	159,6						0,020				Fe_2O_3	3,19	1,06
Kaolin	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	258,2							0,105		0,210	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	27,11	8,97
Zinnoxid	SnO_2	150,7										SnO_2	0,00	0,00
Quarzmehl	SiO_2	60,1									0,166	SiO_2	9,98	3,30

A 1.2 Glasurversatz der grünen Glasuren G 1 bis G 5, berechnet aus der Segerformel

grüne Glasur (G4) (1 : 0,15 : 1,5)	Chemische Formel	Molekulargew. [g/mol]	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	keramisch wirksame Oxidformel	Glasurversatz [g]	Glasurversatz [M%]
Summe Segerformel			0,671	0,042	0,029	0,029	0,230	0,020	0,131	0,000	1,500		284,10	100,00
Blei-Silicat-Fritte	$PbO \cdot SiO_2$	283,3	0,671								0,671	$PbO \cdot SiO_2$	190,09	66,91
Mennige	Pb_3O_4	685,6										3 PbO	0,00	0,00
Natronfeldspat	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	524,6		0,042					0,042		0,252	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	22,03	7,76
Kalifeldspat	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556,8			0,029				0,029		0,174	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	16,15	5,68
Kupfer(II)oxid	CuO	74,9					0,230					CuO	17,23	6,06
Kreide	$CaCO_3$	100,1				0,029						CaO	2,90	1,02
Eisen(III)oxid	Fe_2O_3	159,6						0,020				Fe_2O_3	3,19	1,12
Kaolin	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	258,2							0,060		0,120	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	15,49	5,45
Zinnoxid	SnO_2	150,7										SnO_2	0,00	0,00
Quarzmehl	SiO_2	60,1									0,283	SiO_2	17,01	5,99

grüne Glasur (G5) (1 : 0,15 : 2,05)	Chemische Formel	Molekulargew. [g/mol]	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	keramisch wirksame Oxidformel	Glasurversatz [g]	Glasurversatz [M%]
Summe Segerformel			0,671	0,042	0,029	0,029	0,230	0,020	0,131	0,000	2,045		316,85	100,00
Blei-Silicat-Fritte	$PbO \cdot SiO_2$	283,3	0,671								0,671	$PbO \cdot SiO_2$	190,09	59,99
Mennige	Pb_3O_4	685,6										3 PbO	0,00	0,00
Natronfeldspat	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	524,6		0,042					0,042		0,252	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	22,03	6,95
Kalifeldspat	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556,8			0,029				0,029		0,174	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	16,15	5,10
Kupfer(II)oxid	CuO	74,9					0,230					CuO	17,23	5,44
Kreide	$CaCO_3$	100,1				0,029						CaO	2,90	0,92
Eisen(III)oxid	Fe_2O_3	159,6						0,020				Fe_2O_3	3,19	1,01
Kaolin	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	258,2							0,060		0,120	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	15,49	4,89
Zinnoxid	SnO_2	150,7										SnO_2	0,00	0,00
Quarzmehl	SiO_2	60,1									0,828	SiO_2	49,76	15,71

A 1.3 Berechnung des linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten nach Appen für die blauen Glasuren B 1 bis B 5

blaue Glasur (B1) (1 : 0,14 : 1,2)	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	Summe	$RO + R_2O_3/R_2O$
molarer Anteil	0,800	0,069	0,052	0,041	0,036	0,020	0,121	0,040	1,160	2,339	8,4
Mol-Prozent	34,20	2,95	2,22	1,75	1,54	0,86	5,17	1,71	49,59	100,00	8,4
Faktor nach Appen [$\alpha_{20\text{-}400°C}$ in 10^{-8}/°C]	13,0	39,5	46,5	13,0	14,7	1,3	-3,0	-4,5	5,5		
WAK [10^{-8}/K]	444,6	116,5	103,4	22,8	22,6	1,1	-15,5	-7,7	274,8	962,6	
WAK [10^{-7}/K]	44,46	11,65	10,34	2,28	2,26	0,11	-1,55	-0,77	27,48	96,26	
WAK [10^{-6}/K]	4,446	1,165	1,034	0,228	0,226	0,011	-0,155	-0,077	2,748	9,626	
Prozentanteil an Gesamtausdehnung	46,2	12,1	10,7	2,4	2,4	0,1	-1,6	-0,8	28,5	100,0	

blaue Glasur (B2) (1 : 0,3 : 1,5)	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	Summe	$RO + R_2O_3/R_2O$
molarer Anteil	0,650	0,121	0,092	0,072	0,062	0,036	0,264	0,069	1,431	2,797	5,1
Mol-Prozent	23,24	4,33	3,29	2,57	2,22	1,29	9,44	2,47	51,16	100,00	5,1
Faktor nach Appen [$\alpha_{20\text{-}400°C}$ in 10^{-8}/°C]	13,0	39,5	46,5	13,0	14,7	1,3	-3,0	-4,5	5,4		
WAK [10^{-8}/K]	302,1	170,9	152,9	33,5	32,6	1,7	-28,3	-11,1	275,4	929,69	
WAK [10^{-7}/K]	30,21	17,09	15,29	3,35	3,26	0,17	-2,83	-1,11	27,54	92,97	
WAK [10^{-6}/K]	3,021	1,709	1,529	0,335	0,326	0,017	-0,283	-0,111	2,754	9,297	
Prozentanteil an Gesamtausdehnung	32,5	18,4	16,5	3,6	3,5	0,2	-3,0	-1,2	29,6	100,0	

blaue Glasur (B3) (1 : 0,25 : 2)	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	Summe	$RO + R_2O_3/R_2O$
molarer Anteil	0,800	0,069	0,052	0,041	0,036	0,026	0,174	0,040	1,960	3,198	8,9
Mol-Prozent	25,02	2,16	1,63	1,28	1,13	0,81	5,44	1,25	61,29	100,00	8,9
Faktor nach Appen [$\alpha_{20\text{-}400°C}$ in 10^{-8}/°C]	13,0	39,5	46,5	13,0	14,7	1,3	-3,0	-4,5	4,4		
WAK [10^{-8}/K]	325,2	85,2	75,6	16,7	16,5	1,1	-16,3	-5,6	267,9	766,3	
WAK [10^{-7}/K]	32,52	8,52	7,56	1,67	1,65	0,11	-1,63	-0,56	26,79	76,63	
WAK [10^{-6}/K]	3,252	0,852	0,756	0,167	0,165	0,011	-0,163	-0,056	2,679	7,663	
Prozentanteil an Gesamtausdehnung	42,4	11,1	9,9	2,2	2,2	0,1	-2,1	-0,7	35,0	100,0	

blaue Glasur (B4) (1 : 0,25 : 2)	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	Summe	$RO + R_2O_3/R_2O$
molarer Anteil	0,650	0,121	0,092	0,072	0,062	0,036	0,213	0,069	1,931	3,246	4,8
Mol-Prozent	20,02	3,73	2,83	2,22	1,91	1,11	6,56	2,13	59,49	100,00	4,8
Faktor nach Appen [$\alpha_{20\text{-}400°C}$ in 10^{-8}/°C]	13,0	39,5	46,5	13,0	14,7	1,3	-3,0	-4,5	4,6		
WAK [10^{-8}/K]	260,3	147,2	131,8	28,8	28,1	1,4	-19,7	-9,6	270,7	839,2	
WAK [10^{-7}/K]	26,03	14,72	13,18	2,88	2,81	0,14	-1,97	-0,96	27,07	83,92	
WAK [10^{-6}/K]	2,603	1,472	1,318	0,288	0,281	0,014	-0,197	-0,096	2,707	8,392	
Prozentanteil an Gesamtausdehnung	31,0	17,5	15,7	3,4	3,3	0,2	-2,3	-1,1	32,3	100,0	

blaue Glasur (B5) (1 : 0,28 : 3,54)	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	Summe	$RO + R_2O_3/R_2O$
molarer Anteil	0,581	0,146	0,111	0,087	0,075	0,043	0,232	0,083	3,458	4,816	4,0
Mol-Prozent	12,06	3,03	2,30	1,81	1,56	0,89	4,82	1,72	71,80	100,00	4,0
Faktor nach Appen [$\alpha_{20\text{-}400°C}$ in 10^{-8}/°C]	13,0	39,5	46,5	13,0	14,7	1,3	-3,0	-4,5	3,3		
WAK [10^{-8}/K]	156,8	119,7	107,2	23,5	22,9	1,2	-14,5	-7,8	238,4	647,4	
WAK [10^{-7}/K]	15,68	11,97	10,72	2,35	2,29	0,12	-1,45	-0,78	23,84	64,74	
WAK [10^{-6}/K]	1,568	1,197	1,072	0,235	0,229	0,012	-0,145	-0,078	2,384	6,474	
Prozentanteil an Gesamtausdehnung	24,2	18,5	16,6	3,6	3,5	0,2	-2,2	-1,2	36,8	100,0	

A 1.4 Berechnung des linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten nach Appen für die grünen Glasuren G 1 bis G 5

grüne Glasur (G1) (1 : 0,08 : 1,24)	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CuO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	Summe	RO + R_2O_3/R_2O
molarer Anteil	0,800	0,025	0,018	0,018	0,139	0,012	0,068	1,239	2,319	24,12
Mol-Prozent	34,50	1,08	0,78	0,78	5,99	0,52	2,93	53,43	100,00	24,12
Faktor nach Appen [$\alpha_{20\text{-}400°C}$ in 10^{-8}/°C]	13,0	39,5	46,5	13,0	14,7	1,3	-3,0	5,2		
WAK [10^{-8}/K]	448,5	42,6	36,1	10,1	88,1	0,7	-8,8	275,5	892,8	
WAK [10^{-7}/K]	44,85	4,26	3,61	1,01	8,81	0,07	-0,88	27,55	89,28	
WAK [10^{-6}/K]	4,485	0,426	0,361	0,101	0,881	0,007	-0,088	2,755	8,928	
Prozentanteil an Gesamtausdehnung	50,2	4,8	4,0	1,1	9,9	0,1	-1,0	30,9	100,0	

grüne Glasur (G2) (1 : 0,13 : 1,3)	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CuO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	Summe	RO + R_2O_3/R_2O
molarer Anteil	0,671	0,042	0,029	0,029	0,230	0,020	0,131	1,300	2,452	15,23
Mol-Prozent	27,37	1,71	1,18	1,18	9,38	0,82	5,34	53,02	100,00	15,23
Faktor nach Appen [$\alpha_{20\text{-}400°C}$ in 10^{-8}/°C]	13,0	39,5	46,5	13,0	14,7	1,3	-3,0	5,2		
WAK [10^{-8}/K]	355,8	67,7	55,0	15,4	137,9	1,1	-16,0	275,6	892,3	
WAK [10^{-7}/K]	35,58	6,77	5,50	1,54	13,79	0,11	-1,60	27,56	89,23	
WAK [10^{-6}/K]	3,558	0,677	0,550	0,154	1,379	0,011	-0,160	2,756	8,923	
Prozentanteil an Gesamtausdehnung	39,9	7,6	6,2	1,7	15,5	0,1	-1,8	30,9	100,0	

grüne Glasur (G3) (1 : 0,15 : 1,5)	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CuO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	Summe	RO + R_2O_3/R_2O
molarer Anteil	0,800	0,025	0,018	0,018	0,139	0,020	0,148	1,500	2,668	26,16
Mol-Prozent	29,99	0,94	0,67	0,67	5,21	0,75	5,55	56,22	100,00	26,16
Faktor nach Appen [$\alpha_{20\text{-}400°C}$ in 10^{-8}/°C]	13,0	39,5	42,0	13,0	14,7	1,3	-3,0	4,9		
WAK [10^{-8}/K]	389,8	37,0	28,3	8,8	76,6	1,0	-16,6	274,2	799,1	
WAK [10^{-7}/K]	38,98	3,70	2,83	0,88	7,66	0,10	-1,66	27,42	79,91	
WAK [10^{-6}/K]	3,898	0,370	0,283	0,088	0,766	0,010	-0,166	2,742	7,991	
Prozentanteil an Gesamtausdehnung	48,8	4,6	3,5	1,1	9,6	0,1	-2,1	34,3	100,0	

grüne Glasur (G4) (1 : 0,15 : 1,5)	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CuO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	Summe	RO + R_2O_3/R_2O
molarer Anteil	0,671	0,042	0,029	0,029	0,230	0,020	0,131	1,500	2,652	15,23
Mol-Prozent	25,30	1,58	1,09	1,09	8,67	0,75	4,94	56,56	100,00	15,23
Faktor nach Appen [$\alpha_{20\text{-}400°C}$ in 10^{-8}/°C]	13,0	39,5	46,5	13,0	14,7	1,3	-3,0	4,8		
WAK [10^{-8}/K]	328,9	62,6	50,8	14,2	127,5	1,0	-14,8	274,0	844,2	
WAK [10^{-7}/K]	32,89	6,26	5,08	1,42	12,75	0,10	-1,48	27,40	84,42	
WAK [10^{-6}/K]	3,289	0,626	0,508	0,142	1,275	0,010	-0,148	2,740	8,442	
Prozentanteil an Gesamtausdehnung	39,0	7,4	6,0	1,7	15,1	0,1	-1,8	32,5	100,0	

grüne Glasur (G5) (1 : 0,15 : 2,05)	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CuO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	Summe	RO + R_2O_3/R_2O
molarer Anteil	0,671	0,042	0,029	0,029	0,230	0,020	0,131	2,045	3,197	15,23
Mol-Prozent	20,99	1,31	0,91	0,91	7,19	0,63	4,10	63,97	100,00	15,23
Faktor nach Appen [$\alpha_{20\text{-}400°C}$ in 10^{-8}/°C]	13,0	39,5	46,5	13,0	14,7	1,3	-3,0	4,1		
WAK [10^{-8}/K]	272,8	51,9	42,2	11,8	105,8	0,8	-12,3	262,5	735,5	
WAK [10^{-7}/K]	27,28	5,19	4,22	1,18	10,58	0,08	-1,23	26,25	73,55	
WAK [10^{-6}/K]	2,728	0,519	0,422	0,118	1,058	0,008	-0,123	2,625	7,355	
Prozentanteil an Gesamtausdehnung	37,1	7,1	5,7	1,6	14,4	0,1	-1,7	35,7	100,0	

A 1.5 Berechnung des Glasurversatzes und des linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten für die blauen Glasuren B 5a bis B 5d

blaue Glasur (B5a) (1 : 0,26 : 3,54)	Chemische Formel	Molekulargew. [g/mol]	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	Glasurversatz [g]	Glasurversatz [M%]
Summe Segerformel			0,619	0,124	0,095	0,087	0,075	0,043	0,219	0,083	3,458	420,94	100,00
Blei-Silicat-Fritte	$PbO \cdot SiO_2$	283,3	0,619								0,581	175,36	41,66
Mennige	Pb_3O_4	685,6										0,00	0,00
Natronfeldspat	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	524,6		0,124					0,124		0,744	65,05	15,45
Kalifeldspat	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556,8			0,095				0,095		0,570	52,90	12,57
Kobalt(II)oxid	CoO	74,9					0,075					5,62	1,33
Kreide	$CaCO_3$	100,1				0,087						8,71	2,07
Eisen(III)oxid	Fe_2O_3	159,6						0,043				6,86	1,63
Zinnoxid	SnO_2	150,7								0,083		12,51	2,97
Quarzmehl	SiO_2	60,1									1,563	93,94	22,32

blaue Glasur (B5b) (1 : 0,24 : 3,54)	Chemische Formel	Molekulargew. [g/mol]	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	Glasurversatz [g]	Glasurversatz [M%]
Summe Segerformel			0,650	0,110	0,083	0,082	0,075	0,043	0,193	0,083	3,458	424,57	100,86
Blei-Silicat-Fritte	$PbO \cdot SiO_2$	283,3	0,650								0,581	184,15	43,75
Mennige	Pb_3O_4	685,6										0,00	0,00
Natronfeldspat	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	524,6		0,110					0,110		0,660	57,71	13,71
Kalifeldspat	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556,8			0,083				0,083		0,498	46,21	10,98
Kobalt(II)oxid	CoO	74,9					0,075					5,62	1,33
Kreide	$CaCO_3$	100,1				0,082						8,21	1,95
Eisen(III)oxid	Fe_2O_3	159,6						0,043				6,86	1,63
Zinnoxid	SnO_2	150,7								0,083		12,51	2,97
Quarzmehl	SiO_2	60,1									1,719	103,31	24,54

blaue Glasur (B5c) (1 : 0,21 : 3,54)	Chemische Formel	Molekulargew. [g/mol]	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	Glasurversatz [g]	Glasurversatz [M%]
Summe Segerformel			0,676	0,095	0,072	0,082	0,075	0,043	0,167	0,083	3,458	421,61	100,16
Blei-Silicat-Fritte	$PbO \cdot SiO_2$	283,3	0,676								0,676	191,51	45,50
Mennige	Pb_3O_4	685,6										0,00	0,00
Natronfeldspat	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	524,6		0,095					0,095		0,570	49,84	11,84
Kalifeldspat	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556,8			0,072				0,072		0,432	40,09	9,52
Kobalt(II)oxid	CoO	74,9					0,075					5,62	1,33
Kreide	$CaCO_3$	100,1				0,082						8,21	1,95
Eisen(III)oxid	Fe_2O_3	159,6						0,043				6,86	1,63
Zinnoxid	SnO_2	150,7								0,083		12,51	2,97
Quarzmehl	SiO_2	60,1									1,780	106,98	25,41

blaue Glasur (B5d) (1 : 0,12 : 3,54)	Chemische Formel	Molekulargew. [g/mol]	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	Glasurversatz [g]	Glasurversatz [M%]
Summe Segerformel			0,676	0,095	0,072	0,082	0,075	0,043	0,072	0,083	3,458	455,87	108,30
Blei-Silicat-Fritte	$PbO \cdot SiO_2$	283,3	0,676								0,676	191,51	45,50
Mennige	Pb_3O_4	685,6										0,00	0,00
Kochsalz	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	524,6		0,095								49,84	11,84
Kalifeldspat	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556,8			0,072				0,072		0,432	40,09	9,52
Kobalt(II)oxid	CoO	74,9					0,075					5,62	1,33
Kreide	$CaCO_3$	100,1				0,082						8,21	1,95
Eisen(III)oxid	Fe_2O_3	159,6						0,043				6,86	1,63
Zinnoxid	SnO_2	150,7								0,083		12,51	2,97
Quarzmehl	SiO_2	60,1									2,350	141,24	33,55

blaue Glasur (B5a) (1 : 0,26 : 3,54)	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	Summe	$RO + R_2O_3/R_2O$
molarer Anteil	0,619	0,124	0,095	0,087	0,075	0,043	0,219	0,083	3,458	4,803	4,8
Mol-Prozent	12,89	2,58	1,98	1,81	1,56	0,90	4,56	1,73	72,00	100,00	4,8
Faktor nach Appen [$\alpha_{20\text{-}400°C}$ in 10^{-8}/°C]	13,0	39,5	46,5	13,0	14,7	1,3	-3,0	-4,5	3,3		
WAK [10^{-8}/K]	167,5	102,0	92,0	23,5	23,0	1,2	-13,7	-7,8	237,6	625,3	
WAK [10^{-7}/K]	16,75	10,20	9,20	2,35	2,30	0,12	-1,37	-0,78	23,76	62,53	
WAK [10^{-6}/K]	1,675	1,020	0,920	0,235	0,230	0,012	-0,137	-0,078	2,376	6,253	
Prozentanteil an Gesamtausdehnung	26,8	16,3	14,7	3,8	3,7	0,2	-2,2	-1,2	38,0	100,0	

blaue Glasur (B5b) (1 : 0,24 : 3,54)	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	Summe	$RO + R_2O_3/R_2O$
molarer Anteil	0,650	0,110	0,083	0,082	0,075	0,043	0,193	0,083	3,458	4,777	5,4
Mol-Prozent	13,61	2,30	1,74	1,72	1,57	0,90	4,04	1,74	72,39	100,00	5,4
Faktor nach Appen [$\alpha_{20\text{-}400°C}$ in 10^{-8}/°C]	13,0	39,5	46,5	13,0	14,7	1,3	-3,0	-4,0	3,3		
WAK [10^{-8}/K]	176,9	91,0	80,8	22,3	23,1	1,2	-12,1	-7,8	236,1	611,3	
WAK [10^{-7}/K]	17,69	9,10	8,08	2,23	2,31	0,12	-1,21	-0,78	23,61	61,13	
WAK [10^{-6}/K]	1,769	0,910	0,808	0,223	0,231	0,012	-0,121	-0,078	2,361	6,113	
Prozentanteil an Gesamtausdehnung	28,9	14,9	13,2	3,7	3,8	0,2	-2,0	-1,3	38,6	100,0	

blaue Glasur (B5c) (1 : 0,21 : 3,54)	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	Summe	$RO + R_2O_3/R_2O$
molarer Anteil	0,676	0,095	0,072	0,082	0,075	0,043	0,167	0,083	3,458	4,751	6,2
Mol-Prozent	14,23	2,00	1,52	1,73	1,58	0,91	3,52	1,75	72,78	100,00	6,2
Faktor nach Appen [$\alpha_{20\text{-}400°C}$ in 10^{-8}/°C]	13,0	39,5	46,5	13,0	14,7	1,3	-3,0	-4,5	3,3		
WAK [10^{-8}/K]	185,0	79,0	70,5	22,4	23,2	1,2	-10,5	-7,9	240,2	603,0	
WAK [10^{-7}/K]	18,50	7,90	7,05	2,24	2,32	0,12	-1,05	-0,79	24,02	60,30	
WAK [10^{-6}/K]	1,850	0,790	0,705	0,224	0,232	0,012	-0,105	-0,079	2,402	6,030	
Prozentanteil an Gesamtausdehnung	30,7	13,1	11,7	3,7	3,8	0,2	-1,7	-1,3	39,8	100,0	

blaue Glasur (B5d) (1 : 0,12 : 3,54)	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SnO_2	SiO_2	Summe	$RO + R_2O_3/R_2O$
molarer Anteil	0,676	0,095	0,072	0,082	0,075	0,043	0,072	0,083	3,458	4,656	5,7
Mol-Prozent	14,52	2,04	1,55	1,76	1,61	0,92	1,55	1,78	74,27	100,00	5,7
Faktor nach Appen [$\alpha_{20\text{-}400°C}$ in 10^{-8}/°C]	13,0	39,5	46,5	13,0	14,7	1,3	-3,0	-4,5	3,3		
WAK [10^{-8}/K]	188,7	80,6	71,9	22,9	23,7	1,2	-4,6	-8,0	228,2	604,6	
WAK [10^{-7}/K]	18,87	8,06	7,19	2,29	2,37	0,12	-0,46	-0,80	22,82	60,46	
WAK [10^{-6}/K]	1,887	0,806	0,719	0,229	0,237	0,012	-0,046	-0,080	2,282	6,046	
Prozentanteil an Gesamtausdehnung	30,4	13,0	11,6	3,7	3,8	0,2	-0,7	-1,3	39,4	100,0	

A 1.6 Berechnung des Glasurversatzes und des linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten für die grünen Glasuren G 3a und G 5a

grüne Glasur (G3a) (1 : 0,15 : 1,5)	Chemische Formel	Molekulargew. [g/mol]	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	Glasurversatz [g]	Glasurversatz [M%]
molarer Anteil		1,000	0,820	0,020	0,014	0,016	0,130	0,014	0,148	1,500	295,59	100,00
Blei-Silicat-Fritte	$PbO \cdot SiO_2$	283,3	0,800							0,800	226,64	76,67
Mennige	Pb_3O_4	685,6									0,00	0,00
Natronfeldspat	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	524,6		0,020					0,025	0,150	10,49	3,55
Kalifeldspat	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556,8			0,014				0,018	0,174	7,80	2,64
Kupfer(II)oxid	CuO	74,9					0,130				9,74	3,29
Kreide	$CaCO_3$	100,1				0,016					1,60	0,54
Eisen(III)oxid	Fe_2O_3	159,6						0,014			2,23	0,76
Kaolin	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	258,2							0,105	0,210	27,11	9,17
Quarzmehl	SiO_2	60,1								0,166	9,98	3,38

grüne Glasur (G5a) (1 : 0,15 : 2,05)	Chemische Formel	Molekulargew. [g/mol]	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	Glasurversatz [g]	Glasurversatz [M%]
Summe Segerformel		1,000	0,787	0,035	0,024	0,024	0,130	0,014	0,131	2,045	333,62	100,00
Blei-Silicat-Fritte	$PbO \cdot SiO_2$	283,3	0,787							0,782	222,96	66,83
Mennige	Pb_3O_4	685,6									0,00	0,00
Natronfeldspat	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	524,6		0,035					0,035	0,210	18,36	5,50
Kalifeldspat	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556,8			0,024				0,024	0,144	13,36	4,01
Kupfer(II)oxid	CuO	74,9					0,130				9,74	2,92
Kreide	$CaCO_3$	100,1				0,024					2,40	0,72
Eisen(III)oxid	Fe_2O_3	159,6						0,014			2,23	0,67
Kaolin	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	258,2							0,072	0,144	18,59	5,57
Quarzmehl	SiO_2	60,1								0,765	45,98	13,78

grüne Glasur (G3a) (1 : 0,15 : 1,5)	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	Summe	$RO + R_2O_3/R_2O$
molarer Anteil	0,820	0,020	0,014	0,016	0,130	0,014	0,148	1,500	2,662	33,2
Mol-Prozent	30,80	0,75	0,53	0,60	4,88	0,53	5,56	56,35	100,00	33,2
Faktor nach Appen [$\alpha_{20\text{-}400°C}$ in $10^{-8}/°C$]	13,0	39,5	42,0	13,0	14,7	1,3	-3,0	4,9		
WAK [$10^{-8}/K$]	400,5	29,7	22,1	7,8	71,8	0,7	-16,7	274,1	790,0	
WAK [$10^{-7}/K$]	40,05	2,97	2,21	0,78	7,18	0,07	-1,67	27,41	79,00	
WAK [$10^{-6}/K$]	4,005	0,297	0,221	0,078	0,718	0,007	-0,167	2,741	7,900	
Prozentanteil an Gesamtausdehnung	50,7	3,8	2,8	1,0	9,1	0,1	-2,1	34,7	100,0	

grüne Glasur (G5a) (1 : 0,15 : 2,05)	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	CoO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	Summe	$RO + R_2O_3/R_2O$
molarer Anteil	0,787	0,035	0,024	0,024	0,13	0,014	0,131	2,045	3,19	18,4
Mol-Prozent	24,67	1,10	0,75	0,75	4,08	0,44	4,11	64,11	100,00	18,4
Faktor nach Appen [$\alpha_{20\text{-}400°C}$ in $10^{-8}/°C$]	13,0	39,5	46,5	13,0	14,7	1,3	-3,0	4,1		
WAK [$10^{-8}/K$]	320,7	43,3	35,0	9,8	59,9	0,6	-12,3	262,2	719,1	
WAK [$10^{-7}/K$]	32,07	4,33	3,50	0,98	5,99	0,06	-1,23	26,22	71,91	
WAK [$10^{-6}/K$]	3,207	0,433	0,350	0,098	0,599	0,006	-0,123	2,622	7,191	
Prozentanteil an Gesamtausdehnung	44,6	6,0	4,9	1,4	8,3	0,1	-1,7	36,5	100,0	

Anhang 2 Protokolle der Füllstoffuntersuchungen

A 2.1 Schütt- und Stampfdichten der Zuschläge und Schüttvolumenberechnung.....2

A 2.2 Lasergranulometrien der Zuschläge.....3

A 2.2.1 Quarzmehl, Nenngröße 44 µm Kremer-Pigmente.....3
A 2.2.2 Cristoballitmehl, Nenngröße 8 µm Kremer-Pigmente.....4
A 2.2.3 Füllstoff A (unbekannter Mineralstoff) Remmers.....5
A 2.2.4 Füllstoff B (Quarzmehl) Remmers.....6
A 2.2.5 Borosilikatvollglaskugeln Spheriglass 3000 CP 00 Potters-Europe.....7
A 2.2.6 Füllstoffmischung Quarzmehl / Glaskugeln für HGZ-Mörtel Mineros.....8
A 2.2.7 Plastorit 0000 Luzenac-Naintsch.....9
A 2.2.8 Quarzmehl Millisil W 12 Quarzwerke Weferlingen.....10
A 2.2.9 Quarzmehl Sicron 300 SGL Quarzwerke Weferlingen.....11

A 2.1 Schütt- und Stampfdichten der Zuschläge und Schüttvolumenberechnung

Schütt- und Stampfdichte der Zuschläge

	Produkt	Einheit	Millisil W12	Sikron SGL 300	Quarzmehl mittel (44 µm)	Cristoballit-mehl feinst (8 µm)	Plastorit 00	Plastorit 0000	Plastorit super	Spheriglass 3000 C P 00
	Hersteller/Lieferant		Quarzwerke Weferlingen	Quarzwerke Weferlingen	Kremer	Kremer	Luzenac-Naintsch	Luzenac-Naintsch	Luzenac-Naintsch	Potters Europe
Eigene Messungen	Gefäßvolumen	[cm³]	279,87	279,87	279,87	279,87	279,87	279,87	279,87	279,87
	Gefäßmasse [g]	[g]	164,00	164,00	164,00	164,00	164,00	164,00	164,00	164,00
	Messung 1	[g]	397,61	381,53	384,76	307,84	364,39	332,49	308,69	497,10
	Messung 2	[g]	395,40	375,90	382,69	301,99	364,57	332,33	305,96	495,11
	Messung 3	[g]	395,85	371,96	382,30	302,67	362,82	332,43	306,37	496,08
	Messung 4	[g]	399,86	372,45	380,14	304,35	363,44	332,49	305,81	495,18
	Schüttdichte 1	[g/cm³]	0,835	0,777	0,789	0,514	0,716	0,602	0,517	1,190
	Schüttdichte 2	[g/cm³]	0,827	0,757	0,781	0,493	0,717	0,601	0,507	1,183
	Schüttdichte 3	[g/cm³]	0,828	0,743	0,780	0,495	0,710	0,602	0,509	1,187
	Schüttdichte 4	[g/cm³]	0,843	0,745	0,772	0,501	0,713	0,602	0,507	1,183
	Median	[g/cm³]	0,832	0,751	0,781	0,498	0,714	0,602	0,508	1,185
	arithmeti. Mittel	**[g/cm³]**	**0,833**	**0,756**	**0,781**	**0,501**	**0,714**	**0,602**	**0,510**	**1,186**
	Standardabweichung	[g/cm³]	0,007	0,016	0,007	0,009	0,003	0,000	0,005	0,003
	Variationskoeffizient	[%]	0,869	2,086	0,866	1,864	0,412	0,045	0,941	0,281
Hersteller-angaben	Schüttdichte	[g/cm³]	0,9	0,69	k.A.	k.A.	0,83	0,67	0,62	k.A.
	Stampfdichte	[g/cm³]	1,33	1,11	k.A.	k.A.	1,08	0,9	0,77	k.A.

Erläuterung: k.A. keine Angabe

Volumenberechnungen auf der Basis von Schütt- und Stampfdichten

Produkt	Einheit	Millisil W12	Sikron SGL 300	Quarzmehl mittel (44 µm)	Cristoballit-mehl feinst (8 µm)	Plastorit 00	Plastorit 0000	Plastorit super	Spheriglass 3000 C P 00
Hersteller/Lieferant		Quarzwerke Weferlingen	Quarzwerke Weferlingen	Kremer	Kremer	Luzenac-Naintsch	Luzenac-Naintsch	Luzenac-Naintsch	Potters Europe
Schüttvolumen auf Basis der Schüttdichten (eigene Messungen)	[ml/g]	1,200	1,324	1,281	1,996	1,401	1,662	1,961	0,843
volumenäquivalenter Füllstoffanteil auf der Basis von Quarzmehl W12 nach Maßgabe der Schüttdichte (arithmetisches Mittel der eigenen Messungen)	[M%]	100,0	90,7	93,7	60,1	85,7	72,2	61,2	142,3
volumenäquivalenter Füllstoffanteil auf der Basis von Quarzmehl W12 nach Maßgabe der Schüttdichte (Werte der Herstellerangaben)	[M%]	100,0	76,7			92,2	74,4	68,9	
volumenäquivalenter Füllstoffanteil auf der Basis von Quarzmehl W12 nach Maßgabe der Stampfdichte (Werte der Herstellerangaben)	[M%]	100,0	83,5			81,2	67,7	57,9	

A 2.2 Lasergranulometrien der Zuschläge

A 2.2.1 Quarzmehl, Nenngröße 44 µm (Kremer-Pigmente)

---------- Granulometer CILAS 920 Nummer 202T ----------

Probenbezeichnung : Probe 1

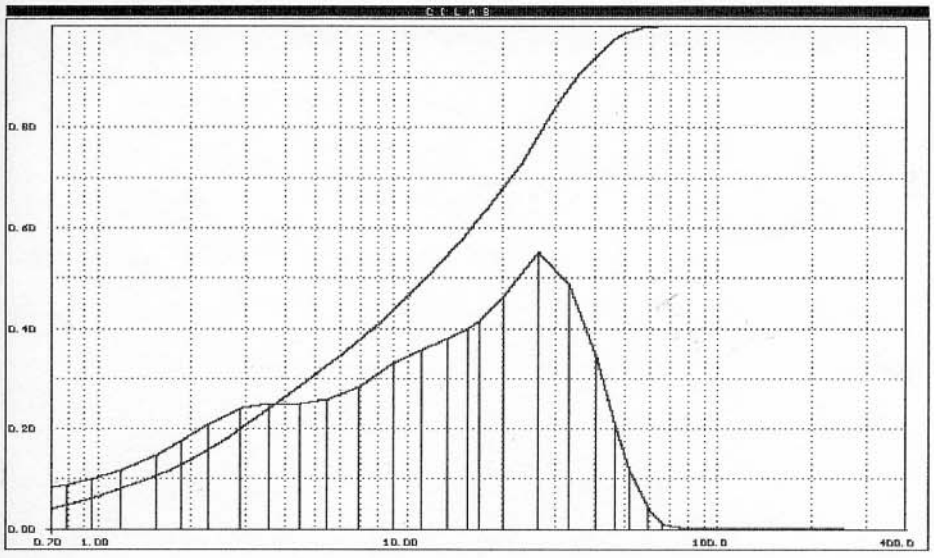
Flüssigkeit : Wasser
Ultraschall : 60 s.
Kommentar : 2973 4.7.03 0.2973 g analysiertes Material
Benutzername : Sch
Datum/Uhrzeit : 15/06/2003 02:31:04
Firma : Dörentrup Quarz GmbH
Ort : 31089 Duingen
Konzentration : 145
Spezifische Oberfl. : 6631.82 cm2/g
Durchmesser 50.0 % : 11.38 um
Durchmesser 95.0 % : 41.57 um
Durchmesser 97.0 % : 44.81 um

Dichte : 2.65
Formfaktor : 1.000

Anzahl der Mess. : 20
Autom. Verdünnung : Nein
Option : -----
Verteilung : Volumenverteilung / Spline Interpol. / Durchgang

Anzahl der Spülung : 4
Ultrasch. /Messung : Nein
Füllstandsüberprüf.: Nein

D	0.7	0.9	1.0	1.4	1.7	2.0	2.6	3.2	4.0	5.0
K%	3.9	5.5	6.3	9.4	11.6	13.8	18.1	22.0	26.3	30.6
D	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	16.0	18.0	23.0	30.0	36.0
K%	34.3	40.6	46.4	51.5	58.1	60.1	63.9	72.8	84.2	91.2
D	45.0	48.0	56.0	63.0	70.0	90.0	110.0	135.0	165.0	400.0
K%	97.1	98.1	99.5	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0



C:\CILAS\DATEN.NEU\7904G301.SPL H * 5

A 2.2 Lasergranulometrien der Zuschläge

A 2.2.2 Cristobalitmehl, Nenngröße 8 µm (Kremer-Pigmente)

```
-------------------- Granulometer CILAS     920 Nummer 202T --------------------
Probenbezeichnung    : Probe 2

Flüssigkeit          : Wasser
Ultraschall          :   60 s.
Kommentar            : 2490 4.7.03
Benutzername         : Sch
Datum/Uhrzeit        : 15/06/2003 02:43:54
Firma                : Dörentrup Quarz GmbH
Ort                  : 31089 Duingen
Konzentration        :  198
Spezifische Oberfl.  : 10299.89 cm2/g
Durchmesser 50.0 %   :     3.42 um
Durchmesser 95.0 %   :     9.91 um
Durchmesser 97.0 %   :    10.91 um            Dichte              :     2.65
                                               Formfaktor          :    1.000
Anzahl der Mess.     :    20                   Anzahl der Spülung  :  4
Autom. Verdünnung    :  Nein                   Ultrasch. /Messung  :  Nein
Option               : -----                   Füllstandsüberprüf.:  Nein
Verteilung           : Volumenverteilung / Spline Interpol. / Durchgang
 ---------------------------------------------------------------------------
| D     0.7    0.9    1.0    1.4    1.7    2.0    2.6    3.2    4.0    5.0   |
| K%    3.5    5.9    7.5   14.9   21.1   27.1   37.9   47.0   57.0   67.0   |
 ---------------------------------------------------------------------------
| D     6.0    8.0   10.0   12.0   15.0   16.0   18.0   23.0   30.0   36.0   |
| K%   75.1   87.8   95.3   98.8  100.0  100.0  100.0  100.0  100.0  100.0   |
 ---------------------------------------------------------------------------
| D    45.0   48.0   56.0   63.0   70.0   90.0  110.0  135.0  165.0  400.0   |
| K%  100.0  100.0  100.0  100.0  100.0  100.0  100.0  100.0  100.0  100.0   |
 ---------------------------------------------------------------------------
```

C:\CILAS\DATEN.NEU\7904G302.SPL H * 5

A 2.2 Lasergranulometrien der Zuschläge

A 2.2.3 Füllstoff A, unbekannter Mineralstoff (Remmers)

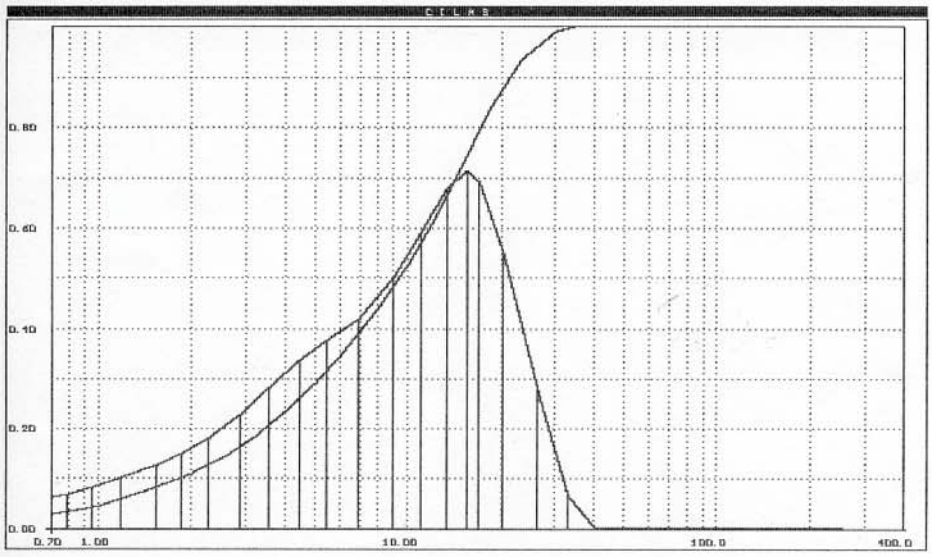
```
------------------- Granulometer CILAS     920 Nummer 202T -------------------
Probenbezeichnung    : Probe 3

Flüssigkeit          : Wasser
Ultraschall          :   60 s.
Kommentar            : 2438 4.7.03
Benutzername         : Sch
Datum/Uhrzeit        : 15/06/2003 07:00:21
Firma                : Dörentrup Quarz GmbH
Ort                  : 31089 Duingen
Konzentration        :  171
Spezifische Oberfl.  :  5870.56 cm2/g
Durchmesser 50.0 %   :    9.37 um
Durchmesser 95.0 %   :   24.88 um
Durchmesser 97.0 %   :   27.28 um            Dichte              :    2.65
                                               Formfaktor          :   1.000
Anzahl der Mess.     :    20                   Anzahl der Spülung  :  4
Autom. Verdünnung    :  Nein                   Ultrasch. /Messung  :  Nein
Option               : -----                   Füllstandsüberprüf.:  Nein
Verteilung           : Volumenverteilung / Spline Interpol. / Durchgang
```

D	0.7	0.9	1.0	1.4	1.7	2.0	2.6	3.2	4.0	5.0
K%	2.6	3.9	4.5	7.1	9.1	11.0	14.6	18.3	23.2	29.1

D	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	16.0	18.0	23.0	30.0	36.0
K%	34.4	43.9	52.6	61.0	72.8	76.4	82.8	93.3	99.1	100.0

D	45.0	48.0	56.0	63.0	70.0	90.0	110.0	135.0	165.0	400.0
K%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0



C:\CILAS\DATEN.NEU\7904G303.SPL H * 5

A 2.2 Lasergranulometrien der Zuschläge

A 2.2.4 Füllstoff B, Quarzmehl (Remmers)

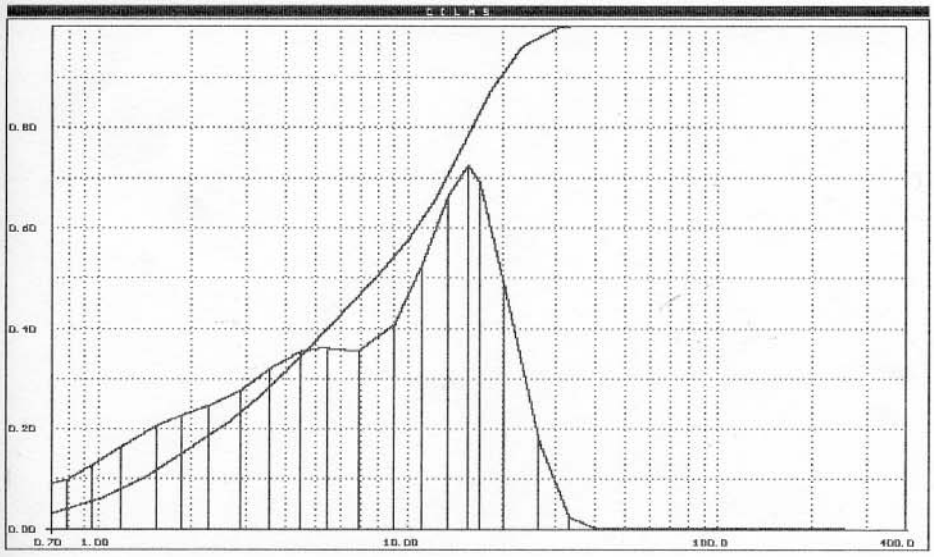
```
------------------- Granulometer CILAS     920 Nummer 202T -------------------
Probenbezeichnung   : Probe 4

Flüssigkeit         : Wasser
Ultraschall         :   60 s.
Kommentar           : 2491 4.7.03
Benutzername        : Sch
Datum/Uhrzeit       : 15/06/2003 07:07:53
Firma               : Dörentrup Quarz GmbH
Ort                 : 31089 Duingen
Konzentration       :  143
Spezifische Oberfl. :  7079.94 cm2/g
Durchmesser 50.0 %  :    7.84 um
Durchmesser 95.0 %  :   22.44 um
Durchmesser 97.0 %  :   24.82 um            Dichte             :    2.65
                                             Formfaktor         :   1.000
Anzahl der Mess.    :    20                  Anzahl der Spülung :  4
Autom. Verdünnung   :  Nein                  Ultrasch. /Messung :  Nein
Option              : -----                  Füllstandsüberprüf.:  Nein
Verteilung          : Volumenverteilung / Spline Interpol. / Durchgang
```

D	0.7	0.9	1.0	1.4	1.7	2.0	2.6	3.2	4.0	5.0
K%	2.9	4.8	5.9	10.2	13.3	16.2	21.2	25.7	31.3	37.4

D	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	16.0	18.0	23.0	30.0	36.0
K%	42.6	50.6	57.6	65.1	76.7	80.3	86.7	95.9	99.6	100.0

D	45.0	48.0	56.0	63.0	70.0	90.0	110.0	135.0	165.0	400.0
K%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0




```
C:\CILAS\DATEN.NEU\7904G304.SPL                    H *    5
```

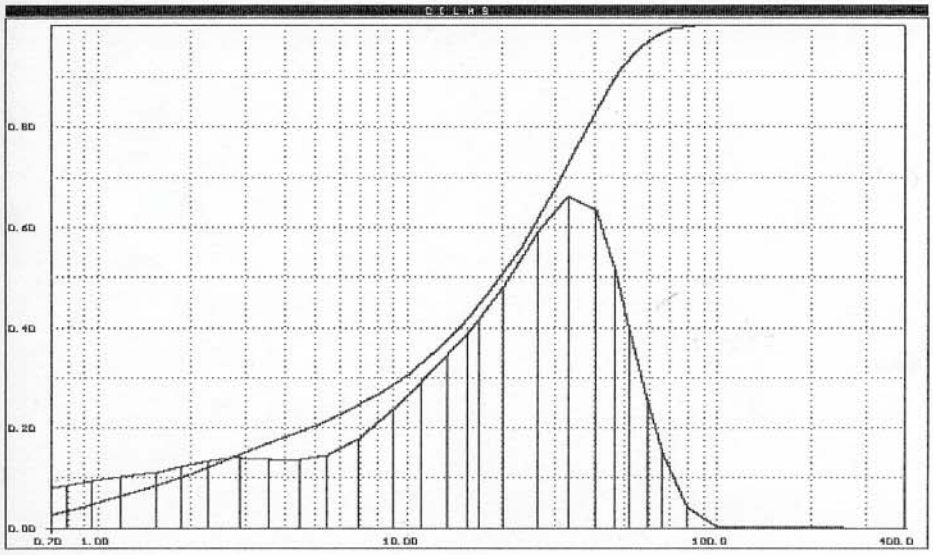
A 2.2 Lasergranulometrien der Zuschläge

A 2.2.5 Borosilikatvollglaskugeln Spheriglas 3000 CP 00 (Potters-Europe)

```
------------------- Granulometer CILAS     920 Nummer 202T -------------------
Probenbezeichnung    : Probe 5

Flüssigkeit          : Wasser
Ultraschall          :   60 s.
Kommentar            : 6421 4.7.03
Benutzername         : Sch
Datum/Uhrzeit        : 15/06/2003 08:17:02
Firma                : Dörentrup Quarz GmbH
Ort                  : 31089 Duingen
Konzentration        :  159
Spezifische Oberfl.  :  4816.48 cm2/g
Durchmesser 50.0 %   :    19.77 um
Durchmesser 95.0 %   :    54.76 um
Durchmesser 97.0 %   :    59.92 um            Dichte              :     2.65
                                                Formfaktor          :    1.000
Anzahl der Mess.     :    20                    Anzahl der Spülung  :  4
Autom. Verdünnung    :  Nein                    Ultrasch. /Messung  :  Nein
Option               : -----                    Füllstandsüberprüf.:  Nein
Verteilung           : Volumenverteilung / Spline Interpol. / Durchgang
```

D	0.7	0.9	1.0	1.4	1.7	2.0	2.6	3.2	4.0	5.0
K%	2.4	4.1	4.8	7.5	9.1	10.7	13.4	15.7	18.0	20.4
D	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	16.0	18.0	23.0	30.0	36.0
K%	22.4	26.4	30.5	34.7	40.7	42.6	46.5	55.7	67.9	77.3
D	45.0	48.0	56.0	63.0	70.0	90.0	110.0	135.0	165.0	400.0
K%	88.4	91.0	95.7	98.0	99.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0



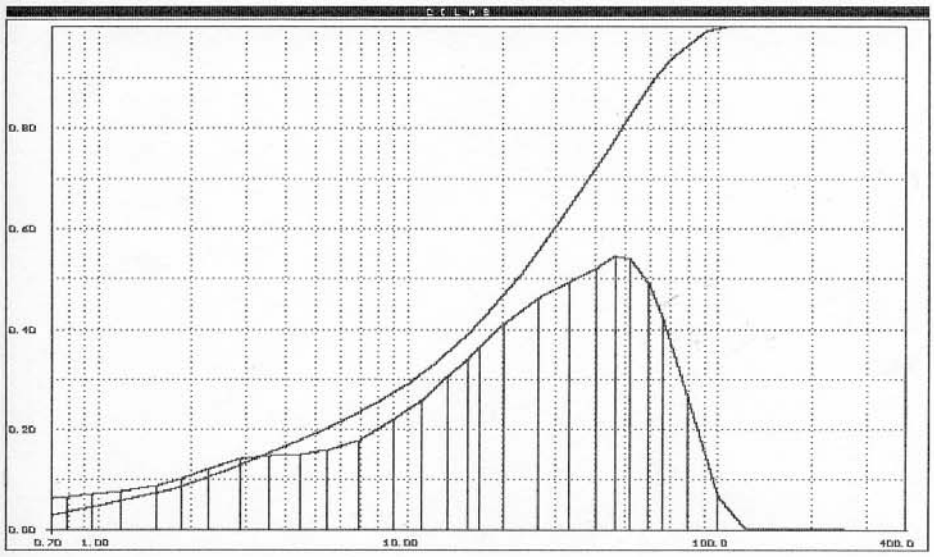
C:\CILAS\DATEN.NEU\7904G305.SPL H * 5

A 2.2 Lasergranulometrien der Zuschläge

A 2.2.6 Füllstoffmischung Quarzmehl / Vollglaskugeln für HGZ-Mörtel (Mineros)

```
------------------- Granulometer CILAS     920 Nummer 202T -------------------
Probenbezeichnung    : Probe 6

Flüssigkeit          : Wasser
Ultraschall          :   60 s.
Kommentar            : 6048 4.7.03
Benutzername         : Sch
Datum/Uhrzeit        : 15/06/2003 08:25:23
Firma                : Dörentrup Quarz GmbH
Ort                  : 31089 Duingen
Konzentration        :  164
Spezifische Oberfl.  :  4653.73 cm2/g
Durchmesser 50.0 %   :    22.31 um
Durchmesser 95.0 %   :    74.34 um
Durchmesser 97.0 %   :    81.92 um            Dichte              :     2.65
                                                Formfaktor          :    1.000
Anzahl der Mess.     :    20                    Anzahl der Spülung  :  4
Autom. Verdünnung    :  Nein                    Ultrasch. /Messung  :  Nein
Option               : -----                    Füllstandsüberprüf.:  Nein
Verteilung           : Volumenverteilung / Spline Interpol. / Durchgang
 ---------------------------------------------------------------------------
| D     0.7    0.9    1.0    1.4    1.7    2.0    2.6    3.2    4.0    5.0  |
| K%    2.8    4.1    4.6    6.6    7.9    9.2   11.7   14.0   16.5   19.1  |
 ---------------------------------------------------------------------------
| D     6.0    8.0   10.0   12.0   15.0   16.0   18.0   23.0   30.0   36.0  |
| K%   21.3   25.3   29.1   32.8   38.1   39.8   43.2   51.0   60.5   67.5  |
 ---------------------------------------------------------------------------
| D    45.0   48.0   56.0   63.0   70.0   90.0  110.0  135.0  165.0  400.0  |
| K%   76.6   79.3   85.8   90.3   93.8   98.9  100.0  100.0  100.0  100.0  |
 ---------------------------------------------------------------------------
```




```
C:\CILAS\DATEN.NEU\7904G306.SPL                    H *    5
```

A 2.2 Lasergranulometrien der Zuschläge

A 2.2.7 Plastorit 0000 (Luzenac-Naintsch)

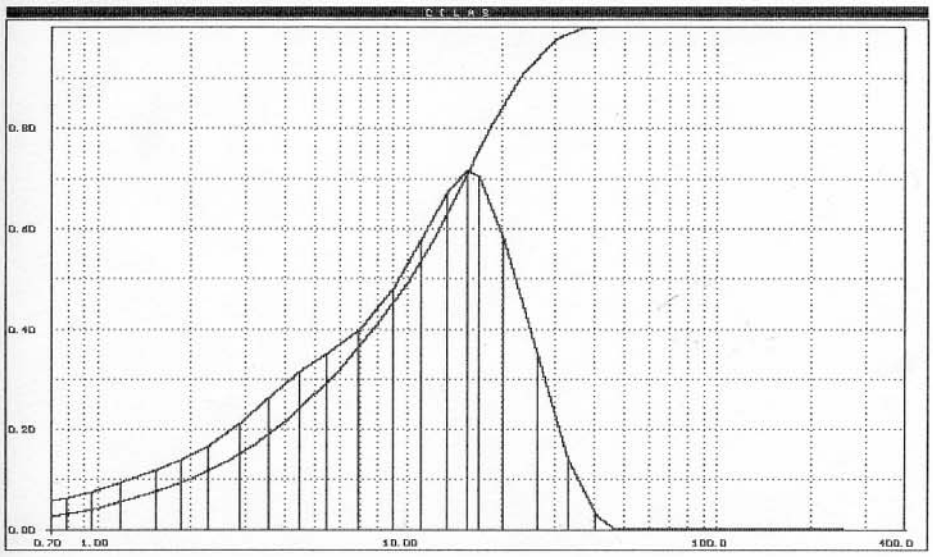
```
------------------- Granulometer CILAS     920 Nummer 202T -------------------
Probenbezeichnung    : Probe 7

Flüssigkeit          : Wasser
Ultraschall          :   60 s.
Kommentar            : 2494 4.7.03
Benutzername         : Sch
Datum/Uhrzeit        : 15/06/2003 08:40:28
Firma                : Dörentrup Quarz GmbH
Ort                  : 31089 Duingen
Konzentration        :  168
Spezifische Oberfl.  :  5548.17 cm2/g
Durchmesser 50.0 %   :    10.17 um
Durchmesser 95.0 %   :    27.33 um
Durchmesser 97.0 %   :    29.44 um            Dichte               :     2.65
                                                Formfaktor           :    1.000
Anzahl der Mess.     :    20                    Anzahl der Spülung   :  4
Autom. Verdünnung    :  Nein                    Ultrasch. /Messung   :  Nein
Option               : -----                    Füllstandsüberprüf.:  Nein
Verteilung           : Volumenverteilung / Spline Interpol. / Durchgang
```

D	0.7	0.9	1.0	1.4	1.7	2.0	2.6	3.2	4.0	5.0
K%	2.4	3.6	4.2	6.6	8.4	10.2	13.5	17.0	21.5	27.0

D	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	16.0	18.0	23.0	30.0	36.0
K%	32.0	40.9	49.2	57.4	69.1	72.8	79.2	90.4	97.5	99.5

D	45.0	48.0	56.0	63.0	70.0	90.0	110.0	135.0	165.0	400.0
K%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0



C:\CILAS\DATEN.NEU\7904G307.SPL H * 5

A 2.2 Lasergranulometrien der Zuschläge

A 2.2.8 Quarzmehl Millisil W 12 (Quarzwerke Weferlingen)

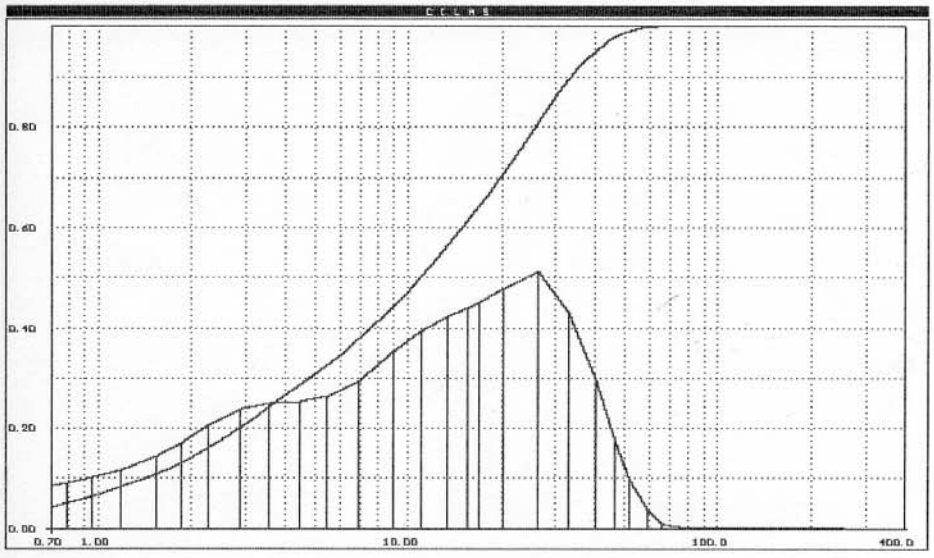
```
-------------------- Granulometer CILAS     920 Nummer 202T --------------------
Probenbezeichnung    : Probe 8

Flüssigkeit          : Wasser
Ultraschall          :   60 s.
Kommentar            : 2970 4.7.03
Benutzername         : Sch
Datum/Uhrzeit        : 15/06/2003 08:47:39
Firma                : Dörentrup Quarz GmbH
Ort                  : 31089 Duingen
Konzentration        :  142
Spezifische Oberfl.  :  6812.57 cm2/g
Durchmesser 50.0 %   :    10.93 um
Durchmesser 95.0 %   :    40.29 um
Durchmesser 97.0 %   :    43.96 um            Dichte              :     2.65
                                                Formfaktor          :    1.000
Anzahl der Mess.     :    20                    Anzahl der Spülung  :  4
Autom. Verdünnung    :  Nein                    Ultrasch. /Messung  :  Nein
Option               : -----                    Füllstandsüberprüf.:  Nein
Verteilung           : Volumenverteilung / Spline Interpol. / Durchgang
```

D	0.7	0.9	1.0	1.4	1.7	2.0	2.6	3.2	4.0	5.0
K%	4.1	5.8	6.7	9.7	11.8	14.0	18.2	22.1	26.4	30.8

D	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	16.0	18.0	23.0	30.0	36.0
K%	34.5	41.1	47.3	52.9	60.2	62.4	66.5	75.7	86.3	92.4

D	45.0	48.0	56.0	63.0	70.0	90.0	110.0	135.0	165.0	400.0
K%	97.5	98.4	99.6	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0




```
C:\CILAS\DATEN.NEU\7904G308.SPL                    H *    5
```

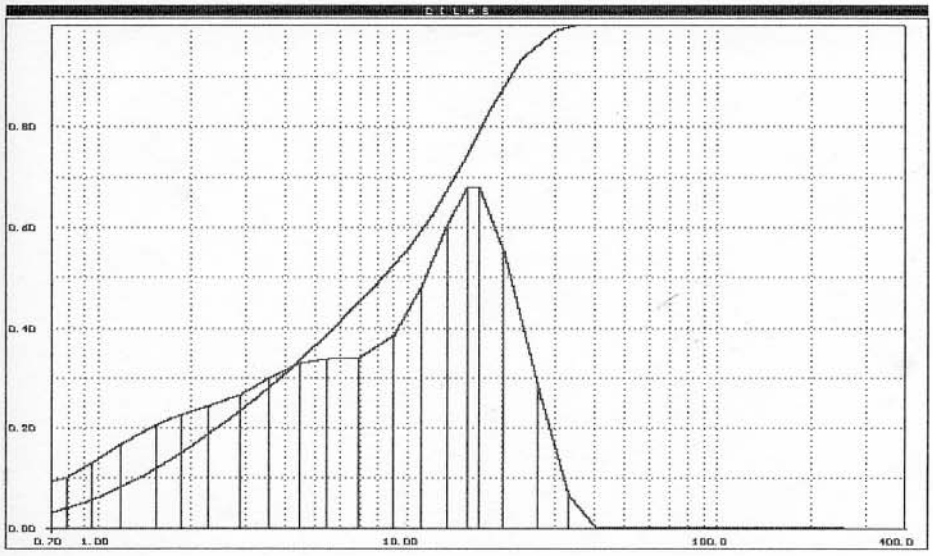
A 2.2 Lasergranulometrien der Zuschläge

A 2.2.9 Quarzmehl Sicron 300 SGL (Quarzwerke Weferlingen)

---------- Granulometer CILAS 920 Nummer 202T ----------

Probenbezeichnung	: Probe 9		
Flüssigkeit	: Wasser		
Ultraschall	: 60 s.		
Kommentar	: 2741 4.7.03		
Benutzername	: Sch		
Datum/Uhrzeit	: 15/06/2003 08:57:27		
Firma	: Dörentrup Quarz GmbH		
Ort	: 31089 Duingen		
Konzentration	: 147		
Spezifische Oberfl.	: 7061.61 cm2/g		
Durchmesser 50.0 %	: 8.29 um		
Durchmesser 95.0 %	: 24.90 um		
Durchmesser 97.0 %	: 27.29 um	Dichte	: 2.65
		Formfaktor	: 1.000
Anzahl der Mess.	: 20	Anzahl der Spülung	: 4
Autom. Verdünnung	: Nein	Ultrasch. /Messung	: Nein
Option	: -----	Füllstandsüberprüf.	: Nein
Verteilung	: Volumenverteilung / Spline Interpol. / Durchgang		

D	0.7	0.9	1.0	1.4	1.7	2.0	2.6	3.2	4.0	5.0
K%	3.0	5.0	6.0	10.4	13.5	16.3	21.3	25.6	30.8	36.5
D	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	16.0	18.0	23.0	30.0	36.0
K%	41.3	48.9	55.6	62.5	73.0	76.5	82.7	93.3	99.1	100.0
D	45.0	48.0	56.0	63.0	70.0	90.0	110.0	135.0	165.0	400.0
K%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0



C:\CILAS\DATEN.NEU\7904G309.SPL H * 5

Anhang 3 Protokolle der Injektionsmörtel der Rezeptierungsphase

Injektionsmassenprotokoll	Syton 1	Datum: 21.04.03	2
Injektionsmassenprotokoll	Syton 2	Datum: 21.04.03	4
Injektionsmassenprotokoll	Syton 3	Datum: 21.04.03	6
Injektionsmassenprotokoll	Syton 4	Datum: 21.04.03	8
Injektionsmassenprotokoll	Syton 5	Datum: 22.04.03	10
Injektionsmassenprotokoll	Syton 6	Datum: 22.04.03	12
Injektionsmassenprotokoll	Syton 7	Datum: 22.04.03	14
Injektionsmassenprotokoll	Syton 8	Datum: 22.04.03	16
Injektionsmassenprotokoll	Syton 9	Datum: 22.04.03	18
Injektionsmassenprotokoll	Syton 10	Datum: 23.04.03	20
Injektionsmassenprotokoll	Syton 11	Datum: 23.04.03	22
Injektionsmassenprotokoll	Syton 12	Datum: 23.04.03	24
Injektionsmassenprotokoll	Syton 13	Datum: 25.04.03	26
Injektionsmassenprotokoll	Syton 14	Datum: 25.04.03	28
Injektionsmassenprotokoll	Syton 15	Datum: 25.04.03	30
Injektionsmassenprotokoll	Syton 16	Datum: 25.04.03	32
Injektionsmassenprotokoll	Syton 17	Datum: 25.04.03	34
Injektionsmassenprotokoll	Syton 18	Datum: 25.04.03	36
Injektionsmassenprotokoll	Syton 19	Datum: 28.04.03	38
Injektionsmassenprotokoll	Syton 20	Datum: 28.04.03	40
Injektionsmassenprotokoll	Syton 21	Datum: 29.04.03	42
Injektionsmassenprotokoll	Syton 22	Datum: 29.04.03	44
Injektionsmassenprotokoll	Syton 23	Datum: 29.04.03	46
Injektionsmassenprotokoll	Syton 24	Datum: 29.04.03	48
Injektionsmassenprotokoll	Syton 25	Datum: 07.05.03	50
Injektionsmassenprotokoll	Syton 26	Datum: 07.05.03	52
Injektionsmassenprotokoll	Syton 27	Datum: 07.05.03	54
Injektionsmassenprotokoll	Syton 28	Datum: 07.05.03	56
Injektionsmassenprotokoll	Syton 29	Datum: 08.05.03	58
Injektionsmassenprotokoll	Syton 30	Datum: 09.05.03	60
Injektionsmassenprotokoll	Syton 31	Datum: 09.05.03	62
Injektionsmassenprotokoll	Syton 32	Datum: 12.05.03	64
Injektionsmassenprotokoll	Syton 33	Datum: 15.05.03	66
Injektionsmassenprotokoll	Syton 34	Datum: 15.05.03	68
Injektionsmassenprotokoll	Syton 35	Datum: 16.05.03	70
Injektionsmassenprotokoll	Syton 36	Datum: 16.05.03	72
Injektionsmassenprotokoll	Syton 37	Datum: 16.05.03	74
Injektionsmassenprotokoll	KSE	Datum: 04.06.03	76
Injektionsmassenprotokoll	HGZ 1	Datum: 07.06.03	78
Injektionsmassenprotokoll	HGZ 2	Datum: 07.06.03	80
Injektionsmassenprotokoll	HGZ 3	Datum: 10.06.03	81
Injektionsmassenprotokoll	HGZ 4	Datum: 07.06.03	82
Injektionsmassenprotokoll	HGZ 5	Datum: 07.06.03	83
Injektionsmassenprotokoll	HGZ 6	Datum: 07.06.03	85
Injektionsmassenprotokoll	HGZ 7	Datum: 15.06.03	87
Injektionsmassenprotokoll	HGZ 8	Datum: 15.06.03	88
Injektionsmassenprotokoll	HGZ 9	Datum: 16.06.03	89
Injektionsmassenprotokoll	HGZ 10	Datum: 16.06.03	90
Injektionsmassenprotokoll	Nano 1	Datum: 22.05.03	92
Injektionsmassenprotokoll	Nano 2	Datum: 28.05.03/ 08.06.03	94
Injektionsmassenprotokoll	Nano 3	Datum: 08.06.03	96
Injektionsmassenprotokoll	Nano 4	Datum: 16.06.03	98
Injektionsmassenprotokoll	Primal	Datum: 28.05.03	99

Injektionsmassenprotokoll Syton 1

Datum: 21.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl Millisil W12	200 g	100 %
Zusatzmittel:	Tween 20	2 g	1 %
Bemerkung:	Ausgangsrezeptur; Variation der Dispergiergeschwindigkeit (vgl. Injektionsmassen Syton 1 bis 5)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	9,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	9,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	23,0	03:05	> 98
Messung 2	23,0	03:07	> 98
arithmetisches Mittel	23,0	03:06	> 98

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	3,0	22,0	5,0	33,0	15,0	51,0
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	3,0	21,0	5,0	32,0	14,0	52,0
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	3,5	19,5	5,0	31,0	15,0	51,0
Median							< 1		3,0	21,0	5,0	32,0	15,0	51,0
arithmetisches Mittel							< 1		3,2	20,8	5,0	32,0	14,7	51,3
Standardabweichung									0,3	1,3	0,0	1,0	0,6	0,6
Variationskoeffizient									9,1	6,0	0,0	3,1	3,9	1,1

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

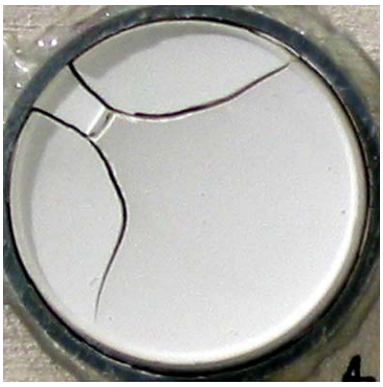
Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1	25,0	35,0						< 15:00	> 95	
Messung 2	25,5	34,0	41,0					< 20:00	> 95	
Messung 3	24,5	35,0						< 14:00	> 95	
Median	25,0	35,0						< 15:00	> 95	
arithmetisches Mittel	25,0	34,7						< 16:33	> 95	
Standardabweichung	0,5	0,6								
Variationskoeffizient	2,0	1,7								

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	/	nicht getestet
0,8 mm	O+	
1,0 mm	/	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften



Terrakottauntergrund

Schwindmaß: hoch
Risse: wenige, mittelkräftige Risse
Verformung: starke randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: sehr schwach

Glasuntergrund

Schwindmaß: hoch
Risse: wenige, kräftige Risse
Verformung: sehr starke Hochwölbung am Rand und an den Rißkanten
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: geringfügig randlich
Haftung: sehr schwach bis gar nicht

Injektionsmassenprotokoll Syton 2

Datum: 21.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl Millisil W12	200 g	100 %
Zusatzmittel:	Tween 20	2 g	1 %
Bemerkung:	Ausgangsrezeptur; Variation der Dispergiergeschwindigkeit (vgl. Injektionsmassen Syton 1 bis 5)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung gelegentliches Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	23,9	03:05	> 98
Messung 2	23,2	03:18	> 98
arithmetisches Mittel	23,6	03:12	> 98

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	3,0	19,0	4,0	29,0	12,5	49,0
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	3,0	19,0	3,5	29,0	11,0	49,0
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	3,0	20,0	4,0	29,0	10,5	50,0
Median									3,0	19,0	4,0	29,0	11,0	49,0
arithmetisches Mittel									3,0	19,3	3,8	29,0	11,3	49,3
Standardabweichung									0,0	0,6	0,3	0,0	1,0	0,6
Variationskoeffizient									0,0	3,0	7,5	0,0	9,2	1,2

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1	27,0	37,0	42,0					17:00	> 95	
Messung 2	24,5	34,0	41,0					15:00	> 95	
Messung 3	27,0	36,0	43,0					15:00	100	
Median	27,0	36,0	42,0					15:00	> 95	
arithmetisches Mittel	26,2	35,7	42,0					15:40	> 97	
Standardabweichung	1,4	1,5	1,0							
Variationskoeffizient	5,5	4,3	2,4							

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	/	nicht getestet
0,8 mm	O+	notwendiger Druck ist hoch, fließt aber ohne Stocken
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: hoch
Risse: wenige, kräftige Risse
Verformung: starke randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: sehr schwach

Glasuntergrund

Schwindmaß: hoch
Risse: wenige, kräftige Risse
Verformung: sehr starke randliche Hochwölbung (schüsselartig)
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: geringfügig randlich
Haftung: sehr schwach bis gar nicht

Injektionsmassenprotokoll Syton 3

Datum: 21.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl Millisil W12	200 g	100 %
Zusatzmittel:	Tween 20	2 g	1 %
Bemerkung:	Ausgangsrezeptur; Variation der Dispergiergeschwindigkeit (vgl. Injektionsmassen Syton 1 bis 5)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	24,2	03:26	ca. 95
Messung 2	23,4	03:38	ca. 95
arithmetisches Mittel	23,8	03:32	ca. 95

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	2,0	16,0	3,5	25,0	7,0	46,0
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	2,0	15,5	3,0	23,5	6,0	46,0
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	2,0	15,5	3,0	23,0	7,0	n.e.
Median									2,0	15,5	3,0	23,5	7,0	46,0
arithmetisches Mittel									2,0	15,7	3,2	23,8	6,7	46,0
Standardabweichung									0,0	0,3	0,3	1,0	0,6	
Variationskoeffizient									0,0	1,8	9,1	4,4	8,7	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1	27,0	37,0	43,0					16:30	> 95	
Messung 2	22,0	29,0	35,0					25:00	> 95	
Messung 3	24,0	33,0	39,0	42,0				38:00	100	
Median	24,0	33,0	39,0					25:00	> 95	
arithmetisches Mittel	24,3	33,0	39,0					26:30	> 95	
Standardabweichung	2,5	4,0	4,0							
Variationskoeffizient	10,3	12,1	10,3							

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	- -	nicht möglich
0,6 mm	-	nur sehr schwer, tropfenweise o.k.
0,8 mm	O+	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: hoch
Risse: wenige, kräftige Risse
Verformung: starke randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: sehr schwach

Glasuntergrund

Schwindmaß: hoch
Risse: sehr wenige, kräftige Risse
Verformung: sehr starke randliche Hochwölbung (schüsselartig)
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: geringfügig randlich
Haftung: sehr schwach bis gar nicht

Injektionsmassenprotokoll Syton 4

Datum: 21.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl Millisil W12	200 g	100 %
Zusatzmittel:	Tween 20	2 g	1 %
Bemerkung:	Ausgangsrezeptur; Variation der Dispergiergeschwindigkeit (vgl. Injektionsmassen Syton 1 bis 5)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	4,5 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	4,5 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	24,5	03:28	ca. 95
Messung 2	23,7	03:42	ca. 95
arithmetisches Mittel	24,1	03:35	ca. 95

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	3,0	15,5	3,5	23,5	8,0	46,5
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	2,5	15,5	3,5	22,5	7,0	44,0
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	2,5	14,5	3,0	22,0	8,5	44,0
Median									2,5	15,5	3,5	22,5	8,0	44,0
arithmetisches Mittel									2,7	15,2	3,3	22,7	7,8	44,8
Standardabweichung									0,3	0,6	0,3	0,8	0,8	1,4
Variationskoeffizient									10,8	3,8	8,7	3,4	9,8	3,2

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1	23,0	32,0	38,0					24:00	> 95	42,0
Messung 2	21,0	30,0	36,0					25:00	100	38,5
Messung 3	21,0	30,0	36,0					28:00	> 95	42,0
Median	21,0	30,0	36,0					25:00	> 95	42,0
arithmetisches Mittel	21,7	30,7	36,7					25:40		40,8
Standardabweichung	1,2	1,2	1,2							2,0
Variationskoeffizient	5,3	3,8	3,1							4,9

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: hoch
Risse: wenige, kräftige Risse
Verformung: starke randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: sehr schwach

Glasuntergrund

Schwindmaß: hoch
Risse: sehr wenige, kräftige Risse
Verformung: sehr starke randliche Hochwölbung (schüsselartig)
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: geringfügig randlich
Haftung: sehr schwach bis gar nicht

Injektionsmassenprotokoll Syton 5

Datum: 22.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl Millisil W12	200 g	100 %
Zusatzmittel:	Tween 20	2 g	1 %
Bemerkung:	Ausgangsrezeptur; Variation der Dispergiergeschwindigkeit (vgl. Injektionsmassen Syton 1 bis 5)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	3,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	3,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: bleibt beim Dispergieren der pyrogenen Kieselsäure relativ hochviskos (kein Überdispergierungseffekt) Quarzmehl ist nur bei Erhöhung des Bodenabstands der Dissolverscheibe auf etwa 1/3 unterzumischen	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	22,8	04:31	90
Messung 2	22,4	04:59	96
arithmetisches Mittel	22,6	04:45	93

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d		8 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	2,0	10,5	2,5	15,5	5,5	42,0	6,0	47,0
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	2,0	9,0	2,0	14,5	5,0	39,0	5,5	44,0
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	2,5	9,5	2,0	14,0	4,0	38,5	4,5	43,5
Median									2,0	9,5	2,0	14,5	5,0	39,0	5,5	44,0
arithmetisches Mittel									2,2	9,7	2,2	14,7	4,8	39,8	5,3	44,8
Standardabweichung									0,3	0,8	0,3	0,8	0,8	1,9	0,8	1,9
Variationskoeffizient									13,3	7,9	13,3	5,2	15,8	4,8	14,3	4,2
Bemerkung	letzte Messung nach 8 Tagen, 7-Tage-Werte aus graphischer Darstellung ermittelt															

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	h:min:sek	[%]	[mm]
Messung 1	17,0	23,0	27,0	30,0	35,0	40,0		2:45:00	> 95	42,0
Messung 2	15,0	17,0	21,0	26,0	30,0	36,5		2:54:00	> 95	40,0
Messung 3	15,0	20,0	22,0	27,0	29,0	35,5		3:28:00	> 95	41,0
Median	15,0	20,0	22,0	27,0	30,0	36,5		2:54:00	> 95	41,0
arithmetisches Mittel	15,7	20,0	23,3	27,7	31,3	37,3		3:02:00	> 95	41,0
Standardabweichung	1,2	3,0	3,2	2,1	3,2	2,4				1,0
Variationskoeffizient	7,4	15,0	13,8	7,5	10,3	6,3				2,4

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	-	
0,8 mm	O+	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: hoch
Risse: sehr wenige, mittelfeine Risse
Verformung: starke randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: sehr schwach

Glasuntergrund

Schwindmaß: hoch
Risse: nur ein sehr kräftiger Riss
Verformung: sehr starke randliche Hochwölbung (schüsselartig)
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: geringfügig randlich
Haftung: sehr schwach bis gar nicht

Injektionsmassenprotokoll Syton 6

Datum: 22.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Sikron 300 SGL	200 g	100 %
Zusatzmittel:	Tween 20	2 g	1 %
Bemerkung:	Ausgangsrezeptur bei Variation der Zuschlagsart (vgl. Injektionsmasse Syton 3)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	24,1	04:07	94
Messung 2	23,4	04:39	98
arithmetisches Mittel	23,8	04:23	96

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d		8 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	1,0	n.e.	1,5	n.e.	2,5	n.e.	3,0	27,0
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	1,0	n.e.	2,0	n.e.	3,5	n.e.	4,0	27,0
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	1,5	n.e.	2,0	n.e.	4,0	n.e.	4,5	28,0
Median									1,0		2,0		3,5		4,0	27,0
arithmetisches Mittel									1,2		1,8		3,3		3,8	27,3
Standardabweichung									0,3		0,3		0,8		0,8	0,6
Variationskoeffizient									24,7		15,7		22,9		19,9	2,1
Bemerkung	letzte Messung nach 8 Tagen, 7-Tage-Werte aus graphischer Darstellung ermittelt															

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1	16,5	21,5	25,0	30,0		36,0	n.e.			
Messung 2	15,0	20,5	24,0	28,0		35,5	n.e.			
Messung 3	14,5	19,0	22,5	26,0		32,0	n.e.			
Median	15,0	20,5	24,0	28,0		35,5				
arithmetisches Mittel	15,3	20,3	23,8	28,0		34,5				
Standardabweichung	1,0	1,3	1,3	2,0		2,2				
Variationskoeffizient	6,8	6,2	5,3	7,1		6,3				

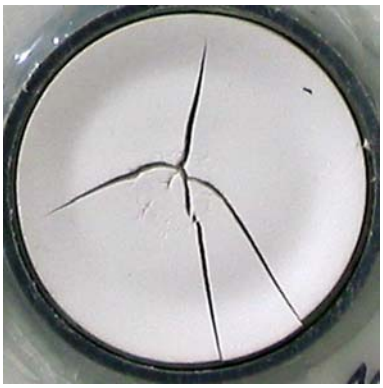
6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	O-	
0,8 mm	O	
1,0 mm	O+	
1,5 mm	+	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: hoch
Risse: wenige, mittelstarke Risse
Verformung: geringe randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: sehr schwach



Glasuntergrund

Schwindmaß: hoch
Risse: wenige, mittelstarke Risse
Verformung: geringe randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: sehr schwach bis gar nicht

Injektionsmassenprotokoll Syton 7

Datum: 22.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl 44 µm (Fa. Kremer)	100 g	50 %
	Cristobalitmehl 8 µm (Fa. Kremer)	100 g	50 %
Zusatzmittel:	Tween 20	2 g	1 %
Bemerkung:	Ausgangsrezeptur bei Variation der Zuschlagsart (vgl. Injektionsmasse Syton 3)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	25,1	03:53	98
Messung 2	24,1	04:07	98
arithmetisches Mittel	24,6	04:00	98

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d		8 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	1,0	n.e.	2,0	n.e.	4,0	n.e.	4,5	19,0
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	1,0	n.e.	2,0	n.e.	4,0	n.e.	4,5	19,0
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	1,0	n.e.	2,0	n.e.	2,0	n.e.	2,0	19,0
Median									1,0		2,0		4,0		4,5	19,0
arithmetisches Mittel									1,0		2,0		3,3		3,7	19,0
Standardabweichung									0,0		0,0		1,2		1,4	0,0
Variationskoeffizient									0,0		0,0		34,6		39,4	0,0
Bemerkung	letzte Messung nach 8 Tagen, 7-Tage-Werte aus graphischer Darstellung ermittelt															

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1	23,0	32,0	39,0	47,0				15-30:00	> 95	n.e.
Messung 2	21,5	28,5	34,5	40,5				37:00	> 95	42,0
Messung 3	19,5	26,5	31,5	38,0				< 58:00	> 95	n.e.
Median	21,5	28,5	34,5	40,5				37:00	> 95	
arithmetisches Mittel	21,3	29,0	35,0	41,8					> 95	
Standardabweichung	1,8	2,8	3,8	4,6						
Variationskoeffizient	8,2	9,6	10,8	11,1						

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	O-	ziemlich schwer
0,8 mm	O	ziemlich schwer
1,0 mm	O	nur relativ schwer
1,5 mm	O+	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: hoch
Risse: wenige, kräftige Risse
Verformung: starke randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: sehr schwach

Glasuntergrund

Schwindmaß: hoch
Risse: sehr wenige, kräftige Risse
Verformung: geringe randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: sehr schwach bis gar nicht

Injektionsmassenprotokoll Syton 8

Datum: 22.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	10 g	5 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl Millisil W12	200 g	100 %
Zusatzmittel:	Tween 20	2,15 g	1,07 %
Bemerkung:	Ausgangsrezeptur bei Variation der Menge pyrog. Kieselsäure (vgl. Injektionsmassen Syton 3 u. 8-10)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Merklich dünnflüssiger in allen 3 Mischphasen; am Ende des Dispergierprozesses relativ schaumig	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	23,4	01:18	100
Messung 2	23,0	01:14	100
arithmetisches Mittel	23,2	01:16	100
Bemerkung	Bodensatzbildung im Auffangbecher; Masse sedimentiert recht schnell, wobei sich der Bodensatz im Mischgefäß mittels Glasstab nur mit Mühe aufrühren läßt		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d		8 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	6,5	1	10,0	3,0	17,0	4,5	22,5	30,5	53,5	51,0	n.e.	58,0	n.e.	59,5	n.e.
Messung 2	n.e.	7,0	< 1	11,0	1,5	17,0	3,5	25,0	30,0	53,0	51,0	n.e.	58,0	n.e.	60,0	n.e.
Messung 3	n.e.	6,5	n.e.	11,0	2,0	16,5	3,5	23,0	30,5	51,5	49,5	n.e.	55,0	n.e.	56,0	n.e.
Median		6,5		11,0	2,0	17,0	3,5	23,0	30,5	53,0	51,0		58,0		59,5	
arithmetisches Mittel		6,7	< 1	10,7	2,2	16,8	3,8	23,5	30,3	52,7	50,5		57,0		58,5	
Standardabweichung		0,3		0,6	0,8	0,3	0,6	1,3	0,3	1,0	0,9		1,7		2,2	
Variationskoeffizient		4,3		5,4	35,3	1,7	15,1	5,6	1,0	2,0	1,7		3,0		3,7	
Bemerkung	letzte Messung nach 8 Tagen, 7-Tage-Werte aus graphischer Darstellung ermittelt															

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1								< 01:00	> 95	45,0
Messung 2								00:35	> 100	n.e.
Messung 3								00:37	> 100	n.e.
Median								00:37	> 100	
arithmetisches Mittel										
Standardabweichung										
Variationskoeffizient										

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	O+	relativ leicht
0,8 mm	+	
1,0 mm	++	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: gering - hoch
Risse: feines Rissnetz und Krakelierung der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht
Verformung: leichtes Hochwölben der einzelnen Schollen
Phasentrennung: ja
Glanz: ja
Verfärbung: nein
Haftung: gut

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering - hoch
Risse: feines Rissnetz und Krakelierung der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht
Verformung: sehr starkes, schüsselartiges Hochwölben der einzelnen Schollen
Phasentrennung: ja
Glanz: ja
Verfärbung: geringfügig randlich
Haftung: sehr gut

Injektionsmassenprotokoll Syton 9

Datum: 22.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	15 g	7,5 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl Millisil W12	200 g	100 %
Zusatzmittel:	Tween 20	2 g	1 %
Bemerkung:	Ausgangsrezeptur bei Variation der Menge pyrog. Kieselsäure (vgl. Injektionsmassen Syton 3 u. 8-10)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Nach Abschluß des Mischprozesses recht dünnflüssig und relativ schaumig	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	24,3	01:42	100
Messung 2	23,6	01:44	ca. 100
arithmetisches Mittel	24,0	01:43	100
Bemerkung	Bodensatzbildung im Auffangbecher		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d		8 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	< 1	6,0	2,0	8,5	3,0	13,5	10,0	45,0	18,0	49,0	48,0	/	53,5	n.e.
Messung 2	n.e.	n.e.	< 1	6,0	1,0	9,5	2,5	12,0	10,0	43,0	19,0	51,0	48,0	/	53,5	n.e.
Messung 3	n.e.	n.e.	< 1	6,0	1,5	8,5	2,5	13,5	10,0	44,0	19,5	51,0	48,0	/	53,5	n.e.
Median			< 1	6,0	1,5	8,5	2,5	13,5	10,0	44,0	19,0	51,0	48,0		53,5	
arithmetisches Mittel			< 1	6,0	1,5	8,8	2,7	13,0	10,0	44,0	18,8	50,3	48,0		53,5	
Standardabweichung				0,0	0,5	0,6	0,3	0,9	0,0	1,0	0,8	1,2	0,0		0,0	
Variationskoeffizient				0,0	33,3	6,5	10,8	6,7	0,0	2,3	4,1	2,3	0,0		0,0	
Bemerkung	letzte Messung nach 8 Tagen, 7-Tage-Werte aus graphischer Darstellung ermittelt															

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1								01:30	> 95	43,0
Messung 2								02:00	> 95	43,0
Messung 3								02:10	> 95	41,5
Median								02:00	> 95	43,0
arithmetisches Mittel								01:53	> 95	42,5
Standardabweichung										0,9
Variationskoeffizient										0,0

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß:	mittel - hoch
Risse:	kräftiges Rissnetz und Krakelierung der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht
Verformung:	starkes Hochwölben der einzelnen aufliegenden Schollen, jedoch gute Planlage am Untergrund
Phasentrennung:	ja
Glanz:	ja
Verfärbung:	nein
Haftung:	gut

Glasuntergrund

Schwindmaß:	mittel - hoch
Risse:	gleichmäßiges, mittelkräftiges Rissnetz der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht
Verformung:	extrem starkes, schüsselartiges Hochwölben der einzelnen aufkliegenden Schollen, jedoch gute Planlage am Untergrund
Phasentrennung:	ja
Glanz:	ja
Verfärbung:	geringfügig randlich
Haftung:	sehr gut

Injektionsmassenprotokoll Syton 10

Datum: 23.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	25 g	12,5 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl Millisil W12	200 g	100 %
Zusatzmittel:	Tween 20	2,1 g	1,05 %
Bemerkung:	Ausgangsrezeptur bei Variation der Menge pyrog. Kieselsäure (vgl. Injektionsmassen Syton 3 u. 8-10)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Keinerlei Anzeichen einer Bodensatzbildung im Mischgefäß während gesamter Verarbeitungsdauer	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	23,8	04:10	64
Messung 2	22,7	04:10	ca. 60
arithmetisches Mittel	23,3	04:10	62

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	0,0	n.e.	0,0	n.e.	0,0	7,0
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	0,0	n.e.	0,0	n.e.	1,5	6,0
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	0,0	n.e.	0,0	n.e.	1,5	6,5
Median									0,0		0,0		1,5	6,5
arithmetisches Mittel									0,0		0,0		1,0	6,5
Standardabweichung									0,0		0,0		0,9	0,5
Variationskoeffizient													86,6	7,7

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

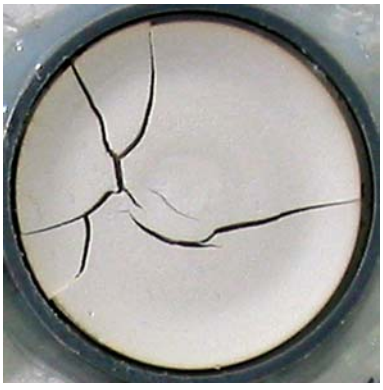
	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1	9,0	12,0	13,5	15,0	16,0	16,0	n.e.			
Messung 2	9,0	12,0	14,5	16,5	17,5	18,0	n.e.			
Messung 3	9,0	11,5	13,5	15,5	17,0	18,0	n.e.			
Median	9,0	12,0	13,5	15,5	17,0	18,0				
arithmetisches Mittel	9,0	11,8	13,8	15,7	16,8	17,3				
Standardabweichung	0,0	0,3	0,6	0,8	0,8	1,2				
Variationskoeffizient	0,0	2,4	4,2	4,9	4,5	6,7				

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: stark - gering
Risse: nur ein kleiner, feiner Riss
Verformung: gleichmäßige schüsselartige Verformung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: schwach



Glasuntergrund

Schwindmaß: stark - mittel
Risse: wenige, kräftige Risse
Verformung: gleichmäßige, schüsselartige Verformung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: keine

Injektionsmassenprotokoll Syton 11

Datum: 23.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	200 g	100 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1,6 g	0,8 %
Bemerkung:	Ausgangsrezeptur bei Variation der Menge an Zusatzmittel (vgl. Injektionsmassen Syton 3 u. 11-12)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	23,6	03:19	98
Messung 2	22,6	03:25	98
arithmetisches Mittel	23,1	03:22	98

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	6,5	3,5	32,0	5,0	32,0	14,5	52,0
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	5,5	3,5	32,0	4,5	32,5	14,5	51,0
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	5,5	3,5	32,0	4,5	32,5	16,5	50,0
Median							< 1	5,5	3,5	32,0	4,5	32,5	14,5	51,0
arithmetisches Mittel							< 1	5,8	3,5	32,0	4,7	32,3	15,2	51,0
Standardabweichung								0,6	0,0	0,0	0,3	0,3	1,2	1,0
Variationskoeffizient								9,9	0,0	0,0	6,2	0,9	7,6	2,0

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	22,5	39,0						10:00	> 95	
Messung 2	25,5	39,0						10:00	> 95	
Messung 3	25,0	37,5						10:50	> 95	
Median	25,0	39,0						10:00	> 95	
arithmetisches Mittel	24,3	38,5						10:17	> 95	
Standardabweichung	1,6	0,9								
Variationskoeffizient	6,6	2,2								

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: hoch
Risse: wenige, kräftige Risse
Verformung: starke randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: schwach

Glasuntergrund

Schwindmaß: hoch - sehr hoch
Risse: spezielles Rissbild mit abgestuften Rissbreiten
Verformung: starke randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: geringfügig randlich
Haftung: schwach

Injektionsmassenprotokoll Syton 12

Datum: 23.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	200 g	100 %
Zusatzmittel:	Tween 20	2,4 g	1,2 %
Bemerkung:	Ausgangsrezeptur bei Variation der Menge an Zusatzmittel (vgl. Injektionsmassen Syton 3 u. 11-12)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	24,3	03:30	98
Messung 2	23,6	03:52	97
arithmetisches Mittel	24,0	03:41	97,5

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	2,0	13,0	2,0	18,0	8,0	43,0
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	2,0	12,5	2,5	18,5	8,5	42,5
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	2,0	12,5	2,5	18,5	9,0	n.e.
Median									2,0	12,5	2,5	18,5	8,5	42,8
arithmetisches Mittel									2,0	12,7	2,3	18,3	8,5	42,8
Standardabweichung									0,0	0,3	0,3	0,3	0,5	
Variationskoeffizient									0,0	2,3	12,4	1,6	5,9	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	20,5	28,5	32,5	37,0				36:00	> 95	40,0
Messung 2	19,5	27,0	31,5	36,0	38,5			> 1 h	n.e.	n.e.
Messung 3	20,0	28,0	33,5	39,5				41:00	< 95	40,0
Median	20,0	28,0	32,5	37,0				41:00		40,0
arithmetisches Mittel	20,0	27,8	32,5	37,5						40,0
Standardabweichung	0,5	0,8	1,0	1,8						
Variationskoeffizient	2,5	2,7	3,1	4,8						

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: hoch
Risse: wenige, kräftige, randnahe Risse
Verformung: starke randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: schwach

Glasuntergrund

Schwindmaß: hoch
Risse: wenige kräftige Risse
Verformung: starke randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: geringfügig randlich
Haftung: schwach

Injektionsmassenprotokoll Syton 13

Datum: 25.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	250 g	125 %
Zusatzmittel:	Tween 20	2 g	1 %
Bemerkung:	Ausgangsrezeptur bei Variation der Zuschlagsmenge (vgl. Injektionsmassen Syton 3 u. 13-14)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Nur geringe Sedimentationsneigung beim Umrühren mit Glasstab festzustellen	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	23,2	04:13	96
Messung 2	23,1	04:28	96
arithmetisches Mittel	23,2	04:21	96

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	3,0	17,0	4,0	26,0	10,5	56,0
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	3,0	16,0	3,5	26,0	10,5	55,0
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	3,0	16,5	4,0	26,0	10,5	56,0
Median							< 1		3,0	16,5	4,0	26,0	10,5	56,0
arithmetisches Mittel							< 1		3,0	16,5	3,8	26,0	10,5	55,7
Standardabweichung									0,0	0,5	0,3	0,0	0,0	0,6
Variationskoeffizient									0,0	3,0	7,5	0,0	0,0	1,0

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	20,0	28,0	33,5	40,0				< 55:00	> 95	
Messung 2	17,0	25,0	30,5	37,0				< 54:00	> 95	
Messung 3	19,5	26,5	31,0	35,5				< 53:00	> 95	
Median	19,5	26,5	31,0	37,0				< 54:00	> 95	
arithmetisches Mittel	18,8	26,5	31,7	37,5				< 54:00	> 95	
Standardabweichung	1,6	1,5	1,6	2,3						
Variationskoeffizient	8,5	5,7	5,1	6,1						

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	O-	
0,8 mm	O+	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: mittel
Risse: wenige kräftige Risse
Verformung: geringe randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: schwach (Anbindung aufgrund der Verformung nur an wenigen Punkten

Glasuntergrund

Schwindmaß: hoch - mittel
Risse: nur ein kräftiger Riss
Verformung: mittlere randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: geringfügig randlich
Haftung: keine

Injektionsmassenprotokoll Syton 14

Datum: 25.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	300 g	150 %
Zusatzmittel:	Tween 20	2 g	1 %
Bemerkung:	Ausgangsrezeptur bei Variation der Zuschlagsmenge (vgl. Injektionsmassen Syton 3 u. 13-14)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	23,9	05:28	93
Messung 2	23,1	05:15	85
arithmetisches Mittel	23,5	05:21	89

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	3,0	13,0	4,0	19,0	11,0	56,0
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	3,5	12,5	4,0	19,0	11,0	56,0
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	3,0	12,5	4,0	19,0	11,0	56,0
Median							< 1		3,0	12,5	4,0	19,0	11,0	56,0
arithmetisches Mittel							< 1		3,2	12,7	4,0	19,0	11,0	56,0
Standardabweichung									0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Variationskoeffizient									9,1	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

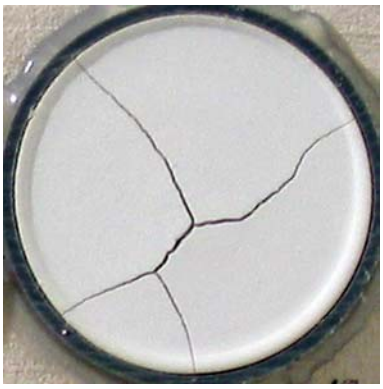
Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	16,0	23,0	27,5	33,0	36,0	39,0	85-105			
Messung 2	15,0	21,0	24,5	26,5	28,0	29,5	69-81			
Messung 3	13,5	19,0	22,5	27,0	29,5	31,0	77-88			
Median	15,0	21,0	12,5	27,0	29,5	31,0				
arithmetisches Mittel	14,8	21,0	24,8	28,8	31,2	33,2	77-91			
Standardabweichung	1,3	2,0	2,5	3,6	4,3	5,1				
Variationskoeffizient	8,5	9,5	10,1	12,5	13,6	15,4				

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	-	ziemlich schwer
0,8 mm	O	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften



Terrakottauntergrund

Schwindmaß: gering - mittel
Risse: wenige, eher schmale Risse
Verformung: kaum
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: sehr geringfügig randlich
Haftung: trotz feiner Rißausbildung parallel zum Untergrund ist die Haftung gut

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering - mittel
Risse: mehrere, mittelfeine Risse
Verformung: z.T. geringe randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: geringfügig randlich
Haftung: schwach

Injektionsmassenprotokoll Syton 15

Datum: 25.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	100 g	50 %
	Plastorit 00	100 g	50 %
Zusatzmittel:	Tween 20	2 g	1 %
Bemerkung:	Ausgangsrezeptur bei Variation der Zuschlagsart (vgl. Injektionsmassen Syton 3, 6-7, 15-17)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Die Masse ist viel sämiger als die Injektionsmassen mit reinem Quarzmehlzuschlag; Beim Rühren mit Glasstab sind keine Anzeichen einer Sedimentation zu beobachten	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	23,6	04:36	85
Messung 2	23,5	04:24	77,5
arithmetisches Mittel	23,6	04:30	81

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	1,5	8,5	1,5	12,0	2,5	24,5
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	8,5	1,5	11,0	1,0	23,5
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	8,5	1,0	11,0	2,5	24,0
Median									< 1	8,5	1,5	11,0	2,5	24,0
arithmetisches Mittel										8,5	1,3	11,3	2,0	24,0
Standardabweichung										0,0	0,3	0,6	0,9	0,5
Variationskoeffizient										0,0	21,7	5,1	43,3	2,1

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	13,5	17,5	20,0	22,5	24,5	25,5	54-68			
Messung 2	11,5	16,0	19,0	21,5	25,0	27,0	63-70			
Messung 3	11,5	15,5	18,0	21,0	22,5	23,5	55-68			
Median	11,5	16,0	19,0	21,5	24,5	25,5				
arithmetisches Mittel	12,2	16,3	19,0	21,7	24,0	25,3	57-69			
Standardabweichung	1,2	1,0	1,0	0,8	1,3	1,8				
Variationskoeffizient	9,5	6,4	5,3	3,5	5,5	6,9				

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	- -	geht gar nicht
0,8 mm	O	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: mittel
Risse: wenige, kräftige Risse
Verformung: mittlere randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: schwach

Glasuntergrund

Schwindmaß: hoch – mittel
Risse: nur ein kräftiger Riss
Verformung: starke randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: schwach

Injektionsmassenprotokoll Syton 16

Datum: 25.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	100 g	50 %
	Plastorit 0000	100 g	50 %
Zusatzmittel:	Tween 20	2 g	1 %
Bemerkung:	Ausgangsrezeptur bei Variation der Zuschlagsart (vgl. Injektionsmassen Syton 3, 6-7, 15-17)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Die Masse ist viel sämiger als die Injektionsmassen mit reinem Quarzmehlzuschlag; Beim Rühren mit Glasstab sind keine Anzeichen einer Sedimentation zu beobachten.	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	24,9	04:39	85
Messung 2	23,9	06:10	85
arithmetisches Mittel	24,4	05:25	85

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	< 1	n.e.	n.e.	n.e.
Median									< 1		< 1		1,5	
arithmetisches Mittel									< 1		< 1		1,5	
Standardabweichung														
Variationskoeffizient														

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	13,5	18,0	21,5	24,5	27,5	29,5	64-76			
Messung 2	12,0	16,5	20,0	23,0	25,5	27,0	61-75			
Messung 3	13,0	17,5	21,0	24,5	27,5	30,0	61-80			
Median	13,0	17,5	21,0	24,5	27,5	29,5				
arithmetisches Mittel	12,8	17,3	20,8	24,0	26,8	28,8	62-77			
Standardabweichung	0,8	0,8	0,8	0,9	1,2	1,6				
Variationskoeffizient	6,0	4,4	3,7	3,6	4,3	5,6				

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	-	geht nur sehr schwer
0,8 mm	O	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: mittel
Risse: sehr wenige, mittelkräftige Risse
Verformung: mittlere randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: schwach

Glasuntergrund

Schwindmaß: mittel
Risse: wenige, mittelkräftige Risse
Verformung: kaum
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: schwach

Injektionsmassenprotokoll Syton 17

Datum: 25.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	100 g	50 %
	Plastorit super	100 g	50 %
Zusatzmittel:	Tween 20	2 g	1 %
Bemerkung:	Ausgangsrezeptur bei Variation der Zuschlagsart (vgl. Injektionsmassen Syton 3, 6-7, 15-17)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Die Masse ist sehr sämig, fast puddingartig. Beim Rühren mit Glasstab sind keine Anzeichen einer Sedimentation zu beobachten.	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	25,8	04:38	80
Messung 2	24,6	04:43	68
arithmetisches Mittel	25,2	04:41	74

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	< 1	n.e.	< 1	n.e.
Median													< 1	
arithmetisches Mittel													< 1	
Standardabweichung														
Variationskoeffizient														
Bemerkung	Wegen Schaumkrone bei Messung 1 und 2 z.T. nicht erkennbar													

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	12,5	16,5	19,0	21,0	23,0	23,0	48-58			
Messung 2	10,0	13,5	16,0	18,5	21,0	21,0	39-57			
Messung 3	11,0	14,5	17,5	19,5	21,0	21,5	50-55			
Median	11,0	14,5	17,5	19,5	21,0	21,5				
arithmetisches Mittel	11,2	14,8	17,5	19,7	21,7	21,8	46-57			
Standardabweichung	1,3	1,5	1,5	1,3	1,2	1,0				
Variationskoeffizient	11,3	10,3	8,6	6,4	5,3	4,8				

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	-	sehr schwer
0,8 mm	O+	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: mittel
Risse: wenige, mittelkräftige Risse
Verformung: mittlere randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: schwach

Glasuntergrund

Schwindmaß: hoch – mittel
Risse: wenige, mittelkräftige Risse
Verformung: sehr gering
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: schwach

Injektionsmassenprotokoll Syton 18

Datum: 25.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	150 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	50 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	10 g	5 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	80 g	40 %
	Plastorit 0000	128 g	64 %
	Vollglaskugeln Spheriglas 3000 CP 00	32 g	16 %
Zusatzmittel:	Tween 20	2 g	1 %
Bemerkung:	Rezeptur in Anlehnung an Angaben von Dr. E. Wendler		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Sedimentiert relativ schnell (Bodensatz beim Rühren mit Glasstab zu beobachten)	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	24,6	03:46	100
Messung 2	24,4	03:56	98
arithmetisches Mittel	24,5	03:51	99

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	2,0	n.e.	2,5	8,5	6,5	48,0	10,0	71,0	27,5	n.e.
Messung 2	n.e.	n.e.	1,0	n.e.	1,5	n.e.	2,0	8,5	6,5	47,0	10,0	70,0	27,5	n.e.
Messung 3	n.e.	n.e.	1,5	n.e.	1,5	n.e.	2,0	8,5	6,5	48,0	10,0	70,0	27,5	n.e.
Median					1,5		2,0	8,5	6,5	48,0	10,0	70,0	27,5	
arithmetisches Mittel			1,3		1,7		2,2	8,5	6,5	47,7	10,0	70,3	27,5	
Standardabweichung					0,3		0,3	0,0	0,0	0,6	0,0	0,6	0,0	
Variationskoeffizient					17,3		13,3	0,0	0,0	1,2	0,0	0,8	0,0	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	26,0	39,0						09:30	> 95	n.e.
Messung 2	23,5	35,5						12:30	> 95	42,0
Messung 3	23,0	32,5						14:30	> 95	42,0
Median	23,5	35,5						12:30	> 95	42,0
arithmetisches Mittel	24,2	35,7						12:10	> 95	42,0
Standardabweichung	1,6	3,3								
Variationskoeffizient	6,7	9,1								

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	O	
0,8 mm	+	
1,0 mm	++	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: sehr gering – gering
Risse: sehr feines Rissnetz mit feinster Krakelierung des aufliegenden, bindemittelreichen Films
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: ja
Glanz: ja
Verfärbung: nein
Haftung: gut

Glasuntergrund

Schwindmaß: sehr gering – gering
Risse: mitelfeines Rissnetz und Krakelierung der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: ja
Glanz: ja
Verfärbung: nein
Haftung: gut

Injektionsmassenprotokoll Syton 19

Datum: 28.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	300 g	150 %
Zusatzmittel:	Lopon 890	1,5 g	0,75 %
Bemerkung:	Variation der Zusatzmittel, ausgehend von Rezeptur Syton 14 (vgl. Rezepturen Syton 19-21, 24)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels Lopon 890 und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkungen:	Verdickende Wirkung des Zusatzmittels auf die Dispersion der pyrogenen Kieselsäure, was die Einarbeitung des Quarzmehlzuschlags erschwert. Am Ende des Dispergiervorgangs ist der Injektionsmörtel dagegen erstaunlich dünflüssig. Relativ schnelles Sedimentieren, wohl aufgrund des Fehlens des Stabilisators Tween 20. Läßt sich sehr schnell und vollständig wieder aufrühren.

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	25,4	02:11	99
Messung 2	24,1	02:14	98
arithmetisches Mittel	24,8	02:12	99

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	< 1	n.e.	1,5	n.e.	2,5	7,0	3,5	11,0	15,0	n.e.	37,5	n.e.	40,0	n.e.
Messung 2	< 1	n.e.	1,5	n.e.	2,5	7,0	4,0	11,0	15,0	n.e.	37,5	n.e.	40,0	n.e.
Messung 3	< 1	n.e.	1,5	n.e.	2,5	7,0	3,5	11,0	15,0	n.e.	37,5	n.e.	40,0	n.e.
Median	< 1		1,5		2,5	7,0	3,5	11,0	15,0		37,5		40,0	
arithmetisches Mittel	< 1		1,5		2,5	7,0	3,7	11,0	15,0		37,5		40,0	
Standardabweichung			0,0		0,0	0,0	0,3	0,0	0,0		0,0		0,0	
Variationskoeffizient			0,0		0,0	0,0	7,9	0,0	0,0		0,0		0,0	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1								02:55	> 95	41,5
Messung 2	39,5							03:05	> 95	39,5
Messung 3	37,0							03:20	> 95	40,0
Median								03:05	> 95	40,0
arithmetisches Mittel								03:07	> 95	40,3
Standardabweichung										1,0
Variationskoeffizient										2,6

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	- -	geht nicht
0,6 mm	O	
0,8 mm	+	
1,0 mm	++	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: sehr gering – gering
Risse: sehr feines Rissnetz der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht
Verformung: nein, gute Planlage; Ausbildung kleiner Schüsseln in der oberen, bindemittelreichen Schicht
Phasentrennung: ja
Glanz: kaum
Verfärbung: geringfügig randlich
Haftung: sehr gut

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering (etwas mehr als bei Masse 18)
Risse: mittelfeines Rissnetz und Krakelierung der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht
Verformung: stärkere Ausbildung kleiner Schüsseln in der oberen, bindemittelreichen Schicht, jedoch gute Planlage an der Unterseite
Phasentrennung: ja
Glanz: deutlich
Verfärbung: kräftige Verfärbung randlich
Haftung: gut

Injektionsmassenprotokoll Syton 20

Datum: 28.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	300 g	150 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	0,5 %
	Lopon 890	1,5 g	0,75 %
Bemerkung:	Variation der Zusatzmittel, ausgehend von Rezeptur Syton 14 (vgl. Rezepturen Syton 19-21, 24)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Zugabe des Lopon 890 zur Flüssigkeitsvorlage und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Einarbeiten der pyrogenen Kieselsäureist relativ langwierig, vermutlich eine Folge der Loponzugabe. Desweiteren ist die verdickende Wirkung des Tween bei der Anwesenheit von Lopon deutlich stärker.	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	24,6	04:49	94
Messung 2	23,9	04:58	94
arithmetisches Mittel	24,3	04:53	94

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	6,5	33,0	17,5	n.e.	35,5	n.e.
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	6,5	31,5	16,5	n.e.	36,0	n.e.
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	6,5	31,5	17,5	n.e.	35,5	n.e.
Median									6,5	31,5	17,5		35,5	
arithmetisches Mittel									6,5	32,0	17,2		35,7	
Standardabweichung									0,0	0,9	0,6		0,3	
Variationskoeffizient									0,0	2,7	3,4		0,8	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	21,0	32,0						< 15:00	> 95	
Messung 2	19,5	29,0	38,0					16:15	> 95	41,5
Messung 3	19,0	29,0	39,0					16:30	> 95	41,5
Median	19,5	29,0						16:15	> 95	41,5
arithmetisches Mittel	19,8	30,0							> 95	41,5
Standardabweichung	1,0	1,7								
Variationskoeffizient	5,2	5,8								

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	O-	gelegentlich stockend
0,8 mm	O+	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: sehr gering - gering
Risse: feines Rissnetz
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: ganz geringfügig randlich
Haftung: sehr gut

Glasuntergrund

Schwindmaß: sehr gering - gering
Risse: mittelfeines Rissnetz
Verformung: z.T. Hochwölbung einzelner Segmente, insgesamt relativ gute Planlage
Phasentrennung: nein
Glanz: leicht
Verfärbung: geringfügig randlich
Haftung: schwach, in der Mitte gut

Injektionsmassenprotokoll Syton 21

Datum: 29.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	300 g	150 %
Zusatzmittel:	Tween 20	0,5 g	0,25 %
	Lopon 890	1,5 g	0,75 %
Bemerkung:	Variation der Zusatzmittel, ausgehend von Rezeptur Syton 14 (vgl. Rezepturen Syton 19-21, 24)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Zugabe des Zusatzmittels 2 (Lopon 890) zur Flüssigkeitsvorlage ohne seperates Homogenisieren	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	24,2	03:14	97
Messung 2	23,5	03:10	> 98
arithmetisches Mittel	23,9	03:12	98

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	1,0	7,5	12,0	57,0	21,5	n.e.	39,5	n.e.
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	1,0	n.e.	1,0	7,5	12,0	58,0	21,5	n.e.	39,5	n.e.
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	1,0	n.e.	2,5	7,5	12,0	57,0	21,5	n.e.	40,0	n.e.
Median					1,0		1,0	7,5	12,0	57,0	21,5		39,5	
arithmetisches Mittel					1,0		1,5	7,5	12,0	57,3	21,5		39,7	
Standardabweichung					0,0		0,9	0,0	0,0	0,6	0,0		0,3	
Variationskoeffizient					0,0		57,7	0,0	0,0	1,0	0,0		0,7	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	33,5							05:50	> 95	n.e.
Messung 2	35,0							05:15	> 95	41,5
Messung 3	32,5							05:30	> 95	41,0
Median	33,5							05:30	> 95	41,3
arithmetisches Mittel	33,7							05:30	> 95	41,3
Standardabweichung	1,3									
Variationskoeffizient	3,7									

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	O-	geht mühsam
0,8 mm	O+	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: sehr gering - gering
Risse: sehr feines Rissnetz mit wenigen Rissen und sehr kleinteiliger Krakelierung der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: ja
Glanz: ja
Verfärbung: geringfügig randlich
Haftung: sehr gut

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering - nicht zu beurteilen
Risse: sehr feines Rissnetz mit sehr kleinteiliger Krakelierung der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: ja
Glanz: ja
Verfärbung: randlich
Haftung: sehr gut

Injektionsmassenprotokoll Syton 22

Datum: 29.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	400 g	200 %
Zusatzmittel:	Tween 20	0,5 g	0,25 %
	Lopon 890	1,5 g	0,75 %
Bemerkung:	Variation der Zuschlagsmenge, ausgehend von Rezeptur Syton 21		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Zugabe des Zusatzmittels 2 (Lopon 890) zur Flüssigkeitsvorlage ohne seperates Homogenisieren	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Nach Abschluß der Dispergierung war noch ein geringfügiger Bodensatz aus Quarzmehl im Mischgefäß, der sich aber problemlos von Hand unterrühren ließ. Beim Aufrühren mit Glasstab ist nur eine geringe Sedimentationsneigung festzustellen.	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	25,7	06:57	91
Messung 2	24,3	07:17	91
arithmetisches Mittel	25,0	07:07	91

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	< 1	n.e.	1,5	n.e.	2,0	n.e.	2,5	n.e.	12,0	39,5	21,5	n.e.	31,0	n.e.
Messung 2	< 1	n.e.	1,5	n.e.	2,0	n.e.	2,5	n.e.	11,5	40,0	21,5	n.e.	31,5	n.e.
Messung 3	< 1	n.e.	1,5	n.e.	2,0	n.e.	2,5	n.e.	11,5	39,0	21,5	n.e.	31,0	n.e.
Median	< 1		1,5		2,0		2,5		11,5	39,5	21,5		31,0	
arithmetisches Mittel	< 1		1,5		2,0		2,5		11,7	39,5	21,5		31,2	
Standardabweichung			0,0		0,0		0,0		0,3	0,5	0,0		0,3	
Variationskoeffizient			0,0		0,0		0,0		2,5	1,3	0,0		0,9	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	13,5	21,5	31,0					< 27:00	> 95	41,0
Messung 2	10,0	17,5	25,5					< 27:30	> 95	n.e.
Messung 3	13,0	20,5	28,5					< 28:30	> 95	41,5
Median	13,0	20,5	28,5					< 27:30	> 95	41,3
arithmetisches Mittel	12,2	19,8	28,3						> 95	41,3
Standardabweichung	1,9	2,1	2,8							
Variationskoeffizient	15,6	10,5	9,7							

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	O-	geht mit Mühe, Tendenz zum Stocken
0,8 mm	O+	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: sehr gering
Risse: wenige, äußerst feine, lange Risse
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: geringfügig
Glanz: geringfügig randlich
Verfärbung: ganz geringfügig randlich
Haftung: sehr gut

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering
Risse: wenige, äußerst feine, lange Risse und randlich kleinteiliges Krakelee der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: ja, v.a. randlich
Glanz: ja, v.a. randlich
Verfärbung: kräftige Verfärbung randlich
Haftung: mäßig

Injektionsmassenprotokoll Syton 23

Datum: 29.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	200 g	100 %
	Plastorit 0000	100 g	50 %
Zusatzmittel:	Tween 20	0,5 g	0,25 %
	Lopon 890	1,5 g	0,75 %
Bemerkung:	Variation der Zuschlagsart, ausgehend von Rezeptur Syton 21		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Zugabe des Zusatzmittels 2 (Lopon 890) zur Flüssigkeitsvorlage ohne seperates Homogenisieren	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	25,3	04:57	94
Messung 2	24,0	05:05	96
arithmetisches Mittel	24,7	05:01	95

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	1,0	n.e.	1,0	n.e.	3,0	n.e.	11,0	46,0	18,5	n.e.	33,0	n.e.
Messung 2	n.e.	n.e.	1,0	n.e.	2,0	n.e.	2,5	n.e.	10,0	46,0	18,5	n.e.	33,0	n.e.
Messung 3	n.e.	n.e.	1,0	n.e.	2,0	n.e.	2,5	n.e.	10,0	46,5	18,5	n.e.	33,0	n.e.
Median			1,0		2,0		2,5		10,0	46,0	18,5		33,0	
arithmetisches Mittel			1,0		1,7		2,7		10,3	46,2	18,5		33,0	
Standardabweichung			0,0		0,6		0,3		0,6	0,3	0,0		0,0	
Variationskoeffizient			0,0		34,6		10,8		5,6	0,6	0,0		0,0	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	20,5	33,0						13:00	> 95	41,0
Messung 2	19,0	30,0						14:00	> 95	40,5
Messung 3	18,0	28,0						18:00	> 95	42,0
Median	19,0	30,0						14:00	> 95	41,0
arithmetisches Mittel	19,2	30,3						15:00	> 95	41,2
Standardabweichung	1,3	2,5								0,8
Variationskoeffizient	6,6	8,3								1,9

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	O-	geht nur mühsam
0,8 mm	O+	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: sehr gering – gering
Risse: wenige, äußerst feine, kürzere Risse sowie sehr feinteilige Krakelierung der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: geringfügig
Glanz: leicht
Verfärbung: nein
Haftung: sehr gut

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering
Risse: mittelfeines Rissnetz mit kleinteiliger Krakelierung der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht
Verformung: Schüsselartige Verformung der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht; ganz geringfügig randliches Hochwölben der Unterseite
Phasentrennung: ja
Glanz: ja
Verfärbung: geringfügig randlich
Haftung: mäßig

Injektionsmassenprotokoll Syton 24

Datum: 29.04.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	300 g	150 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	0,5 %
	Lopon 890	1 g	0,5 %
Bemerkung:	Variation der Zusatzmittel, ausgehend von Rezeptur Syton 14 (vgl. Rezepturen Syton 19-21, 24)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Zugabe des Zusatzmittels 2 (Lopon 890) zur Flüssigkeitsvorlage ohne seperates Homogenisieren	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: kaum bis gar kein Sedimentieren beim Rühren mit Glasstab zu bemerken	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	25,7	04:46	95
Messung 2	24,2	04:55	97
arithmetisches Mittel	25,0	04:50	96

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	1,0	n.e.	1,5	n.e.	6,0	32,0	11,0	52,0	34,0	n.e.
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	1,0	n.e.	1,0	n.e.	6,0	32,0	10,0	53,0	34,0	n.e.
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	1,5	n.e.	1,5	n.e.	6,0	32,0	10,0	52,0	33,5	n.e.
Median					1,0		1,5		6,0	32,0	10,0	52,0	34,0	
arithmetisches Mittel					1,2		1,3		6,0	32,0	10,3	52,3	33,8	
Standardabweichung					0,3		0,3		0,0	0,0	0,6	0,6	0,3	
Variationskoeffizient					24,7		21,7		0,0	0,0	5,6	1,1	0,9	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	22,5	33,5						12:30	> 95	40,5
Messung 2	18,5	30,0						14:00	> 95	40,5
Messung 3	19,0	29,5						17:00	> 95	40,5
Median	19,0	30,0						14:00	> 95	40,5
arithmetisches Mittel	20,0	31,0						14:30	> 95	40,5
Standardabweichung	2,2	2,2								0,0
Variationskoeffizient	10,9	7,0								0,0

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	O-	mühsam, z.T. stockend
0,8 mm	O+	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: sehr gering- gering
Risse: einige mittelfeine, längere Risse, dazwischen äußerst feines, kleinteiliges Rissnetz
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: gut

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering - nicht zu beurteilen (ausgelaufen)
Risse: mittelfeines Rissnetz mit Krakelierung der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht
Verformung: starke Verformung der aufliegenden Kieselgelschollen, sonst planliegend
Phasentrennung: ja
Glanz: ja
Verfärbung: geringfügig randlich
Haftung: gut

Injektionsmassenprotokoll Syton 25

Datum: 07.05.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl 44 µm (Fa. Kremer)	200 g	100 %
	Cristobalitmehl 8 µm (Fa. Kremer)	100 g	50 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	0,5 %
	Lopon 890	1 g	0,5 %
Bemerkung:	Variation der Zuschlagsarten und deren Masseanteilen, ausgehend von Rezeptur Syton 24 (vgl. Rezeptur Syton 25-29)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zu verdünnter Syton-Vorratslösung	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Beim Rühren mit Glasstab keine Füllstoffsedimentation als Bodensatzbildung zu bemerken	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	24,9	5:13	94
Messung 2	24,0	4:29	86
arithmetisches Mittel	24,5	4:51	90

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	3,0	8,0	5,0	13,0	11,0	40,0
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	3,5	8,0	4,5	13,0	10,5	39,0
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	3,5	8,0	4,5	13,0	10,5	40,0
Median							< 1		3,5	8,0	4,5	13,0	10,5	40,0
arithmetisches Mittel							< 1		3,3	8,0	4,7	13,0	10,7	39,7
Standardabweichung									0,3	0,0	0,3	0,0	0,3	0,6
Variationskoeffizient									8,7	0,0	6,2	0,0	2,7	1,5

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	27,0							07:00	> 95	41,0
Messung 2	22,5	36,5						09:00	> 95	39,0
Messung 3	22,5	36,0						09:30	> 95	39,0
Median	22,5							09:00	> 95	39,0
arithmetisches Mittel	24,0							08:40	> 95	39,7
Standardabweichung	2,6									1,2
Variationskoeffizient	10,8									2,9

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	- -	geht gar nicht
0,8 mm	O	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: gering
Risse: keine
Verformung: geringe randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: keine

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering
Risse: sehr wenige, mittelkräftige Risse
Verformung: geringe randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: keine

Injektionsmassenprotokoll Syton 26

Datum: 07.05.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl 44 µm (Fa. Kremer)	240 g	120 %
	Cristobalitmehl 8 µm (Fa. Kremer)	60 g	30 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	0,5 %
	Lopon 890	1 g	0,5 %
Bemerkung:	Variation der Zuschlagsarten und deren Masseanteilen, ausgehend von Rezeptur Syton 24 (vgl. Rezeptur Syton 25-29)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zu verdünnter Syton-Vorratslösung	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Beim Rühren mit Glasstab keine Füllstoffsedimentation als Bodensatzbildung zu bemerken	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	25,8	04:48	94
Messung 2	24,6	05:01	96
arithmetisches Mittel	25,2	04:55	95

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	4,0	14,0	5,5	27,0	15,0	n.e.
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	4,0	13,5	5,5	26,5	15,5	n.e.
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	4,0	14,0	5,5	26,5	15,0	n.e.
Median							< 1		4,0	14,0	5,5	26,5	15,0	
arithmetisches Mittel							< 1		4,0	13,8	5,5	26,7	15,2	
Standardabweichung									0,0	0,3	0,0	0,3	0,3	
Variationskoeffizient									0,0	2,1	0,0	1,1	1,9	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	21,0							10:30	> 95	40,5
Messung 2	22,5							09:30	> 95	40,5
Messung 3	26,0							08:00	> 95	41,5
Median	22,5							09:30	> 95	40,5
arithmetisches Mittel	23,2							09:20	> 95	40,5
Standardabweichung	2,6									0,3
Variationskoeffizient	11,1									0,8

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	- -	geht gar nicht
0,8 mm	O	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: gering
Risse: keine
Verformung: geringe randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: keine

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering
Risse: wenige, feine Risse
Verformung: geringe randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: keine

Injektionsmassenprotokoll Syton 27

Datum: 07.05.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl 44 µm (Fa. Kremer)	260 g	130 %
	Cristobalitmehl 8 µm (Fa. Kremer)	40 g	20 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	0,5 %
	Lopon 890	1 g	0,5 %
Bemerkung:	Variation der Zuschlagsarten und deren Masseanteilen, ausgehend von Rezeptur Syton 24 (vgl. Rezeptur Syton 25-29)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zu verdünnter Syton-Vorratslösung	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Beim Rühren mit Glasstab keine Füllstoffsedimentation als Bodensatzbildung zu bemerken	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	25,8	04:53	96
Messung 2	24,9	04:58	96
arithmetisches Mittel	25,4	04:56	96

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	4,0	17,5	6,5	35,0	18,5	n.e.
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	4,0	17,5	6,5	36,0	19,0	n.e.
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	4,0	18,0	6,5	35,5	18,5	n.e.
Median									4,0	17,5	6,5	35,5	18,5	
arithmetisches Mittel									4,0	17,7	6,5	35,5	18,7	
Standardabweichung									0,0	0,3	0,0	0,5	0,3	
Variationskoeffizient									0,0	1,6	0,0	1,4	1,5	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	22,5	35,5						10:30	> 95	41,0
Messung 2	23,0	37,0						09:30	> 95	40,5
Messung 3	22,0	35,0						10:30	> 95	40,5
Median	22,5	35,5						10:30	> 95	40,5
arithmetisches Mittel	22,5	35,8						10:10	> 95	40,7
Standardabweichung	0,5	1,0								0,3
Variationskoeffizient	2,2	2,9								0,7

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	- -	geht gar nicht
0,8 mm	O	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: gering
Risse: relativ wenige, mittelfeine Risse
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: gering bis mäßig

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering
Risse: relativ ausgeprägtes, mittelfeines Rissnetz
Verformung: sehr gering
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: sehr gering

Injektionsmassenprotokoll Syton 28

Datum: 07.05.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl 44 µm (Fa. Kremer)	150 g	75 %
	Cristobalitmehl 8 µm (Fa. Kremer)	150 g	75 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	0,5 %
	Lopon 890	1 g	0,5 %
Bemerkung:	Variation der Zuschlagsarten und deren Masseanteilen, ausgehend von Rezeptur Syton 24 (vgl. Rezeptur Syton 25-29)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zu verdünnter Syton-Vorratslösung	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Beim Rühren mit Glasstab etwas stärkere Füllstoffsedimentation zu bemerken als bei den Rezepturen Syton 25-27, jedoch weit geringer als bei Rezeptur Syton 24 mit Zuschlag Millisil W 12.	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	26,2	05:41	89
Messung 2	24,7	06:03	93
arithmetisches Mittel	25,5	05:52	91

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	2,5	n.e.	3,5	n.e.	7,5	21,0
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	2,5	n.e.	3,5	n.e.	7,0	21,0
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	2,5	n.e.	3,0	n.e.	7,0	21,0
Median									2,5		3,5		7,0	21,0
arithmetisches Mittel									2,5		3,3		7,2	21,0
Standardabweichung									0,0		0,3		0,3	0,0
Variationskoeffizient									0,0		8,7		4,0	0,0

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	24,0	38,0						09:00	> 95	40,5
Messung 2	21,0	35,5						09:30	> 95	39,0
Messung 3	21,5	35,0						10:10	> 95	39,5
Median	21,3	35,5						09:30	> 95	39,5
arithmetisches Mittel	21,3	36,2						09:33	> 95	39,7
Standardabweichung	12,3	1,6								0,8
Variationskoeffizient	57,7	4,4								1,9

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	- -	geht gar nicht
0,8 mm	O	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: gering
Risse: keine
Verformung: geringe randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: keine

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering
Risse: wenige, größere Risse
Verformung: stärkere Verwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: keine

Injektionsmassenprotokoll Syton 29

Datum: 08.05.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	150 g	75 %
	Plastorit 0000	150 g	75 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	0,5 %
	Lopon 890	1 g	0,5 %
Bemerkung:	Variation der Zuschlagsarten und deren Masseanteilen, ausgehend von Rezeptur Syton 24 (vgl. Rezeptur Syton 25-29)		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zu verdünnter Syton-Vorratslösung	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	27,0	7:48	81
Messung 2	25,6	8:38	84
arithmetisches Mittel	26,3	8:13	82,5

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	1,5	n.e.	6,5	22	11,0	40	29,5	n.e.
Messung 2	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	1,5	n.e.	6,5	22	11,0	40	29,5	n.e.
Messung 3	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	1,5	n.e.	6,5	22	11,0	40	29,5	n.e.
Median			< 1		1,5		1,5		6,5	22,0	11,0	40,0	29,5	
arithmetisches Mittel			< 1		1,5		1,5		6,5	22,0	11,0	40,0	29,5	
Standardabweichung					0,0		0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Variationskoeffizient					0,0		0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	35 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	h:min:sek	[%]	[mm]
Messung 1	12,5	17,5	22,0	31,0	41,5			01:02:00	100	41,5
Messung 2	11,0	16,5	21,0	30,5				56:00	100	41,5
Messung 3	10,0	16,0	21,0	31,0				58:30	> 95	40,5
Median	11,0	16,5	21,0	31,0				58:30	100	41,5
arithmetisches Mittel	11,2	16,7	21,3	30,8				58:10	> 95	41,2
Standardabweichung	1,3	0,8	0,6	0,3						0,6
Variationskoeffizient	11,3	4,6	2,7	0,9						1,4

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	- -	geht gar nicht
0,8 mm	O.	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: sehr gering
Risse: keine
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: sehr gering, trotz guter Benetzung des Untergrundes und Engobeausbruch bis auf den Scherben

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering
Risse: feines Rissnetz mit kleinteiliger Krakelierung der Kieselgelschicht
Verformung: Verformung der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht, sonst planliegend
Phasentrennung: ja
Glanz: ja
Verfärbung: nein
Haftung: gering bis mäßig

Injektionsmassenprotokoll Syton 30

Datum: 09.05.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	150 g	75 %
	Plastorit 0000	110 g	55,5 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	0,5 %
	Lopon 890	1 g	0,5 %
Bemerkung:	Variation der Zuschlagsarten und deren Volumenanteilen, ausgehend von Rezeptur Syton 24 (vgl. Rezeptur Syton 30-34). Etwa gleiches Schüttvolumen von Quarzmehl und Plastorit		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zu verdünnter Syton-Vorratslösung	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	25,2	5:14	93
Messung 2	24,3	5:31	93
arithmetisches Mittel	24,8	5:23	93

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1	n.e.	6,0	30,0	11,0	54,0	32,0	n.e.
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	6,0	30,5	11,0	53,0	32,5	n.e.
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	6,0	30,0	11,0	54,0	32,5	n.e.
Median					< 1		1,5		6,0	30,0	11,0	54,0	32,5	
arithmetisches Mittel					< 1		1,3		6,0	30,2	11,0	53,7	32,3	
Standardabweichung							0,3		0,0	0,3	0,0	0,6	0,3	
Variationskoeffizient							21,7		0,0	1,0	0,0	1,1	0,9	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	19,0	28,5	36,0					20:00	> 95	39,5
Messung 2	17,5	27,0	35,0					21:30	> 95	42,0
Messung 3	18,0	27,5	36,5					19:00	> 95	40,0
Median	18,0	27,5	36,0					20:00	> 95	40,0
arithmetisches Mittel	18,2	27,7	35,8					20:10	> 95	40,5
Standardabweichung	0,8	0,8	0,8							1,3
Variationskoeffizient	4,2	2,8	2,1							3,3

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	- -	geht gar nicht
0,8 mm	O	
1,0 mm	+	
1,5 mm	+ +	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: sehr gering
Risse: mittelfeines Rissnetz
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: sehr gering
Glanz: sehr gering
Verfärbung: keine
Haftung: gut

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering
Risse: mittelfeines Rissnetz mit kleinteiliger Krakelierung der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: ja
Glanz: ja
Verfärbung: keine
Haftung: gering bis mäßig

Injektionsmassenprotokoll Syton 31

Datum: 09.05.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	100 g	50 %
	Plastorit 0000	140 g	70 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	0,5 %
	Lopon 890	1 g	0,5 %
Bemerkung:	Variation der Zuschlagsarten und deren Volumenanteilen, ausgehend von Rezeptur Syton 24 (vgl. Rezeptur Syton 30-34). Nach Schüttvolumen berechnetes Verhältnis QM : Plastorit ca. 1:2		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zu verdünnter Syton-Vorratslösung	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	25,0	05:28	93
Messung 2	24,2	05:40	92
arithmetisches Mittel	24,6	05:34	92,5

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	5,5	24,0	9,0	45,0	26,0	n.e.
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	5,5	24,5	9,0	44,0	26,0	n.e.
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	5,0	25,0	9,0	44,0	26,0	n.e.
Median					< 1		1,5		5,5	24,5	9,0	44,0	26,0	
arithmetisches Mittel					< 1		1,5		5,3	24,5	9,0	44,3	26,0	
Standardabweichung							0,0		0,3	0,5	0,0	0,6	0,0	
Variationskoeffizient							0,0		5,4	2,0	0,0	1,3	0,0	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	21,0	31,0	41,0					15:00	> 95	41,0
Messung 2	18,5	28,5	37,0					19:00	> 95	40,5
Messung 3	19,0	29,5	39,0					16:00	> 95	40,0
Median	19,0	29,5	39,0					16:00	> 95	40,5
arithmetisches Mittel	19,5	29,7	39,0					16:40	> 95	40,5
Standardabweichung	1,3	1,3	2,0							0,5
Variationskoeffizient	6,8	4,2	5,1							1,2

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	-	sehr schnell verstopft
0,8 mm	O	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: sehr gering
Risse: wenige, mittelfeine Risse
Verformung: geringe randliche Hochwölbung
Phasentrennung: sehr gering
Glanz: sehr gering
Verfärbung: keine
Haftung: gering

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering
Risse: mittelfeines Rissnetz
Verformung: randliche Hochwölbung
Phasentrennung: teilweise ja
Glanz: teilweise ja
Verfärbung: keine
Haftung: sehr gering

Injektionsmassenprotokoll Syton 32

Datum: 12.05.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	200 g	100 %
	Plastorit 0000	70 g	35 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	0,5 %
	Lopon 890	1 g	0,5 %
Bemerkung:	Variation der Zuschlagsarten und deren Volumenanteilen, ausgehend von Rezeptur Syton 24 (vgl. Rezeptur Syton 30-34). Nach Schüttvolumen berechnetes Verhältnis QM : Plastorit ca. 2:1		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zu verdünnter Syton-Vorratslösung	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	24,2	05:16	90
Messung 2	23,0	06:07	93
arithmetisches Mittel	23,6	05:42	91,5

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	<1	n.e.	1,5	n.e.	6,5	33,0	9,5	47,0	28,5	n.e.
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	<1	n.e.	1,5	n.e.	6,5	32,0	9,5	47,0	28,5	n.e.
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	<1	n.e.	1,5	n.e.	6,5	33,0	9,5	46,0	28,5	n.e.
Median					<1		1,5		6,5	33,0	9,5	47,0	28,5	
arithmetisches Mittel					<1		1,5		6,5	32,7	9,5	46,7	28,5	
Standardabweichung							0		0,0	0,6	0,0	0,6	0,0	
Variationskoeffizient							0		0,0	1,8	0,0	1,2	0,0	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	18,0	27,0	36,0					< 22:00	> 95	n.e.
Messung 2	16,5	25,0	33,0					23:00	> 95	n.e.
Messung 3	14,5	23,0	31,0					24:30	> 95	40,0
Median	16,5	25,0	33,0					23:00	> 95	
arithmetisches Mittel	16,3	25,0	33,3					23:10	> 95	
Standardabweichung	1,8	2,0	2,5							
Variationskoeffizient	10,8	8,0	7,5							

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	- -	geht gar nicht
0,8 mm	O	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: sehr gering – gering
Risse: wenige, mittelfeine Risse
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: mäßig bis gut

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering
Risse: mittelfeines Rissnetz, z.T. mit kleinteiliger Krakelierung
Verformung: stärkere Verwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: gering

Injektionsmassenprotokoll Syton 33

Datum: 15.05.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Feststoffanteil in M.-%, bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	90 g	45 %
	Plastorit 0000	126 g	63 %
	Spheriglass 3000 CP 00	33,6 g	16,8 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	0,5 %
	Lopon 890	1 g	0,5 %
Bemerkung:	Variation der Zuschlagsarten und deren Volumenanteilen, ausgehend von Rezeptur Syton 24 (vgl. Rezeptur Syton 30-34). Nach Schüttvolumen berechnetes Verhältnis QM : Plastorit ca. 1:2, wobei ca. 9,5 V.-% dieser Füllstoffe durch Vollglaskugeln ersetzt wurden.		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zu verdünnter Syton-Vorratslösung	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	24,1	05:17	91
Messung 2	24,0	05:38	94
arithmetisches Mittel	24,1	05:28	92,5

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	<1	n.e.	5,5	33,0	9,0	54,0	30,0	n.e.
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	<1	n.e.	5,5	33,0	9,0	53,0	30,5	n.e.
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	<1	n.e.	5,5	33,0	9,0	54,0	30,5	n.e.
Median							<1		5,5	33,0	9,0	54,0	30,5	
arithmetisches Mittel							<1		5,5	33,0	9,0	53,7	30,3	
Standardabweichung									0,0	0,0	0,0	0,6	0,3	
Variationskoeffizient									0,0	0,0	0,0	1,1	1,0	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	21,0	30,0	37,5					19:00	> 95	42,0
Messung 2	19,0	29,0	38,0					17:00	> 95	41,0
Messung 3	17,5	27,0	36,0					18:00	> 95	40,5
Median	19,0	29,0	37,5					18:00	> 95	41,0
arithmetisches Mittel	19,2	28,7	37,2					18:00	> 95	41,2
Standardabweichung	1,8	1,5	1,0							0,8
Variationskoeffizient	9,2	5,3	2,8							1,9

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	/	nicht getestet
0,8 mm	O	o.k.
1,0 mm	+	o.k.
1,5 mm	++	o.k.

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: gering
Risse: mittelfeines Rissnetz mit kleinteiligem Krakelee dazwischen
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: sehr gering
Glanz: sehr gering
Verfärbung: nein
Haftung: gering

Glasuntergrund

Schwindmaß: mäßig
Risse: mittelkräftiges Rissnetz mit kleinteiligem Krakelee der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht dazwischen
Verformung: stärkere Verformung und schüsselförmige Verwölbung der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht
Phasentrennung: ja
Glanz: ja
Verfärbung: nein
Haftung: gering

Injektionsmassenprotokoll Syton 34

Datum: 15.05.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	80 g	40 %
	Plastorit 0000	112 g	56 %
	Spheriglass 3000 CP 00	67,2 g	33,6 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	0,5 %
	Lopon 890	1 g	0,5 %
Bemerkung:	Variation der Zuschlagsarten und deren Volumenanteilen, ausgehend von Rezeptur Syton 24 (vgl. Rezeptur Syton 30-34). Nach Schüttvolumen berechnetes Verhältnis QM : Plastorit ca. 1:2, wobei ca. 19 V.-% dieser Füllstoffe durch Vollglaskugeln ersetzt wurden.		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zu verdünnter Syton-Vorratslösung	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	25,0	05:26	91,5
Messung 2	24,1	05:22	91
arithmetisches Mittel	24,6	05:24	91,3

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	<1	n.e.	4,5	34,0	7,0	51,0	27,5	n.e.
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	<1	n.e.	4,5	34,0	7,0	51,0	27,0	n.e.
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	<1	n.e.	4,5	34,0	7,0	51,0	27,5	n.e.
Median							<1		4,5	34,0	7,0	51,0	27,5	
arithmetisches Mittel							<1		4,5	34,0	7,0	51,0	27,3	
Standardabweichung									0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	
Variationskoeffizient									0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	18,5	27,0	35,0					22:30	> 95	41,0
Messung 2	16,0	25,0	33,5					23:00	> 95	40,5
Messung 3	16,0	26,0	35,0					19:30	> 95	39,5
Median	16,0	26,0	35,0					22:30	> 95	40,5
arithmetisches Mittel	16,8	26,0	34,5					22:00	> 95	40,3
Standardabweichung	1,4	1,0	0,9							0,8
Variationskoeffizient	8,6	3,8	2,5							1,9

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	nicht getestet
0,6 mm	- -	geht gar nicht
0,8 mm	O	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: gering
Risse: wenige, mittelfeine Risse
Verformung: geringe randliche Hochwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: gering bis sehr gering

Glasuntergrund

Schwindmaß: mäßig
Risse: wenige, mittelfeine Risse
Verformung: stärkere Verwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: sehr gering bis gar nicht

Injektionsmassenprotokoll Syton 35

Datum: 16.05.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	20 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	150 g	75 %
	Plastorit 0000	110 g	55 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	0,5 %
	Lopon 890	1 g	0,5 %
Bemerkung:	identische Rezeptur wie Syton 30, jedoch höhere Umfangsgeschwindigkeit der Dispergierscheibe		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zu verdünnter Syton-Vorratslösung	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	9,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	9,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	25,6	05:08	93
Messung 2	24,8	05:31	94
arithmetisches Mittel	25,2	05:20	93,5

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	4,5	22,0	7,5	41,0	19,5	n.e.
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	4,0	22,0	7,5	41,0	19,0	n.e.
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	4,0	22,0	7,5	41,0	19,0	n.e.
Median					< 1		1,5		4,0	22,0	7,5	41,0	19,0	
arithmetisches Mittel					< 1		1,5		4,2	22,0	7,5	41,0	19,2	
Standardabweichung							0,0		0,3	0,0	0,0	0,0	0,3	
Variationskoeffizient							0,0		6,9	0,0	0,0	0,0	1,5	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	22,0	33,5						12:00	> 95	40,5
Messung 2	17,5	27,5	37,0					17:00	> 95	39,5
Messung 3	17,0	27,5	37,5					17:00	> 95	40,0
Median	17,5	27,5						17:00	> 95	40,0
arithmetisches Mittel	18,8	29,5						15:20	> 95	40,0
Standardabweichung	2,8	3,5								0,5
Variationskoeffizient	14,6	11,7								1,3

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	(nicht getestet)
0,6 mm	O-	
0,8 mm	O	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: gering
Risse: sehr wenige, feine Risse
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: gering bis sehr gering

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering
Risse: wenige, kräftige Risse
Verformung: geringe Verwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: keine

Injektionsmassenprotokoll Syton 36

Datum: 16.05.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	15 g	7,5 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	150 g	75 %
	Plastorit 0000	110 g	55 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	0,5 %
	Lopon 890	1 g	0,5 %
Bemerkung:	identische Rezeptur wie Syton 30, jedoch um 25 % verringerter Anteil pyrogener Kieselsäure		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zu verdünnter Syton-Vorratslösung	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: relativ viel Schaum nach Abschluß des Mischvorgangs	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	24,7	04:03	98
Messung 2	24,1	04:20	97
arithmetisches Mittel	24,4	04:12	97,5

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	~1	n.e.	2,0	n.e.	6,0	33,0	11,0	55,0	34,5	n.e.
Messung 2	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	~1	n.e.	2,0	n.e.	6,5	33,0	11,0	54,0	34,5	n.e.
Messung 3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	~1	n.e.	2,0	n.e.	6,5	33,0	11,0	55,0	35,0	n.e.
Median					~ 1		2,0		6,5	33,0	11,0	55,0	34,5	
arithmetisches Mittel					~ 1		2,0		6,3	33,0	11,0	54,7	34,7	
Standardabweichung							0,0		0,3	0,0	0,0	0,6	0,3	
Variationskoeffizient							0,0		4,6	0,0	0,0	1,1	0,8	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	22,0	35,5						10:30	> 95	41,0
Messung 2	21,0	33,0						12:30	> 95	40,0
Messung 3	20,0	33,5						11:00	> 95	39,5
Median	21,0	33,5						11:00	> 95	40,0
arithmetisches Mittel	21,0	34,0						11:20	> 95	40,2
Standardabweichung	1,0	1,3								0,8
Variationskoeffizient	4,8	3,9								1,9

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	/	(nicht getestet)
0,6 mm	O-	
0,8 mm	O	
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: sehr gering - gering
Risse: feines Rissnetz und Krakelierung
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: sehr gering
Glanz: sehr gering
Verfärbung: nein
Haftung: gut

Glasuntergrund

Schwindmaß: nicht zu beurteilen
Risse: nicht zu beurteilen
Verformung: nicht zu beurteilen
Phasentrennung: nicht zu beurteilen
Glanz: nicht zu beurteilen
Verfärbung: nein
Haftung: nicht zu beurteilen
Masse z.T. ausgelaufen

Injektionsmassenprotokoll Syton 37

Datum: 16.05.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	100 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	10 g	5 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	150 g	75 %
	Plastorit 0000	110 g	55 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	0,5 %
	Lopon 890	1 g	0,5 %
Bemerkung:	identische Rezeptur wie Syton 30, jedoch 50 % verringerter Anteil pyrogener Kieselsäure		

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zu verdünnter Syton-Vorratslösung	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2,0 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: sehr viel Schaum nach Abschluß des Mischvorgangs	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	24,6	02:19	96
Messung 2	24,3	02:29	99
arithmetisches Mittel	24,5	02:24	97,5

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1	n.e.	n.e.	1,0	n.e.	2,0	7,0	3,0	12,0	14,5	61,0	30,0	n.e.	40,0	n.e.
Messung 2	n.e.	n.e.	1,5	n.e.	2,0	7,0	3,0	12,0	14,0	62,0	30,0	n.e.	40,0	n.e.
Messung 3	n.e.	n.e.	1,5	n.e.	2,5	7,0	3,5	12,0	14,5	62,0	30,0	n.e.	40,0	n.e.
Median			1,5		2,0	7,0	3,0	12,0	14,5	62,0	30,0		40,0	
arithmetisches Mittel			1,3		2,2	7,0	3,2	12,0	14,3	61,7	30,0		40,0	
Standardabweichung			0,3		0,3	0,0	0,3	0,0	0,3	0,6	0,0		0,0	
Variationskoeffizient			21,7		13,3	0,0	9,1	0,0	2,0	0,9	0,0		0,0	

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[%]	[mm]
Messung 1	30,5							05:00	> 95	41,0
Messung 2	34,0							04:15	> 95	41,0
Messung 3	35,0							04:00	> 95	39,5
Median	34,0							04:15	> 95	41,0
arithmetisches Mittel	33,2							04:25	> 95	40,5
Standardabweichung	2,4									0,9
Variationskoeffizient	7,1									2,1

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung des Erhärtungsschwindens und der Festigkeit

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: sehr gering - gering
Risse: sehr feines Rissnetz mit kleinstteiliger Krakelierung der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: ja
Glanz: ja
Verfärbung: nein
Haftung: sehr gut

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering - mäßig
Risse: eher kräftiges Rissnetz mit kleinteiligem Krakelee der aufliegenden, bindemittelreichen Schicht
Verformung: geringfügige randliche Verwölbung
Phasentrennung: ja
Glanz: ja
Verfärbung: nein
Haftung: gering bis mäßig

Injektionsmassenprotokoll KSE

Datum: 04.06.03

Raumtemperatur 29° C

1. Rezeptur Verhältnis Bindemittel zu Füllstoff = 1 : 0,88

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	KSE 500 STE	204 g	
Zuschlagsstoffe:	Füllstoff A	120 g	58,8 %
	Füllstoff B	60 g	29,4 %
Summe:			88,2 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Intensives Aufschütteln des KSE-Gebindes für 2 Minuten	
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6 m/s; 5 min
Zeitpunkt des Abschlusses des Mischvorgangs: ~ 11:00	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1	27,6	01:59	100
Messung 2	27,6	01:57	100
arithmetisches Mittel	27,6	01:58	100
Bemerkung	Keine Bodensatzbildung erkennbar, Füllstoffe scheinen sehr fein zu sein.		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1 (11:24)	< 1	n.e.	< 1	n.e.	1,0	n.e.	1,5	n.e.	6,5	59	10,5	78	37,5	n.e.
Messung 2 (11:25)	< 1	n.e.	< 1	n.e.	1,0	n.e.	1,5	n.e.	6,5	59	10,5	78	37,0	n.e.
Messung 3 (11:26)	< 1	n.e.	< 1	n.e.	1,0	n.e.	1,5	n.e.	6,5	59	10,5	76,5	37,5	n.e.
Median	< 1		< 1		1		1,5		6,5	59,0	10,5	78,0	37,5	
arithmetisches Mittel	< 1		< 1		1		1,5		6,5	59,0	10,5	77,5	37,3	
Standardabweichung					0		0		0,0	0,0	0,0	0,9	0,3	
Variationskoeffizient					0		0		0,0	0,0	0,0	1,1	0,8	
Bemerkung														

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (11:27)								02:35	100	42
Messung 2 (11:28)								02:35	100	41
Messung 3 (11:29)								02:30	> 95	40,5
Median								02:35	100	

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	--	nicht möglich
0,6 mm	O	schwer, aber möglich
0,8 mm	+	
1,0 mm	++	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: mittel - gering
Risse: feine, konzentrische Risse am Rand
Verformung: geringfügige randliche Verwölbung
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: sehr gering

Glasuntergrund

Schwindmaß: sehr stark
Risse: feine konzentrische Risse in der Mitte
Verformung: stärkere, konvexe Verwölbung der Unterseite
Phasentrennung: ja
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: keine

Injektionsmassenprotokoll HGZ 1

Datum: 07.06.03

Raumtemperatur 29° C

1. Rezeptur Verhältnis Bindemittel zu Füllstoff = 1 : 1 Verhältnis Wasser zu Feststoff (Bindemittel und Zuschlag) = 0,5 : 1

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	HGZ	125 g	100 %
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	125 g	
Zuschlagsstoffe:	Dorsilit 1600	100 g	80 %
	Borosilikatvollglaskugeln	25 g	20 %
Zusatzmittel:	Desmodur DA-L	10 g	8 %
Summe:			208 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren von Desmodur in die Flüssigphase mittels Dissolver	2,0 m/s; 1 min
Eindispergieren von Bindemittel und Zuschlag mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Abschluß des Mischvorgangs: 15:52	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (15:55)	28,3	01:10	96
Messung 2 (16:04)	28,3	01:11	98
arithmetisches Mittel	28,3	01:11	97
Bemerkung	Sedimentiert sehr stark im Mischbehältnis		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1 (16:11)	n.e.	n.e.			3	n.e.	3,5	n.e.						
Messung 2 (16:12)	1,5	n.e.			5	n.e.	5,5	n.e.						
Messung 3 (16:13)	n.e.	n.e.			5	n.e.	6	n.e.						
Median					5		5,5							
arithmetisches Mittel	1,5				4,3		5							
Standardabweichung					1,2		1,3							
Variationskoeffizient					26,7		26,5							
Bemerkung	Die Sedimentationsneigung scheint nach etwa 30 Minuten deutlich abzunehmen.													

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (16:14)								01:30	~ 95	38,0
Messung 2 (16:18)								01:20	~ 95	40,0
Messung 3 (16:22)								02:10	> 95	39,5
Median								01:30	~ 95	39,5
arithmetisches Mittel								01:46		39,2
Standardabweichung										1,0
Variationskoeffizient										2,7

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm		nicht getestet
0,6 mm		nicht getestet
0,8 mm	O/ -	stockend
1,0 mm		nicht getestet
1,5 mm		nicht getestet

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: sehr gering
Risse: keine
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: ungleichmäßige Graufärbung
Haftung: sehr gut

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering - sehr gering
Risse: keine
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: ja
Glanz: leicht
Verfärbung: nein
Haftung: gering

Injektionsmassenprotokoll HGZ 2

Datum: 07.06.03

Raumtemperatur 29° C

1. Rezeptur Verhältnis Bindemittel zu Füllstoff = 1 : 1 Verhältnis Wasser zu Feststoff (Bindemittel und Zuschlag) = 0,44 : 1

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	HGZ	125 g	113,6
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	110 g	
Zuschlagsstoffe:	Dorsilit 1600	100 g	90,9 %
	Borosilikatvollglaskugeln	25 g	22,7 %
Zusatzmittel:	Desmodur DA-L	10 g	9,1 %
Summe:			236,3 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren von Desmodur in die Flüssigphase mittels Dissolver	2,0 m/s; 1 min
Eindispergieren von Bindemittel und Zuschlag mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Abschluß des Mischvorgangs: 17:50	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (17:55)	28,8	01:23	97
Messung 2 (18:36)	28,6	01:47	60
arithmetisches Mittel	28,7	-	-
Bemerkung	Starke Verschlechterung der Fließeigenschaften 46 Minuten nach Mischende		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit (nicht getestet)

5. Messung des Penetrationsvermögens

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (18:08)								02:00	> 95	41,0
Messung 2 (18:12)								02:30	> 95	38,5
Messung 3 (18:16)	29,5	30,5	31,0	31,0	31,0					
Messung 4 (18:25)	14	15	15	15,5	16					
Bemerkung	Deutliche Verschlechterung des Penetrationsvermögens ab 26 Minuten nach Mischende									

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll HGZ 3

Datum: 10.06.03

Raumtemperatur: 28,9° C

1. Rezeptur Verhältnis Bindemittel zu Füllstoff = 1 : 1 Verhältnis Wasser zu Feststoff (Bindemittel und Zuschlag) = 0,4 : 1

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	HGZ	125 g	125 %
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
Zuschlagsstoffe:	Dorsilit 1600	100 g	100 %
	Borosilikatvollglaskugeln	25 g	25 %
Zusatzmittel:	Desmodur DA-L	10 g	10 %
Summe:			260 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren von Desmodur in die Flüssigphase mittels Dissolver	2,0 m/s; 1,5 min
Eindispergieren von Bindemittel und Zuschlag mittels Dissolver	6,0 m/s; 5 min
Ende des Mischvorgangs: 18:11	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (18:14)	29,0	01:36	95
Messung 2 (18:30)	28,8	01:41	97
arithmetisches Mittel	28,9	01:38	96
Bemerkung			

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit (nicht getestet)

5. Messung des Penetrationsvermögens

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	15 min	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (18:19)								00:55	> 95	42,0
Messung 2 (18:22)								01:20		40,5
Messung 3 (18:32)	24,5	25,0	25,0				57-70			
Bemerkung	Deutliche Verschlechterung der Penetrationsvermögens ab 21 Minuten nach Mischende									

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll HGZ 4

Datum: 07.06.03

Raumtemperatur: 29° C

1. Rezeptur Verhältnis Bindemittel zu Füllstoff = 1 : 1 Verhältnis Wasser zu Feststoff (Bindemittel und Zuschlag) = 0,4 : 1

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	HGZ	125 g	125 %
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
Zuschlagsstoffe:	Dorsilit 1600	100 g	100 %
	Borosilikatvollglaskugeln	25 g	25 %
Zusatzmittel:	Desmodur DA-L	10 g	10 %
Summe:			260 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Kombimixer der Fa. AEG, Typ 6135665000, 100W
Vierflügelmesser, Drehzahl nicht bekannt
3 Geschwindigkeitsstufen wählbar, Mischvorgang bei maximaler Geschwindigkeit

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren des Desmodur in die Flüssigphase	1 min
Eindispergieren von Bindemittel und Zuschlag	5 min
Abschluß des Mischvorgangs: 21:15	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Starke Schaumentwicklung beim Dispergieren des PU-Anteils. Deutliche Erwärmung des Mischansatzes beim Eindispergieren des Trockenmörtels.	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (21:18)	31,4	01:29	100
Bemerkung			

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit (nicht gestestet)

5. Messung des Penetrationsvermögens

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	15 min	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (21:20)								02:30	85	32,5
Messung 2 (21:24)								01:15	> 95	42,0
Messung 3 (21:27)	28,0	29,0	29,5				65-92		~ 70	29,5
Messung 4 (21:30)								02:30	~ 90	38,0
Messung 5 (21:35)	29,0	32,0	32,0				50-101		~ 70	32,0
Bemerkung	Starke Meßwertschwankungen; eine klare Tendenz zur Verschlechterung des Penetrationsvermögens mit wachsendem zeitlichen Abstand zum Mischende ist nicht erkennbar.									

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll HGZ 5

Datum: 07.06.03

Raumtemperatur: 26° C

1. Rezeptur Verhältnis Bindemittel zu Füllstoff = 1 : 1 Verhältnis Wasser zu Feststoff (Bindemittel und Zuschlag) = 0,4 : 1

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	HGZ	125 g	125 %
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
Zuschlagsstoffe:	Dorsilit 1600	100 g	100 %
	Borosilikatvollglaskugeln	25 g	25 %
Zusatzmittel:	Desmodur DA-L	10 g	10 %
Summe:			260 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Kombimixer Rotel 2000 (Osterreichisches Fabrikat), 140 W, Typ 17.70, Fabr.Nr. 721
Drehzahl nicht bekannt, 3 Geschwindigkeitsstufen wählbar, Mischvorgang bei maximaler Geschwindigkeit

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren des Desmodur in die Flüssigphase im kleinen Mischbecher (250 ml)	0,5 min
Eindispergieren von Bindemittel und Zuschlag	5 min
Abschluß des Mischvorgangs: 17:32	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Starke Schaumbildung beim Vordispergieren des Desmodur. Nach 5 min sehr heiß (38,7 °C) und schaumig. Dies spricht für die Wahl einer niedrigeren Drehzahl.	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (17:35)	32,0	01:09	97
Bemerkung	Die Sedimentationsneigung ist deutlich geringer als beim Dispergieren mit dem Dissolver der Fa. Distech (bezüglich Bodensatzbildung im Mischgefäß während der 30-minütigen Verarbeitungsdauer).		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1 (17:39)	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.			n.e.	n.e.	n.e.	n.e.		
Messung 2 (17:40)	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.			n.e.	n.e.	n.e.	n.e.		
Messung 3 (17:41)	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.			n.e.	n.e.	n.e.	n.e.		
Bemerkung	Nach 1 Tag in allen 3 Röhrchen bereits vollständig blau-grüne Verfärbung der Mörtelsäule Nach 2 Tagen äußerst kräftige grün-blau-graue, aber unregelmäßige, schlierige Färbung Starke Schaumkrone behindert bei Messung 1 und 2 die Ablesbarkeit. Kein Bodensatz erkennbar, aber vertikale Schlieren. Bewegt sich schon 20 min nach Einfüllung nicht mehr im Reagenzglas. Anscheinend aber keine Abscheidung von Wasser.													

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	1 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (17:43)								00:52	> 95	41,0
Messung 2 (17:45)								00:56	> 95	41,0
Messung 3 (17:53)								02:42	~ 95	39,5
Messung 4 (18:04)	16,0	16,0	17,0				35-47			
Bemerkung:	21 Minuten nach Mischende setzt bereits eine Verschlechterung des Penetrationsvermögens ein.									

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: sehr gering
Risse: keine
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: etwas ungleichmäßige Graufärbung
Haftung: sehr gut

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering - sehr gering
Risse: keine
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: ja
Glanz: leicht
Verfärbung: nein
Haftung: keine

Injektionsmassenprotokoll HGZ 6

Datum: 07.06.03

Raumtemperatur 26° C

1. Rezeptur Verhältnis Bindemittel zu Füllstoff = 1 : 1 Verhältnis Wasser zu Feststoff (Bindemittel und Zuschlag) = 0,4 : 1

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	HGZ	125 g	125 %
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
Zuschlagsstoffe:	Dorsilit 1600	100 g	100 %
	Borosilikatvollglaskugeln	25 g	25 %
Zusatzmittel:	Desmodur DA-L	10 g	10 %
Summe:			260 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Kombimixer Rotel 2000 (Osterreichisches Fabrikat), 140 W, Typ 17.70, Fabr.Nr. 721
Drehzahl nicht bekannt, 3 Geschwindigkeitsstufen wählbar, Mischvorgang bei Stufe 1
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 250 ml, Durchmesser 65 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren des Desmodur in die Flüssigphase im kleinen Mischbecher (250 ml)	0,5 min
Eindispergieren von Bindemittel und Zuschlag	5 min
Abschluß des Mischvorgangs: 19:19	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Starke Erwärmung auf 34,4 °C. Lockere Schaumkrone (weniger als bei HGZ 5).	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (19:21)	32,4	1:31	100
Bemerkung			

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1 (19:30)	< 1	n.e.	< 1	n.e.	< 1	n.e.	< 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.		
Messung 2 (19:31)	< 1	n.e.	< 1	n.e.	< 1	n.e.	< 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.		
Messung 3 (19:32)	< 1	n.e.	< 1	n.e.	< 1	n.e.	< 1	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.		
Median	< 1		< 1		< 1		< 1							
arithmetisches Mittel	< 1		< 1		< 1		< 1							
Standardabweichung														
Variationskoeffizient														
Bemerkung	Nach 1 Tag Riß in Mörtelsäule mit in etwa horizontalem Verlauf. Beginn grün-blau-grauer Verfärbung in allen 3 Röhrchen Nach 2 Tagen sehr kräftige dunkel blau-grün-graue Verfärbung, sehr inhomogene Verteilung. Noch inhomogener als bei Mörtel HGZ 5, der mit höchster Geschwindigkeit dispergiert wurde.													

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	30 min	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (19:25)								00:55	~ 100	40,0
Messung 2 (19:27)								01:30	> 95	39,5
Messung 3 (19:36)								02:55	> 95	39,5
Messung 4 (19:43)	26,5	27,0	27,0	27,5			66-76			
Bemerkung:	17 Minuten nach Mischende setzt bereits eine Verschlechterung des Penetrationsvermögens ein.									

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm		nicht getestet
0,6 mm	--	vollkommen unmöglich
0,8 mm	O	mitunter stockend
1,0 mm	+	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: sehr gering
Risse: keine
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: etwas ungleichmäßige Graufärbung
Haftung: sehr gut

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering - sehr gering
Risse: keine
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: ja
Glanz: leicht
Verfärbung: nein
Haftung: sehr gering

Injektionsmassenprotokoll HGZ 7

Datum: 15.06.03

Raumtemperatur: 25,8° C

1. Rezeptur Verhältnis Bindemittel zu Füllstoff = 1 : 2 Verhältnis Wasser zu Feststoff (Bindemittel und Zuschlag) = 0,33 : 1

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	HGZ	100 g	100 %
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
Zuschlagsstoffe:	Dorsilit 1600	160 g	160 %
	Borosilikatvollglaskugeln	40 g	40 %
Zusatzmittel:	Desmodur DA-L	12 g	12 %
Summe:			312 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Kombimixer Rotel 2000 (Osterreichisches Fabrikat), 140 W, Typ 17.70, Fabr.Nr. 721
Drehzahl nicht bekannt, 3 Geschwindigkeitsstufen wählbar, Mischvorgang bei Stufe 1
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren des Desmodur in die Flüssigphase im kleinen Mischbecher (250 ml)	0,5 min
Eindispergieren von Bindemittel und Zuschlag	5 min
Abschluß des Mischvorgangs: 20:37	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Starke Erwärmung auf 35,3° C. Sehr starke Schaumbildung.	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (20:43)	32,1	(Meßwert fehlt)	97,5

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit (nicht getestet)

5. Messung des Penetrationsvermögens

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	15 min	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (20:39)	28,5	33,0	33,5				76-103			
Messung 2 (20:41)	20,0	20,0	20,0				52-57			
Bemerkung:	Zu geringer Flüssigkeitsanteil der Mischung verhindert ein vollständige Durchdringung der Sandschüttung, obwohl der Mörtel noch nahezu vollständig aus dem Auslaufbecher ausfließt.									

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm		nicht getestet
0,6 mm		nicht getestet
0,8 mm	-	sehr schnell stockend und sehr schwergängig
1,0 mm	O/-	stockend und schwergängig
1,5 mm		nicht getestet

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll HGZ 8

Datum: 15.06.03

Raumtemperatur: 25,4° C

1. Rezeptur Verhältnis Bindemittel zu Füllstoff = 1 : 2 Verhältnis Wasser zu Feststoff (Bindemittel und Zuschlag) = 0,37 : 1

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	HGZ	100 g	90,1 %
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	111 g	
Zuschlagsstoffe:	Dorsilit 1600	160 g	144,1 %
	Borosilikatvollglaskugeln	40 g	36 %
Zusatzmittel:	Desmodur DA-L	12 g	10,8 %
Summe:			281 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Kombimixer Rotel 2000 (Osterreichisches Fabrikat), 140 W, Typ 17.70, Fabr.Nr. 721
Drehzahl nicht bekannt, 3 Geschwindigkeitsstufen wählbar, Mischvorgang bei Stufe 1
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren des Desmodur in die Flüssigphase im kleinen Mischbecher (250 ml)	0,5 min
Eindispergieren von Bindemittel und Zuschlag	5 min
Abschluß des Mischvorgangs: 21:33	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Erwärmung auf 31,5 °C. Starke Schaumbildung. Stärkere Sedimentation im Mischgefäß als bei Rezepturen ohne zusätzlichen Füllstoffanteil.	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (21:38)	28,6	02:04	100
Bemerkung			

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit (nicht getestet)

5. Messung des Penetrationsvermögens

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (21:43)								02:50	~ 100	41,5
Messung 2 (21:45)	32,0							~ 05:00	~ 90	
Messung 3 (21:48)	33,0							04:50	> 95	40,5
Messung 4 (21:58)	22,0	25,0	25,0				63-79			
Bemerkung:	Ca. 12-15 Minuten nach Mischende setzt bereits eine Verschlechterung des Penetrationsvermögens ein.									

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll HGZ 9

Datum: 16.06.03

Raumtemperatur: 25°C

1. Rezeptur Verhältnis Bindemittel zu Füllstoff = 1 : 2 Verhältnis Wasser zu Feststoff (Bindemittel und Zuschlag) = 0,4 : 1

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	HGZ	100 g	83,3 %
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	120 g	
Zuschlagsstoffe:	Dorsilit 1600	160 g	133,3 %
	Borosilikatvollglaskugeln	40 g	33,3 %
Zusatzmittel:	Desmodur DA-L	12 g	10 %
Summe:			260 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Kombimixer Rotel 2000 (Osterreichisches Fabrikat), 140 W, Typ 17.70, Fabr.Nr. 721
Drehzahl nicht bekannt, 3 Geschwindigkeitsstufen wählbar, Mischvorgang bei Stufe 1
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren des Desmodur in die Flüssigphase im kleinen Mischbecher (250 ml)	0,5 min
Eindispergieren von Bindemittel und Zuschlag	5 min
Abschluß des Mischvorgangs: 11:43	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Starke Schaumkrone. Recht starkes Sedimentieren im Mischgefäß	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (11:47)	30,1	01:36	100

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1 (11:44)	n.e.	n.e.							n.e.	n.e.	n.e.	n.e.		
Messung 2 (11:45)	1	n.e.							n.e.	n.e.	n.e.	n.e.		
Messung 3 (11:46)	1,5	n.e.							n.e.	n.e.	n.e.	n.e.		
Bemerkung	Nach 2 Tagen Verfärbung etwas heller und gleichmäßiger als bei HGZ 5 und HGZ 6 (evtl. aufgrund des höheren Füllstoffanteils)													

5. Messung des Penetrationsvermögens

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	15 min	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (11:52)								01:40	~ 95	40,5
Messung 2 (11:55)	17,5	17,5					45-59			
Messung 3 (12:00)								02:30	> 95	42,0
Messung 4 (12:06)	40,0							03:20		41,0
Bemerkung:	Messung 2 ist wohl als Ausreißer zu betrachten. Ca. 17 Minuten nach Mischende setzt bereits eine mäßige Verschlechterung des Penetrationsvermögens ein, die Masse ist aber auch nach 23 Minuten noch verwendbar.									

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll HGZ 10

Datum: 16.06.03

Raumtemperatur: 25,6° C

1. Rezeptur Verhältnis Bindemittel zu Füllstoff = 1 : 4 Verhältnis Wasser zu Feststoff (Bindemittel und Zuschlag) = 0,4 : 1

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	HGZ	62,5 g	50 %
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	125 g	
Zuschlagsstoffe:	Dorsilit 1600	200 g	160 %
	Borosilikatvollglaskugeln	50 g	40 %
Zusatzmittel:	Desmodur DA-L	12,5 g	10 %
Summe:			260 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Kombimixer Rotel 2000 (Osterreichisches Fabrikat), 140 W, Typ 17.70, Fabr.Nr. 721
Drehzahl nicht bekannt, 3 Geschwindigkeitsstufen wählbar, Mischvorgang bei Stufe 1
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren des Desmodur in die Flüssigphase im kleinen Mischbecher (250 ml)	0,5 min
Eindispergieren von Bindemittel und Zuschlag	5 min
Abschluß des Mischvorgangs: 15:17	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Erwärmung auf 35° C durch Dispergiervorgang.	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (15:20)	31,4	02:04	100
Bemerkung	Ziemlich starkes Sedimentieren, deutlich höher als bei Mischungen mit einem Verhältnis Bindemittel zu Zuschlag von 1:1 oder auch 1:2 (vgl. HGZ 3-9)		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1 (15:23)									n.e.	n.e.				
Messung 2 (15:23)									n.e.	n.e.				
Messung 3 (15:24)									n.e.	n.e.				
Bemerkung	Nach einem Tag leichte blaugrüne Verfärbung. Im Vergleich der drei HGZ-Rezepturen mit unterschiedlichem Füllstoffanteil (Verhältnis Bindemittel zu Füllstoff von 1:1, 1:2 und 1:4) ist eine abnehmende Tendenz zur Verfärbung der Injektionsmassen bei Erhöhung des Füllstoffanteils festzustellen.													

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	15 min	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (15:25)	15,0	16,0	16,0				34-51			
Messung 2 (15:27)								01:35	> 95	42,0
Messung 3 (15:28)								02:24	~ 100	41,0
Messung 4 (15:35)	19,0	20,0	20,5				50-56			
Messung 5 (15:37)	18,0	19,0	19,5				41-60			
Messung 6 (15:50)	8,5	9,0	9,5				18-26			
Bemerkung:	Messung 1 ist wohl als Ausreißer zu betrachten. Bereits nach 11 Minuten setzt eine Verschlechterung des Penetrationsvermögens ein. Nach 18 Minuten ist die Masse nicht mehr verwendbar. Eine Erhöhung des Füllstoffanteils führt demnach nicht zu einer Verlängerung der Verarbeitungszeit.									

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm		nicht getestet
0,6 mm		nicht getestet
0,8 mm	-	stockt sehr schnell in der Kanüle
1,0 mm	O/-	noch stockend
1,5 mm	++	ok

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: sehr gering
Risse: keine
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: etwas ungleichmäßige Graufärbung
Haftung: sehr gut

Glasuntergrund

Schwindmaß: sehr gering
Risse: keine
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: ja
Glanz: leicht
Verfärbung: nein
Haftung: gering

Injektionsmassenprotokoll Nano 1

Datum: 22.05.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Nanokompositdispersion	50 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	150 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	10 g	5 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	150 g	75 %
	Plastorit 0000	110 g	55 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	
	Lopon 890	1 g	
Summe:			135 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zur Flüssigkeitsvorlage	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6 m/s; 5 min
Zugabe des Stabilisators Tween 20 und Homogenisieren mittels Dissolver	2 m/s; 2 min
Dispersionszugabe, Unterrühren von Hand mit einem Glasstab	
Homogenisieren mittels Dissolver (dabei keine vermehrte Schaumbildung)	2 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Beim Zutropfen des Stabilisators dickt die Masse fast puddingartig ein.	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (22.05)	24,4	01:58	ca. 97-98
Messung 2 (22.05)	24,1	01:59	100
arithmetisches Mittel	24,3	01:59	99
Messung 3 (24.05.)*1	23,4	03:55	90
Messung 4 (24.05.)*2	24,9	03:32	92
arithmetisches Mittel	-	03:44	91
Bemerkung	Starke Schaumbildung im Auffangbecher. *1 Mischansatz von Hand mit Glasstab aufgerührt *2 Mischansatz homogenisiert mittels Dissolver (2 m/s; 2 min)		

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	--	nicht möglich
0,6 mm	+	
0,8 mm	++	
1,0 mm	++	
1,5 mm	++	

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1 (22.05)	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	2,0	n.e.
Messung 2 (22.05)	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	2,0	n.e.
Messung 3 (22.05)	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	2,0	n.e.
Median									< 1		1,5		2,0	
arithmetisches Mittel									< 1		1,5		2,0	
Standardabweichung											0,0		0,0	
Variationskoeffizient											0,0		0,0	
Bemerkung	Nach 1 Tag ist die Masse stark angedickt, daher nur geringe Sedimentation möglich													

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (22.05)								02:10	100	
Messung 2 (22.05)								02:25	100	
Messung 3 (22.05)								01:50	> 95	40,0
Median								02:10	100	
Messung 4 (24.05)	13	16	19			21	51-65			
Messung 5 (24.05)	13	16	19			21	44-70			
Messung 6 (24.05)	12	15,5	19			21,5	55-70			
Median	13	16	19			21	51-70			
Bei den Messungen am 24.05. wurde die Masse von Hand mit Glasstab aufgerührt										

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß: sehr gering - gering
Risse: keine
Verformung: nein, gute Planlage
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: sehr gut

Glasuntergrund

Schwindmaß: gering
Risse: keine
Verformung: sehr schwache konvexe Verwölbung der Unterseite
Phasentrennung: nein
Glanz: nein
Verfärbung: nein
Haftung: gering

Injektionsmassenprotokoll Nano 2

Datum: 28.05.03/ 08.06.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Nanokompositdispersion	50 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	150 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	10 g	5 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	150 g	75 %
	Plastorit 0000	110 g	55 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	
	Lopon 890	1 g	
Summe:			135 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zur Flüssigkeitsvorlage	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2 m/s; 2 min
Nachträgliche Dispersionszugabe am 08.06. Unterrühren von Hand mit einem Glasstab	
Homogenisieren mittels Dissolver (08.06.)	2 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (08.06)	28,0	01:25	98
Messung 2 (08.06)	28,7	01:27	98
arithmetisches Mittel	28,4	01:26	98
Bemerkung (28.05.)	pudding-/cremespeisenartige Konsistenz; Messung der Auslaufzeit nicht möglich		
Bemerkung (03.06.)	Füllstoffmischung läßt sich gut von Hand aufrühren, nur geringfügig überstehende Flüssigkeit, kein harter Bodensatz, jedoch noch kleine Klümpchen beim Aufrühren von Hand. Nach Dispergierung mit 2 m/s für 2 min ist die Konsistenz ewas dickflüssiger, aber dünner als am 28.05. direkt nach der Herstellung.		
Bemerkung (08.06.)	Nach Zugabe der Nanokompositdispersion starke Sedimentation im Mischgefäß und Bodensatzbildung im Auslauftrichter. Kaum bis keine Schaumbildung im Auffangbecher.		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1 (08.06.;11:13)	1,5	8,5	2	13	3	18,5	4	27	27,5	68			46,5	77,0
Messung 2 (08.06.;11:14)	1,5	8,5	2	13	3,5	19	4	27,5	27	68			45,0	76,5
Messung 3 (08.06.;11:15)	1,5	8,5	2	13	3,5	19	4	27,5	28	68			47,0	77,5
Median	1,5	8,5	2	13	3,5	19	4	27,5	27,5	68,0			46,5	77,0
arithmetisches Mittel	1,5	8,5	2	13	3,3	18,8	4	27,3	27,5	68,0			46,2	77,0
Standardabweichung	0	0	0	0	0,3	0,3	0	0,3	0,5	0,0			1,0	0,5
Variationskoeffizient	0	0	0	0	8,7	1,5	0	1,1	1,8	0,0			2,3	0,6
Bemerkung														

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (08.06.;11:23)								01:05	> 95	40,5
Messung 2 (08.06.;11:26)								01:08	> 95	41,0
Messung 3 (08.06.;12:13)								01:00	> 95	41,0
Median								01:05	> 95	

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften

Terrakottauntergrund

Schwindmaß:	sehr gering - gering
Risse:	Krakelierung der obersten Schicht mit feinem, tiefergehenden Rissnetz
Verformung:	nur Aufschüsseln der obersten Schicht, sonst gute Planlage
Phasentrennung:	ja
Glanz:	leicht
Verfärbung:	nein
Haftung:	sehr gut, Masse aber relativ schwach gebunden im Vergleich zu Injektionsmasse Nano 1

Glasuntergrund

Schwindmaß:	gering - mäßig
Risse:	Krakelierung der obersten Schicht mit feinem, tiefergehenden Rissnetz
Verformung:	nur Aufschüsseln der obersten Schicht, sonst gute Planlage
Phasentrennung:	ja
Glanz:	leicht
Verfärbung:	nein
Haftung:	sehr gut, Masse aber relativ schwach gebunden im Vergleich zu Injektionsmasse Nano 1

Injektionsmassenprotokoll Nano 3

Datum: 08.06.03

Raumtemperatur: ~ 29° C (08.06.03) ~ 27° C (09.06.03)

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Nanokompositdispersion	50 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	150 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	10 g	5 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	150 g	75 %
	Plastorit 0000	110 g	55 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	
	Lopon 890	1 g	
Summe:			135 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zur Flüssigkeitsvorlage	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	6 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6 m/s; 5 min
Zugabe des Stabilisators Tween 20 und Homogenisieren mittels Dissolver	2 m/s; 3,5 min
Zugabe der Nanokompositdispersion, Unterrühren von Hand mit einem Glasstab	
Homogenisieren mittels Dissolver	2 m/s; 2 min
Zeitpunkt des Abschlusses des Mischvorgangs: 17:08	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: Konsistenz der Füllstoffmischung vor Zugabe der Nanokompositdispersion puddingartig	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (08.06.; 17:12)	29,3	01:47	100
Messung 2 (08.06.; 17:15)	29,5	01:47	99
arithmet. Mittel	29,4	01:47	100
Messung 3 (08.06.; 18:15)	28,2	02:01	100
Messung 4 (08.06.; 20:00)	27,7	02:13	100
Messung 5 (09.06.; 17:35)	26,6	03:07	93
Messung 6 (09.06.; 17:55)	26,3	02:54	94
Messung 7 (10.06.; 20:40)	28,3	03:25	96
Messung 8 (15.06.; 15:05)	23,4	02:23	100
Bemerkung (08.06.)	Stärkere Schaumbildung im Auffangbecher. Die Mischung zeigt keinerlei Sedimentation.		
Bemerkung (09.06.)	Messung 5: Mischansatz von Hand mit Glasstab aufgerührt Messung 6: Mischansatz homogenisiert mittels Dissolver (2 m/s; 2 min)		
Bemerkung (10.06.)	Mischung 7: Mischansatz von Hand mit Glasstab aufgerührt. → kein Bodensatz		
Bemerkung (10.06.)	Messung 8: Mischansatz von Hand mit Glasstab aufgerührt. → kein Bodensatz, relativ dünnflüssig, doch ist der Flüssigkeitsstrom unregelmäßig und stockend, aufgrund von Klümpchen in der Mischung. Nach erneuter Dispergierung (2 m/s; 6,5 min) erfolgte Messung 8		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1 (08.06.;17:25)	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	1,5	n.e.	3,0	n.e.
Messung 2 (08.06.;27:26)	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	1,5	n.e.	3,5	n.e.
Messung 3 (08.06.;17:27)	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	1,5	n.e.	5,0	n.e.
Median							< 1		1,5		1,5		3,5	
Messung 4 (15.06.;15:21)	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	3,0	19,0	3,0	43		
Messung 5 (15.06.;15:22)	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	3,0	19,0	3,0	42		
Messung 6 (15.06.;15:23)	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	< 1	n.e.	1,5	n.e.	3,0	19,0	3,0	43		
Median					< 1		1,5		3,0	19,0	3,0	43		
Bemerkung (08.06.)	keinerlei Sedimentation erkennbar, möglicherweise aufgrund einer Wechselwirkung zwischen dem Zusatzmittel Tween 20 und der Nanokompositdispersion.													
Bemerkung (15.06.)	neu aufdispergiert mittels Dissolver (2 m/s; 6,5 min);													

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindring-tiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	1 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[h:min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (08.06.;18:21)								01:40	> 95	40
Messung 2 (08.06.;18:22)								01:40	> 95	40
Messung 3 (08.06.;18:23)								01:40	> 95	42
Median / arithm. Mittel								01:40	> 95	
Messung 4 (09.06.;18:08)*1	21,5	29,0	34,5					22:00	> 95	38
Messung 5 (09.06.;18:09)*2	18,0	25,0	29,0	33,5	36,0			02:00:00	> 95	36
Messung 6 (10.06.;20:46)	19,0	25,0	31,0	33,5	36,0		87-110			
Messung 7 (10.06.;20:48)	20,5	26,5	31,0	34,5	37,0		95-108			
Median / arithm. Mittel	20,0	26,0	31,0	34,0	36,5		91-109		93	
Messung 8 (15.06.;15:08)*3								03:28	~ 100	40
Messung 9 (15.06.;15:09)*3								02:54	~ 100	39
Median / arithm. Mittel								03:11	~ 100	
Bemerkung	*1 Mischansatz von Hand mit Glasstab aufgerührt *2 Mischansatz homogenisiert mittels Dissolver (2 m/s; 2 min) *3 neu aufdispergiert mittels Dissolver (2 m/s; 6,5 min)									

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll Nano 4

Datum: 16.06.03

Raumtemperatur 24° C

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Nanokompositdispersion	75 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	225 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	15 g	5 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	225 g	75 %
	Plastorit 0000	165 g	55 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1,5 g	
	Lopon 890	1,5 g	
	Basonat HW 180 PC	7,5 g	
Summe:			135 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 40 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 1000 ml, Durchmesser 105 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zur Flüssigkeitsvorlage	2 m/s; 0,5 min
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Zugabe des Stabilisators Tween 20 und Homogenisieren mittels Dissolver	2 m/s; 2 min
Zugabe der Nanokompositdispersion und des Basonat (zugleich), Unterrühren von Hand mit einem Glasstab	
Homogenisieren mittels Dissolver	2 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (16.06.)	24,9	00:58	48ml
Bemerkung	Stocken nach 18 sek und 58 sek, auch danach weiterer Wechsel von Ausfließen und Stocken; wesentlich höhere Viskosität als bei Nano 1-3		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit (nicht getestet)

5. Messung des Penetrationsvermögens

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	8 min	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (16.06.)	4	4					15-20			

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll Primal

Datum: 28.05.03

Raumtemperatur ~ 29° C (08.06.03); ~ 27° C (09.06.03)

1. Rezeptur Verhältnis Bindemittel zu Füllstoff = 1 : 5,4; Verhältnis Wasser zu Feststoff = 1 : 1,8

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Primal AC 33 neu	50 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	150 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	10 g	5 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	150 g	75 %
	Plastorit 0000	110 g	55 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	
	Lopon 890	1 g	
Summe:			135 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zur Flüssigkeitsvorlage	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure mittels Dissolver	6 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	6 m/s; 5 min
Eindispergieren von Tween 20 in die Flüssigphase mittels Dissolver	2 m/s; 2 min
Eindispergieren von Primal AC 33 mittels Dissolver	2 m/s; 2 min
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung: keine Schaumbildung beim Homogenisieren	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (18:07)	25,4	02:24	94
Messung 2 (18:12)	25,0	01:09	40
Bemerkung	sehr ungleichmmäßiges Fließverhalten bei Messung 2 →Ansatz ist unregelmäßig/ klumpig nachgedickt. Nach erstem Abreißen des Flüssigkeitsfadens noch bis ca. 60 ml auslaufend		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d, 6 h		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1 (18:15)	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	1,5	n.e.	3	n.e.	4	n.e.
Messung 2 (18:16)	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	2	n.e.	3	n.e.	5	n.e.
Messung 3 (18:17)	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	2	n.e.	2,5	n.e.	5	n.e.
Median									2,0		3,0		5,0	
arithmetisches Mittel									1,8		2,8		4,7	
Standardabweichung									0,3		0,3		0,6	
Variationskoeffizient									15,7		10,2		12,4	
Bemerkung	Sehr starkes und sehr schnelles Nachdicken der Masse													

n.e. = nicht erkennbar

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	1 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (18:20)	2	2	2	2	2		9-12			
Messung 2 (18:21)	1	1	1	1	1		8-11			
Messung 3 (18:22)	2	2	2	2	2		8-13			
Median	2	2	2	2	2		8-12			
Bemerkung	Leichtes trichterförmiges Einsinken der Mörteloberfläche									

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm	--	nicht möglich
0,6 mm	+	
0,8 mm	++	
1,0 mm	++	
1,5 mm	++	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Anhang 4 Protokolle der Injektionsmörtel der Haftzugfestigkeitsuntersuchungen

Injektionsmassenprotokoll	Syton 2 H	Datum: 11.06.03	2
Injektionsmassenprotokoll	Syton 7 H	Datum: 11.06.03	3
Injektionsmassenprotokoll	Syton 9 H	Datum: 11.06.03	5
Injektionsmassenprotokoll	Syton 11 H	Datum: 13.06.03	6
Injektionsmassenprotokoll	Syton 18 H	Datum: 11.06.03	8
Injektionsmassenprotokoll	Syton 30 H	Datum: 11.06.03	10
Injektionsmassenprotokoll	Syton 31 H	Datum: 13.06.03	12
Injektionsmassenprotokoll	Syton 33 H	Datum: 13.06.03	14
Injektionsmassenprotokoll	Syton 37 H	Datum: 13.06.03	16
Injektionsmassenprotokoll	KSE H	Datum: 13.06.03	18
Injektionsmassenprotokoll	HGZ 6 H	Datum: 16.06.03	19
Injektionsmassenprotokoll	HGZ 9 H	Datum: 16.06.03	20
Injektionsmassenprotokoll	HGZ 10 H	Datum: 16.06.03	21
Injektionsmassenprotokoll	Nano H	Datum: 16.06.03	23

Injektionsmassenprotokoll Syton 2 H

Datum: 11.06.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	150 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	150 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	30 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	300 g	100 %
Zusatzmittel:	Tween 20	3 g	
Summe:			110 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 30 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 80 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2 m/s; 2 min
Zeitpunkt des Abschlusses des Mischvorgangs: 11:51	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (11.06.; 11:59)	28,0	02:56	99
Messung 2 (12.06.; 20:25)*1	26,5	03:49	98
Bemerkung	*1 Läßt sich mit einem Spachtel mit einiger Mühe wieder homogen aufrühren.		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit (nicht getestet)

5. Messung des Penetrationsvermögens

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (11.06.; 11:54)	27	37,5						09:30	> 95	40
Messung 2 (11.06.; 11:55)	25,5	36,5						10:30	~ 100	40
Median	26	37						10:00		
Messung 3 (12.06.; 20:33)	21	29,5	36					26:00	> 95	41
Messung 4 (12.06.; 20:34)	20	29,5	37,5					16:50	> 95	39,5
Median	21	29,5	37					21:25		

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll Syton 7 H

Datum: 11.06.03

Raumtemperatur 27,8° C

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	150 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	150 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	30 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl 44 µm	150 g	50 %
	Quarzmehl 8 µm	150 g	50 %
Zusatzmittel:	Tween 20	3 g	
Summe:			110 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 40 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 1000 ml, Durchmesser 100 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2 m/s; 2 min
Zeitpunkt des Abschlusses des Mischvorgangs: 14:58	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (11.06.; 15:01)	28,7	03:27	98
Messung 2 (11.06.; 15:13)	27,1	03:52	95
Median		03:40	96,5
Messung 3 (12.06.; 21:52)*1	26,4	04:42	94
Messung 4 (19.06.; 00:54)*2	24,3	05:05	92
Messung 5 (19.06.; 01:15)*3	24,3	05:37	91
Bemerkung	*1 läßt sich sehr leicht mit einem Spachtel wieder aufrühren *2 läßt sich noch relativ leicht mit einem Spachtel wieder aufrühren *3 läßt sich noch relativ leicht mit einem Spachtel wieder aufrühren. Anschließend Homogenisierung mittels Dissolver (10 min bei 2 m/s)		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit (nicht getestet)

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	40 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (11.06.; 15:19)	23,5	37						10:30	> 95	41
Messung 2 (11.06.; 15:20)	23	34,5						13:00	> 95	41,5
Messung 3 (11.06.; 15:21)	23,5	35						12:00	> 95	41
Median	23,5	35						12:00		
Messung 4 (12.06.; 21:03) *1	16,5	25,5	33					25:00	> 95	39,5
Messung 5 (12.06.; 21:05)	14	26	33,5					21:30	> 95	39
Median	15,5	26						23:00		
Messung 6 (19.06.; 00:55) *2	17	26,5	32					24:00	> 95	39
Messung 7 (19.06.; 01:14) *3	14	21		35				54:00	> 95	37
Bemerkung	*1 läßt sich sehr leicht mit einem Spachtel wieder aufrühren *2 läßt sich noch relativ leicht mit einem Spachtel wieder aufrühren *3 läßt sich noch relativ leicht mit einem Spachtel wieder aufrühren. Anschließend Homogenisierung mittels Dissolver (10 min bei 2 m/s)									

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll Syton 9 H

Datum: 11.06.03

Raumtemperatur 28,5° C

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	150 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	150 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	22,5 g	7,5 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	300 g	100 %
Zusatzmittel:	Tween 20	3 g	
Summe:			107,5 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 40 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 1000 ml, Durchmesser 100 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2 m/s; 2 min
Zeitpunkt des Abschlusses des Mischvorgangs: 17:20	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (11.06; 17:23)	28,4	01:39	99
Messung 2 (12.06; 21:24)*1	26,9	01:49	99
Messung 3 (19.06; 01:40)	sehr harter Bodensatz, der sich mit einem Spachtel nicht mehr mit vertretbarem Aufwand aufarbeiten läßt.		
Bemerkung	*1 läßt sich mit einem Spachtel nur mit großer Mühe, aber trotzdem homogen wieder aufrühren.		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit (nicht getestet)

5. Messung des Penetrationsvermögens

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (11.06.; 17:28)								01:40	100	39,5
Messung 2 (11.06.; 17:29)								01:50	100	40
Messung 3 (11.06.; 17:32)								01:40	100	40,5
Median								01:40	100	40
Messung 4 (12.06.; 23:15)								01:50	100	41,5
Messung 5 (12.06.; 23:16)								02:15	100	40,5
Median								02:03	100	41

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll Syton 11 H

Datum: 13.06.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	150 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	150 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	30 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	300 g	100 %
Zusatzmittel:	Tween 20	2,25 g	
Summe:			110 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 40 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 1000 ml, Durchmesser 100 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2 m/s; 2 min
Zeitpunkt des Abschlusses des Mischvorgangs: 12:04	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (13.06.; 12:07)	27,2	02:56	99
Messung 2 (14.06.; 11:47)*1	25,1	03:40	96
Messung 3 (20.06.; 17:42)*2	25,4	03:29	98
Messung 4 (20.06.; 18:02)*3	25,2	04.28	93
Bemerkung	*1 Läßt sich mit einem Spachtel mit einiger Mühe wieder homogen aufrühren. *2 Fester Bodensatz. Läßt sich nur mit größerem Kraftaufwand (Schraubenzieher) wieder aufbereiten. *3 Fester Bodensatz. Läßt sich nur mit größerem Kraftaufwand (Schraubenzieher) wieder aufbereiten. Mischansatz homogenisiert mittels Dissolver (2 m/s; 10 min).		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit (nicht getestet)

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (13.06.; 12:12)	29							07:00	~ 100	41
Messung 2 (13.06.; 12:13)	27,5							07:50	> 95	40
Median	28							07:25		
Messung 3 (14.06.; 10:54)	26,5							07:40	> 95	40
Messung 4 (14.06.; 10:55) *1	22							11:30	> 95	40
Messung 5 (14.06.; 12:31) *1	23	35,5						10:30	> 95	40,5
Median	23							10:30		
Messung 6 (20.06.; 17:47) *2	24,5	38						08:50	> 95	39,5
Bemerkung	*1 Fester Bodensatz. Läßt sich mit einiger Mühe wieder aufbereiten (Spachtel). *2 Fester Bodensatz. Läßt sich nur mit größerem Kraftaufwand (Schraubenzieher) wieder aufbereiten.									

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll Syton 18 H

Datum: 11.06.03

Raumtemperatur 30,1° C

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	225 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	75 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	15 g	5 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	135 g	45 %
	Plastorit 0000	192 g	64 %
	Spheriglass 3000 CP 00	48 g	16 %
Zusatzmittel:	Tween 20	3 g	
Summe:			130 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 40 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 1000 ml, Durchmesser 100 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2 m/s; 2 min
Zeitpunkt des Abschlusses des Mischvorgangs: 19:51	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Bemerkung	Nur sehr geringe Bodensatzbildung beim Rühren von Hand erkennbar.

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (11.06.; 19:53)	29,8	03:29	98
Messung 2 (12.06.; 23:33)*1	26,7	04:51	97
Messung 3 (18.06.; 23:40)*2	25,0	04:18	98
Messung 4 (19.06.; 00:06)*3	25,0	03:48	99
Bemerkung	*1 Läßt sich mit einem Spachtel mit einiger Mühe wieder homogen aufrühren. *2 läßt sich mit einem Spachtel nur mit großer Mühe, aber trotzdem homogen wieder aufrühren. *3 läßt sich mit einem Spachtel nur mit großer Mühe, aber trotzdem homogen wieder aufrühren. Anschließend Mischansatz homogenisiert mittels Dissolver (2 m/s; 10 min).		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit (nicht getestet)

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (11.06.; 20:00)	26							06:45	> 95	40
Messung 2 (11.06.; 20:01)	27							06:55	> 95	41
Messung 3 (11.06.; 20:02)	27,5							05:50	> 95	40,5
Median	27							06:45		
Messung 4 (12.06.; 23:39)	19	31						13:00	> 95	40,5
Messung 5 (12.06.; 23:40)	19	31						12:00	> 95	40,5
Median								12:30		
Messung 6 (18.06.; 23:49)	23							07:10	> 95	40
Messung 7 (18.06.; 23:50)	22							08:30	> 95	40,5
Median								07:50		
Messung 8 (19.06.; 00:07)	27							06:45	> 95	41,5
Bemerkung zu Messung 8:	Mischung homogenisiert mittels Dissolver (2 m/s; 10 min).									

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll Syton 30 H

Datum: 11.06.03

Raumtemperatur 28,4° C

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	150 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	150 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	30 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	225 g	75 %
	Plastorit 0000	165 g	55 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1,5 g	
	Lopon 890	1,55 g	
Summe:			140 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 40 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 1000 ml, Durchmesser 100 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zur Flüssigkeitsvorlage	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2 m/s; 2 min
Zeitpunkt des Abschlusses des Mischvorgangs: 21:40	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (11.06.; 21:42)	29,3	05:10	91
Messung 2 (13.06.; 00:05)*1	26,8	05:33	90
Messung 3 (19.06.; 01:55)*2	25,1	05:29	90
Bemerkung	*1 Läßt sich mit einem Spachtel mit einiger Mühe wieder homogen aufrühren. *2 Fester Bodensatz. Läßt sich nur mit größerem Kraftaufwand (Schraubenzieher und Spachtel) wieder aufbereiten.		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit (nicht getestet)

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (11.06.; 21:44)	17,5	29,5						14:30		40,5
Messung 2 (11.06.; 21:45)	20	33,5						13:00		41
Messung 3 (11.06.; 21:46)	17	28	39					15:30		39,5
Median	20	29,5						14:30		
Messung 4 (13.06.; 00:08)	17	27	?					15:20	> 95	39
Messung 5 (13.06.; 00:09)	17,5	28						13:30	100	42
Median	17	27,5						14:25		
Bemerkung	Mischung von Hand mittels Spachtel aufgerührt, nicht nachdispergiert									

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll Syton 31 H

Datum: 13.06.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	150 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	150 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	30 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	150 g	50 %
	Plastorit 0000	210 g	70 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1,5 g	
	Lopon 890	1,5 g	
Summe:			130 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 40 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 1000 ml, Durchmesser 100 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zur Flüssigkeitsvorlage	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2 m/s; 2 min
Zeitpunkt des Abschlusses des Mischvorgangs: 15:00	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (13.06.; 15:05)	27,2	04:55	90
Messung 2 (14.06.; 12:15)*1	23,5	06:01	90
Messung 3 (20.06.; 20:28)*2	25,9	04:39	88
Messung 4 (20.06.; 20:50)*3	25,1	05:06	90
Bemerkung	*1 Läßt sich mit einem Spachtel mit einiger Mühe wieder homogen aufrühren. *2 Läßt sich nur mit größerem Kraftaufwand (Schraubenzieher) wieder aufbereiten. Anschließend Mischansatz von Hand mit Spachtel aufgerührt. *3 Läßt sich nur mit größerem Kraftaufwand (Schraubenzieher) wieder aufbereiten. Anschließend Mischansatz homogenisiert mittels Dissolver (2 m/s; 10 min).		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit (nicht getestet)

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (13.06.; 15:14)	20	32,5						12:30	> 95	41
Messung 2 (13.06.; 15:15)	17,5	27	37					17:30	> 95	40
Median	19	30						15:00		
Messung 3 (14.06.; 12:22)	17,5	30						13:30	> 95	39
Messung 4 (14.06.; 12:23)	18	30						13:00	> 95	40
Messung 5 (14.06.; 12:24)	18	30,5						12:30	> 95	39
Median	18	30						13:00		
Messung 6 (20.06.; 20:35)	18,5	31						13:00	> 95	40
Bemerkung zu Messung 6	Mischung nur von Hand aufgerührt, nicht mittels Dissolver homogenisiert.									

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll Syton 33 H

Datum: 13.06.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	150 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	150 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	30 g	10 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	135 g	45 %
	Plastorit 0000	189 g	63 %
	Spheriglass 3000 CP 00	50,4	16,8 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1,5 g	
	Lopon 890	1,5 g	
Summe:			134,8 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 40 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 1000 ml, Durchmesser 100 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zur Flüssigkeitsvorlage	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2 m/s; 2 min
Zeitpunkt des Abschlusses des Mischvorgangs: 17:02	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (13.06.; 17:05)	28	04:39	95
Messung 2 (14.06.; 13:07)*1	24,5	05:23	91
Messung 3 (20.06.; 21:08)*2	25,3	04:29	95
Bemerkung	*1 Läßt sich mit einem Spachtel mit einiger Mühe wieder homogen aufrühren. *2 Läßt sich nur mit größerem Kraftaufwand (Schraubenzieher) wieder aufbereiten. Anschließend Mischansatz von Hand mit Spachtel aufgerührt, nicht nachdispergiert.		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit (nicht getestet)

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (13.06.; 17:06)	20,5	32						13:50	> 95	41
Messung 2 (13.06.; 17:07)	19	31						15:00	~ 100	40
Median	20	31,5						14:25		
Messung 3 (14.06.; 13:10)*	19	31						12:15	> 95	39
Messung 4 (14.06.; 13:11)*	20	31						12:10	> 95	38,5
Median	19,5	31						12:13		
Messung 5 (20.06.; 21:10)*	21,5	35						10:30	> 95	40
Messung 6 (20.06.; 21:24)*	22	35,5						09:50	> 95	40,5
Median	22	35						10:10		
Bemerkung	* Mischansatz von Hand aufgerührt, nicht nachdispergiert									

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll Syton 37 H

Datum: 13.06.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Syton X 30	150 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	150 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	15 g	5 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	225 g	75 %
	Plastorit 0000	165 g	55 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1,5 g	
	Lopon 890	1,5 g	
Summe:			135 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 40 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 1000 ml, Durchmesser 100 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponzugabe zur Flüssigkeitsvorlage	
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Zugabe des Zusatzmittels und Homogenisieren mittels Dissolver	2 m/s; 2 min
Zeitpunkt des Abschlusses des Mischvorgangs: 19:46	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (13.06.; 19:48)	28,2	02:07	100
Messung 2 (14.06.; 13:48)*1	25,0	02:57	98
Messung 3 (20.06.)	zweilagiger Bodensatz. Läßt sich mit vertretbarem Aufwand nicht mehr aufarbeiten.		
Bemerkung	*1 Läßt sich mit einem Spachtel nur mit größerer Mühe wieder homogen aufrühren.		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit (nicht getestet)

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (13.06.; 19:54)								02:20	~ 100	41,5
Messung 2 (13.06.; 19:55)								02:25	~ 100	40
Median								02:23		
Messung 3 (14.06.; 13:53)	33							03:50	~ 100	39
Messung 4 (14.06.; 13:54)	35							03:45	~ 100	40
Median								03:48		
Bemerkung (14.06.)	Von Hand aufgerührt (Spachtel), nicht mittels Dissolver nachdispergiert									

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll KSE H

Datum: 13.06.03

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	KSE 500 STE	204 g	
Zuschlagsstoffe:	Füllstoff A	120 g	58,8 %
	Füllstoff B	60 g	29,4 %
Summe:			88,2 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 40 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 1000 ml, Durchmesser 100 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Zeitpunkt des Abschlusses des Mischvorgangs: 21:08	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (13.06.; 21:10)	26,5	02:00	100
Bemerkung	Keine Wiederholungsmessungen, da laut Hersteller nur zu sofortigen Verwendung bestimmt („bedarfsgerechter Ansatz“)		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit (nicht getestet)

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (13.06.; 21:30)								01:45	100	40
Messung 2 (13.06.; 21:31)								02:20	100	38
Median								02:03		

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll HGZ 6 H

Datum: 16.06.03

1. Rezeptur Verhältnis Bindemittel zu Füllstoff = 1 : 1; Verhältnis Wasser zu Feststoff = 1 : 2,5

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	HGZ	125 g	125 %
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	100 g	
Zuschlagsstoffe:	Dorsilit 1600	100 g	100 %
	Borosilikatvollglaskugeln	25 g	25 %
Zusatzmittel:	Desmodur DA-L	10 g	10 %
Summe:			260 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Kombimixer Rotel 2000 (Osterreichisches Fabrikat), 140 W, Typ 17.70, Fabr.Nr. 721
Drehzahl nicht bekannt, 3 Geschwindigkeitsstufen wählbar, Mischvorgang bei Stufe 1
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren des Desmodur in die Flüssigphase im kleinen Rührbecher	0,5 min
Eindispergieren von Bindemittel und Zuschlag	5 min
Zeitpunkt des Abschlusses des Mischvorgangs: 10:24:30	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Temperatur der Mischung 36° C; Bildung einer Schaumkrone.	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse) (nicht getestet)

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit (nicht getestet)

5. Messung des Penetrationsvermögens (nicht getestet)

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll HGZ 9 H

Datum: 16.06.03

1. Rezeptur Verhältnis Bindemittel zu Füllstoff = 1 : 2; Verhältnis Wasser zu Feststoff = 1 : 2,5

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	HGZ	100 g	83,3 %
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	120 g	
Zuschlagsstoffe:	Dorsilit 1600	160 g	133,3 %
	Borosilikatvollglaskugeln	40 g	33,3 %
Zusatzmittel:	Desmodur DA-L	12 g	10 %
Summe:			260 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Kombimixer Rotel 2000 (Osterreichisches Fabrikat), 140 W, Typ 17.70, Fabr.Nr. 721
Drehzahl nicht bekannt, 3 Geschwindigkeitsstufen wählbar, Mischvorgang bei Stufe 1
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren des Desmodur in die Flüssigphase im kleinen Rührbecher	0,5 min
Eindispergieren von Bindemittel und Zuschlag	5 min
Zeitpunkt des Abschlusses des Mischvorgangs: 13:18	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Temperatur der Mischung 33,9° C	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse) (nicht getestet)

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit (nicht getestet)

5. Messung des Penetrationsvermögens (nicht getestet)

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Injektionsmassenprotokoll HGZ 10 H

Datum: 16.06.03

Raumtemperatur 27,1° C

1. Rezeptur Verhältnis Bindemittel zu Füllstoff = 1 : 4; Verhältnis Wasser zu Feststoff = 1 : 2,5

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	HGZ	62,5 g	50 %
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	125 g	
Zuschlagsstoffe:	Dorsilit 1600	200 g	160 %
	Borosilikatvollglaskugeln	50 g	40 %
Zusatzmittel:	Desmodur DA-L	12,5 g	10 %
Summe:			260 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Kombimixer Rotel 2000 (Osterreichisches Fabrikat), 140 W, Typ 17.70, Fabr.Nr. 721
Drehzahl nicht bekannt, 3 Geschwindigkeitsstufen wählbar, Mischvorgang bei Stufe 1
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Eindispergieren des Desmodur in die Flüssigphase im kleinen Rührbecher	0,5 min
Eindispergieren von Bindemittel und Zuschlag	5 min
Zeitpunkt des Abschlusses des Mischvorgangs: 18:21	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	
Temperatur der Mischung 35,5° C.	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse) (nicht getestet)

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit

Meßzeitpunkt nach Befüllung	0,25 h		0,5 h		1 h		2 h		1 d		2 d		7 d	
	[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
↑ oben; ↓ unten	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Messung 1 (18:22)	1	n.e.	1	n.e.	1	n.e.*								
Messung 2 (18:23)	1	n.e.	1	n.e.	1	n.e.*								
Messung 3 (18:24)	1	n.e.	1	n.e.	1	n.e.								
Median	1		1		1									
arithmetisches Mittel	1		1		1									
Standardabweichung	0,0		0,0		0,0									
Variationskoeffizient	0,0		0,0		0,0									
Bemerkung	* Risse im oberen Teil der Mörtelsäule mit in etwa waagerechtem Verlauf.													

5. Messung des Penetrationsvermögens (nicht getestet)

6. Kanülengängigkeit

Größe (Ø)	Bewertung	Bemerkung
0,4 mm		Nicht getestet
0,6 mm		Nicht getestet
0,9 mm	-	Kanüle noch zu fein (Stocken der Injektionsmasse).
1,1 mm	0/-	Kanüle noch zu fein (Stocken der Injektionsmasse).
1,5 mm	+	

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

Terrakottauntergrund

Schwindmaß:	sehr gering
Risse:	Keine
Verformung:	keine, gute Planlage
Phasentrennung:	Nein
Glanz:	Nein
Verfärbung:	etwas ungleichmäßige Graufärbung
Haftung:	sehr gut
Bemerkung:	

Glasuntergrund

Schwindmaß:	sehr gering
Risse:	Keine
Verformung:	keine, gute Planlage
Phasentrennung:	Ja
Glanz:	Leicht
Verfärbung:	Nein
Haftung:	Gering
Bemerkung:	

Injektionsmassenprotokoll Nano H

Datum: 16.06.03

Raumtemperatur 24,9° C

1. Rezeptur

Stoffart	**Bezeichnung**	**Masse**	Masseanteil bezogen auf die Flüssigkeit
Bindemittel:	Nanokompositdispersion	50 g	
Verdünnungsmittel:	H_2O_{dest}	150 g	
pyrogene Kieselsäure:	Cab-O-Sil M 5	10 g	5 %
Zuschlagsstoffe:	Quarzmehl W 12	150 g	75 %
	Plastorit 0000	110 g	55 %
Zusatzmittel:	Tween 20	1 g	
	Lopon 890	1 g	
Summe:			135 %

2. Herstellung der Injektionsmasse

Geräte: Dissolver der Fa. Distech,
Dissolverscheibe der Fa. VMA/Getzmann, Ø 40 mm (feine Ausführung)
Mischgefäß der Fa. VMA/Getzmann, Volumen 500 ml, Durchmesser 85 mm

Mischvorgang	**Parameter**
Loponanteil vordispergiert mittels Dissolver	2 m/s; 1 min
Eindispergieren der pyrogenen Kieselsäure in die Flüssigphase mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Eindispergieren des Zuschlags mittels Dissolver	7,5 m/s; 5 min
Zugabe des Stabilisators Tween 20 und Homogenisieren mittels Dissolver	2 m/s; 2 min
Zugabe der Nanokompositdispersion und Homogenisieren mittels Dissolver	2 m/s; 2 min
Zeitpunkt des Abschlusses des Mischvorgangs: 22:05	
Nach Abschluß der Dispergierung vor jeder Mörtelentnahme Aufrühren des Mischansatzes von Hand mit einem Glasstab	

3. Messung der Fließfähigkeit mit dem Auslaufbecher (2 mm Düse)

	Temperatur	Auslaufzeit	ausgeflossenes Mörtelvolumen
	[°C]	[min:sek]	[ml]
Messung 1 (16.06.; 22:07)	26,2	01:59	100
Messung 2 (28.06.; 16:10)*1	25,9	00:14	<10
Messung 3 (28.06.; 16:20)*2	24,9	01:19	68
Bemerkung	*1 Mischung von Hand aufgerührt. Nach Aufrühren von Hand noch klumpig *2 Mischung homogenisiert mittels Dissolver (2 m/s; 10 min).		

4. Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit (nicht getestet)

5. Messung des Penetrationsvermögens

Versuchsbedingungen: Befüllung von Reagenzgläsern der Abmessung 160/16 mm mit Kirchhellener Sand (Fraktion 1-2 mm)
Verdichtung der Sandfüllung für 5 s auf Vibrationstisch, Stufe 2, Füllstand 110 mm
Aufgegebenes Mörtelvolumen 7 ml, Aufgabe innerhalb von 10 Sekunden

	Absinken des Injektionsmörtelspiegels						Eindringtiefe	Erreichen des Reagenzglasbodens		
	3 min	8 min	15 min	30 min	1 h	2 h	2 h	Zeitpunkt	Grad der Verfüllung	Stand des Mörtel-spiegels
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min:sek]	[%]	[mm]
Messung 1 (16.06.; 22:10)								02:08	> 95	41
Messung 2 (16.06.; 22:11)								02:25	> 95	40
Messung 3 (28.06.; 16:30)*	25,5	33,5	37					27:00	> 95	39
Messung 4 (28.06.; 16:31)*	24	31,5	35,5					25:00	> 95	40
Messung 5 (28.06.; 16:32)*	23,5	31	35					30:00	> 95	39,5
Median	24	31,5	35,5					27:00		
Bemerkungen	* nach Aufdispergieren mittels Dissolver (2 m/s; 10 min).									

6. Kanülengängigkeit (nicht getestet)

7. Abschätzung von Erhärtungsschwinden, Haftung und weiteren Festmörteleigenschaften (nicht getestet)

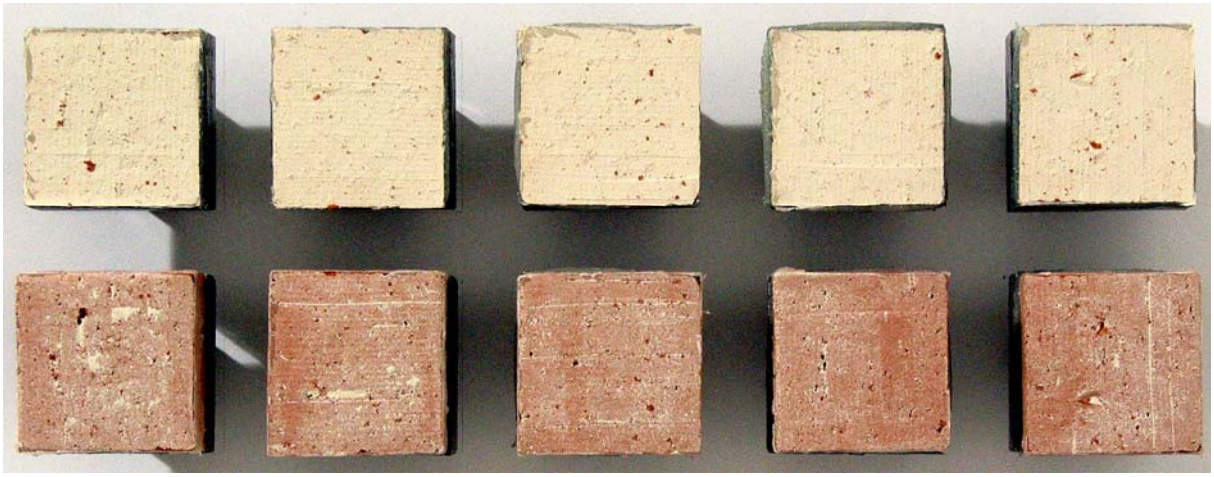
Anhang 5 Protokolle der Haftzugmessungen am Probentypus 1

Haftzugprotokoll Referenzproben Typ 1, Engobe 3, ungemagert 2
Haftzugprotokoll Referenzproben Typ 1, Engobe 4, gemagert, dreilagig 3
Haftzugprotokoll Referenzproben Typ 1, Engobe 4, gemagert, sechslagig 4
Haftzugprotokoll Injektionsmasse Syton 2 H 5
Haftzugprotokoll Injektionsmasse Syton 7 H 6
Haftzugprotokoll Injektionsmasse Syton 9 H 7
Haftzugprotokoll Injektionsmasse Syton 11 H 8
Haftzugprotokoll Injektionsmasse Syton 18 H 9
Haftzugprotokoll Injektionsmasse Syton 30 H 10
Haftzugprotokoll Injektionsmasse Syton 31 H 11
Haftzugprotokoll Injektionsmasse Syton 33 H 12
Haftzugprotokoll Injektionsmasse Syton 37 H 13
Haftzugprotokoll Injektionsmasse KSE H1 14
Haftzugprotokoll Injektionsmasse HGZ 6 H 15
Haftzugprotokoll Injektionsmasse HGZ 9 H 16
Haftzugprotokoll Injektionsmasse HGZ 10 H 17
Haftzugprotokoll Injektionsmasse Nanokompositdispersion 18

Haftzugprotokoll Referenzproben Typ 1, Engobe 3, ungemagert

a) Messungen an lufttrockenen Proben

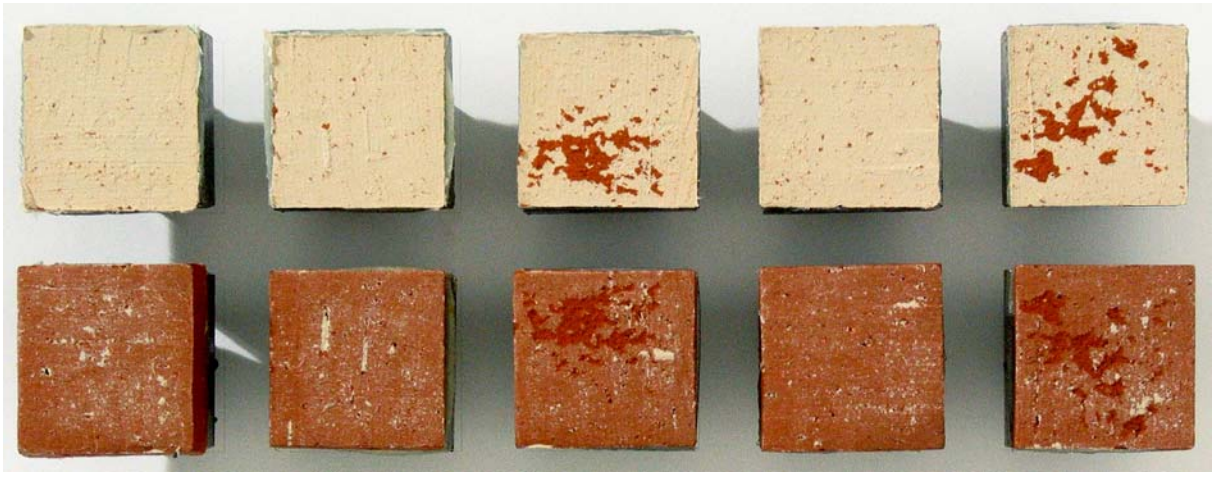
Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Engobe-typ	Datum Haftzug-messung	Abschät-zung hohl-liegender Bereiche	Kondi-tionie-rung	Bruchbild				f_{max}	$ß_{HZ}$	Fläche (korri-giert)	$ß_{HZ}$ (korri-giert)
								a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]			[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]
E 3-2	38,9	38,9	1513,2	Engobe 3 (ungemagert)	23.06.03	20	trocken	100	0	0		657,6	0,43	1210,6	0,54
E 3-3	38,2	40,0	1528,0	Engobe 3 (ungemagert)	23.06.03	0	trocken	100	0	0		623,1	0,41	1528,0	0,41
E 3-4	40,1	39,2	1571,9	Engobe 3 (ungemagert)	23.06.03	10	trocken	100	0	0		733,9	0,47	1414,7	0,52
E 3-7	38,2	38,8	1482,2	Engobe 3 (ungemagert)	23.06.03	10	trocken	100	0	0		616,7	0,42	1333,9	0,46
E 3-8	38,5	39,0	1501,5	Engobe 3 (ungemagert)	23.06.03	0	trocken	100	0	0		536,7	0,36	1501,5	0,36
					Median			100	0	0			**0,42**		**0,46**
					arithm. Mittel			100	0	0			**0,42**		**0,46**
					Standardabweichung								**0,04**		**0,08**
					Variationskoeffizient [%]								**9,6**		**16,8**



E 3-2 E 3-3 E 3-4 E 3-7 E 3-8

b) Messungen an durchfeuchteten Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Engobe-typ	Datum Haftzug-messung	Abschät-zung hohl-liegender Bereiche	Kondi-tionie-rung	Bruchbild				f_{max}	$ß_{HZ}$	Fläche (korri-giert)	$ß_{HZ}$ (korri-giert)
								a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]			[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]
E 3-1	38,9	41,5	1614,4	Engobe 3 (ungemagert)	23.06.03	20	naß	100	0	0		488,4	0,30	1291,5	0,38
E 3-5	38,7	38,9	1505,4	Engobe 3 (ungemagert)	23.06.03	10	naß	90	0	10		521,7	0,35	1354,9	0,39
E 3-6	39,9	38,8	1548,1	Engobe 3 (ungemagert)	23.06.03	5	naß	100	0	0		932,2	0,60	1470,7	0,63
E 3-9	39,9	40,7	1623,9	Engobe 3 (ungemagert)	23.06.03	10	naß	90	0	10		579,2	0,36	1461,5	0,40
E 3-10	39,3	40,1	1575,9	Engobe 3 (ungemagert)	23.06.03	0	naß	100	0	0		Fehlversuch (Prüfgeschwindigkeit 500 mm/min)			
					Median			95	0	5			**0,35**		**0,39**
					arithm. Mittel			95	0	5			**0,40**		**0,45**
					Standardabweichung								**0,14**		**0,12**
					Variationskoeffizient [%]								**33,7**		**27,6**



E 3-1 E 3-5 E 3-6 E 3-9 E 3-10

Haftzugprotokoll Referenzproben Typ 1, Engobe 4, gemagert, dreilagig

a) Messungen an lufttrockenen Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Engobe-typ	Datum Haftzug-messung	Abschät-zung hohl-liegender Bereiche	Kondi-tionie-rung	Bruchbild				f_{max}	$ß_{HZ}$	Fläche (korri-giert)	$ß_{HZ}$ (korri-giert)
								a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]			[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]
E 4 III 1	39,6	39,1	1548,4	Engobe 4 (gemagert, 3-lagig)	23.06.03	0	trocken	90	10	0		627	0,40	1548,4	0,40
E 4 III 3	40,0	39,4	1576,0	Engobe 4 (gemagert, 3-lagig)	23.06.03	0	trocken	80	20	0		739	0,47	1576,0	0,47
E 4 III 5	38,8	40,3	1563,6	Engobe 4 (gemagert, 3-lagig)	23.06.03	5	trocken	80	20	0		712,9	0,46	1485,5	0,48
					Median			80	20	0			**0,46**		**0,47**
					arithm. Mittel			83	17	0			**0,44**		**0,45**
					Standardabweichung								**0,03**		**0,04**
					Variationskoeffizient [%]								**7,7**		**9,0**

E 4 III 1 E 4 III 3 E 4 III 5

b) Messungen an durchfeuchteten Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Engobe-typ	Datum Haftzug-messung	Abschät-zung hohl-liegender Bereiche	Kondi-tionie-rung	Bruchbild				f_{max}	$ß_{HZ}$	Fläche (korri-giert)	$ß_{HZ}$ (korri-giert)
								a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]			[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]
E 4 III 2	39,1	39,7	1552,3	Engobe 4 (gemagert, 3-lagig)	23.06.03	0	naß	80	20	0		671,0	0,4	1552,3	0,43
E 4 III 4	39,1	39,4	1540,5	Engobe 4 (gemagert, 3-lagig)	23.06.03	0	naß	70	30	0		464,2	0,30	1540,5	0,30
E 4 III 6	38,6	37,9	1462,9	Engobe 4 (gemagert, 3-lagig)	23.06.03	10	naß	50	50	0		569,4	0,39	1316,6	0,43
					Median			70	30	0			**0,39**		**0,43**
					arithm. Mittel			67	33	0			**0,37**		**0,39**
					Standardabweichung								**0,07**		**0,08**
					Variationskoeffizient [%]								**17,8**		**19,5**

E 4 III 2 E 4 III 4 E 4 III 6

Haftzugprotokoll Referenzproben Typ 1, Engobe 4, gemagert, sechslagig

a) Messungen an lufttrockenen Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Engobe-typ	Datum Haftzug-messung	Abschät-zung hohl-liegender Bereiche	Kondi-tionie-rung	Bruchbild				f_{max}	$ß_{HZ}$	Fläche (korri-giert)	$ß_{HZ}$ (korri-giert)
								a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]			[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]
E 4 VI 1	41,0	39,6	1623,6	Engobe 4 (gemagert, 6-lagig)	23.06.03	0	trocken	80	20	0		845,0	0,52	1623,6	0,52
E 4 VI 3	40,1	39,5	1584,0	Engobe 4 (gemagert, 6-lagig)	23.06.03	0	trocken	90	10	0		731,1	0,46	1584,0	0,46
E 4 VI 4	41,7	41,0	1709,7	Engobe 4 (gemagert, 6-lagig)	23.06.03	70	trocken	75	25	0		166,0	0,10	512,9	0,32
					Median			80	20	0			**0,46**		**0,46**
					arithm. Mittel			82	18	0			**0,36**		**0,44**
					Standardabweichung								**0,23**		**0,10**
					Variationskoeffizient [%]								**63,8**		**23,2**

E 4 VI 1 E 4 VI 3 E 4 VI 5

b) Messungen an durchfeuchteten Proben

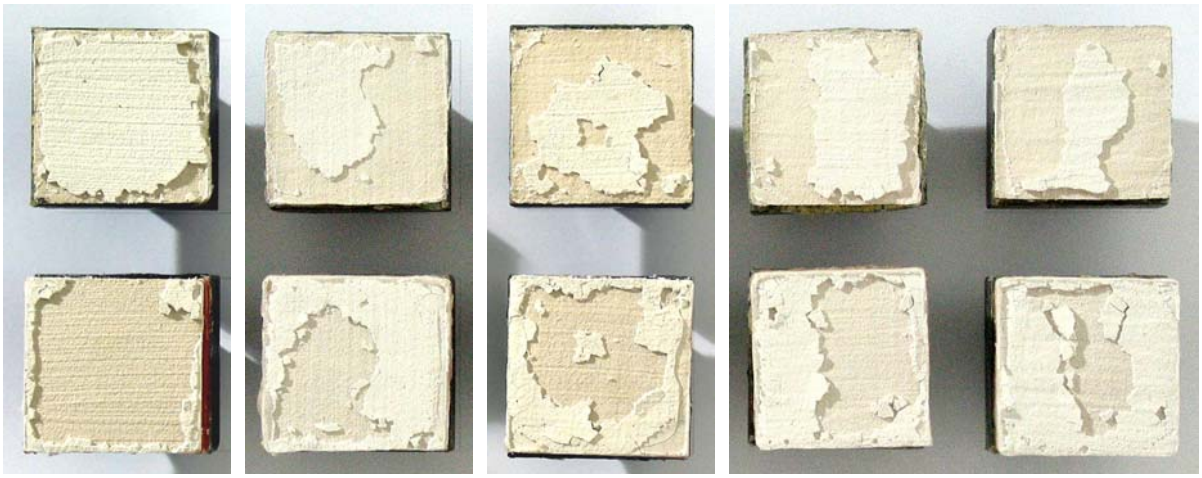
Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Engobe-typ	Datum Haftzug-messung	Abschät-zung hohl-liegender Bereiche	Kondi-tionie-rung	Bruchbild				f_{max}	$ß_{HZ}$	Fläche (korri-giert)	$ß_{HZ}$ (korri-giert)
								a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]			[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]
E 4 VI 2	40,0	41,2	1648,0	Engobe 4 (gemagert, 6-lagig)	23.06.03	0	naß	80	20	0		616,7	0,37	1648,0	0,37
E 4 VI 5	38,8	39,9	1548,1	Engobe 4 (gemagert, 6-lagig)	23.06.03	30	naß	70	30	0		557,9	0,36	1083,7	0,51
E 4 VI 6	40,3	39,6	1595,9	Engobe 4 (gemagert, 6-lagig)	23.06.03	30	naß	50	50	0		435,9	0,27	1117,1	0,39
					Median			70	30	0			**0,36**		**0,39**
					arithm. Mittel			67	33	0			**0,34**		**0,43**
					Standardabweichung								**0,05**		**0,08**
					Variationskoeffizient [%]								**16,3**		**18,1**

E 4 VI 2 E 4 VI 5 E 4 VI 6

Haftzugprotokoll Injektionsmasse Syton 2 H

a) Messungen an lufttrockenen Proben

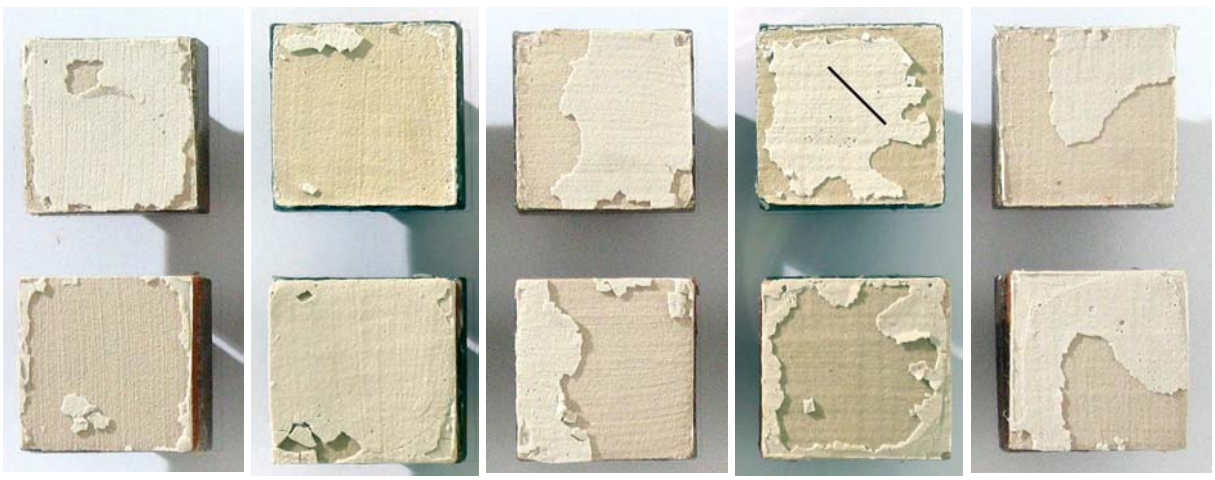
Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 1	39,7	38,6	1532,4	S 2 H	Syton X 15	11.06.03	25./27.06	0	trocken	100	0	0	100	95	ja	77,6	0,05
I A 29	40,1	40,1	1606,0	S 2 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	100	0	0		90	ja	73,4	0,05
I A 50	39,5	37,9	1497,1	S 2 H	Syton X 15	11.06.03	25./27.06	10-20	trocken	100	0	0	100	85	ja	49,5	0,03
I A 51	38,2	38,6	1474,5	S 2 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	100	0	0		90	ja	36,1	0,02
I A 52	39,5	38,7	1528,7	S 2 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	100	0	0		90	ja	41,1	0,03
							Median			100	0	0		90			**0,03**
							arithm. Mittel			100	0	0		90			**0,04**
							Standardabweichung										**0,01**
							Variationskoeffizient [%]										**31,9**



1 A 1 1 A 29 1 A 50 1 A 51 1 A 52

b) Messungen an durchfeuchteten Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 2	39,2	39,3	1540,6	S 2 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	100	0	0		95	ja	< 15	< 0,01
I A 53	39,2	38,4	1505,3	S 2 H	Syton X 15	11.06.03	25./27.06	0	naß	100	0	0	100	95	ja	25,3	0,02
I A 54	38,6	39,3	1517,0	S 2 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	100	0	0		95	ja	31,8	0,02
I A 55	41,1	38,7	1590,6	S 2 H	Syton X 15	11.06.03	25./27.06	0	naß	100	0	0	100	90	ja	30,3	0,02
I A 56	39,1	39,4	1540,5	S 2 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	100	0	0		85	ja	21,8	0,01
							Median			100	0	0		95			**0,02**
							arithm. Mittel			100	0	0		92			**0,02**
							Standardabweichung										**0,00**
							Variationskoeffizient [%]										**26,5**



1 A 2 1 A 53 1 A 54 1 A 55 1 A 56

Haftzugprotokoll Injektionsmasse Syton 7 H

a) Messungen an lufttrockenen Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild a	Bruchbild b	Bruchbild c	Bruchbild d	Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 4	40,0	40,2	1608,0	S 7 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	100	0	0		95	ja	355,1	0,22
I A 62	38,6	40,0	1544,0	S 7 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	100	0	0		95	ja	305,0	0,20
I A 63	38,9	38,2	1486,0	S 7 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	95	5	0		90	ja	72,6	0,05
I A 64	38,2	39,1	1493,6	S 7 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	100	0	0		95	ja	68,8	0,05
I A 65	38,2	38,8	1482,2	S 7 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	100	0	0		95	ja	74,3	0,05
							Median			100	0	0		95			**0,05**
							arithm. Mittel			99	1	0		94			**0,11**
							Standardabweichung										**0,09**
							Variationskoeffizient [%]										**78,5**

1 A 4 1 A 62 1 A 63 1 A 64 1 A 65

b) Messungen an durchfeuchteten Proben

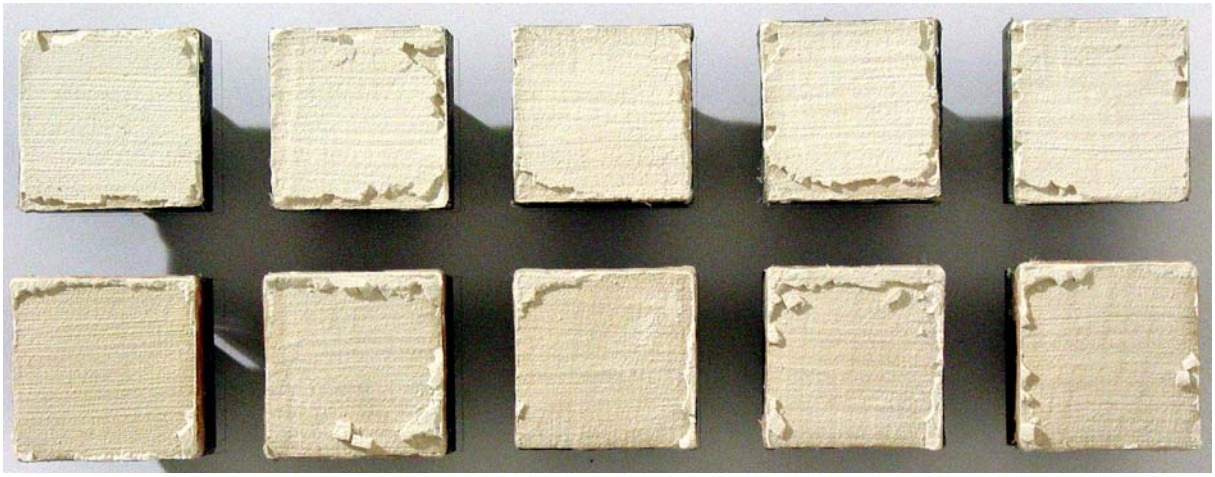
Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild a	Bruchbild b	Bruchbild c	Bruchbild d	Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 5	40,7	40,2	1636,1	S 7 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	100	0	0		95	ja	41,1	0,03
I A 66	37,8	37,7	1425,1	S 7 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	100	0	0		95	ja	< 15,0	< 0,01
I A 67	40,0	39,2	1568,0	S 7 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	100	0	0		95	ja	28,3	0,02
I A 68	39,2	39,0	1528,8	S 7 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	100	0	0		95	ja	< 15,0	< 0,01
I A 69	41,0	38,6	1582,6	S 7 H	Syton X 15	11.06.03	25./27.06	0	naß	100	0	0	100	95	ja	23,2	0,01
							Median			100	0	0		95			**0,01**
							arithm. Mittel			100	0	0		95			**0,02**
							Standardabweichung										**0,01**
							Variationskoeffizient [%]										**40,7**

1 A 5 1 A 66 1 A 67 1 A 68 1 A 69

Haftzugprotokoll Injektionsmasse Syton 9 H

a) Messungen an lufttrockenen Proben

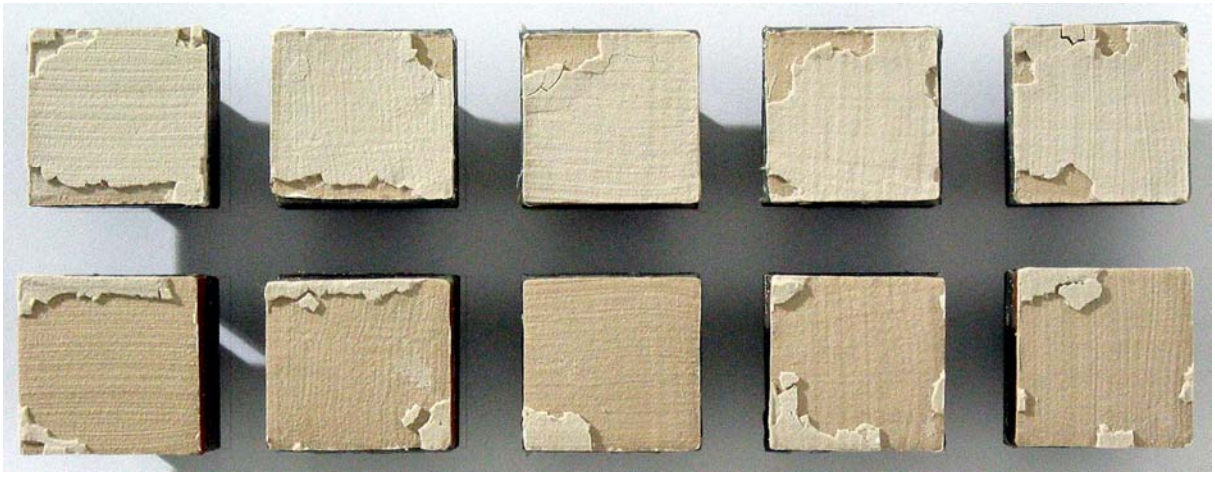
Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 7	40,1	39,8	1596,0	S 9 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	95	5	0		95	n.e.	420,1	0,26
I A 75	38,9	40,0	1556,0	S 9 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	95	5	0		95	n.e.	542,5	0,35
I A 76	39,4	38,0	1497,2	S 9 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	95	5	0		95	ja	380,1	0,25
I A 77	38,6	39,3	1517,0	S 9 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	95	5	0		95	n.e.	628,8	0,41
I A 78	38,9	40,5	1575,5	S 9 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	95	5	0		95	ja	469,7	0,30
							Median			95	5	0		95			**0,30**
							arithm. Mittel			95	5	0		95			**0,32**
							Standardabweichung										**0,07**
							Variationskoeffizient [%]										**21,1**



1 A 7 1 A 75 1 A 76 1 A 77 1 A 78

b) Messungen an durchfeuchteten Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 8	40,0	39,7	1588,0	S 9 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	100	0	0		100	n.e.	85,9	0,05
I A 79	39,9	37,4	1492,3	S 9 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	100	0	0		100	n.e.	247,5	0,17
I A 80	39,4	38,4	1513,0	S 9 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	100	0	0		100	ja	100,8	0,07
I A 81	38,8	38,6	1497,7	S 9 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	100	0	0		95	n.e.	86,3	0,06
I A 82	38,8	39,7	1540,4	S 9 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	100	0	0		100	n.e.	142,8	0,09
							Median			100	0	0		100			**0,07**
							arithm. Mittel			100	0	0		99			**0,09**
							Standardabweichung										**0,05**
							Variationskoeffizient [%]										**53,1**



1 A 8 1 A 79 1 A 80 1 A 81 1 A 82

Haftzugprotokoll Injektionsmasse Syton 11 H

a) Messungen an lufttrockenen Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzug-messung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 16	40,1	39,6	1588,0	S 11 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	trocken	95	5	0		95	ja	330,6	0,21
I A 114	38,5	39,7	1528,5	S 11 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	trocken	95	5	0		100	ja	445,8	0,29
I A 115	38,5	35,8	1378,3	S 11 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	trocken	95	5	0		100	n.e.	465,2	0,34
I A 116	40,8	38,8	1583,0	S 11 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	trocken	95	5	0		100	n.e.	493,6	0,31
I A 117	39,9	38,2	1524,2	S 11 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	trocken	95	5	0		100	ja	535,4	0,35
							Median			95	5	0		100			**0,31**
							arithm. Mittel			95	5	0		99			**0,30**
							Standardabweichung										**0,06**
							Variationskoeffizient [%]										**18,8**

1 A 16 1 A 114 1 A 115 1 A 116 1 A 117

b) Messungen an durchfeuchteten Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzug-messung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 17	39,5	40,5	1599,8	S 11 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	naß	100	0	0		100	ja	176,2	0,11
I A 118	39,7	40,3	1599,9	S 11 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	naß	100	0	0		100	ja	299,2	0,19
I A 119	40,1	39,4	1579,9	S 11 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	5-10	naß	100	0	0		100	n.e.	166,3	0,11
I A 120	38,5	40,1	1543,9	S 11 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	naß	100	0	0		100	ja	297,6	0,19
I A 121	39,2	37,8	1481,8	S 11 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	naß	100	0	0		100	n.e.	230,4	0,16
							Median			100	0	0		100			**0,16**
							arithm. Mittel			100	0	0		100			**0,15**
							Standardabweichung										**0,04**
							Variationskoeffizient [%]										**27,5**

1 A 17 1 A 118 1 A 119 1 A 120 1 A 121

Haftzugprotokoll Injektionsmasse Syton 18 H

a) Messungen an lufttrockenen Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild a	Bruchbild b	Bruchbild c	Bruchbild d	Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 10	39,8	40,7	1619,9	S 18 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	100	0	0		100	n.e.	564,2	0,35
I A 88	39,0	40,6	1583,4	S 18 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	95	5	0		100	n.e.	928,3	0,59
I A 89	39,6	39,6	1568,2	S 18 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	100	0	0		100	n.e.	526,6	0,34
I A 90	38,4	38,8	1489,9	S 18 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	100	0	0		100	n.e.	723,0	0,49
I A 91	38,4	35,7	1370,9	S 18 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	80	20	0		100	n.e.	482,4	0,35
							Median			100	0	0		100			**0,35**
							arithm. Mittel			95	5	0		100			**0,42**
							Standardabweichung										**0,11**
							Variationskoeffizient [%]										**26,2**

1 A 10 1 A 88 1 A 89 1 A 90 1 A 91

b) Messungen an durchfeuchteten Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild a	Bruchbild b	Bruchbild c	Bruchbild d	Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 11	40,1	39,9	1600,0	S 18 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	100	0	0		100	n.e.	130,1	0,08
I A 92	39,8	39,4	1568,1	S 18 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	100	0	0		100	n.e.	263,5	0,17
I A 93	39,3	38,1	1497,3	S 18 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	100	0	0		100	n.e.	191,0	0,13
I A 94	37,6	36,7	1379,9	S 18 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	100	0	0		100	n.e.	329,5	0,24
I A 95	38,8	38,7	1501,6	S 18 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	100	0	0		100	n.e.	230,1	0,15
							Median			100	0	0		100			**0,15**
							arithm. Mittel			100	0	0		100			**0,15**
							Standardabweichung										**0,06**
							Variationskoeffizient [%]										**37,6**

1 A 11 1 A 92 1 A 93 1 A 94 1 A 95

Haftzugprotokoll Injektionsmasse Syton 30 H

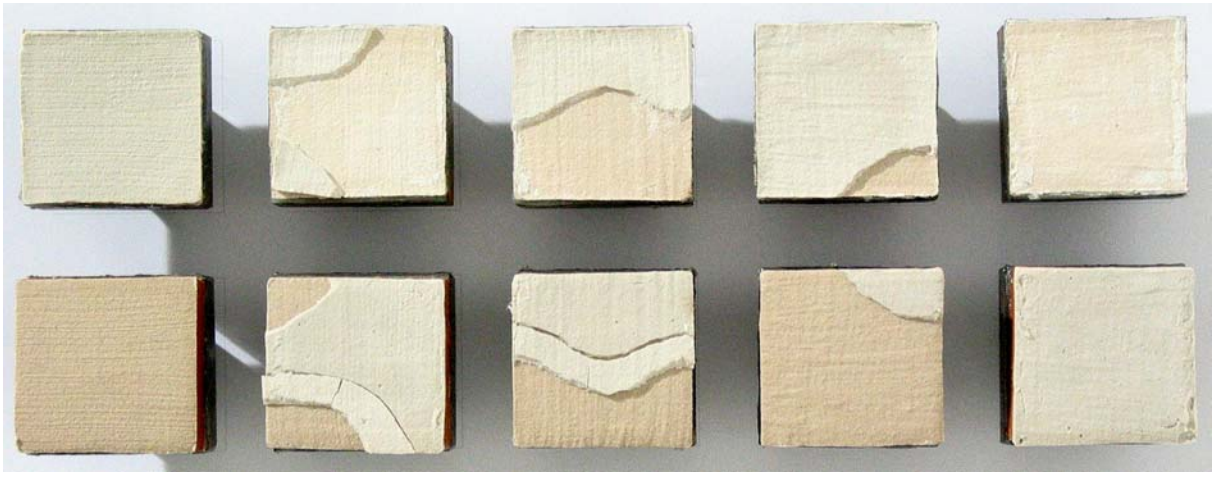
a) Messungen an lufttrockenen Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 13	39,4	40,0	1576,0	S 30 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	85	15	0		95	n.e.	984,0	0,62
I A 101	40,3	38,4	1547,5	S 30 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	90	10	0		95	n.e.	1140,3	0,74
I A 102	39,9	38,1	1520,2	S 30 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	90	10	0		95	n.e.	1030,0	0,68
I A 103	38,0	38,8	1474,4	S 30 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	95	5	0		100	n.e.	879,9	0,60
I A 104	39,0	37,3	1454,7	S 30 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	trocken	85	10	5		95	n.e.	960,9	0,66
							Median			90	10	0		95			**0,66**
							arithm. Mittel			89	10	1		96			**0,66**
							Standardabweichung										**0,05**
							Variationskoeffizient [%]										**8,1**

1 A 13 1 A 101 1 A 102 1 A 103 1 A 104

b) Messungen an durchfeuchteten Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 14	40,1	38,6	1547,9	S 30 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	100	0	0		100	n.e.	236,6	0,15
I A 105	39,4	37,8	1489,3	S 30 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	95	5	0		100	n.e.	417,1	0,28
I A 106	39,7	38,6	1532,4	S 30 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	95	5	0		100	n.e.	427,2	0,28
I A 107	40,2	38,9	1563,8	S 30 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	100	0	0		100	n.e.	294,7	0,19
I A 108	39,4	38,5	1516,9	S 30 H	Syton X 15	11.06.03	25.06.03	0	naß	95	5	0		95	n.e.	400,2	0,26
							Median			95	5	0		100			**0,26**
							arithm. Mittel			97	3	0		99			**0,23**
							Standardabweichung										**0,06**
							Variationskoeffizient [%]										**25,1**



1 A 14 1 A 105 1 A 106 1 A 107 1 A 108

Haftzugprotokoll Injektionsmasse Syton 31 H

a) Messungen an lufttrockenen Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 19	39,6	39,4	1560,2	S 31H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	trocken	95	5	0		95	n.e.	940,9	0,60
I A 127	39,3	38,4	1509,1	S 31H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	trocken	95	5	0		90	n.e.	1049,2	0,70
I A 128	39,4	38,2	1505,1	S 31H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	10	trocken	95	5	0		95	n.e.	861,3	0,57
I A 129	39,5	38,3	1512,9	S 31H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	trocken	90	5	5		95	n.e.	1014,6	0,67
I A 130	39,6	39,5	1564,2	S 31H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	trocken	90	10	0		95	n.e.	1024,7	0,66
							Median			95	5	0		95			**0,66**
							arithm. Mittel			93	6	1		94			**0,64**
							Standardabweichung										**0,05**
							Variationskoeffizient [%]										**7,9**

1 A 19 1 A 127 1 A 128 1 A 129 1 A 130

b) Messungen an durchfeuchteten Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 20	39,8	40,0	1592,0	S 31H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	naß	100	0	0		100	n.e.	288,3	0,18
I A 131	40,7	39,5	1607,7	S 31H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	10	naß	95	5	0		95	n.e.	400,3	0,25
I A 132	40,5	39,8	1611,9	S 31H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	naß	95	5	0		95	n.e.	502,5	0,31
I A 133	38,8	39,1	1517,1	S 31H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	10-20	naß	90	10	0		90	n.e.	252,5	0,17
I A 134	39,2	38,0	1489,6	S 31H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	naß	100	0	0		100	n.e.	295,1	0,20
							Median			95	5	0		95			**0,20**
							arithm. Mittel			96	4	0		96			**0,22**
							Standardabweichung										**0,06**
							Variationskoeffizient [%]										**26,8**

1 A 20 1 A 131 1 A 132 1 A 133 1 A 134

Haftzugprotokoll Injektionsmasse Syton 33 H

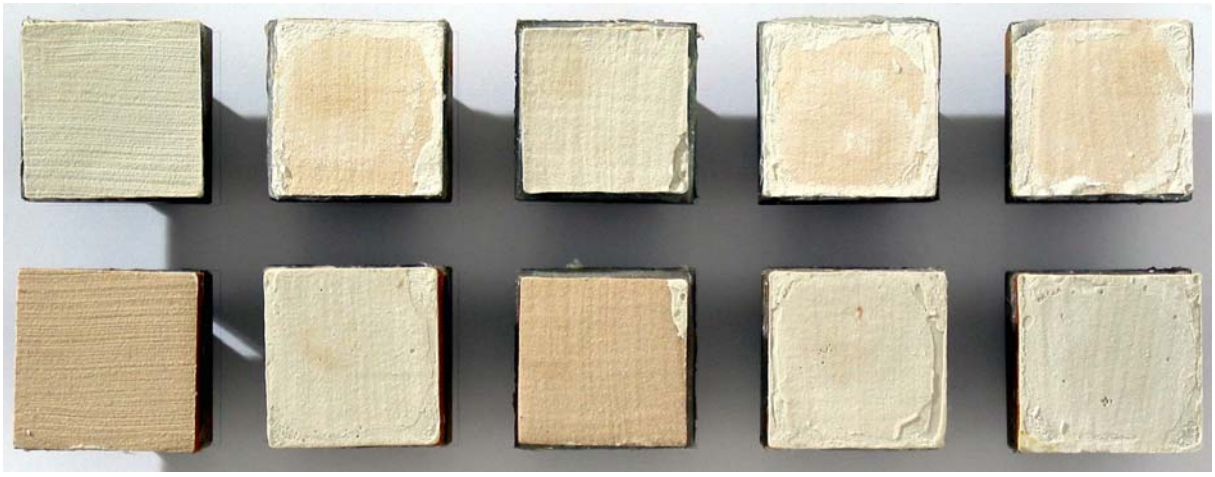
a) Messungen an lufttrockenen Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 22	41,1	40,4	1660,4	S 33 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	trocken	90	5	5		100	nein	1016,3	0,61
I A 140	39,8	38,6	1536,3	S 33 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	10	trocken	90	10	0		95	nein	1016,3	0,66
I A 141	38,4	39,2	1505,3	S 33 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	trocken	90	10	0		100	nein	811,9	0,54
I A 142	40,1	38,7	1551,9	S 33 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	10	trocken	90	10	0		100	nein	1169,6	0,75
I A 143	39,9	38,6	1540,1	S 33 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	5	trocken	95	5	0		100	nein	753,1	0,49
							Median			90	10	0		100			**0,61**
							arithm. Mittel			91	8	1		99			**0,61**
							Standardabweichung										**0,10**
							Variationskoeffizient [%]										**17,0**

1 A 22 1 A 140 1 A 141 1 A 142 1 A 143

b) Messungen an durchfeuchteten Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 23	39,7	39,6	1572,1	S 33 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	naß	100	0	0		100	nein	303,6	0,19
I A 144	37,9	39,1	1481,9	S 33 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	naß	80	20	0		95	nein	530,2	0,36
I A 145	36,5	36,5	1332,3	S 33 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	naß	100	0	0		95	nein	400,5	0,30
I A 146	38,7	38,6	1493,8	S 33 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	naß	80	20	0		90	nein	492,5	0,33
I A 147	39,8	39,9	1588,0	S 33 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	naß	80	20	0		95	nein	398,6	0,25
							Median			80	20	0		95			**0,30**
							arithm. Mittel			88	12	0		95			**0,29**
							Standardabweichung										**0,07**
							Variationskoeffizient [%]										**22,8**



1 A 23 1 A 144 1 A 145 1 A 146 1 A 147

Haftzugprotokoll Injektionsmasse Syton 37 H

a) Messungen an lufttrockenen Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 25	40,5	39,5	1599,8	S 37 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	trocken	75	15	10		100	nein	705,6	0,44
I A 153	38,4	38,6	1482,2	S 37 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	trocken	85	10	5		100	nein	747,1	0,50
I A 154	39,0	39,5	1540,5	S 37 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	trocken	95	5	0		100	nein	884,4	0,57
I A 155	40,5	38,7	1567,4	S 37 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	trocken	90	8	2		100	nein	664,0	0,42
I A 156	38,5	39,2	1509,2	S 37 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	trocken	90	5	5		100	nein	499,7	0,33
							Median			90	8	5		100			**0,44**
							arithm. Mittel			87	9	4		100			**0,45**
							Standardabweichung										**0,09**
							Variationskoeffizient [%]										**20,0**

1 A 25 1 A 153 1 A 154 1 A 155 1 A 156

b) Messungen an durchfeuchteten Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 26	40,2	39,5	1587,9	S 37 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	naß	80	20	0		95	nein	255,0	0,16
I A 157	38,7	40,5	1567,4	S 37 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	naß	90	10	0		100	nein	227,0	0,14
I A 158	40,1	40,2	1612,0	S 37 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	naß	90	10	0		100	nein	217,3	0,13
I A 159	40,0	39,1	1564,0	S 37 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	naß	90	10	0		100	nein	252,9	0,16
I A 160	38,5	38,7	1490,0	S 37 H	Syton X 15	13.06.03	27.06.03	0	naß	95	5	0		100	nein	202,8	0,14
							Median			90	10	0		100			**0,14**
							arithm. Mittel			89	11	0		99			**0,15**
							Standardabweichung										**0,01**
							Variationskoeffizient [%]										**8,8**

1 A 26 1 A 157 1 A 158 1 A 159 1 A 160

Haftzugprotokoll Injektionsmasse KSE H1

a) Messungen an lufttrockenen Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 28	39,2	39,7	1556,2	KSE 1 H	ohne	13.06.03	27.06.03	0	trocken	35	15	50		90	nein	1402,9	0,90
I A 166	39,2	38,5	1509,2	KSE 1 H	ohne	13.06.03	27.06.03	0	trocken	5	95	0		90	nein	303,5	0,20
I A 167	38,6	38,9	1501,5	KSE 1 H	ohne	13.06.03	27.06.03	0	trocken	40	10	50		90	nein	849,7	0,57
I A 168	38,7	39,6	1532,5	KSE 1 H	ohne	13.06.03	27.06.03	0	trocken	40	30	30		85	nein	1021,3	0,67
I A 169	40,5	39,3	1591,7	KSE 1 H	ohne	13.06.03	27.06.03	0	trocken	20	30	50		90	nein	1030,4	0,65
							Median			35	30	50		90			**0,65**
							arithm. Mittel			28	36	36		89			**0,60**
							Standardabweichung										**0,25**
							Variationskoeffizient [%]										**42,6**

1 A 28 1 A 166 1 A 167 1 A 168 1 A 169

b) Messungen an durchfeuchteten Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 30	40,0	40,1	1604,0	KSE 1 H	ohne	13.06.03	27.06.03	0	naß	85	15	0		80	nein	393,9	0,25
I A 170	38,6	39,3	1517,0	KSE 1 H	ohne	13.06.03	27.06.03	20	naß	85	10	5		85	nein	222,0	0,15
I A 171	39,7	39,7	1576,1	KSE 1 H	ohne	13.06.03	27.06.03	20-30	naß	65	20	15		80	nein	187,3	0,12
I A 172	39,4	38,6	1520,8	KSE 1 H	ohne	13.06.03	27.06.03	0	naß	60	20	20		85	nein	440,8	0,29
I A 173	40,8	38,6	1574,9	KSE 1 H	ohne	13.06.03	27.06.03	10	naß	65	20	15		80	nein	381,7	0,24
							Median			65	20	15		80			**0,24**
							arithm. Mittel			72	17	11		82			**0,21**
							Standardabweichung										**0,07**
							Variationskoeffizient [%]										**34,8**

1 A 30 1 A 170 1 A 171 1 A 172 1 A 173

Haftzugprotokoll Injektionsmasse HGZ 6 H

a) Messungen an lufttrockenen Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 32	40,1	39,7	1592,0	HGZ 6 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	trocken	5	0	95		n.e.	n.e.	1363,5	0,86
I A 179	39,6	38,2	1512,7	HGZ 6 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	trocken	0	0	100		n.e.	n.e.	1107,4	0,73
I A 180	38,6	38,7	1493,8	HGZ 6 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	trocken	0	0	100		n.e.	n.e.	1225,4	0,82
I A 181	39,7	39,0	1548,3	HGZ 6 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	trocken	15	0	85		n.e.	n.e.	946,5	0,61
I A 182	39,1	39,0	1524,9	HGZ 6 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	trocken	0	0	100		n.e.	n.e.	1202,4	0,79
							Median			0	0	100					**0,79**
							arithm. Mittel			4	0	96					**0,76**
							Standardabweichung										**0,10**
							Variationskoeffizient [%]										**12,6**

1 A 32 1 A 179 1 A 180 1 A 181 1 A 182

b) Messungen an durchfeuchteten Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 33	40,8	40,9	1668,7	HGZ 6 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	naß	90	0	10		100	nein	616,7	0,37
I A 183	39,6	39,0	1544,4	HGZ 6 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	naß	90	0	10		100	nein	710,4	0,46
I A 184	38,5	38,3	1474,6	HGZ 6 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	naß	50	0	50		100	nein	639,5	0,43
I A 185	39,6	38,7	1532,5	HGZ 6 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	naß	50	10	40		100	nein	598,4	0,39
I A 186	36,6	37,5	1372,5	HGZ 6 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	naß	85	0	15		100	nein	627,7	0,46
							Median			85	0	15		100			**0,43**
							arithm. Mittel			73	2	25		100			**0,42**
							Standardabweichung										**0,04**
							Variationskoeffizient [%]										**9,6**

1 A 33 1 A 183 1 A 184 1 A 185 1 A 186

Haftzugprotokoll Injektionsmasse HGZ 9 H

a) Messungen an lufttrockenen Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 35	40,0	40,2	1608,0	HGZ 9 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	trocken	0	0	100		n.e.	n.e.	1324,8	0,82
I A 192	39,8	39,6	1576,1	HGZ 9 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	trocken	5	0	95		n.e.	n.e.	1217,8	0,77
I A 193	38,8	38,6	1497,7	HGZ 9 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	trocken	5	0	95		n.e.	n.e.	1120,8	0,75
I A 194	38,6	38,2	1474,5	HGZ 9 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	trocken	0	0	100		n.e.	n.e.	1218,9	0,83
I A 195	38,8	39,0	1513,2	HGZ 9 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	trocken	5	0	95		n.e.	n.e.	904,7	0,60
							Median			5	0	95					**0,77**
							arithm. Mittel			3	0	97					**0,75**
							Standardabweichung										**0,09**
							Variationskoeffizient [%]										**12,4**

1 A 35 1 A 192 1 A 193 1 A 194 1 A 195

b) Messungen an durchfeuchteten Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 36	40,1	40,0	1604,0	HGZ 9 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	naß	100	0	0		100	nein	359,3	0,22
I A 196	38,9	39,6	1540,4	HGZ 9 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	naß	80	5	15		95	nein	529,1	0,34
I A 197	39,5	39,9	1576,1	HGZ 9 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	10	naß	95	5	0		100	nein	434,3	0,28
I A 198	40,7	38,2	1554,7	HGZ 9 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	naß	100	0	0		100	nein	467,1	0,30
I A 199	39,2	40,1	1571,9	HGZ 9 H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	naß	95	2	3		100	nein	450,9	0,29
							Median			95	2	0		100			**0,29**
							arithm. Mittel			94	2	4		99			**0,29**
							Standardabweichung										**0,04**
							Variationskoeffizient [%]										**15,1**

1 A 36 1 A 196 1 A 197 1 A 198 1 A 199

Haftzugprotokoll Injektionsmasse HGZ 10 H

a) Messungen an lufttrockenen Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 38	39,9	39,7	1584,0	HGZ 10	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	trocken	30	0	70		< 100	n.e.	932,0	0,59
I A 205	39,0	39,1	1524,9	HGZ 10	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	trocken	5	0	95		n.e.	n.e.	843,9	0,55
I A 206	38,7	39,4	1524,8	HGZ 10	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	trocken	25	0	75		n.e.	n.e.	1109,5	0,73
I A 207	40,1	40,2	1612,0	HGZ 10	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	trocken	10	0	90		n.e.	n.e.	1074,4	0,67
I A 208	38,7	37,0	1431,9	HGZ 10	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	10	trocken	0	0	100		n.e.	n.e.	1222,3	0,85
							Median			10	0	90					**0,67**
							arithm. Mittel			14	0	86					**0,68**
							Standardabweichung										**0,12**
							Variationskoeffizient [%]										**17,6**

1 A 38 1 A 205 1 A 206 1 A 207 1 A 208

b) Messungen an durchfeuchteten Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 39	40,8	39,6	1615,7	HGZ 10	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	naß	98	0	2		98	nein	309,0	0,19
I A 209	35,9	38,7	1389,3	HGZ 10	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	naß	100	0	0		90	nein	394,0	0,28
I A 210	40,6	40,1	1628,1	HGZ 10	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	naß	95	0	5		100	nein	377,5	0,23
I A 211	39,7	39,3	1560,2	HGZ 10	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	naß	95	0	5		95	nein	359,8	0,23
I A 212	40,2	38,3	1539,7	HGZ 10	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	naß	90	0	5		90	nein	416,1	0,27
							Median			95	0	5		95			**0,23**
							arithm. Mittel			96	0	3		95			**0,24**
							Standardabweichung										**0,04**
							Variationskoeffizient [%]										**15,1**

1 A 39 1 A 209 1 A 210 1 A 211 1 A 212

Haftzugprotokoll Injektionsmasse Nanokompositdispersion

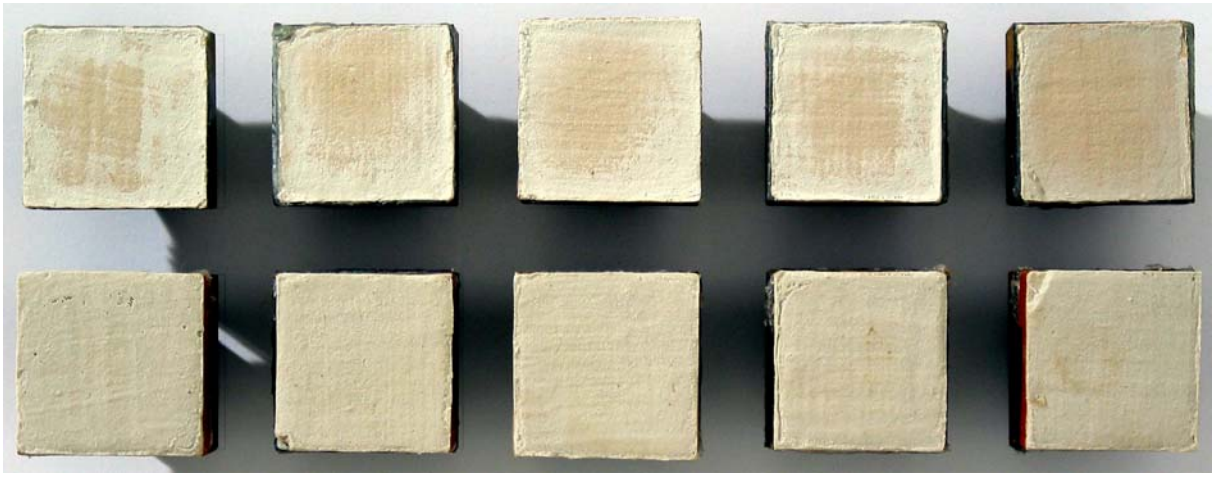
a) Messungen an lufttrockenen Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 218	37,6	36,0	1353,6	Nano H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	trocken	5	0	95		n.e	n.e	704,1	0,52
I A 219	39,7	38,6	1532,4	Nano H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	trocken	10	0	90		n.e	n.e	1104,5	0,72
I A 220	40,7	39,1	1591,4	Nano H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	trocken	0	0	100		n.e	n.e	1208,1	0,76
I A 221	39,2	38,3	1501,4	Nano H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	trocken	0	0	100		n.e	n.e	1094,2	0,73
I A 222	40,7	40,6	1652,4	Nano H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	trocken	0	0	100		n.e	n.e	1318,7	0,80
							Median			0	0	100					**0,73**
							arithm. Mittel			3	0	97					**0,71**
							Standardabweichung										**0,11**
							Variationskoeffizient [%]										**15,3**

1 A 218 1 A 219 1 A 220 1 A 221 1 A 222

b) Messungen an durchfeuchteten Proben

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Nr. der Injektionsmasse	Vornetzen	Datum der Injektion	Datum der Haftzugmessung	Hohlklang nach der Verfüllung	Konditionierung	Bruchbild				Verfüllungsgrad	Schwindrisse in der Masse	f_{max}	$ß_{HZ}$
										a	b	c	d				
	[mm]	[mm]	[mm²]					[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[N]	[N/mm²]
I A 223	40,4	39,8	1607,9	Nano H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	naß	50	50	0		100	nein	334,2	0,21
I A 224	38,6	38,6	1490,0	Nano H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	naß	50	50	0		100	nein	221,0	0,15
I A 225	40,4	37,4	1511,0	Nano H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	naß	50	50	0		100	nein	292,9	0,19
I A 226	37,4	39,0	1458,6	Nano H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	naß	50	50	0		95	nein	266,0	0,18
I A 227	37,6	39,1	1470,2	Nano H	H_2O_{dest}	16.06.03	30.06.03	0	naß	85	15	0		100	nein	302,2	0,21
							Median			50	50	0		100			**0,19**
							arithm. Mittel			57	43	0		99			**0,19**
							Standardabweichung										**0,02**
							Variationskoeffizient [%]										**12,9**



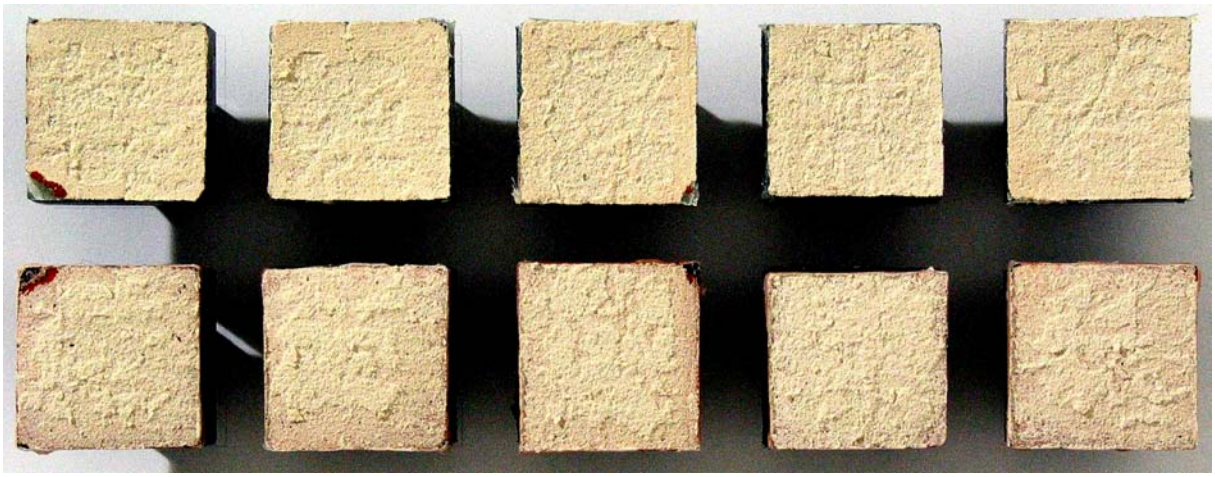
1 A 223 1 A 224 1 A 225 1 A 226 1 A 227

Anhang 6 Protokolle der Haftzugmessungen am Probentypus 2

Haftzugprotokoll Probentypus 2 A, unbehandelt 2
Haftzugprotokoll Probentypus 2 B, unbehandelt 3
Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 1 A (5 %) 4
Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 1 B (10 %) 5
Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 1 C (20 %) 6
Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 2 (10 %) 7
Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 3 (10 %) 8
Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 4 (10 %) 9
Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 5 (10 %) 10
Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 6 (15 %) 11
Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 7 (12,5 %) 12
Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 8 (7,5 %) 13

Haftzugprotokoll Probentypus 2 A, unbehandelt

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche	Bruchbild				f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (Flächen-Korrektur)	$ß_{HZ}$ 3 (Korrektur-faktor 0)
					a	b	c	d					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 20	40,0	40,0	1600	25,0	60	38	2		230,2	0,14	1200	0,19	0,19
2 A 26	40,2	40,2	1616	30,0	55	45	0		164,2	0,10	1131	0,15	0,15
2 A 28	39,2	41,2	1615	0,0	45	55	0		252,2	0,16	1615	0,16	0,16
2 A 29	38,7	38,4	1486	25,0	20	80	0		171,5	0,12	1115	0,15	0,15
2 A 34	41,0	40,4	1656	35,0	70	30	0		184,4	0,11	1077	0,17	0,17
2 A 36	40,1	40,3	1616	10,0	35	65	0		180,5	0,11	1454	0,12	0,12
2 A 37	39,4	38,4	1513	5,0	50	50	0		238,8	0,16	1437	0,17	0,17
2 A 62	39,7	38,6	1532	40,0	70	30	0		172,1	0,11	919	0,19	0,19
2 A 64	38,0	38,0	1444	50,0	80	20	0		60,0	0,04	722	0,08	0,08
2 A 65	38,5	39,6	1525	50,0	90	10	0		99,0	0,06	762	0,13	0,13
Median				28	58	42	0			**0,11**		**0,16**	**0,16**
arithm. Mittel				27	58	42	0			**0,11**		**0,15**	**0,15**
Standardabweichung										**0,04**		**0,03**	**0,03**
Variationskoeffizient [%]										**33,2**		**21,5**	**21,5**

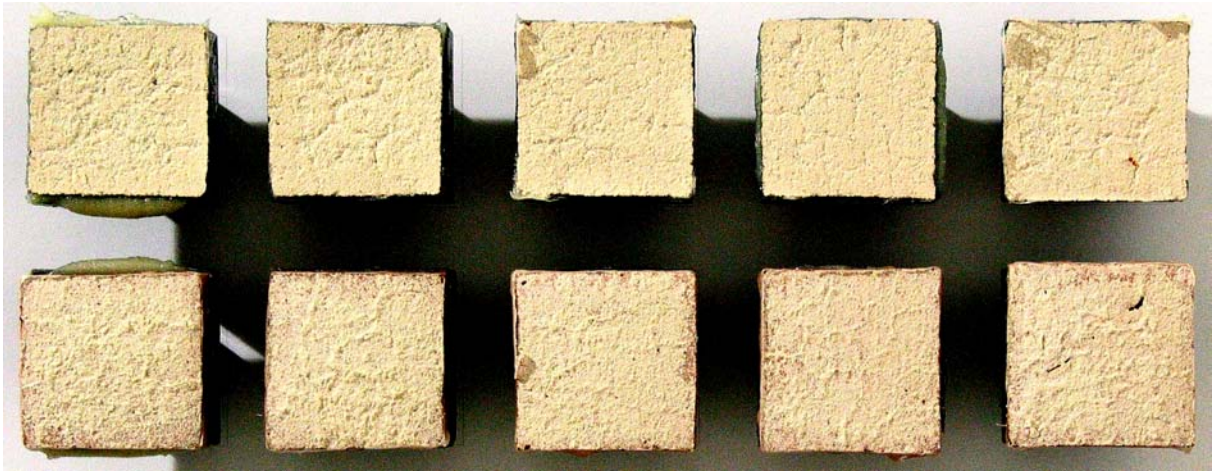


2 A 20 2 A 26 2 A 28 2 A 29 2 A 34

2 A 36 2 A 37 2 A 62 2 A 64 2 A 65

Haftzugprotokoll Probentypus 2 B, unbehandelt

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche	Bruchbild				f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (Flächen-Korrektur)	$ß_{HZ}$ 3 (Korrektur-faktor 1,37)	Bemerkung
					a	b	c	d						
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	
2 B 02	39,8	37,8	1504	15,0	70	30	0		130,0	0,09	1279	0,10	0,14	
2 B 04	38,9	38,3	1490	20,0	70	30	0		119,1	0,08	1192	0,10	0,14	
2 B 10	39,8	39,4	1568	10,0	80	20	0		150,3	0,10	1411	0,11	0,15	
2 B 13	39,2	40,4	1584	15,0	90	10	0		157,2	0,10	1346	0,12	0,16	
2 B 15	40,8	40,3	1644	10,0	80	20	0		173,7	0,11	1480	0,12	0,16	
2 B 18	39,4	38,8	1529	0,0	65	35	0		163,4	0,11	1529	0,11	0,15	
2 B 23	40,1	40,8	1636	50,0	60	40	0	100	99,0	0,06	818	0,12	0,17	Versuchswiederholung 23/25.06.03
2 B 33	38,2	40,1	1532	50,0	75	25	0		-	-	766	-	-	Fehlversuch
2 B 34	40,7	39,6	1612	50,0	90	10	0		82,3	0,05	806	0,10	0,14	
2 B 36	39,5	39,8	1572	50,0	85	15	0		95,2	0,06	786	0,12	0,17	
Median				18	78	23	0			**0,09**		**0,11**	**0,15**	
arithm. Mittel				27	77	24	0			**0,08**		**0,11**	**0,15**	
Standardabweichung										**0,02**		**0,01**	**0,01**	
Variationskoeffizient [%]										**25,5**		**7,8**	**7,8**	



2 B 2 2 B 4 2 B10 2 B 13 2 B 15

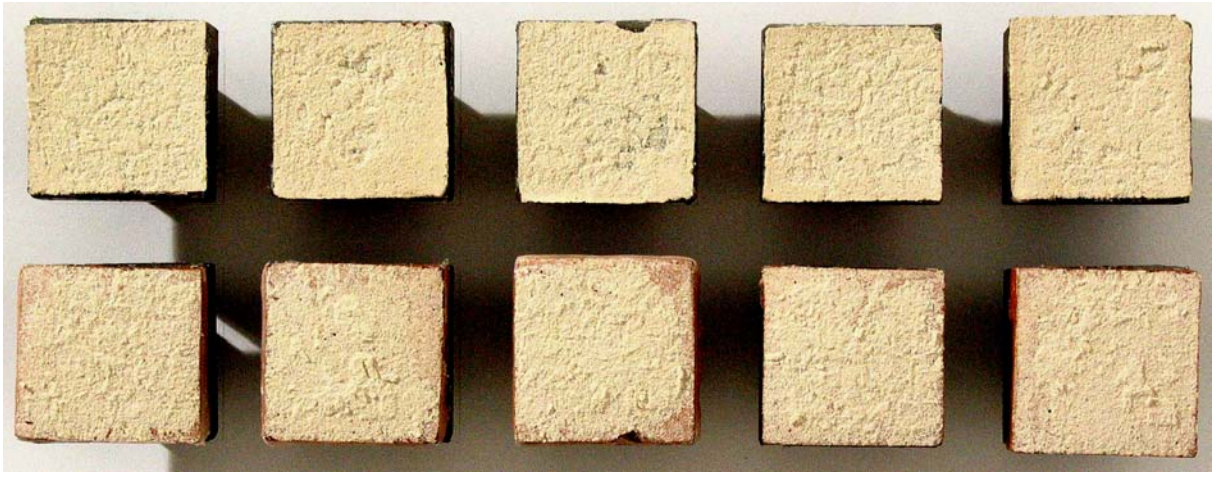
2 B 18 2 B 23 2 B 33 2 B 34 2 B 36

Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 1 A (5 %)

Epilox A 19-00 (Dian-EP-Harz) und Epilox P 13-00 (aliphat. EP-Harz) im Verhältnis 4:1 als 5 % Lösung in Xylol/Ethanol (1:18 GT) gehärtet mit aliphatischem Aminaddukt Epilox H 10-34

a) Tränkung über die Glasurseite

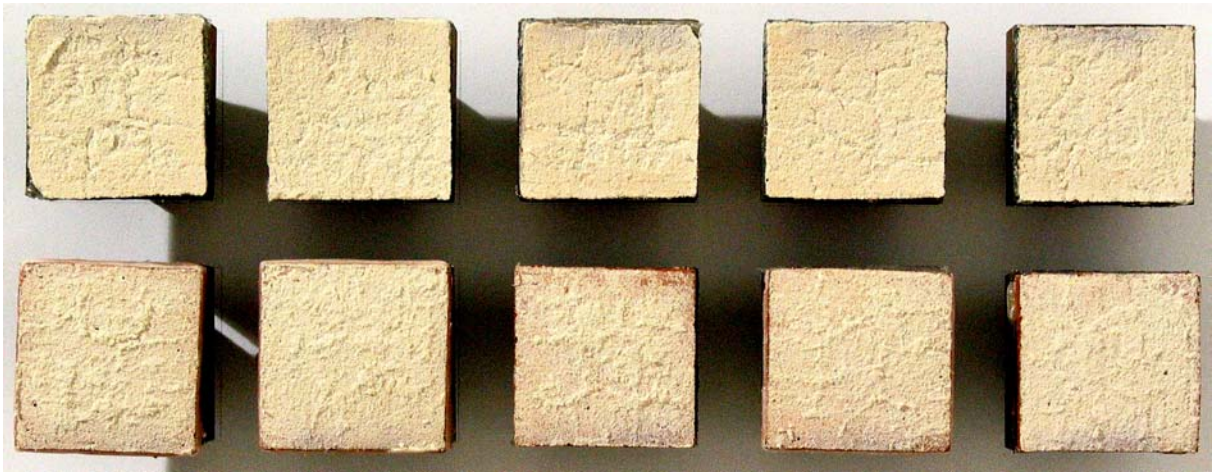
Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 2	40,2	38,4	1544	10	1 A	Glasur	41,53	45,05	8,5	10	60	40	0	301,3	0,20	1389	0,22	0,22
2 A 30	38,9	39,3	1529	30	1 A	Glasur	41,44	45,00	8,6	30	70	30	0	243,0	0,16	1070	0,23	0,23
2 A 44	39,4	40,6	1600	30	1 A	Glasur	43,08	46,87	8,8	30	40	60	0	396,8	0,25	1120	0,35	0,35
2 B 14	39,9	39,3	1568	15	1 A	Glasur	42,03	45,62	8,5	15	40	60	0	205,6	0,13	1333	0,15	0,21
2 B 25	40,4	41,0	1656	40	1 A	Glasur	45,19	49,00	8,4	40	80	20	0	182,6	0,11	994	0,18	0,25
Median				30,0					8,5	30,0	60	40	0		**0,16**		**0,22**	**0,23**
arithm. Mittel				25,0					8,6	25,0	58	42	0		**0,17**		**0,23**	**0,25**
Standardabweichung															**0,05**		**0,08**	**0,06**
Variationskoeffizient [%]															**32,4**		**33,7**	**23,4**



2 A 2 2 A 30 2 A 44 2 B 14 2 B 25

b) Tränkung über die Scherbenseite

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 10	39,5	40,9	1616	15	1 A	Scherben	44,57	48,42	8,6	30	65	35	0	195,2	0,12	1131	0,17	0,17
2 A 12	40,9	41,1	1681	20	1 A	Scherben	46,31	50,27	8,6	20	65	35	0	164,4	0,10	1345	0,12	0,12
2 B 24	38,8	39,5	1533	40	1 A	Scherben	42,54	45,98	8,1	40	70	30	0	94,4	0,06	920	0,10	0,14
2 B 5	40,2	39,7	1596	40	1 A	Scherben	41,16	44,47	8,0	40	80	20	0	134,1	0,08	958	0,14	0,19
2 B 6	39,3	39,4	1548	25	1 A	Scherben	41,86	45,38	8,4	25	60	40	0	97,5	0,06	1161	0,08	0,12
Median				25,0					8,4	30,0	65	35	0		**0,08**		**0,12**	**0,14**
arithm. Mittel				28,0					8,3	31,0	68	32	0		**0,09**		**0,12**	**0,15**
Standardabweichung															**0,02**		**0,03**	**0,03**
Variationskoeffizient [%]															**29,1**		**27,5**	**22,2**



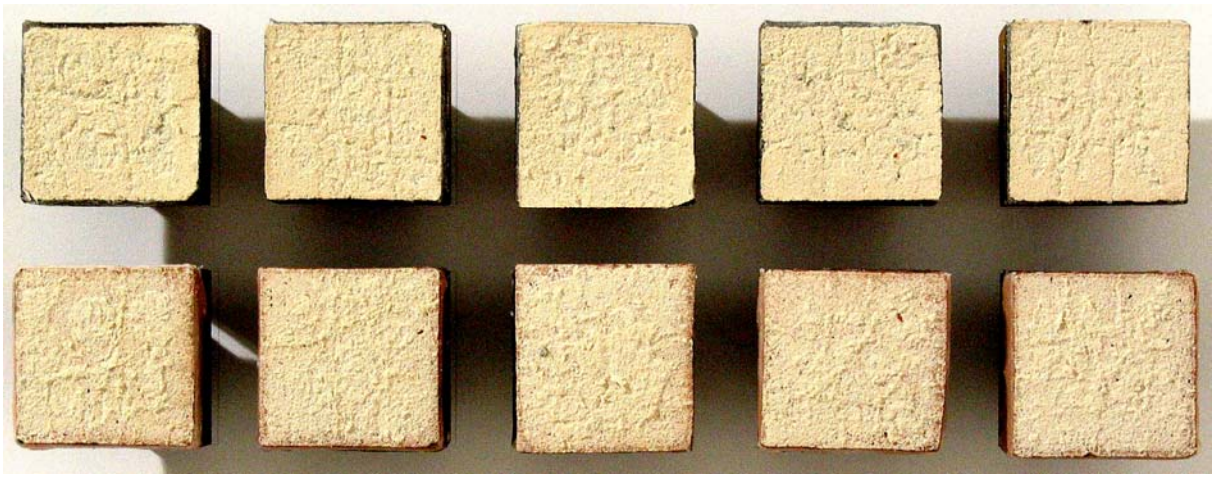
2 A 10 2 A 12 2 B 24 2 B 5 2 B 6

Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 1 B (10 %)

Epilox A 19-00 (Dian-EP-Harz) und Epilox P 13-00 (aliphat. EP-Harz) im Verhältnis 4:1 als 10 % Lösung in Xylol/Ethanol (1:8 GT) gehärtet mit aliphatischem Aminaddukt Epilox H 10-34

a) Tränkung über die Glasurseite

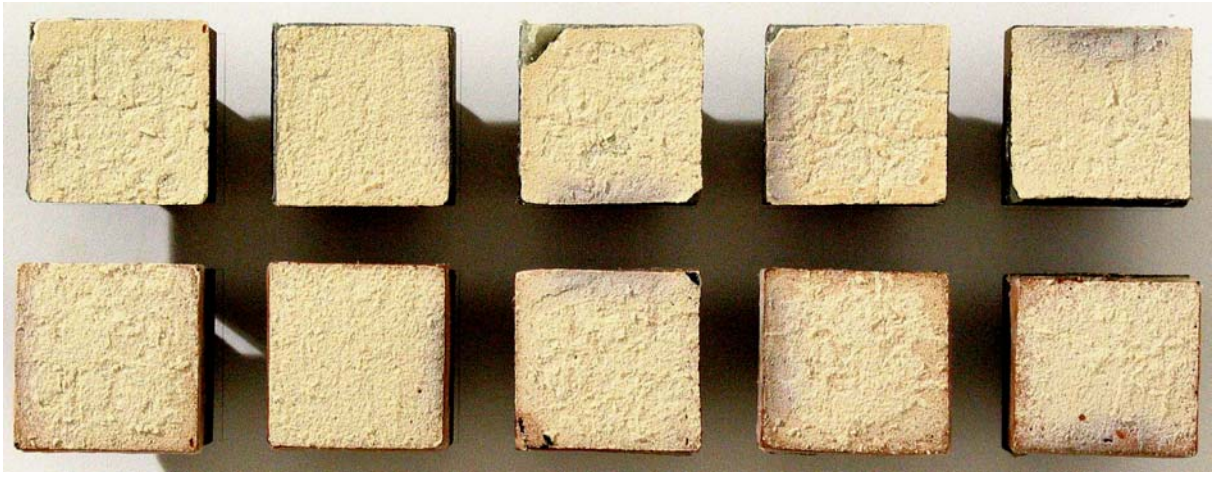
Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 1	39,3	38,9	1529	0	1 B	Glasur	42,06	45,67	8,6	0	50	50	0	373,3	0,24	1529	0,24	0,24
2 A 51	39,4	39,3	1548	50	1 B	Glasur	42,71	46,47	8,8	30	50	50	0	278,6	0,18	1084	0,26	0,26
2 B 1	39,1	41,4	1619	35	1 B	Glasur	42,31	45,93	8,6	20	60	40	0	355,6	0,22	1295	0,27	0,38
2 B 16	39,8	39,1	1556	20	1 B	Glasur	45,36	49,22	8,5	20	70	30	0	293,1	0,19	1245	0,24	0,32
2 B 3	39,8	40,6	1616	30	1 B	Glasur	44,28	48,10	8,6	40	70	30	0	171,9	0,11	970	0,18	0,24
Median				30,0					8,6	20,0	60	40	0		**0,19**		**0,24**	**0,26**
arithm. Mittel				27,0					8,6	22,0	60	40	0		**0,19**		**0,24**	**0,29**
Standardabweichung															**0,05**		**0,04**	**0,06**
Variationskoeffizient [%]															**27,8**		**15,5**	**20,4**



2 A 1 2 A 51 2 B 1 2 B 16 2 B 3

b) Tränkung über die Scherbenseite

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 14	40,3	41,6	1676	15	1 B	Scherben	43,34	47,07	8,6	20	40	60	0	241,2	0,14	1341	0,18	0,18
2 A 15	38,9	40,9	1591	20	1 B	Scherben	43,27	47,07	8,8	20	5	95	0	267,5	0,17	1273	0,21	0,21
2 A 32	39,3	39,7	1560	25	1 B	Scherben	46,01	50,20	9,1	30	40	60	0	203,2	0,13	1092	0,19	0,19
2 B 32	40,8	40,0	1632	40	1 B	Scherben	44,76	48,48	8,3	40	50	50	0	166,0	0,10	979	0,17	0,23
2 B 35	40,2	38,4	1544	40	1 B	Scherben	41,08	44,70	8,8	40	80	20	0	114,5	0,07	926	0,12	0,17
Median				25,0					8,8	30,0	40	60	0		**0,13**		**0,18**	**0,19**
arithm. Mittel				28,0					8,7	30,0	43	57	0		**0,12**		**0,17**	**0,20**
Standardabweichung															**0,04**		**0,03**	**0,03**
Variationskoeffizient [%]															**29,6**		**18,3**	**13,0**



2 A 14 2 A 15 2 A 32 2 B 32 2 B 35

Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 1 C (20 %)

Epilox A 19-00 (Dian-EP-Harz) und Epilox P 13-00 (aliphat. EP-Harz) im Verhältnis 4:1 als 20 % Lösung in Xylol/Ethanol (1:3 GT) gehärtet mit aliphatischem Aminaddukt Epilox H 10-34

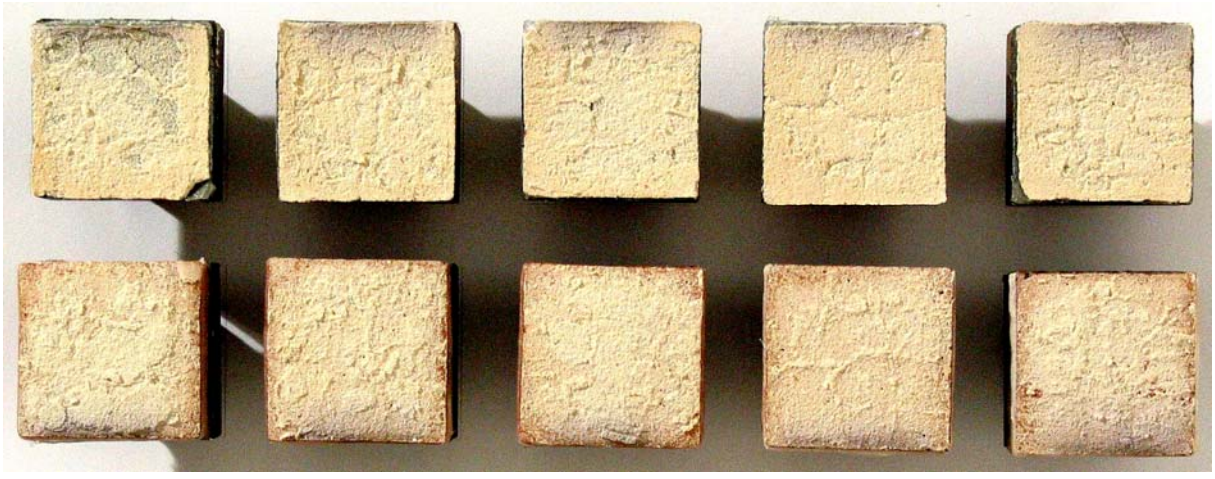
a) Tränkung über die Glasurseite

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 59	39,7	40,2	1596	50	1 C	Glasur	43,75	47,94	9,6	30	70	30	0	514,7	0,32	1117	0,46	0,46
2 A 6	38,8	40,1	1556	5	1 C	Glasur	42,35	46,26	9,2	0	60	40	0	613,8	0,39	1556	0,39	0,39
2 B 21	40,6	39,6	1608	15	1 C	Glasur	44,16	48,08	8,9	15	60	40	0	682,8	0,42	1367	0,50	0,68
2 B 28	41,2	38,7	1594	40	1 C	Glasur	44,61	48,87	9,5	30	70	30	0	351,3	0,22	1116	0,31	0,43
2 B 8	41,3	38,4	1586	25	1 C	Glasur	42,52	46,45	9,2	20	40	60	0	563,4	0,36	1269	0,44	0,61
Median				25,0					9,2	20,0	60	40	0		**0,36**		**0,44**	**0,46**
arithm. Mittel				27,0					9,3	19,0	60	40	0		**0,34**		**0,42**	**0,52**
Standardabweichung															**0,08**		**0,07**	**0,12**
Variationskoeffizient [%]															**23,0**		**16,8**	**24,1**

2 A 59 2 A 6 2 B 21 2 B 28 2 B 8

b) Tränkung über die Scherbenseite

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 16	39,1	39,1	1529	15	1 C	Scherben	43,77	47,28	8,0	20	40	60	0	344,5	0,23	1223	0,28	0,28
2 A 43	39,7	40,5	1608	20	1 C	Scherben	42,79	46,64	9,0	20	50	50	0	430,9	0,27	1286	0,33	0,33
2 A 49	40,1	39,3	1576	25	1 C	Scherben	41,31	44,52	7,8	25	50	50	0	257,6	0,16	1182	0,22	0,22
2 B 30	41,0	40,6	1665	40	1 C	Scherben	44,88	48,91	9,0	40	85	15	0	222,9	0,13	999	0,22	0,31
2 B 31	39,1	40,2	1572	40	1 C	Scherben	43,58	47,39	8,7	30	80	20	0	299,0	0,19	1100	0,27	0,37
Median				25,0					8,7	25,0	50	50	0		**0,19**		**0,27**	**0,31**
arithm. Mittel				28,0					8,5	27,0	61	39	0		**0,20**		**0,27**	**0,30**
Standardabweichung															**0,05**		**0,05**	**0,06**
Variationskoeffizient [%]															**26,7**		**18,0**	**19,2**



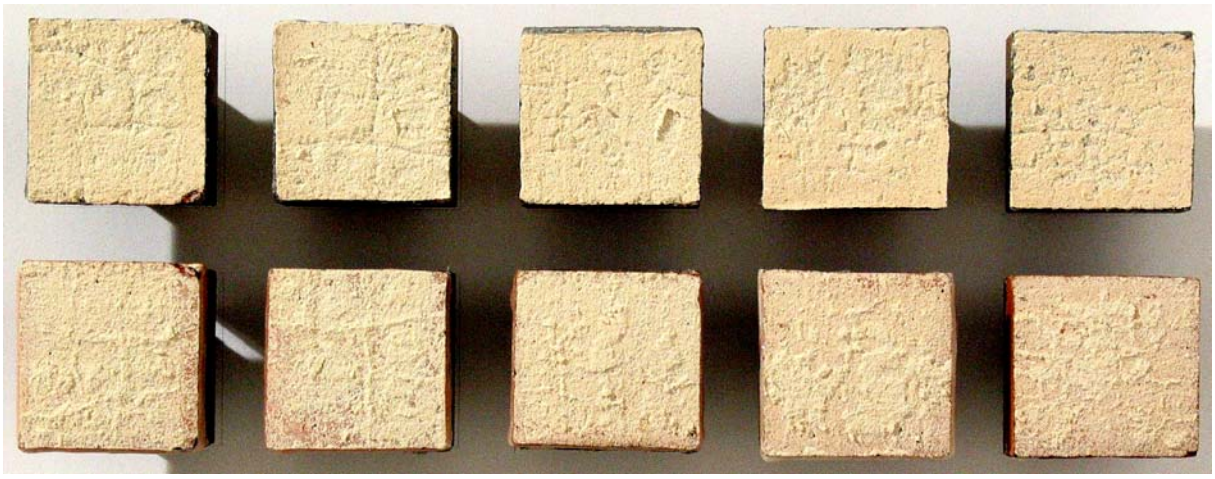
2 A 16 2 A 43 2 B 49 2 B 30 2 B 31

Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 2 (10 %)

Eurostac resina 150/9 (Cycloaliphatisches EP-Harz) als 10 % Lösung in Xylol/Ethanol (1:8 GT), gehärtet mit aliphatischem Aminhärter indurente 150/9

a) Tränkung über die Glasurseite

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 4	39,6	40,9	1620	10	2	Glasur	43,96	47,83	8,8	10	70	30	0	380,3	0,23	1458	0,26	0,26
2 A 52	39,6	39,5	1564	40	2	Glasur	42,66	46,35	8,6	30	70	30	0	278,8	0,18	1095	0,25	0,25
2 B 17	41,1	38,5	1582	20	2	Glasur	42,66	46,39	8,7	0	80	20	0	402,2	0,25	1582	0,25	0,35
2 B 7	41,5	40,7	1689	35	2	Glasur	44,33	48,15	8,6	35	70	30	0	399,1	0,24	1098	0,36	0,50
2 B 9	40,6	39,6	1608	25	2	Glasur	44,05	47,75	8,4	30	70	30	0	263,7	0,16	1125	0,23	0,32
Median				25,0					8,6	30,0	70	30	0		**0,23**		**0,25**	**0,32**
arithm. Mittel				26,0					8,6	21,0	72	28	0		**0,21**		**0,27**	**0,34**
Standardabweichung															**0,04**		**0,05**	**0,10**
Variationskoeffizient [%]															**18,6**		**18,8**	**29,3**



2 A 4 2 A 52 2 B 17 2 B 7 2 B 9

b) Tränkung über die Scherbenseite

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 18	40,3	40,9	1648	20	2	Scherben	44,37	48,20	8,6	30	70	30	0	270,2	0,16	1154	0,23	0,23
2 A 19	39,6	40,2	1592	20	2	Scherben	44,31	48,33	9,1	20	60	40	0	369,7	0,23	1274	0,29	0,29
2 A 45	41,5	39,5	1639	35	2	Scherben	43,24	47,08	8,9	20	70	30	0	289,3	0,18	1311	0,22	0,22
2 B 37	40,1	40,3	1616	40	2	Scherben	42,76	46,46	8,7	40	70	30	0	184,7	0,11	970	0,19	0,26
2 B 40	41	40,6	1665	50	2	Scherben	44,97	49,12	9,2	50	80	20	0	133,9	0,08	832	0,16	0,22
Median				35,0					8,9	30,0	70	30	0		**0,16**		**0,22**	**0,23**
arithm. Mittel				33,0					8,9	32,0	70	30	0		**0,15**		**0,22**	**0,25**
Standardabweichung															**0,06**		**0,05**	**0,03**
Variationskoeffizient [%]															**38,1**		**22,2**	**12,3**

2 A 18 2 A 19 2 A 45 2 B 37 2 B 40

Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 3 (10 %)

Epilox A 19-00 (Dian-EP-Harz) und Epilox P 13-00 (aliphat. EP-Harz) im Verhältnis 4:1 als 10 % Lösung in Toluol/Aceton (6:4 GT), gehärtet mit aliphatischem Aminaddukt Epilox H 10-34

a) Tränkung über die Glasurseite

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 5	40,8	39,2	1599	10	3	Glasur	-	-	-	15	45	55	0	388,9	0,24	1359	0,29	0,29
2 A 55	39,1	39,3	1537	40	3	Glasur	-	-	-	35	75	25	0	283,2	0,18	999	0,28	0,28
2 B 11	41,3	40,8	1685	25	3	Glasur	-	-	-	30	65	35	0	315,1	0,19	1180	0,27	0,37
2 B 19	40,2	40,6	1632	20	3	Glasur	-	-	-	20	50	50	0	283,3	0,17	1306	0,22	0,30
2 B 26	41,5	39,4	1635	30	3	Glasur	-	-	-	40	75	25	0	194,9	0,12	981	0,20	0,27
Median				25,0						30,0	65	35	0		**0,18**		**0,27**	**0,29**
arithm. Mittel				25,0						28,0	62	38	0		**0,18**		**0,25**	**0,30**
Standardabweichung															**0,04**		**0,04**	**0,04**
Variationskoeffizient [%]															**24,3**		**16,0**	**12,4**

2 A 5 2 A 55 2 B 11 2 B 19 2 B 26

b) Tränkung über die Scherbenseite

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 21	39,7	40,8	1620	15	3	Scherben	42,07	45,97	9,3	15	45	55	0	329,6	0,20	1377	0,24	0,24
2 A 22	40,3	38,8	1564	20	3	Scherben	40,88	44,63	9,2	30	55	45	0	295,9	0,19	1095	0,27	0,27
2 A 48	41,0	40,6	1665	30	3	Scherben	44,75	48,96	9,4	25	50	50	0	304,7	0,18	1248	0,24	0,24
2 B 38	40,4	38,8	1568	40	3	Scherben	43,30	47,27	9,2	35	55	45	0	214,9	0,14	1019	0,21	0,29
2 B 47	38,7	40,5	1567	50	3	Scherben	42,00	45,93	9,4	40	80	20	0	131,7	0,08	940	0,14	0,19
Median				30,0					9,3	30,0	50	45	0		**0,18**		**0,24**	**0,24**
arithm. Mittel				31,0					9,3	29,0	47	43	0		**0,16**		**0,22**	**0,25**
Standardabweichung															**0,05**		**0,05**	**0,04**
Variationskoeffizient [%]															**30,7**		**22,6**	**14,9**

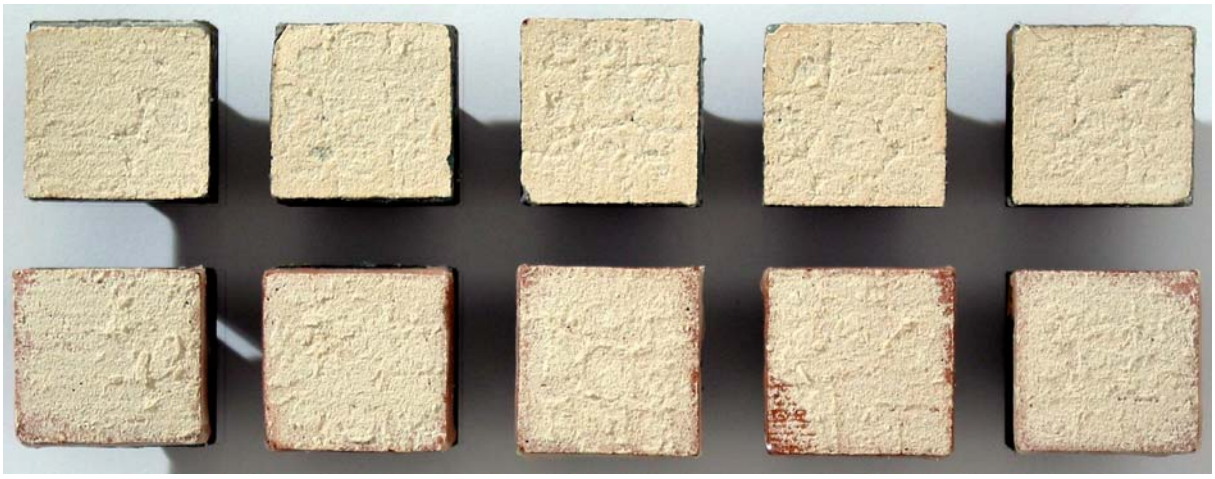
2 A 21 2 A 22 2 A 48 2 B 38 2 B 47

Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 4 (10 %)

Epilox A 19-00 (Dian-EP-Harz) und Epilox P 13-00 (aliphat. EP-Harz) im Verhältnis 4:1 als 10 % Lösung in Xylol/Ethanol (1:8 GT), gehärtet mit Epilox DPTA

a) Tränkung über die Glasurseite

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 56	40,7	38,2	1555	40	4	Glasur	43,12	46,97	8,9	30	65	35	0	253,3	0,16	1088	0,23	0,23
2 A 7	40,1	39,1	1568	5	4	Glasur	43,70	47,54	8,8	15	45	55	0	411,3	0,26	1333	0,31	0,31
2 B 12	39,0	41,4	1615	25	4	Glasur	44,22	48,07	8,7	20	55	45	0	203,7	0,13	1292	0,16	0,22
2 B 22	41,0	40,4	1656	15	4	Glasur	44,88	48,82	8,8	20	70	30	0	255,4	0,15	1325	0,19	0,26
2 B 27	39,7	39,8	1580	30	4	Glasur	43,19	46,91	8,6	35	60	40	0	217,5	0,14	1027	0,21	0,29
Median				25,0					8,8	20,0	60	40	0		**0,15**		**0,21**	**0,26**
arithm. Mittel				23,0					8,8	24,0	59	41	0		**0,17**		**0,22**	**0,26**
Standardabweichung				13,5					0,1	8,2					**0,05**		**0,06**	**0,04**
Variationskoeffizient [%]				58,7					1,3	34,2					**32,2**		**25,5**	**14,7**



2 A 56 2 A 7 2 B 12 2 B 22 2 B 27

b) Tränkung über die Scherbenseite

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 24	40,4	39,8	1608	15	4	Scherben	42,16	46,45	10,2	10	70	30	0	358,8	0,22	1447	0,25	0,25
2 A 25	38,9	38,8	1509	20	4	Scherben	43,41	47,24	8,8	20	20	80	0	337,7	0,22	1207	0,28	0,28
2 A 50	40,8	37,6	1534	35	4	Scherben	44,14	47,92	8,6	35	50	50	0	195,5	0,13	997	0,20	0,20
2 B 39	41,2	40,2	1656	40	4	Scherben	45,04	49,11	9,0	45	80	20	0	90,1	0,05	911	0,10	0,14
2 B 51	40,0	40,2	1608	50	4	Scherben	41,99	45,91	9,3	50	70	30	0	181,6	0,11	804	0,23	0,31
Median				35,0					9,0	35,0	70	30	0		**0,13**		**0,23**	**0,25**
arithm. Mittel				32,0					9,2	32,0	58	42	0		**0,15**		**0,21**	**0,23**
Standardabweichung															**0,07**		**0,07**	**0,07**
Variationskoeffizient [%]															**49,8**		**32,9**	**29,6**

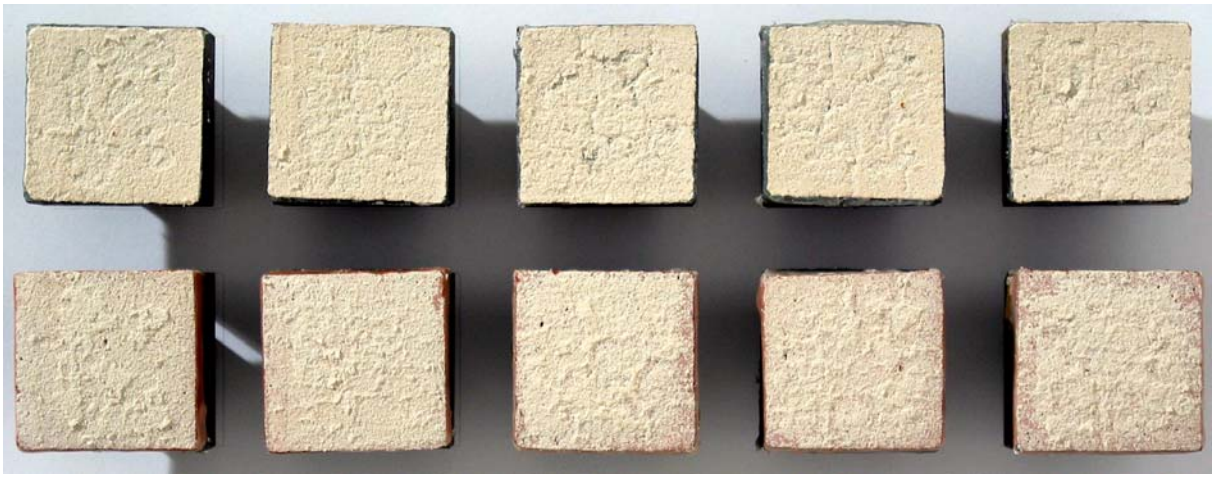
2 A 24 2 A 25 2 A 50 2 B 39 2 B 51

Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 5 (10 %)

Epilox P 22-00 (cycloaliphatisches-EP-Harz) als 10 % Lösung in Xylol/Ethanol (1:8 GT), gehärtet mit aliphatischem Aminaddukt Epilox H 10-34

a) Tränkung über die Glasurseite

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 63	39,8	39,6	1576	50	5	Glasur	41,69	45,54	9,2	40	70	30	0	224,0	0,14	946	0,24	0,24
2 A 8	40,2	39,4	1584	10	5	Glasur	44,22	48,12	8,8	10	75	25	0	297,4	0,19	1425	0,21	0,21
2 B 20	39,6	39,6	1568	20	5	Glasur	40,85	44,40	8,7	15	30	70	0	470,0	0,30	1333	0,35	0,48
2 B 29	39,3	38,6	1517	30	5	Glasur	39,95	43,38	8,6	25	40	60	0	289,9	0,19	1138	0,25	0,35
2 B 41	40,4	39,8	1608	25	5	Glasur	42,37	46,07	8,7	30	40	60	0	374,4	0,23	1126	0,33	0,46
Median				25,0					8,7	25,0	40	60	0		**0,19**		**0,25**	**0,35**
arithm. Mittel				27,0					8,8	24,0	51	49	0		**0,21**		**0,28**	**0,35**
Standardabweichung															**0,06**		**0,06**	**0,12**
Variationskoeffizient [%]															**28,1**		**22,5**	**35,8**



2 A 63 2 A 8 2 B 20 2 B 29 2 B 41

b) Tränkung über die Scherbenseite

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 27	41,0	40,7	1669	20	5	Scherben	43,83	47,81	9,1	15	30	70	0	259,5	0,16	1418	0,18	0,18
2 A 40	38,9	38,6	1502	15	5	Scherben	40,12	43,63	8,7	15	35	65	0	311,6	0,21	1276	0,24	0,24
2 A 42	40,0	40,1	1604	25	5	Scherben	43,63	47,46	8,8	10	25	75	0	237,3	0,15	1444	0,16	0,16
2 B 43	40,1	39,4	1580	40	5	Scherben	41,67	45,31	8,7	30	85	15	0	223,0	0,14	1106	0,20	0,28
2 B 45	41,1	40,6	1669	40	5	Scherben	44,24	48,16	8,9	35	35	65	0	174,4	0,10	1085	0,16	0,22
Median				25,0					8,8	15,0	35	65	0		**0,15**		**0,18**	**0,22**
arithm. Mittel				28,0					8,8	21,0	42	58	0		**0,15**		**0,19**	**0,22**
Standardabweichung															**0,04**		**0,03**	**0,05**
Variationskoeffizient [%]															**24,5**		**17,8**	**20,8**

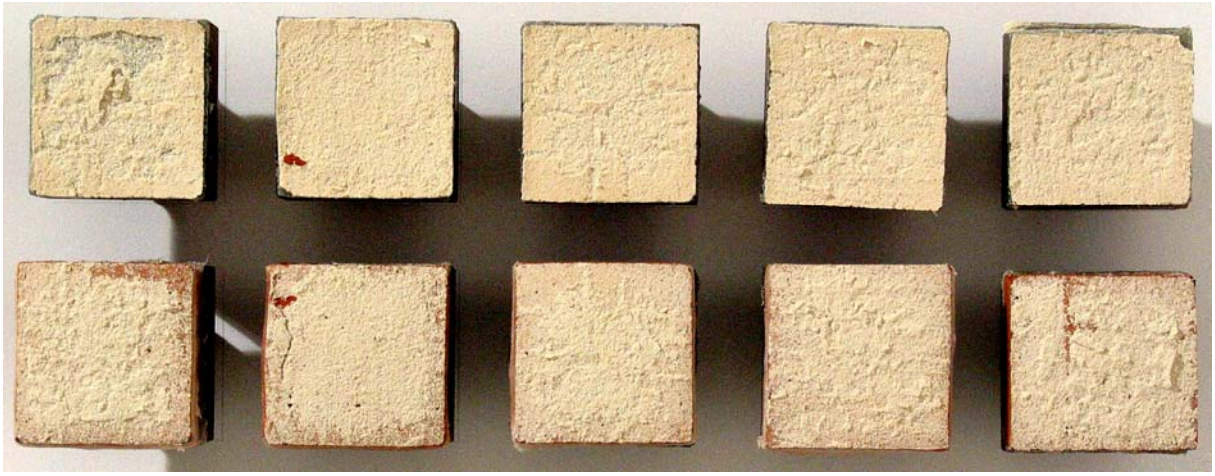
2 A 27 2 A 40 2 A 42 2 B 43 2 B 45

Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 6 (15 %)

Elastifizierter Kieselsäureethylester Remmers KSE 300 E, verdünnt mit Ethanol (1:1 GT)

a) Tränkung über die Glasurseite

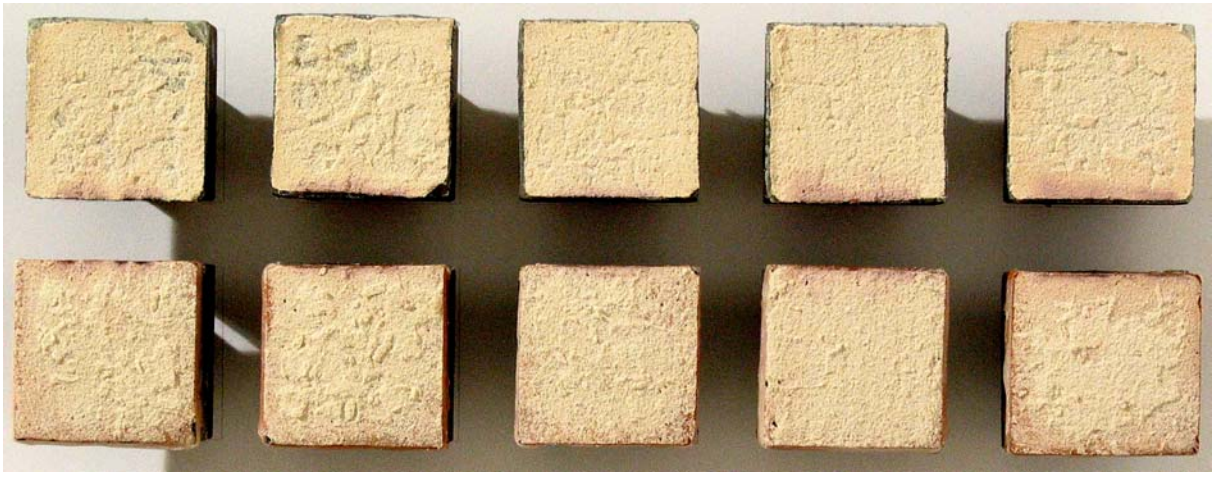
Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 17	38,9	40,3	1568	5	6	Glasur	44,22	48,10	8,8	0	50	50	0	388,9	0,25	1568	0,25	0,25
2 A 61	39,7	39,8	1580	40	6	Glasur	42,58	46,41	9,0	30	33	65	2	250,0	0,16	1106	0,23	0,23
2 B 42	39,7	39,8	1580	25	6	Glasur	42,07	45,79	8,8	30	50	50	0	157,5	0,10	1106	0,14	0,20
2 B 44	40,3	40,8	1644	30	6	Glasur	44,17	48,07	8,8	30	70	30	0	254,4	0,15	1151	0,22	0,30
2 B 52	40,9	38,6	1579	20	6	Glasur	43,98	47,86	8,8	20	60	40	0	331,6	0,21	1263	0,26	0,36
Median				25,0					8,8	30,0	50	50	0		**0,16**		**0,23**	**0,25**
arithm. Mittel				24,0					8,9	22,0	53	47	0		**0,17**		**0,22**	**0,27**
Standardabweichung															**0,06**		**0,05**	**0,07**
Variationskoeffizient [%]															**32,6**		**21,1**	**24,5**



2 A 17 2 A 61 2 B 42 2 B 44 2 B 52

b) Tränkung über die Scherbenseite

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 38	40,3	39,2	1580	20	6	Scherben	41,95	45,63	8,8	20	70	30	0	475,0	0,30	1264	0,38	0,38
2 A 41	39,6	40,0	1584	20	6	Scherben	41,90	45,74	9,2	15	60	40	0	506,9	0,32	1346	0,38	0,38
2 A 57	39,3	39,5	1552	30	6	Scherben	41,34	45,04	9,0	30	80	20	0	203,2	0,13	1087	0,19	0,19
2 B 46	39,3	39,5	1552	40	6	Scherben	41,25	45,00	9,1	40	60	40	0	195,2	0,13	931	0,21	0,29
2 B 49	40,6	40,1	1628	40	6	Scherben	44,63	48,61	8,9	40	50	50	0	291,3	0,18	977	0,30	0,41
Median				30,0					9,0	30,0	60	40	0		**0,18**		**0,30**	**0,38**
arithm. Mittel				30,0					9,0	29,0	64	36	0		**0,21**		**0,29**	**0,33**
Standardabweichung															**0,09**		**0,09**	**0,09**
Variationskoeffizient [%]															**44,1**		**30,9**	**27,6**



2 A 38 2 A 41 2 B 57 2 B 46 2 B 49

Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 7 (12,5 %)

Elastifizierter Kieselsäureethylester Remmers KSE 300 E, verdünnt mit Ethanol im Verhältnis 2:3 GT, und Zusatz von Paraloid B72, gelöst in Xylol (1:5,666 GT)

Die Gelabscheidungsrate des KSE-Anteils entspricht 10 M% der Lösung, die Acrylharzkonzentration entspricht 2,5 M% der Lösung

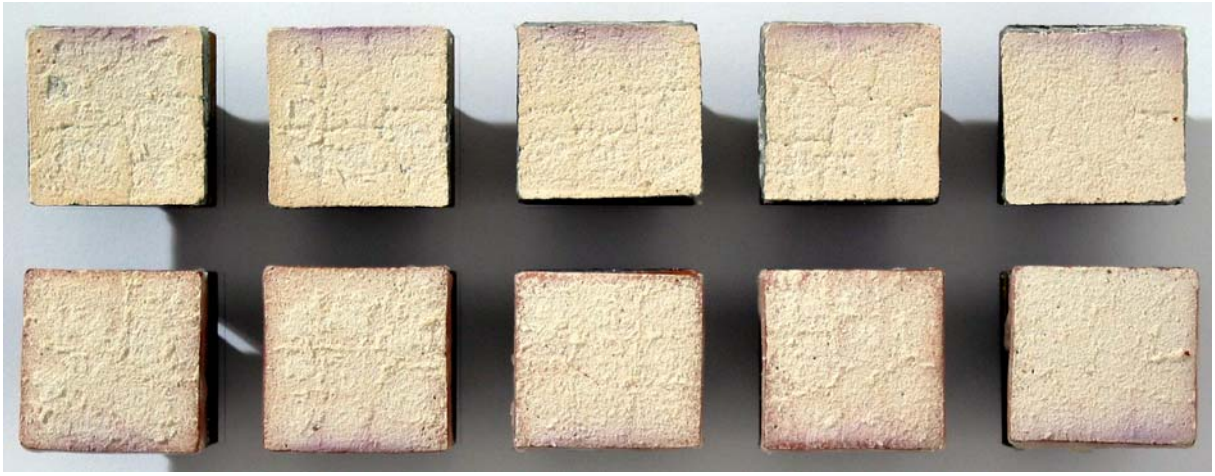
a) Tränkung über die Glasurseite

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 60	39,8	40,1	1596	50	7	Glasur	-	-	-	30	75	25	0	148,1	0,09	1117	0,13	0,13
2 A 9	40,9	40,6	1661	10	7	Glasur	-	-	-	5	45	55	0	286,5	0,17	1578	0,18	0,18
2 B 59	41,0	39,2	1607	20	7	Glasur	-	-	-	15	35	65	0	220,0	0,14	1366	0,16	0,22
2 B 62	39,9	39,1	1560	30	7	Glasur	-	-	-	30	60	40	0	225,6	0,14	1092	0,21	0,28
2 B 64	39,5	39,7	1568	30	7	Glasur	-	-	-	40	60	40	0	222,5	0,14	941	0,24	0,32
Median				30,0						30,0	60	40	0		**0,14**		**0,18**	**0,22**
arithm. Mittel				28,0						24,0	55	45	0		**0,14**		**0,18**	**0,23**
Standardabweichung															**0,03**		**0,04**	**0,08**
Variationskoeffizient [%]															**20,8**		**21,9**	**33,6**

2 A 60 2 A 9 2 B 59 2 B 62 2 B 64

b) Tränkung über die Scherbenseite

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 31	39,6	40,4	1600	20	7	Scherben	41,53	45,30	9,1	15	40	60	0	284,7	0,18	1360	0,21	0,21
2 A 39	40,4	41,0	1656	25	7	Scherben	44,71	48,86	9,3	10	70	30	0	267,2	0,16	1491	0,18	0,18
2 A 47	41,2	38,8	1599	20	7	Scherben	45,09	49,20	9,1	10	35	65	0	276,5	0,17	1439	0,19	0,19
2 B 60	39,4	39,8	1568	40	7	Scherben	41,60	45,31	8,9	40	70	30	0	149,0	0,10	941	0,16	0,22
2 B 65	40,4	39,1	1580	40	7	Scherben	41,92	45,82	9,3	40	30	70	0	174,7	0,11	948	0,18	0,25
Median				25,0					9,1	15,0	40	60	0		**0,16**		**0,18**	**0,21**
arithm. Mittel				29,0					9,1	23,0	49	51	0		**0,14**		**0,18**	**0,21**
Standardabweichung															**0,04**		**0,02**	**0,03**
Variationskoeffizient [%]															**26,5**		**10,1**	**13,3**



2 A 31 2 A 39 2 A 47 2 B 60 2 B 65

Haftzugprotokoll Probentypus 2, gefestigt mit Lösung 8 (7,5 %)

Paraloid B 72 in Xylol, Lösungskonzentration 7,5 %

a) Tränkung über die Glasurseite

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 23	40,4	38,8	1568	10	8	Glasur	41,36	45,33	9,6	10	15	85	0	365,4	0,23	1411	0,26	0,26
2 A 58	39,5	41,0	1620	40	8	Glasur	45,38	49,68	9,5	25	55	45	0	146,8	0,09	1215	0,12	0,12
2 B 53	40,1	39,9	1600	30	8	Glasur	45,75	50,13	9,6	35	75	25	0	188,8	0,12	1040	0,18	0,25
2 B 56	40,0	40,0	1600	30	8	Glasur	43,01	47,04	9,4	40	65	35	0	165,8	0,10	960	0,17	0,24
2 B 61	40,2	38,2	1536	20	8	Glasur	42,79	46,83	9,4	25	25	75	0	196,5	0,13	1152	0,17	0,23
Median				30,0					9,5	25,0	55	45	0		**0,12**		**0,17**	**0,24**
arithm. Mittel				26,0					9,5	27,0	47	53	0		**0,13**		**0,18**	**0,22**
Standardabweichung															**0,06**		**0,05**	**0,06**
Variationskoeffizient [%]															**42,2**		**27,5**	**25,6**

2 A 23 2 A 58 2 B 53 2 B 56 2 B 61

b) Tränkung über die Scherbenseite

Nr. der Probe	Länge	Breite	Fläche	Abschätzung hohlliegender Bereiche im Vorzustand	Festiger	Tränkungsfläche	Masse vor der Tränkung	Masse nach der Tränkung	Mittelaufnahme	Abschätzung hohlliegender Bereiche nach 10 d	Bruchbild			f_{max}	$ß_{HZ}$ 1	Fläche (korrigiert)	$ß_{HZ}$ 2 (flächenkorrigiert)	$ß_{HZ}$ 3 (probenartkorrigiert)
											a	b	c					
	[mm]	[mm]	[mm²]	[%]			[g]	[g]	[M-%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[N]	[N/mm²]	[mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
2 A 35	40,6	40,4	1640	20	8	Scherben	43,29	47,42	9,5	15	25	75	0	286,2	0,17	1394	0,21	0,21
2 A 53	41,2	38,3	1578	35	8	Scherben	42,10	46,11	9,5	40	35	65	0	195,2	0,12	947	0,21	0,21
2 A 54	41,0	40,2	1648	15	8	Scherben	44,24	48,34	9,3	15	15	85	0	179,1	0,11	1401	0,13	0,13
2 B 57	40,3	39,5	1592	40	8	Scherben	42,01	45,98	9,5	50	65	35	0	72,5	0,05	796	0,09	0,12
2 B 58	40,4	38,6	1559	40	8	Scherben	40,95	44,88	9,6	30	25	75	0	156,3	0,10	1092	0,14	0,20
Median				35,0					9,5	30,0	25	75	0		**0,11**		**0,14**	**0,20**
arithm. Mittel				30,0					9,5	30,0	33	67	0		**0,11**		**0,15**	**0,17**
Standardabweichung															**0,05**		**0,05**	**0,04**
Variationskoeffizient [%]															**41,9**		**32,5**	**24,4**

2 A 35 2 A 53 2 A 54 2 B 57 2 B 58

Anhang 7 Technische Merkblätter und Sicherheitsdatenblätter der verwendeten Konservierungsmaterialien

Anhang 7 ist nicht paginiert. Die aufgeführten Datenblätter sind innerhalb der einzelnen Gruppen alphabetisch geordnet. In der untenstehenden Übersicht sind die Herausgeber der jeweiligen Datenblätter aufgeführt, die nicht in jedem Fall mit dem Produkthersteller identisch sind.

Injektionsmassen: Bindemittel

Funcosil 500 STE	Remmers
Ludox PX 30	Grace Davison
Syton X 30	Kremer-Pigmente

Injektionsmassen: Füllstoffe

Cristobalitmehl feinst [8µm]	Kremer Pigmente
Dorsilit Quarzmehl 1600	Dorfner
Funcosil KSE-Füllstoff B	Remmers
Funcosil KSE-Füllstoff B	Remmers
Millisil W 12	Quarzwerke Weferlingen
Plastorit	Luzenac Naintsch
Quarzmehl mittel [44µm]	Kremer Pigmente
Sikron Feinstmehl SGL 300	Quarzwerke Weferlingen
Spheriglass 3000	Potters Europe

Injektionsmassen: Zusätze

Addiment Fließmittel FM F	Sika Addiment
Addiment Stabilisierer ST 1	Sika Addiment
Basonat HW 180 PC	BASF
Cab-O-Sil M 5	Cabot
Desmodur DA-L	Bayer
Lopon 890	BK Giulini
Tween 20	Kremer Pigmente

Festigungsmittel

Epilox A 19-00	Leuna-Harze
Epilox EGK 19	Leuna-Harze
Epilox Härter DPTA	Leuna-Harze
Epilox Härter H 10-34	Leuna-Harze
Epilox P 13-20	Leuna-Harze
Epilox P 22-00	Leuna-Harze
Eurostac EP 150-9	STAC
Eurostac EP 2101	Bresciani
Funcosil KSE 300 E	Remmers
Paraloid B 72	Alois K. Diethelm AG, Lascaux Farbenfabrik

Funcosil®
KSE 500 STE

Technisches Merkblatt
Artikelnummer 0713

Remmers
...schützt Werte am Bau
49624 Löningen Telefon 05432/83-0
www.remmers.de Telefax 05432/3985

Elastifizierter Steinfestiger auf Basis Kieselsäureethylester (KSE) mit hoher Gelabscheidungsrate. Enthält rein mineralische Schwebstoffe.

Produkteigenschaften

Dieser Funcosil® Steinfestiger wurde im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück geförderten Projektes "Schutz von Steinoberflächen durch Applikation elastischer Kieselsäureester" in Zusammenarbeit mit Herrn Dr. E. Wendler (München) und der Arbeitsgruppe um Prof. Dr. J. Grobe (Münster) entwickelt. Verwitterungsoberflächen weisen häufig (Mikro-)risse in Dimensionen auf, die mit Steinfestigern auf Basis Kieselsäureester ohne den Zusatz von Füllstoffen nicht sinnvoll geschlossen werden können. Daher sind in diesen Funcosil® Steinfestiger bereits rein mineralische Füllstoffe eindispergiert. Zusätzlich zeichnet sich dieser Funcosil® Steinfestiger durch den Einbau sog. "Weichsegmente" und durch seinen hohen Gehalt an vorkondensierten Kieselsäureethylestermolekülen aus. Der Kieselsäureester reagiert mit im Porenraum eingelagertem Wasser bzw. mit Luftfeuchtigkeit. Dabei wird Siliciumdioxid als über Weichsegmente verknüpftes, mineralisches, amorphes und wasserhaltiges Bindemittel abgeschieden. Die Gelabscheidungsreaktion ist eine Funktion der Temperatur, Luftfeuchte und Zeit. Bei Normalbedingungen (20°C und 50% relative Luftfeuchte) ist die Bindemittelabscheidung nach 3 Wochen abgeschlossen. Dieser Funcosil® Steinfestiger führt zu einer Kieselgelabscheidung von ca. 500 g pro Liter. Der Wirkstoff wird als reines Bindemittel abgeschieden. Nachfolgend sind die wichtigsten Eigenschaftsparameter zusammengestellt:

- nicht hydrophobierend,
- hohe Gelabscheidungsrate,
- hohe Witterungsresistenz und UV-Stabilität,
- inert gegen saure Schadstoffe aus der Atmosphäre,
- Katalysator neutral.

Produktkenndaten im Anlieferungszustand

Kieselsäureethylestergehalt:	> 70% (m/m)
Lösemittel:	Ethanol
Dichte bei 20 °C:	1,02 kg/l
Flammpunkt:	15°C
Farbe:	trüb, leicht gelblich
Geruch:	typisch
Katalysatorensystem:	neutral

Produktkenndaten nach Applikation

Abgeschiedene Gelmenge:	ca. 500 g/l
Reaktionsbedingtes Nebenprodukt:	Ethanol (entweicht)
Toxizität:	Nach Aushärtung physiologisch unbedenklich

Anwendungsgebiete

Dieser Funcosil® Steinfestiger wird als Bindemittel zur Herstellung von Hinterfüllmassen und Anböschmörteln eingesetzt. Hinterfüllmassen: Wiederherstellung des kraftschlüssigen Verbundes von Schalen und Krusten zum Untergrund unter Berücksichtigung bauphysikalischer und physikomechanischer Anforderungen. Anböschmörtel: Oberflächenanbindung sich ablösender Schalen etc. zur Vermeidung hinterwandernder Feuchtigkeit. Farbliche und strukturelle Anpassung an den Untergrund.

Sinnvolle Bauzustandsanalyse:
Um eine unsachgemäße Ausführung der Arbeiten auszuschließen, sind am Objekt - je nach Möglichkeit, Bedeutung, Größe und Zustand desselben - wichtige Materialkenndaten zu ermitteln:

- Hygrisches Quellen: Gesteine, die aufgrund von quellfähigen Tonmineralien ein ausgeprägtes Quellen und Schwinden aufweisen, bedürfen einer quellmindernden Vorbehandlung mit Funcosil® Antihygro (Art.-Nr.: 0616). Untersuchungen im Remmers Werkslabor.
- Saugfähigkeit und Wasseraufnahme.
- Schadsalze.
- Verwitterungstiefe.
- Festlegung der Arbeitsgänge, Beachtung von Farbveränderungen.
- Prüfung der Korrelation zwischen Laborergebnissen mit dem am Objekt ermittelten Meßwerten durch das Anlegen einer Probefläche.
- Die Ausführung der Behandlung und der Materialverbrauch ist zu überwachen.
- Eine sofortige Endabnahme der Arbeiten ist zu empfehlen. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für eine sachgemäße Ausschreibung.

Verarbeitung

Beschaffenheit des Untergrundes:
Die zur Restaurierung anstehenden Natursteinoberflächen weisen durch Verschmutzung / Patinierung unterschiedlichster Art oftmals ein vermindertes Saugvermögen auf. Die zur Wiederherstellung des ursprünglichen Saugvermögens notwendige Reinigung der Flächen sollte möglichst schonend erfolgen, um die zu haltenden Schalen

nicht zu zerstören. Die gereinigte Fläche soll eine Woche lang vor Regen und zu starkem Aufheizen durch Sonneneinstrahlung geschützt werden. Die optimalen Verarbeitungstemperaturen liegen zwischen 10°C und 20°C (evtl. Sonnensegel setzen). Unter +5°C muss die Verarbeitung eingestellt werden. Die aushärtenden Massen müssen ebenfalls vor Regen und direkter Sonneneinstrahlung geschützt werden.

Vorbereitung:
Die eindispergierten Schwebstoffe im elastifizierten Steinfestiger Funcosil® KSE 500 STE lagern sich als Bodensatz ab. Dieser Vorgang ist reversibel. Daher muss der Steinfestiger Funcosil® KSE 500 STE vor Gebrauch jeweils gründlich aufgeschüttelt bzw. aufgerührt werden. Der Steinfestiger darf nicht verdünnt werden. Von der Zugabe weiterer Additive, z. B. zur Beschleunigung der Reaktionszeit wird abgeraten. Desgleichen wird von der sogenannten "Schnellhydrolyse" abgeraten, da sie eine unkontrollierte Einflussnahme auf die Gelbildereaktion und damit auf die resultierende Kieselgelstruktur darstellt.

Herstellen von Hinterfüllmassen:
Da die Hinterfüllmassen bzw. die Anböschmörtel direkt nach der Herstellung verarbeitet werden müssen, sollten jeweils nur bedarfsgerechte Ansätze hergestellt werden.
Bsp.: Schlesischer Sandstein
- 100 ml Funcosil® KSE 500 STE vorlegen.
- 60 g Funcosil® KSE-Füllstoff A (spezielles Mineralmehl) und
- 30 g Funcosil® KSE-Füllstoff B (spezielles Quarzpulver) unter Rühren zugeben.

Die Mischung wird (z. B. mittels einer Oberfräse) homogenisiert. Homogenisierdauer: 3-5 Minuten. Zeigt die Masse noch Klumpenbildung, muss länger homogenisiert werden. Die angegebenen Verarbeitungsparameter sind genau einzuhalten.

Herstellung von Anböschmassen:
Bsp.: Schlesischer Sandstein
- 100 ml Funcosil® KSE 500 STE vorlegen.
- 70 g Funcosil® KSE-Füllstoff A und
- 40 g Funcosil® KSE-Füllstoff B

unter Rühren zugeben.
Homogenisierdauer (s. o.): 3 - 5 Minuten.
Zeigt die Masse noch Klumpenbildung, so muss länger homogenisiert werden.
- Die hergestellte Masse vorlegen (z. B. in einem Anrührbecher).
- 334 g Funcosil® Quarzsand F36 gründlich (z. B. mit einem Spatel) einrühren.

Die Masse nimmt dabei letztlich erdfeuchte, bröckelige Konsistenz an. Die angegebenen Verarbeitungsparameter sind genau einzuhalten. Ein Überschuss an Bindemittel aus Gründen der "gefälligen Verarbeitung" ist zu vermeiden.

Bei Fragen zur Anpassung des KSE-Modul-Systems an andere Untergründe wenden Sie sich bitte an die Zentrale Objektabteilung (ZOA) des Hauses Remmers oder an das Remmers Werkslabor.

Verarbeitung der Massen:
Zum Hinterfüllen von Schalen werden diese zunächst an ihren Rändern abgedichtet. Bewährt hat sich hier das Arbeiten mit Heißklebern, die sich rückstandslos wieder entfernen lassen. Anschließend wird soviel Hinterfüllmasse (in der Regel mit Hilfe einer Spritze) hinter die Schale eingebracht, bis diese restlos gefüllt ist. Bei Bedarf ist die zu hinterfüllende Schale mit einem geeigneten, wasserfreien Lösemittel (z. B. Funcosil® V 101) oder dem Funcosil® Steinfestiger 100 vorzunässen. Der Anböschmörtel zur Schließung auskragender Originaloberflächen kann prinzipiell sofort nach dem Füllen der Schale angetragen werden. Bei größeren Rissen sollte jedoch die Hinterfüllmasse soweit durchreagiert sein, dass die Bestandteile des Anböschmörtels nicht mehr in diese "hineinsacken". In diesem Fall ist der Untergrund vor dem Antragen des Mörtels kurz mit einem geeigneten Lösemittel (z.B. Funcosil® V 101) oder mit dem Funcosil® Steinfestiger 100 zu benetzen. Die Struktur des Anböschmörtels kann ca. 1 - 2 Stunden nach dem Auftragen an den Untergrund durch Bearbeitung (z.B. mit einem Spatel bzw. Kamm) angepasst werden. Sowohl die Hinterfüllmasse als auch der Anböschmörtel müssen während der Verarbeitung regelmäßig aufgerührt werden, um dem Absetzen der Zuschlagstoffe entgegenzuwirken.

Nachbehandlung:
Im Bedarfsfall können die kraftschlüssig angebundenen Schalen und Krusten nach Aushärtung des Steinfestigers Funcosil® KSE 500 STE (je nach Menge und Dicke der eingebrachten Masse 4 - 8 Wochen) nachgefestigt werden. Der verwendete Steinfestiger (z. B. Funcosil® Steinfestiger 300) muss dabei den Materialeigenschaften des Untergrundes angepasst sein und ist jeweils gemäß gültigem technischen Merkblatt zu verarbeiten. Eine gewünschte wasserabweisende Einstellung der angebundenen Schalen hat in Lasurtechnik zu erfolgen.

Angrenzende Flächen:
Fassadenteile, die nicht mit dem Steinfestiger Funcosil® KSE 500 STE in Berührung kommen sollen, wie z.B. Fenster, lackierte Flächen sowie Glas, müssen ebenso wie Pflanzen mit Baufolie (Polyethylenfolie) abgedeckt werden.

Arbeitsgeräte
Spritze, Spatel, Spachtel, Pinsel, Kamm

Lieferform, Verbrauch, Lagerung
Lieferform: 1 Liter, 2,5 Liter
Lagerung: Im geschlossenem Originalgebinde: 6 Monate. Dieser Funcosil® Steinfestiger reagiert mit Feuchtigkeit, daher sind offene Gebinde nach jeder Entnahme wieder luftdicht zu verschließen. Gebinde bei Lagerung im Freien abdecken.

Sicherheit, Ökologie, Entsorgung
Nähere Informationen zur Sicherheit bei Transport, Lagerung und Umgang sowie zu Entsorgung und Ökologie können dem aktuellen Sicherheitsdatenblatt entnommen werden.

Vorstehende Angaben wurden aus unserem Herstellerbereich nach dem neuesten Stand der Entwicklung und Anwendungstechnik zusammengestellt. Da Anwendung und Verarbeitung außerhalb unseres Einflusses liegen, kann aus dem Inhalt des Merkblattes keine Haftung des Herstellers abgeleitet werden.

Über den Inhalt des Merkblattes hinausgehende oder abweichende Angaben bedürfen der schriftlichen Bestätigung durch das Stammwerk.

Es gelten in jedem Fall unsere allgemeinen Geschäftsbedingungen.

Mit Herausgabe dieses technischen Merkblattes verlieren vorangegangene ihre Gültigkeit.

GRACE

Reg. No. 0924

LUDOX®P X-30

Colloidal Silica

LUDOX® is a registered trademark of W.R. Grace & Co.

1) PRODUCT DESCRIPTION

LUDOX®P X-30 is an amorphous synthetic silica appearing as a weak opalescent mobile liquid.

2) PRODUCT SPECIFICATION

Property	*Unit*	*Specification*	*Test Method*
Specific Surface Area	m^2/g	215 - 305	GRACE Q 702
Residue	% m/m	29,5 min.	GRACE Q 720
Free Alkalinity as Na_2O	% m/m	0,27 - 0,37	GRACE Q 701
Viscosity (20°C)	mPa.s	12 max.	GRACE Q 719
pH (25°C)		9,8 - 10,4	GRACE Q 716
Density (20°C)	g/cm^3	1,200 - 1,210	GRACE Q 726

3) TYPICAL PROPERTIES

The following data are given for information purposes only:

Property	*Unit*	*Typical Value*	
Bacteria count	colony units/cm^3	1000 max.	GRACE Q 724
Biocide	mg/kg	200 - 300	GRACE Q 725

4) RECOMMENDED APPLICATIONS

The specific surface area of LUDOX®P X-30 is intermediate between that of LUDOX® HS and LUDOX® SM. Its shows a broad particle size distribution. It is the ideal complementary product in the small particles range It is used on an all-purpose basis in the applications where binding power is the preferred characteristic. It is one of the best established binders for investment casting slurries.

see reverse side also

5) PACKAGING INFORMATION

LUDOX®P X-30 is provided in the following configurations:

255 kg/PE drum	4 drums/pallet	1020 kg/pallet	pallet: 1140 x 1140 mm
1200 kg/IBC	1 IBC/pallet	1200 kg/pallet	pallet: 1000 x 1200 mm
Bulk delivery in tank truck		min. 20000kg/delivery	

6) HANDLING AND STORAGE RECOMMENDATIONS

- LUDOX® Colloidal Silica should be stored above 2 °C:
  - Freezing temperatures can cause irreversible precipitation of the silica.
  - Bulk storage tanks or drums storage areas should be located in heated buildings.
  - Lines to and from storage tanks must also be protected from freezing.
  - Outdoor storage facilities can be used, if suitably insulated, heated and protected from the weather.
- Continuous exposure to high temperatures will shorten the shelf life:
  - Avoid storing in areas where the temperature routinely goes over 43 °C.
  - For outside storage choose a shaded location or erect a sun screen over the tanks.
- Avoid contact with skin or eyes.
- Avoid circumstances that cause mist or spray of the liquid or dust of dry particles.
- Open packages should be resealed to prevent contamination and drying of the product.
- The product should be used within 24 months.
- Additional information can be found in our Safety Data Sheet.

7) HEALTH AND SAFETY INFORMATION

LUDOX® Colloidal Silica is a synthetic, amorphous silica in aqueous form. Information to date indicates that the aerosols from the product are not toxic and do not cause fibrosis. Additional information can be found in our Safety Data Sheets. Please refer also to national laws and regulations. The Occupational Exposure Limit in Germany is 4 mg/m³ for total dust (MAK).

8) OTHER INFORMATION

We hope the information given here will be helpful. It is based on data and knowledge which we believe to be true and accurate and is offered for the user's consideration, investigation and verification. Accordingly, save in the event of gross negligence or wilful misconduct of ourselves and our agents, we will not be liable for any damages resulting from errors, omissions or non-compliance of the information set forth herein. Further, please read all statements, recommendations or suggestions in conjunction with our General Conditions of Delivery, Performance and Payment which limit our liability with respect to all goods supplied by us. Test methods are available on request.

9) PRINCIPAL SALES OFFICES

GRACE GmbH & Co. KG, In der Hollerhecke 1, D-67545 Worms, Germany, Tel.: +49/6241/403-00, Fax: +49/6241/403 211

W.R. GRACE Italiana S.p.A., Via Trento 7, I-20017 Passirana di Rho, Italy, Tel.: +39/02/93537.1, Fax: +39/02/93537581

GRACE S.A., Calle Riera de Fonollar 12, E-08030 San Boi de Llobregat , Barcelona, Spain Tel.: +34/93/635 10 34, Fax: +34/93/635 11 33

GRACE Davison, Oak Park Business Centre, Alington Road, Little Barford, St. Neots, Cambridgeshire PE19 6WL, England, Tel.: +44/1480/324430, Fax: +44/1480-324433

GRACE AB, Berga Allé 1, SE-254 52, Helsingborg, Sweden, Tel.: +46/42/167800, Fax: +46/42/167805

W.R. GRACE S.A., 33, route de Gallardon, Boîte Postale 39, F-28234 Epernon Cédex, France Tel.: +33/237/188841, Fax: +33/237/188690

W.R. GRACE & Co., 7500 Grace Drive, Columbia, Maryland 21044, USA, Tel.: +1/410/531-4000, Fax: +1/410/531-4047

W.R. GRACE (Hong Kong) Ltd., Units 1001-3, 10/F, AXA Centre, 151 Gloucester Road, Wanchai, Hong Kong, Tel.: +852/25 90 28 28, Fax: +852/28 56 07 12

GRACE Brasil Ltda., Rua Albion, 229 - 10o floor, Lapa, Sao Paulo, cep 05077-130, Brasil, Tel.: +55 (11) 3649 27 04 / 05 /07, Fax: +55 (11) 3649-2706

The above information is given in good faith, but without guarantee. No patent liability is assumed.

GRACE Davison

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 17.07.2003 überarbeitet am: 17.04.2003

*
1 Stoff-/Zubereitungs- und Firmenbezeichnung

· **Angaben zum Produkt**

· **Handelsname: LUDOX®P X-30 Colloidal Silica**

· **Verwendung des Stoffes / der Zubereitung:**
Industrielles Zwischenprodukt für verschiedene Verwendungszwecke in Industrie und Gewerbe.
Spezielle Angaben zum Verwendungszweck kann der Produktinformation entnommen werden.

· **Hersteller/Lieferant:**
GRACE GmbH & Co. KG
In der Hollerhecke 1
D-67547 Worms

Tel.: ++49 (0)6241 - 403 549
FAX: ++49 (0)6241 - 403 211

· **Auskunftgebender Bereich:** Abteilung Sicherheit und Umweltschutz, GRACE Holding GmbH.

· **Notfallauskunft:** Tel.: ++49 (0)6241 - 403 00

2 Zusammensetzung / Angaben zu den Bestandteilen

· **Einzelstoff/Zubereitung:** Zubereitung.

· **Komponenten (CAS-Nr. und EINECS-Nr.):**
Amorphes Siliciumdioxid, chemisch hergestellt (CAS-Nr. 7631-86-9; EINECS-Nr. 231-545-4).
Wasser (CAS-Nr. 7732-18-5; EINECS-Nr. 231-791-2).

· **Chemische Charakterisierung:**

· **Beschreibung:** Wässrige kolloidale Silica-Suspension.

· **Gefährliche Inhaltsstoffe:** Entfällt.

3 Mögliche Gefahren

· **Gefahrenbezeichnung:** Kann Augen-/Hautreizungen verursachen.

· **Besondere Gefahrenhinweise für Mensch und Umwelt:** Entfällt.

· **Klassifizierungssystem:**
Die Klassifizierung entspricht den aktuellen EG-Listen, ist jedoch ergänzt durch Angaben aus der Fachliteratur und durch Firmenangaben.

*
4 Erste-Hilfe-Maßnahmen

· **Allgemeine Hinweise:** Nachfolgende Maßnahmen beachten.

· **Nach Einatmen:** Frischluftzufuhr, bei Beschwerden Arzt aufsuchen.

· **Nach Hautkontakt:**
Sofort mit Wasser abwaschen.
Verschmutzte, getränkte Kleidung sofort entfernen.

· **Nach Augenkontakt:**
Augen mehrere Minuten bei geöffnetem Lidspalt unter fließendem Wasser spülen. Bei anhaltenden Beschwerden Arzt konsultieren.

· **Nach Verschlucken:** Bei anhaltenden Beschwerden Arzt konsultieren.

*
5 Maßnahmen zur Brandbekämpfung

· **Geeignete Löschmittel:** Feuerlöschmaßnahmen auf die Umgebung abstimmen.

· **Besondere Schutzausrüstung:** Persönliche Schutzausrüstung tragen.

(Fortsetzung auf Seite 2)

GRACE Davison

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 17.07.2003 überarbeitet am: 17.04.2003

Handelsname: LUDOX®P X-30 Colloidal Silica

(Fortsetzung von Seite 1)

· **Weitere Angaben:**
Brandrückstände und kontaminiertes Löschwasser müssen entsprechend den behördlichen Vorschriften entsorgt werden.
Kontaminiertes Löschwasser getrennt sammeln, darf nicht in die Kanalisation gelangen.

6 Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung

· **Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen:** Persönliche Schutzkleidung tragen.

· **Umweltschutzmaßnahmen:**
Nicht in die Kanalisation/Oberflächenwasser/Grundwasser gelangen lassen.

· **Verfahren zur Reinigung/Aufnahme:**
Mit flüssigkeitsbindendem Material (Sand, Kieselgur, Säurebinder, Universalbinder, Sägemehl) aufnehmen.

· **Zusätzliche Hinweise:** Es werden keine gefährlichen Stoffe freigesetzt.

* 7 Handhabung und Lagerung

· **Handhabung:**

· **Hinweise zum sicheren Umgang:** Bildung atembarer Partikel vermeiden.

· **Hinweise zum Brand- und Explosionsschutz:** Das Produkt ist nicht brennbar.

· **Lagerung:**

· **Anforderung an Lagerräume und Behälter:**
Colloidal Silica sollte über 2 °C gelagert werden. Frost kann irreversibles Ausfällen des amorphen Siliciumdioxides, chemisch hergestellt, verursachen. Daher sollte das Produkt in beheizten Räumen gelagert werden. Ständige Lagertemperaturen über 43 °C sollten ebenfalls vermieden werden.

· **Zusammenlagerungshinweise:** Getrennt von Lebensmitteln lagern.

· **Weitere Angaben zu den Lagerbedingungen:** Vor Frost schützen.

* 8 Expositionsbegrenzung und persönliche Schutzausrüstungen

· **Zusätzliche Hinweise zur Gestaltung technischer Anlagen:**
Keine weiteren Angaben, siehe Punkt 7.

· **Bestandteile mit arbeitsplatzbezogenen, zu überwachenden Grenzwerten:**	
7631-86-9 Amorphes Siliciumdioxid, chemisch hergestellt	
MAK (TRGS 900)	4 E mg/m³ 16; Y; DFG; vergleiche Abschnitt V

· **Zusätzliche Hinweise:** Als Grundlage dienten die bei der Erstellung gültigen Listen.

· **Persönliche Schutzausrüstung:**

· **Allgemeine Schutz- und Hygienemaßnahmen:**
Die üblichen Vorsichtsmaßnahmen beim Umgang mit Chemikalien sind zu beachten.
Staub oder Sprühnebel nicht einatmen.

· **Atemschutz:**
Bei Überschreitung des MAK Wertes.
Filter P2

· **Handschutz:**

Schutzhandschuhe

Handschuhe zum Schutz vor mechanischen Risiken gemäß EN 388 tragen.

(Fortsetzung auf Seite 3)

GRACE Davison

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 17.07.2003 überarbeitet am: 17.04.2003

Handelsname: LUDOX®P X-30 Colloidal Silica

(Fortsetzung von Seite 2)

Handschuhe aus Gummi.
Handschuhe aus stabilem Material (z.B. Nitril) - ggf. trikotiert zur Verbesserung des Tragekomforts - verwenden.
Vorbeugender Hautschutz durch Verwendung von Hautschutzmittel wird empfohlen.
Nach der Verwendung von Handschuhen Hautreinigung- und Hautpflegemittel einsetzen.

· **Handschuhmaterial**
EN 388: Mindestanforderung Leistungsstufe 1 für alle Gruppen.
Die Auswahl eines geeigneten Handschuhs ist nicht nur vom Material, sondern auch von weiteren Qualitätsmerkmalen abhängig und von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich.

· **Durchdringungszeit des Handschuhmaterials**
EN 420: Mindestanforderung Leistungsstufe 1 für alle Gruppen.

· **Augenschutz:**

Schutzbrille.

· **Körperschutz:** Arbeitsschutzkleidung

9 Physikalisch-chemische Eigenschaften

· **Allgemeine Angaben**	
Form:	Flüssig
Farbe:	Farblos
Geruch:	Geruchlos
· **Zustandsänderung:**	
Schmelzpunkt/Schmelzbereich:	0°C
Siedepunkt/Siedebereich:	100°C
· **Flammpunkt:**	Nicht anwendbar.
· **Entzündlichkeit (fest, gasförmig):**	Der Stoff ist nicht entzündlich.
· **Selbstentzündlichkeit:**	Das Produkt ist nicht selbstentzündlich.
· **Explosionsgefahr:**	Das Produkt ist nicht explosionsgefährlich.
· **Dampfdruck bei 25°C:**	32 hPa
· **Dichte bei 20°C:**	1,10 - 1,40 g/cm³
· **Löslichkeit in / Mischbarkeit mit Wasser:**	Vollständig mischbar.
· **pH-Wert bei 20°C:**	4 - 11
· **Lösemittelgehalt:**	
Wasser:	60,0 - 70,0 %
· **Festkörpergehalt:**	30,0 - 40,0 %

10 Stabilität und Reaktivität

· **Thermische Zersetzung / zu vermeidende Bedingungen:**
Keine Zersetzung bei bestimmungsgemäßer Verwendung.

· **Gefährliche Reaktionen:** Keine gefährlichen Reaktionen bekannt.

· **Gefährliche Zersetzungsprodukte:** Keine gefährlichen Zersetzungsprodukte bekannt.

D

(Fortsetzung auf Seite 4)

GRACE Davison

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 17.07.2003 überarbeitet am: 17.04.2003

Handelsname: LUDOX®P X-30 Colloidal Silica

(Fortsetzung von Seite 3)

*

11 Angaben zur Toxikologie

· **Akute Toxizität:**

· **Einstufungsrelevante LD/LC50-Werte:**		
7631-86-9 Amorphes Siliciumdioxid, chemisch hergestellt		
Oral	LD50	10000 mg/kg (Ratte)
Dermal	LD50	> 5000 mg/kg (Kaninchen) OECD 402
Inhalativ	LC50	0,139 mg/l/14h (Ratte)

· **Primäre Reizwirkung:**

· **an der Haut:** Reizt die Haut und die Schleimhäute.

· **am Auge:** Reizwirkung.

· **Sensibilisierung:** Keine sensibilisierende Wirkung bekannt.

· **Subakute bis chronische Toxizität:**
Amorphes Siliciumdioxid, chemisch hergestellt:
Es wurden keine negativen Wirkungen bei den Versuchen auf chronische orale Toxizität, Kanzerogenität, Teratogenizität und Fruchtbarkeit festgestellt. Bei chronischen Inhalationsversuchen wurden keine irreversiblen Veränderungen und keine Silikosis-Symptome festgestellt.

· **Zusätzliche toxikologische Hinweise:**
Bei sachgemäßem Umgang und bestimmungsgemäßer Verwendung verursacht das Produkt nach unseren Erfahrungen und den uns vorliegenden Informationen keine gesundheitsschädlichen Wirkungen.

12 Angaben zur Ökologie

· **Angaben zur Elimination (Persistenz und Abbaubarkeit):**

· **Sonstige Hinweise:** Nicht in Kanalisation, Grundwasser und/oder Gewässer gelangen lassen.

· **Ökotoxische Wirkungen:**

· **Aquatische Toxizität:**

· **Fischtoxizität**	
7631-86-9 Amorphes Siliciumdioxid, chemisch hergestellt	
LC50 (96 h)	> 10000 mg/l (Brachydanio rerio) OECD 202

· **Daphnientoxizität**	
7631-86-9 Amorphes Siliciumdioxid, chemisch hergestellt	
EC50 (24 h)	> 1000 mg/l (Daphnia magna) OECD 202

13 Hinweise zur Entsorgung

· **Produkt:**

· **Empfehlung:** Entsorgung gemäß den behördlichen Vorschriften.

· **Abfallschlüsselnummer:**
Die Entsorgung hat gemäß den gültigen Vorgaben zu erfolgen. EAK-Abfallschlüssel sind branchen- und prozeßspezifisch vom jeweiligen Abfallerzeuger zuzuordnen, und der Entsorgungsweg ist entsprechend zu wählen.

· **Ungereinigte Verpackungen:**

· **Empfehlung:** Entsorgung gemäß den behördlichen Vorschriften.

(Fortsetzung auf Seite 5)

GRACE Davison

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 17.07.2003 überarbeitet am: 17.04.2003

Handelsname: LUDOX®P X-30 Colloidal Silica

(Fortsetzung von Seite 4)

· **Empfohlenes Reinigungsmittel:** Wasser, gegebenenfalls mit Zusatz von Reinigungsmitteln.

*
14 Angaben zum Transport

· **Landtransport ADR/RID und GGVS/GGVE (grenzüberschreitend/Inland):**

· **ADR/RID-GGVS/E Klasse:** -

· **Seeschiffstransport IMDG/GGVSee:**

· **IMDG/GGVSee-Klasse:** -

· **Lufttransport ICAO-TI und IATA-DGR:**

· **ICAO/IATA-Klasse:** -

· **Transport/weitere Angaben:** Kein Gefahrgut nach obigen Verordnungen.

*
15 Vorschriften

· **Kennzeichnung nach EWG-Richtlinien:**
Das Produkt ist nach EG-Richtlinien/GefStoffV nicht kennzeichnungspflichtig.
Die beim Umgang mit Chemikalien üblichen Vorsichtsmaßnahmen sind zu beachten.

· **Nationale Vorschriften:**

· **Wassergefährdungsklasse:**
WGK nwg (VwVwS Anhang 4 vom 19.05.1999): im allgemeinen nicht wassergefährdend.

· **Registriert in den internationalen Inventarverzeichnissen:**
EINECS (Europe)
TSCA (USA)
DSL (Canada)
AICS (Australia)
MITI (Japan)

16 Sonstige Angaben

Die Angaben stützen sich auf den heutigen Stand unserer Kenntnisse, sie stellen jedoch keine Zusicherung von Produkteigenschaften dar und begründen kein vertragliches Rechtsverhältnis.

· **Datenblatt ausstellender Bereich:** Abteilung Sicherheit und Umweltschutz, GRACE Holding GmbH.

(Fortsetzung auf Seite 6)

GRACE Davison

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 17.07.2003 überarbeitet am: 17.04.2003

Handelsname: LUDOX®P X-30 Colloidal Silica

(Fortsetzung von Seite 5)

· **Ansprechpartner:**

Sales Offices

Germany
Grace GmbH & Co. KG, D-67545 Worms
Tel.: +49 6241/40300, Fax: +49 6241/403211

UK
Grace Davison, Oak Park Business Centre, Alington Road, Little Barford,
St. Neots, Cambridgeshire PE19 6WL, United Kingdom
Tel.: +44 1480/324430, Fax: +44 1480/324433

Sweden
Grace AB, Berg Allé 1, SE-25452 Helsingborg
Tel.: +46 42/167800, Fax: +46 42/167805

Belgium
Grace Davison, Hendrik Heymanplein 232, B-9100 Sint-Niklaas
Tel.: +32 3/7663433, Fax: +32 3/7664443

Switzerland
Grace Davison, P.O. B. 609, CH-4153 Reinach 1
Tel.: +41 61/7020660, Fax: +41 61/7020661

France
W. R. Grace S.A., Davison France, 33 route de Gallardon, B.P. 39, F-28234 Epernon Cédex
Tel.: +33 237/1888-41 or -42, Fax: +33 237/188690

Austria
Grace GmbH & Co. KG, Location Vienna, Löwengasse 47A/3/6, A-1030 Vienna
Tel.: +43 1/7186493, Fax: +43 1/718649311

Italy
W. R. Grace Italiana S.p.A., Via Trento 7, I-20017 Passirana di Rho (MI)
Tel.: +39 02/93537444, Fax: +39 02/93537581

Spain
Grace S.A., Calle Riera de Fonollar 12, E-08830 Sant Boi de Llobregat (Barcelona)
Tel.: +34 93/6351000, Fax: +34 93/6351133

· *** Daten gegenüber der Vorversion geändert**

31430 **Syton X 30**

Syton X 30 ist eine wässrige Kieselsäuredispersion mit 30 %, 1200 g/Liter.
Beim Trocknen verfestigt sich die Dispersion zu einer Trockengelstruktur mit hoher chemischer Bindekraft.
Syton X 30 wird wegen seiner hohen chemischen Beständigkeit und wegen seiner Temperaturbeständigkeit verwendet als

- als Bindemittel in Mörteln
- Oberflächen-Modifiziermittel, erhöht auf praktisch jeder Oberfläche den Reibwert
- Füllstoff

Syton X 30 wird zum Beispiel verwendet für

- schmutzabweisende Anstriche auf Wänden, schmutzabweisende Ausrüstung von Textilien
- zum Griffigmachen von Wachs-Dispersionen, dabei verliert das Wachs nicht seinen Glanz
- zum Schönen und Klären von Wein und Fruchtsäften
- bei Emulsionsfarben bewirkt die Zugabe von 5-10 % Syton im Pigmentanteil eine deutliche thixotropische Strukturverbesserung und eine Verringerung der Pigmentabscheidung beim Lagern
- für Steinersatzmassen hat sich Syton X 30 besonders bewährt:
  Die Werte für Festigkeit und Elastizität sind günstig.

Rezepturen auf Anfrage.

Syton X 30 ist kein Gefahrgut. Die Wassergefährdung ist WGK 0. Das getrocknete Syton in Pulverform, z.B. als Aerosol, ist atemwegsgefährdend, Schutzmaske empfohlen.

Analysenzertifikat:

Dichte (20°C, g/cm^3):	1.196 - 1.206
pH (20°C):	9.5 - 10.2
Rückstand (% m/m):	29,5 min
Viskosität (20°C):	12 max
Na_2O (% m/m):	0.250 - 0.330
Spec. Surface appearance - SSA (m^2/g SiO_2):	215 - 305
Sediment (% v/v):	0,5 max

Dr. Georg Kremer, Dipl.-Chemiker, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu, Telefon +49-7565-91120, Telefax +49-7565-1606
kremer-pigmente@t-online.de, www.kremer-pigmente.com

EG-Tax No.: DE 147364259 Bankverbindung: Postgirokonto Stuttgart (BLZ 600 100 70) Konto-Nr. 0200 710 703

SICHERHEITSDATENBLATT
gemäß 91/155/EWG

Künstlerbedarf, Verlag, Fachbuchhandlung

KREMER PIGMENTE

31430 SYTON X 30

Überarbeitete Ausgabe: 30.01.03

1. STOFF-/ ZUBEREITUNGS- UND FIRMENBEZEICHUNG

Angaben zum Produkt:
Handelsname: **Syton X 30**
Artikelnummer: **31430**

Hersteller/Lieferant: **Fa. Dr. Kremer, D-88317 Aichstetten**
Tel. +49 7565 91120 Fax. +49 75651606

2. ZUSAMMENSETZUNG / ANGABEN ZU DEN BESTANDTEILEN

Chemische Charakterisierung:
Kolloidales Siliziumdioxid

Gefährliche Inhaltsstoffe:

CAS-Nr.	Bezeichnung	Gef.-Symbol	R-Sätze	%	EINECS-Nr.
107-21-1	Ethylenglykol	Xn	22	4-5	203-473-3
7631-86-9	Amorphes Siliziumdioxid		30		231-545-4

Dowicil-cis-1-(3-cloallyl)-3,5,7-triaza-1-azoniaadematanchlorid: 150 - 300 ppm.
Dowicil ist in dieser Konzentration zugelassen als Stoff zur Verhinderung von Fäulnis in Lebensmittelverpackungen.

3. MÖGLICHE GEFAHREN

Kennzeichnung nach EG-Richtlinien: Nach Anhang II, Nr. 1 GefStoffV nicht kennzeichnungspflichtig.

Besondere Gefahrenhinweise
für Mensch und Umwelt: Kann Augen-/Hautreizungen verursachen.
Spezifische Gefahren: Keine bekannt.

4. ERSTE-HILFE-MAßNAHMEN

Nach Augenkontakt: Mindestens 15 Minuten mit viel Wasser gründlich ausspülen und Arzt konsultieren.
Nach Hautkontakt: Sofort mit viel Wasser abwaschen. Beschmutzte, getränkte Kleidung sofort ausziehen.
Nach Verschlucken: In ernsten Fällen einen Arzt rufen.

Dr. Georg Kremer, Dipl.-Chemiker, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu,
Telefon +49 (0) 75 65 / 10 11, 9 11 20, 9 11 40, Telefax +49 (0) 75 65 / 16 06
kremer-pigmente@t-online.de, www.kremer-pigmente.com

EG-Tax No.: DE 147364259 Steuer-Nr. 91193-59418
Bankverbindung: Postgirokonto Stuttgart (BLZ 600 100 70), Konto-Nr. 0200 710 703

5. MAßNAHMEN ZUR BRANDBEKÄMPFUNG

Geeignete Löschmittel: Alle, das Produkt selbst brennt nicht.

6. MAßNAHMEN BEI UNBEABSICHTIGTER FREISETZUNG

Personenbezogene Vorsichtsmassnahmen:	Persönliche Schutzkleidung verwenden.
Umweltschutzmaßnahmen:	Keine besonderen Umweltschutzmaßnahmen erforderlich.
Verfahren zur Reinigung/ Aufnahme:	Eindämmen. Mit inertem Aufsaugmittel aufnehmen. Mechnisch aufnehmen. Nach der Reinigung Spuren mit Wasser wegspülen.

7. HANDHABUNG UND LAGERUNG

Handhabung:	
Technische Maßnahmen/ Vorsichtsmaßnahmen:	--
Hinweise für sichere Handhabung:	Bildung atembarer Partikel vermeiden.
Lagerung:	
Lagerbedingungen:	Dicht verschlossen halten. Gegen Frost schützen.
Unverträgliche Produkte:	keine
Verpackungsmaterial:	Im Originalbehälter lagern.
Lagerklasse (VCI):	13; Nichtbrennbare Feststoffe

8. EXPOSITIONSBEGRENZUNG UND PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG

Zusätzliche Hinweise zur Gestaltung technischer Anlagen:
Bildung atembarer Partikel vermeiden.

Bestandteile mit Arbeitsplatzbezogenen, zu überwachenden Grenzwerten:

CAS-Nr.	**Bezeichnung des Stoffes**	**Art**	**Wert**
7631-86-9	Amorphes Siliciumdioxid (gemessen als Gesamtstaub)	MAK	4 mg/m^3
		Schwangerschaftsgruppe C (1995)	
107-21-1	Ethylenglykol	MAK	10 mg/m^3 26 mg/m^3
	Spitzenbegrenzung Kat. I; H;	Schwangerschaftsgruppe C (1995)	
50-00-1	Formaldehyd	MAK	0,5 mg/m^3 0,6 mg/m^3
	Spitzenbegrenzung Kat. I; S;	Krebserzeugend Gruppe III B Schwangerschaftsgruppe C (1995)	

Dr. Georg Kremer, Dipl.-Chemiker, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu,
Telefon +49 (0) 75 65 / 10 11, 9 11 20, 9 11 40, Telefax +49 (0) 75 65 / 16 06
kremer-pigmente@t-online.de, www.kremer-pigmente.com

EG-Tax No.: DE 147364259 Steuer-Nr. 91193-59418
Bankverbindung: Postgirokonto Stuttgart (BLZ 600 100 70), Konto-Nr. 0200 710 703

Persönliche Schutzausrüstung:

- Augenschutz:	Schutzbrille
- Handschutz:	Gummihandschuhe
- Allgemeine Schutz- und Hygienemaßnahmen:	Kontakt mit Haut, Augen und Kleidung vermeiden. Staub oder Sprühnebel nicht einatmen. Vor den Pausen und bei Arbeitsende Hände waschen.

9. PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

Form:	flüssig
Farbe:	opak
Geruch:	geruchlos

pH-Wert:		5.0 - 10.1
Siedepunkt/Siedebereich:		100°C
Schmelzpunkt/Schmelzbereich:		0°C
Flammpunkt:		nicht entzündlich
Explosionsgefahr:		keine Daten verfügbar
Dampfdruck:	(25°C)	32.0 hPa
	(38°C)	64.0 hPa
Relative Dichte:		1.10 - 1.40 kg/l
Löslichkeit in Wasser:		vollkommen mischbar

10. STABILITÄT UND REAKTIVITÄT

Zu vermeidende Bedingungen:	keine
Zu vermeidende Stoffe:	keine
Gefährliche Zersetzungsprodukte:	keine

11. ANGABEN ZUR TOXIKOLOGIE

Akute Toxizität:

Amorphes Siliziumdioxid:	LD_{50} (oral, Ratte):	3160 mg/kg	Methode: RTECS, 77717
Formaldehyd:	LD_{50} (oral, Ratte):	800 mg/kg	Methode: RTECS, 36172
	LD_{50} (dermal, Kaninchen):	270 mg/kg	Methode: RTECS, 36172
	LD_{50} (inhal., Ratte):	590 mg/kg	Methode: RTECS, 36172
Ethylenglykol:	LD_{50} (oral, Ratte):	4700 mg/kg	Methode: RTECS, 35569
	LD_{50} (dermal, Kaninchen):	9530 mg/kg	Methode: RTECS, 35569

Primäre Reizwirkung:

an der Haut:	Reizwirkung möglich.
am Auge:	Reizwirkung möglich.

Dr. Georg Kremer, Dipl.-Chemiker, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu,
Telefon +49 (0) 75 65 / 10 11, 9 11 20, 9 11 40, Telefax +49 (0) 75 65 / 16 06
kremer-pigmente@t-online.de, www.kremer-pigmente.com

EG-Tax No.: DE 147364259 Steuer-Nr. 91193-59418
Bankverbindung: Postgirokonto Stuttgart (BLZ 600 100 70), Konto-Nr. 0200 710 703

Übermäßige Einwirkung kann folgende Gesundheitsschäden bewirken:
"Syton" Kolloidales Siliziumdioxid:

Hautkontakt (Lokal):		Reiz, Unwohlsein, Ausschlag.
Augenkontakt (Lokal):		Reiz, Unwohlsein, übermäßiger Tränenfluß, unscharfes Sehvermögen.
Einatmen (atembare Partikel) :	Lungen:	Reiz, Unwohlsein, Husten, Atembeschwerden.

12. ANGABEN ZUR ÖKOLOGIE

Keine Daten verfügbar.
Wassergefährdungsklasse: NWG, nicht wassergefährdend (Selbsteinstufung)

13. HINWEISE ZUR ENTSORGUNG

Produkt: Kann unter Beachtung der örtlichen Vorschriften verbrannt werden. Kann nach Verfestigung unter Beachtung der örtlichen behördlichen Vorschriften abgelagert werden.

Verpackung: Leere Behälter zur örtlichen Wiederverwertung, Wiedergewinnung oder Abfallbeseitigung geben.

14. ANGABEN ZUM TRANSPORT

Kein Gefahrgut im Sinne der Transportvorschriften.

15. VORSCHRIFTEN

Kennzeichnung nach EG-Richtlinien: Nach Anhang II, Nr. 1 GefStoffV nicht kennzeichnungspflichtig.

Wassergefährdungsklasse: NWG (Selbsteinstufung), nicht wassergefährdend
Abfallschlüssel Nr.: 31442

16. SONSTIGE ANGABEN

Mit den vorstehenden Angaben, die dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und Erfahrungen entsprechen, wollen wir unser Produkt im Hinblick auf etwaige Sicherheitserfordernisse beschreiben, verbinden damit jedoch keine Eigenschaftszusicherungen und Qualitätsbeschreibungen.

Dr. Georg Kremer, Dipl.-Chemiker, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu,
Telefon +49 (0) 75 65 / 10 11, 9 11 20, 9 11 40, Telefax +49 (0) 75 65 / 16 06
kremer-pigmente@t-online.de, www.kremer-pigmente.com

EG-Tax No.: DE 147364259 Steuer-Nr. 91193-59418
Bankverbindung: Postgirokonto Stuttgart (BLZ 600 100 70), Konto-Nr. 0200 710 703

TECHNISCHE INFORMATIONEN

Relative Dichte (20°C, g/cm^3):	1.200 - 1.210
pH (20°C):	9.5 - 10.2
Schüttdichte (% m/m):	29,5 min
Viscosität (20°C):	12 max
Na_2O (% m/m):	0.26 - 0.34
Spez. Oberflächenbeschaffenheit (m^2/g SiO_2):	215 - 305
Sediment (% v/v):	0,5 max

Dr. Georg Kremer, Dipl.-Chemiker, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu,
Telefon +49 (0) 75 65 / 10 11, 9 11 20, 9 11 40, Telefax +49 (0) 75 65 / 16 06
kremer-pigmente@t-online.de, www.kremer-pigmente.com

EG-Tax No.: DE 147364259 Steuer-Nr. 91193-59418
Bankverbindung: Postgirokonto Stuttgart (BLZ 600 100 70), Konto-Nr. 0200 710 703

SICHERHEITSDATENBLATT
gemäß 91/155/EWG

Künstlerbedarf, Verlag, Fachbuchhandlung

KREMER PIGMENTE

58689 Cristobalitmehl feinst, reinweiß

Ausgabe: 13.03.03

1. STOFF-/ ZUBEREITUNGS- UND FIRMENBEZEICHUNG

Angaben zum Produkt:
Handelsname: **Cristobalitmehl feinst, reinweiß**
Artikelnummer: **58689**

Hersteller/Lieferant: **Fa. Dr. Georg Kremer, D - 88317 Aichstetten**
Tel. +49 7565 91120 Fax +49 7565 1606

2. ZUSAMMENSETZUNG / ANGABEN ZU DEN BESTANDTEILEN

Chemische Zusammensetzung : Cristobalitmehl

CAS-Nr.: 014464-46-1 ; Cristobalit
014808-60-7; Quarz
015468-32-3; Tridymit

EG-Nr. : 238-878-4; Quarz, Siliciumdioxid
238-455-4 ; Cristobalit, Siliciumdioxid
239-487-1 ; Tridymit

3. MÖGLICHE GEFAHREN

Längeres und/oder starkes Einatmen von alveolengängigem Cristobalitfeinstaub kann zu Staublunge, auch bekannt als Silikose führen. Die wichtigsten Symptome von Silikose sind Husten und Atemlosigkeit. Die Staubexposition sollte gemessen und überwacht werden.

4. ERSTE-HILFE-MAßNAHMEN

Nach Einatmen:	Keine besonderen Erste-Hilfe Maßnahmen erforderlich.
Nach Hautkontakt:	Keine besonderen Erste-Hilfe Maßnahmen erforderlich.
Nach Augenkontakt:	Sorgfältig mit viel Wasser ausspülen, auch unter den Augenlidern. Bei anhaltendem Augenreiz einen Facharzt aufsuchen.
Nach Verschlucken:	Keine besonderen Erste-Hilfe Maßnahmen erforderlich.

5. MAßNAHMEN ZUR BRANDBEKÄMPFUNG

Geeignete Löschmittel:	Produkt selbst brennt nicht. Löschmaßnahmen auf Umgebungsrand abstimmen.

Dr. Georg Kremer, Dipl.-Chemiker, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu,
Telefon +49 (0) 75 65 / 10 11, 9 11 20, 9 11 40, Telefax +49 (0) 75 65 / 16 06
kremer-pigmente@t-online.de, www.kremer-pigmente.com

EG-Tax No.: DE 147364259 Steuer-Nr. 91193-59418
Bankverbindung: Postgirokonto Stuttgart (BLZ 600 100 70), Konto-Nr. 0200 710 703

Aus Sicherheitsgründen
Ungeeignete Löschmittel: keine bekannt

Besondere Gefährdung durch den Stoff, seine
Verbrennungsprodukte oder entstehenden Gase: keine bekannt

Besondere Schutzausrüstung: Im Brandfall umluftunabhängiges Atemschutzgerät tragen Explosions- und Rauchgase nicht einatmen.

6. MAßNAHMEN BEI UNBEABSICHTIGTER FREISETZUNG

Personenbezogene
Vorsichtsmaßnahmen: Staubbildung vermeiden. Bei Überschreitung des Grenzwertes nach TRGS 900 Atemschutzgerät mit Partikelfilterklasse P 2 verwenden.

Verfahren zur Reinigung/
Aufnahme: Mechanisch aufnehmen und in einem geeigneten Behälter sammeln. Staubbildung vermeiden.

Zusätzliche Hinweise: Die Wiederverwertung (Recycling) ist der Entsorgung vorzuziehen.

7. HANDHABUNG UND LAGERUNG

Handhabung
Hinweise zum
sicheren Umgang: Staubbildung vermeiden. Auf gute Belüftung und Absaugung an den Verarbeitungsmaschinen und an Plätzen, an denen Staubentwicklung möglich ist, muß geachtet werden. Bei Überschreitung des Grenz wertes nach TRGS 900 Atemschutzgerät mit Partikelfilterklasse P2 verwenden.

Hinweise zum Brand-
Und Explosionsschutz: Keine besonderen Brandschutzmaßnahmen erforderlich.

Lagerung
Anforderung an Lager-
Räume und Behälter: Staubbildung vermeiden. Trocken aufbewahren.

Weitere Angaben zu den
Lagerbedingungen: Keine besonderen Lagerungsbedingungen erforderlich.

Lagerklasse: 13 (VCl-Kzpt).

Dr. Georg Kremer, Dipl.-Chemiker, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu,
Telefon +49 (0) 75 65/ 10 11, 9 11 20, 9 11 40, Telefax +49 (0) 75 65 / 16 06
kremer-pigmente@t-online.de, www.kremer-pigmente.com

EG-Tax No.: DE 147364259 Steuer-Nr. 91193-59418
Bankverbindung: Postgirokonto Stuttgart (BLZ 600 100 70), Konto-Nr. 0200 710 703

58689 Cristobalitmehl feinst, reinweiß

Ausgabe: 13.03.03

8. EXPOSITIONSBEGRENZUNG UND PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNGEN

Zusätzliche Hinweise zur Gestaltung technischer Anlagen:
Zur Begrenzung der Personenexposition unter Grenzwert nach TRGS 900 sind Absauganlagen nach dem Stand der Technik zur Erfassung und Abscheidung von Staub anzuwenden. Siehe hierzu Richtlinie VDI 2262 „Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz, Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe", Blatt 1-3 und „Sicherheitsregeln für Anlagen zur Luftreinhaltung am Arbeitsplatz" ZH 1/140.

Bestandteile mit arbeitsplatzbezogenen, zu überwachenden Grenzwerten:
CAS-Nr.: 014808-60-7; Quarz, Siliciumdioxid ; Grenzwert nach TRGS 900 : 0,15 (*) mg/m3
CAS-Nr.: 014464-46-1; Cristobalit; Grenzwert nach TRGS 900 : 0,15 (*) mg/m3
CAS-Nr.: 015468-32-3; Tridymit; Grenzwert nach TRGS 900 : 0,15 (*) mg/m3

Zusätzliche Hinweise: (*) Gültig für: Deutschland, alveolengängier Staub

Persönliche Schutzausrüstung:

Allgemein:	Vor Pausen und Arbeitsende Hände und Gesicht waschen. Staub nicht ein atmen. Bei der Verwendung nicht essen, trinken oder rauchen.
Atemschutz:	Bei Überschreitung des Grenzwertes nach TRGS 900 Atemschutzgerät mit Partikelfilterklasse P 2 verwenden.
Handschutz:	nicht erforderlich
Augenschutz:	nicht erforderlich
Körperschutz:	nicht erforderlich

9. PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

Form: Pulver
Farbe: weiß
Geruch: geruchlos

Löslichkeit in: Wasser 20° C: 0,1 g/l
pH-Wert: bei 400 g/l H_2O ca. 8

10. STABILITÄT UND REAKTIVITÄT

Zu vermeidende Bedingungen
Und/oder Stoffe: Bei sachgemäßer Handhabung und Lagerung sind keine gefährlichen Reaktionen und Zersetzungsprodukte bekannt.

Dr. Georg Kremer, Dipl.-Chemiker, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu,
Telefon +49 (0) 75 65 / 10 11, 9 11 20, 9 11 40, Telefax +49 (0) 75 65 / 16 06
kremer-pigmente@t-online.de, www.kremer-pigmente.com

EG-Tax No.: DE 147364259 Steuer-Nr. 91193-59418
Bankverbindung: Postgirokonto Stuttgart (BLZ 600 100 70), Konto-Nr. 0200 710 703

11. ANGABEN ZUR TOXIKOLOGIE

Längeres und/oder starkes Einatmen von alveolengängigem Cristobalit-/Quarzfeinstaub kann zu Silikose, einer knotigen Bindegewebsveränderung der Lunge führen. Silikose wird durch die Ablagerung von Cristobalit-/Quarzfeinstaub in den Lungenbläschen (Alveolen) verursacht. Bei Personen, die bereits an Silikose erkrankt sind, kann ein erhöhtes Krebsrisiko bestehen. Nach einer aktuellen Studie des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitssicherheit – BIA – ist jedoch das Lungekrebsrisiko nur dann höher als normal, wenn es sich um Raucher handelt.

Die bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft gebildete Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe hat empfohlen, den alveolengängigen Anteil von kristallinem Siliciumdioxid (Quarz, Cristobalit, Tridymit) in die Kategorie K 1 einzustufen. In diese Kategorie fallen Stoffe, bei denen davon auszugehen ist, dass sie einen nennenswerten Beitrag zum Krebsrisiko leisten.

Es gibt Hinweise dafür, dass Cristobalit-/Quarzfeinstaub je nach Modifikation, je nach Verunreinigung und je nach dem Stoff und der Zubereitung als deren Bestandteil er auftritt, auf den Organismus unterschiedlich wirkt. Angesichts dieser Erkenntnislage ist derzeit noch offen, welche gesetzliche Folgerungen im Gesundheits- und Arbeitsschutz aus der Empfehlung der Senatskommission zu ziehen sind. Der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) hat dem Bundesarbeitsministerium bisher noch keinen Vorschlag zur rechtlichen Umsetzung der Empfehlung unterbreitet. Wissenschaftliche Untersuchungen, ob es für den auch in der Natur vorkommenden Cristobalit-/Quarzfeinstaub einen Schwellenwert gibt, bei dessen Einhaltung für den Menschen kein nennenswertes Krebsrisiko besteht, sind noch nicht abgeschlossen. Nach der oben genannten BIA-Studie ist bei Nichtrauchern das Lungenkrebsrisiko auch im Falle einer Cristobalit-/Quarzfeinstaubexposition nicht erhöht.

12. ANGABEN ZUR ÖKOLOGIE

Negative ökologische Auswirkungen sind nicht bekannt.

13. HINWEISE ZUR ENTSORGUNG

Produkt:	
Empfehlung:	Kann nach Rücksprache mit dem Entsorger und der zuständigen Behörde mit Hausmüll abgelagert werden.
Abfallschlüssel:	01 04 02 (EAK)
Verunreinigte Verpackungen:	
Empfehlung:	Wiederverwertung der Papiersäcke über Repasack. Wiederverwertung der PE Schrumpffolie nach Abstimmung mit geeignetem Entsorgungsunternehmen. Wiederverwendung des verunreinigten Verpackungsmaterials verboten.

Dr. Georg Kremer, Dipl.-Chemiker, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu,
Telefon +49 (0) 75 65 / 10 11, 9 11 20, 9 11 40, Telefax +49 (0) 75 65 / 16 06
kremer-pigmente@t-online.de, www.kremer-pigmente.com

EG-Tax No.: DE 147364259 Steuer-Nr. 91193-59418
Bankverbindung: Postgirokonto Stuttgart (BLZ 600 100 70), Konto-Nr. 0200 710 703

14. ANGABEN ZUM TRANSPORT

Kein Gefahrgut im Sinne der Transportvorschriften

15. VORSCHRIFTEN

Kennzeichnung nach EWG-Richtlinien:	Keine Kennzeichnung erforderlich nach EG-Richtlinie 67/548/EEC. Die gesetzlichen Arbeitsplatzgrenzwerte des jeweiligen Landes müssen beachtet werden.
Hinweise zur Beschäftigungsbeschränkung:	nicht anwendbar
Störfallverordnung:	nicht unterstellt
Klassifizierung nach VbF:	n.a.
TA-Luft Klasse Ziffer:	3.1.3 Anteil M%: 100
Wassergefährdungsklasse:	nach WHG: WGK n.w. (nicht wassergefährdend)
Sonstige Vorschriften, Beschränkungen Und Verbotsverordnungen:	„Technische Regel für Gefahrstoffe 500" (TRGS 500) und Unfallverhütungsvorschrift „Arbeitsmedizinische Vorsorge" (BGV-A4). Quarzwerke Broschüre <0206>: Hinweise zum Umgang mit SiO_2

16. SONSTIGE ANGABEN

Mit den vorstehenden Angaben, die dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und Erfahrungen entsprechen, wollen wir unser Produkt im Hinblick auf etwaige Sicherheitserfordernisse beschreiben, verbinden damit jedoch keine Eigenschaftszusicherungen und Qualitätsbeschreibungen.

Dr. Georg Kremer, Dipl.-Chemiker, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu,
Telefon +49 (0) 75 65/ 10 11, 9 11 20, 9 11 40, Telefax +49 (0) 75 65/ 16 06
kremer-pigmente@t-online.de, www.kremer-pigmente.com

EG-Tax No.: DE 147364259 Steuer-Nr. 91193-59418
Bankverbindung: Postgirokonto Stuttgart (BLZ 600 100 70), Konto-Nr. 0200 710 703

dorfner
FIRMENGRUPPE

DORSILIT® KRISTALLQUARZMEHLE & MIKRO-DORSILIT-QUARZFEINSTMEHLE

als Füllstoffe für bau- und bauchemische Produkte

Datenblatt-Nr. 9607

DORSILIT® KRISTALLQUARZMEHLE und **MIKRO-DORSILIT-QUARZFEINSTMEHLE** werden durch eisenfreie, trockene Vermahlung von aufbereitetem Quarzsand und nachfolgende Windsichtung hergestellt.

Sie zeichnen sich durch einen hohen SiO2-Gehalt von über 98 MA.-% aus, enthalten nur geringe Mengen an Nebenbestandteilen und werden in definierten Mahlfeinheiten im Bereich 0 - 250 µm geliefert.

Sie sind

- ☐ chemisch inert, deshalb mit allen Bindemitteln verträglich
- ☐ licht- und wetterbeständig
- ☐ leicht dispergierbar
- ☐ niedrig im Bindemittelbedarf

Aufgeteilt nach unterschiedlichen Mahlfeinheiten werden sie in folgenden bau- und bauchemischen Produkten eingesetzt:

- ☐ Fasadenfarben
- ☐ Straßenmarkierungsfarben
- ☐ Kunststoffputze
- ☐ Spachtelmassen
- ☐ Fliesenkleber
- ☐ Fugenmörtel
- ☐ Baukleber
- ☐ Dichtungsmassen
- ☐ Selbstverlaufende Fußbodenmassen
- ☐ Säurefeste Kitte
- ☐ Polymerbeton

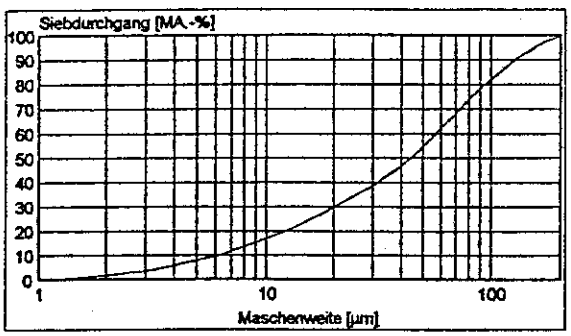
Alle angegebenen Daten sind Richtwerte mit produktions- und lagerstättenbedingten Toleranzen. Sie dienen nur zur Produktbeschreibung und stellen keine zugesicherten Eigenschaften dar. Es bleibt in der Pflicht des Benutzers, die Tauglichkeit des Produktes für seinen Einsatzzweck zu prüfen. Auskünfte über Toleranzbreiten und anwendungstechnische Erfahrungen geben wir gerne, falls gewünscht. Verkäufe erfolgen gemäß unseren allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen.

Scharhof 1 • D-92242 Hirschau • Telefon: 0 96 22/82-0 • Telefax: 0 96 22/82-206 • e-mail: webmaster@dorfner.de

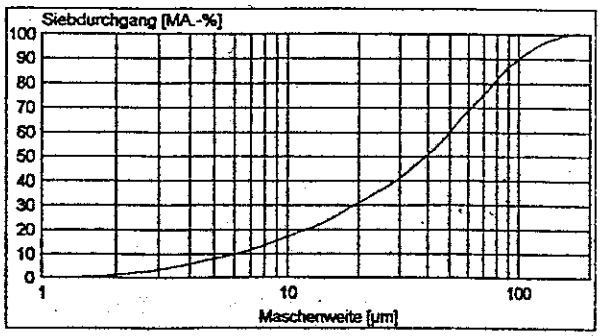
dorfner
FIRMENGRUPPE

DORSILIT-KRISTALLQUARZMEHLE

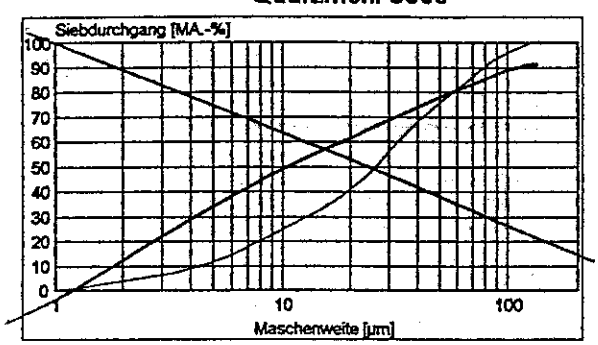
Quarzmehl 1600



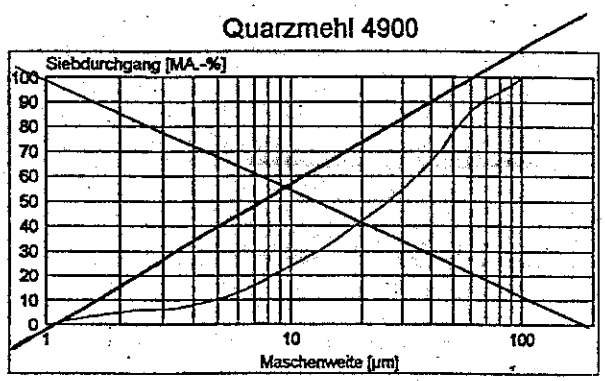
Quarzmehl 2500



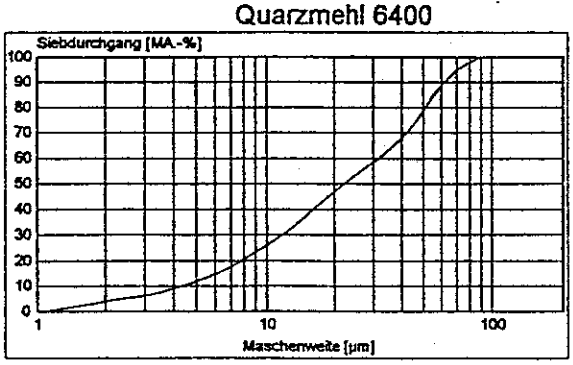
Quarzmehl 3600



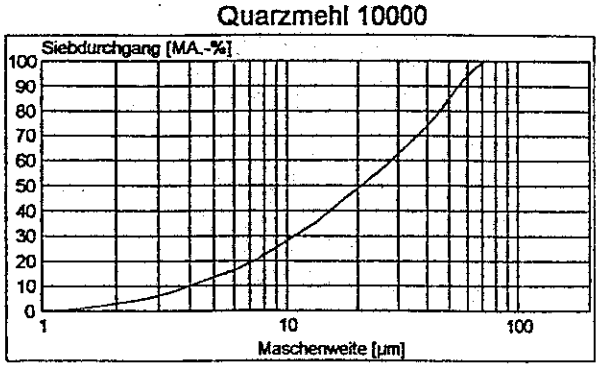
Quarzmehl 4900



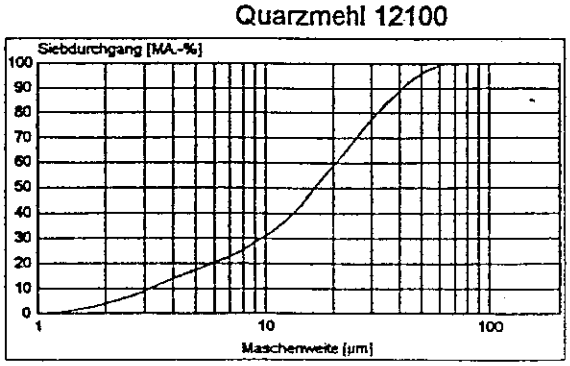
Quarzmehl 6400



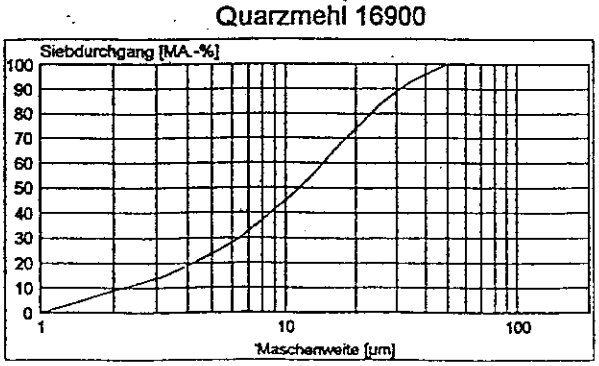
Quarzmehl 10000



Quarzmehl 12100



Quarzmehl 16900



Alle angegebenen Daten sind Richtwerte mit produktions- und lagerstättenbedingten Toleranzen. Sie dienen nur zur Produktbeschreibung und stellen keine zugesicherten Eigenschaften dar. Es obliegt in der Pflicht des Benutzers, die Tauglichkeit des Produktes für seinen Einsatzzweck zu prüfen. Auskünfte über Toleranzbreiten und anwendungstechnische Erfahrungen geben wir gerne, falls gewünscht. Verkäufe erfolgen gemäß unserer allgemeiner Verkaufs- und Lieferbedingungen.

Scharhof 1 • D-92242 Hirschau • Telefon: 0 96 22/82-0 • Telefax: 0 96 22/82-206 • e-mail: webmaster@dorfner.de

ÜBERSICHTSDATENBLATT

DORSILIT-KRISTALLQUARZMEHLE & MIKRO-DORSILIT-QUARZFEINSTMEHLE

Physikalische Eigenschaften nach DIN	DORSILIT KRISTALLQUARZMEHLE								MIKRO-DORSILIT QUARZFEINSTMEHLE		
Kornaufbau	1600	2500	3600	4900	6400	10000	12100	16900	405	120	110
LSS/Sedigraph	MA.-%	MA.-%	MA.-%	MA.-%	MA.-%	MA.-%	MA.-%	MA.-%	MA.-%	MA.-%	MA.-%
>160 µm	3										
>125-160 µm	14										
>125 µm		4									
63-125 µm		26									
>100 µm			4								
63-100 µm	19		13								
>90 µm				2							
63-90 µm				6							
>71 µm					3						
63-71 µm					3						
>63 µm						3					
40-63 µm	21	24	15	25	24	22					
>50 µm							4				
40-50 µm							7				
>40 µm								4	0,5		
30-40 µm								7			
20-40 µm	15	17	27	22	24	26	30		11,5		
20-30 µm								19			
10-20 µm	12	13	16	20	21	21	28	30	18		
<10 µm										19	9
0-10 µm									15	25	23
4-10 µm	10	10	15	16	15	18	17	23			
4-6 µm									15	20	22
2-4 µm						7	10	8	20	18	23
<4 µm	6	6	9	9	10						
<2 µm						4	4	9	20	18	23
Mittlere Korngröße [µm]	45	42	31	23	22	20	17	14	6,0	5,6	4,4
Spez. Oberfläche n. BET [m2/g]	0,58	0,61	0,72	0,83	0,89	0,97	1,14	1,36	1,50	2,16	2,65
Schüttdichte [g/ml]	1,11	1,07	1,00	0,94	0,93	0,91	0,88	0,83	0,69	0,60	0,51
Stampfvolumen [ml/g]	0,55	0,57	0,61	0,66	0,67	0,68	0,70	0,71	0,87	0,94	1,10
Ölzahl [g/100g]	17	18	18	19	19	20	21	22	25	28	29
Weißgrad R 457abs. [%]	74	74,5	75,9	77	77,5	78,5	78,2	80,8	79,5	80,0	81,8
Dichte [g/ml]	2,63										
pH-Wert	6 bis 8										
Härte nach Mohs	7										

Technisches Merkblatt

Funcosil®
KSE-Füllstoff A

Artikel-Nummer: 0571

Produktbasis:
Mineralpulver. Füllstoff für das Funcosil KSE-Modul-System.

Produktkenndaten im Anlieferungszustand:

Farbton:	hellgrau
Schüttdichte (gemäß DIN 52110):	ca. 0,7 kg/l
Stampfdichte (gemäß DIN ISO 787/11):	ca. 0,9 kg/l
Lieferform:	3kg Papiersack, 25 kg Papiersack

Eigenschaftsprofil:
Mineralmehl aus dem Funcosil KSE-Modul-System. Zur Herstellung Kieselsäureester-(KSE-)gebundener Schlämmen, Hinterfüllmassen und Anböschmörtel.
Verwitterungsoberflächen weisen häufig (Mikro-)risse in Dimensionen auf, die mit Steinfestigern auf Basis Kieselsäureester ohne den Zusatz von Füllstoffen nicht sinnvoll geschlossen werden können. Bei der Restaurierung solcher Gesteinsoberflächen werden aus diesem Grund - insbesondere wenn es sich um kunsthistorisch wertvolle Oberflächen im figürlichen Bereich handelt - zur Herstellung des kraftschlüssigen Verbundes bzw. zur Schließung auskragender Originaloberflächen Schlämmen, Hinterfüllmassen bzw. Anböschmörtel zur Anwendung gebracht.
Das gezielte Einarbeiten des rein mineralischen Produktes Funcosil Füllstoff A in geeignete Funcosil Steinfestiger dient (gegebenenfalls unter Zugabe weiterer Füllstoffe / Zuschläge) der Herstellung entsprechender Schlämmen, Hinterfüllmassen bzw. Anböschmörtel.

Verarbeitung und Verbrauch
Verarbeitung und Verbrauch richten sich nach der zu lösenden Aufgabenstellung. Die entsprechenden Angaben sind dem Technischen Merkblatt des jeweils als Bindemittel einzusetzenden Funcosil Kieselsäureester-(KSE-)Produktes bzw. einer auf die entsprechende Aufgabenstellung zugeschnittenen Richtrezeptur zu entnehmen.
Da die KSE-gebundenen Materialien direkt nach der Herstellung verarbeitet werden müssen, empfiehlt sich die Herstellung bedarfsgerechter Ansätze.

Lagerfähigkeit:
In geschlossenen Säcken, bei trockener Lagerung mindestens 1 Jahr.

Sicherheit, Ökologie, Entsorgung
Nähere Informationen zur Sicherheit bei Transport, Lagerung und Umgang sowie zu Entsorgung und Ökologie können dem aktuellen Sicherheitsdatenblatt entnommen werden.

Vorstehende Angaben wurden aus unserem Herstellerbereich nach dem neuesten Stand der Entwicklung und Anwendungstechnik zusammengestellt. Da Anwendung und Verarbeitung außerhalb unseres Einflusses liegen, kann aus dem Inhalt des Merkblattes keine Haftung des Herstellers abgeleitet werden.

Über Inhalt des Merkblattes hinausgehende oder abweichende Angaben, bedürfen der schriftlichen Bestätigung durch das Stammwerk.

Es gelten in jedem Falle unsere allgemeinen Geschäftsbedingungen.

Mit Herausgabe dieses Technischen Merkblattes verlieren vorangegangene ihre Gültigkeit.

TM 0571/10.98

Remmers
...schützt Werte am Bau

49624 Löningen
Tel. 05432/83-0
Fax 05432/3985

04849 Bad Düben
Tel. 034243/306-0
Fax 034243/30699

69126 Heidelberg
Tel. 06221/3431-0
Fax 06221/343118

Qualitätssicherungssystem DIN EN ISO 9001

Technisches Merkblatt

Funcosil®
KSE-Füllstoff B

Artikel-Nummer: 0572

Produktbasis:
Quarzpulver. Füllstoff für das Funcosil KSE-Modul-System.

Produktkenndaten im Anlieferungszustand:

Farbton:	weiß
Schüttdichte:	ca. 0,8 kg/l
Stampfdichte (gemäß DIN ISO 787/11):	ca. 0,8 kg/l
Zusammensetzung:	ca. 99% (m/m) Quarz
Lieferform:	2kg Papiersack, 25kg Papiersack

Eigenschaftsprofil:
Quarzmehl aus dem Funcosil-KSE-Modulsystem. Zur Herstellung Kieselsäureester-(KSE-)gebundener Schlämmen, Hinterfüllmassen und Anböschmörtel.
Verwitterungsoberflächen weisen häufig (Mikro-)risse in Dimensionen auf, die mit Steinfestigern auf Basis Kieselsäureester ohne den Zusatz von Füllstoffen nicht sinnvoll geschlossen werden können. Bei der Restaurierung solcher Gesteinsoberflächen werden aus diesem Grund - insbesondere wenn es sich um kunsthistorisch wertvolle Oberflächen im figürlichen Bereich handelt - zur Herstellung des kraftschlüssigen Verbundes bzw. zur Schließung auskragender Originaloberflächen Schlämmen, Hinterfüllmassen bzw. Anböschmörtel zur Anwendung gebracht.
Das gezielte Einarbeiten des rein mineralischen Produktes Funcosil Füllstoff B in geeignete Funcosil Steinfestiger dient (gegebenenfalls unter Zugabe weiterer Füllstoff / Zuschläge) der Herstellung entsprechender Schlämmen, Hinterfüllmassen bzw. Anböschmörtel.

Verarbeitung und Verbrauch:
Verarbeitung und Verbrauch richten sich nach der zu lösenden Aufgabenstellung. Die entsprechenden Angaben sind dem Technischen Merkblatt des jeweils als Bindemittel einzusetzenden Funcosil Kieselsäureester-(KSE-)Produktes bzw. einer auf die entsprechende Aufgabenstellung zugeschnittenen Richtrezeptur zu entnehmen.
Da die KSE-gebundenen Materialien direkt nach der Herstellung verarbeitet werden müssen, empfiehlt sich die Herstellung bedarfsgerechter Ansätze.

Lagerfähigkeit:
In geschlossenen Säcken, bei trockener Lagerung mindestens 1 Jahr.

Sicherheit, Ökologie, Entsorgung
Nähere Informationen zur Sicherheit bei Transport, Lagerung und Umgang sowie zu Entsorgung und Ökologie können dem aktuellen Sicherheitsdatenblatt entnommen werden.

Vorstehende Angaben wurden aus unserem Herstellerbereich nach dem neuesten Stand der Entwicklung und Anwendungstechnik zusammengestellt. Da Anwendung und Verarbeitung außerhalb unseres Einflusses liegen, kann aus dem Inhalt des Merkblattes keine Haftung des Herstellers abgeleitet werden.

Über Inhalt des Merkblattes hinausgehende oder abweichende Angaben, bedürfen der schriftlichen Bestätigung durch das Stammwerk.

Es gelten in jedem Falle unsere allgemeinen Geschäftsbedingungen.
Mit Herausgabe dieses Technischen Merkblattes verlieren vorangegangene ihre Gültigkeit.

TM 0572/10.98

Remmers
...schützt Werte am Bau

49624 Löningen
Tel. 05432/83-0
Fax 05432/3985

04849 Bad Düben
Tel. 034243/306-0
Fax 034243/30699

69126 Heidelberg
Tel. 06221/3431-0
Fax 06221/343118

Qualitätssicherungssystem DIN EN ISO 9001

Stoffdaten

MILLISIL-Mehle

W3 bis W12

MILLISIL-Mehle werden durch eisenfreie Mahlung mit nachfolgender Windsichtung aus aufbereitetem Quarzsand mit über 99 % Siliciumdioxid hergestellt.

Typische Korngrößenverteilung und Körnungskennwerte

MILLISIL	W3 F/H/W	W4 H/W	W5 W	W6 F/H/W	W8 F/H/W	W10 F/W	W11 H	W12 F/W
Obere Korngröße $d_{95\%}$ in µm	220	190	160	120	90	70	55	50
Mittlere Korngröße $d_{50\%}$ in µm	90	65	50	40	30	20	22	16
Lichte Maschenweite in µm	**Alpine-Luftstrahlsieb** (Rückstand in Gew.-%)							
400	0,1	0,1						
315	0,3	0,2	0,1	0,1				
200	7	4	1	0,5	0,1			
160	18	10	5	1	0,5	0,1		
125	32	22	14	4	1	0,5	0,1	0,1
100	42	30	23	7	3	1	0,5	0,5
63	62	51	42	28	15	6	3	2
40	75	66	57	49	34	21	18	12
Korndurchmesser in µm	**Cilas Granulometer** (Rückstand in Vol.-%)							
32	71	70	59	52	48	38	33	22
16	82	80	72	71	68	63	62	50
8	90	88	85	81	80	78	76	69
6	92	91	87	85	83	82	80	75
4	94	93	90	88	87	86	85	81
2	97	96	95	94	93	92	91	90

Fremdüberwacht nach DIN 4226 **HS-Nr.: 2506 1000**

F: Werk Frechen **H: Werk Haltern** **W: Werk Weferlingen**

Quarzwerke GmbH
Postfach 1780
D-50207 Frechen

Kaskadenweg 40
D-50226 Frechen

Telefon 02234/101-0
Telefax 02234/101-400
Telex 889 285 qwvk

Quarzwerke Stoffdaten — MILLISIL-Mehle W3 bis W12

Typische physikalische Eigenschaften

Dichte (DIN ISO 787-10)	2,65 g/ml
pH-Wert (DIN ISO 10390)	7
Härte nach Mohs	7
Linearer Ausdehnungskoeffizient α 20 - 300°C (DIN 51045)	$14 * 10^{-6} * K^{-1}$

Typische chemische Analyse (Gew.-%)

SiO_2	99
Al_2O_3	0,3
Fe_2O_3	0,05
CaO + MgO	0,1
$Na_2O + K_2O$	0,2
Glühverlust 1000° C (DIN EN ISO 3262-7)	0,25
Feuchtigkeit (DIN ISO 787-2) (werksfrische Ware)	0,1

Typische körnungsabhängige Eigenschaften

MILLISIL	W3 F/H/W			W4 H/W		W5 W	W6 F/H/W			W8 F/H/W			W10 F/W		W11 H	W12 F/W	
Schüttdichte (g/cm³) DIN 53466	1,35			1,3		1,25	1,2			1,1			1,0		0,95	0,9	
Stampfvolumen (ml/100g) DIN ISO 787-11	52			56		58	60			65			72		73	75	
Spez. Oberfläche																	
DIN 66126-2 - Blaine (cm²/g)	1000			1300		1600	1800			2200			2800		3000	3800	
DIN 66132 - BET (m²/g)	0,3			0,4		0,45	0,5			0,6			0,8		0,8	0,9	
Ölzahl (g/100g) DIN ISO 787-5	14			15		15	16			18			19		20	21	
Normfarbwert DIN 5033	F	H	W	H	W	W	F	H	W	F	H	W	F	W	H	F	W
X	62	72	78	73	74	82	71	74	83	73	76	85	75	86	81	77	87
Y	64	75	77	76	78	80	73	77	81	75	79	83	77	84	82	79	85
Z	69	82	69	82	79	71	79	81	74	82	82	76	86	78	91	89	80

Alle MILLISIL-Sorten entsprechen DIN 55926, Qualitätsgruppe A.

MILLISIL-Mehl wird aus aufbereiteten natürlichen Rohstoffen hergestellt. Alle Daten sind Richtwerte mit vorkommens- und produktionsbedingter Toleranz. Sie dienen nur zur Beschreibung und stellen keine zugesicherten Eigenschaften dar. Gröbere Anteile sind in Spuren möglich.

Dem Benutzer obliegt es, die Tauglichkeit für seinen Verwendungszweck zu prüfen. Wir geben auf Wunsch gerne Auskunft über Toleranzbreiten und anwendungstechnische Erfahrungen. Verkäufe erfolgen gemäß unseren Verkaufs- und Lieferbedingungen.

Technische Daten
Technical Data

Plastorit Naintsch

Das 3-Komponenten Mineral
The 3-Component Mineral

Luzenac
NAINTSCH

Plastorit Naintsch

Das 3-Komponenten Mineral
The 3-Component Mineral

1. Glimmer
- elastisches Plättchen
- UV-reflektierend
- hoch temperatur-beständig
- Härte: 2

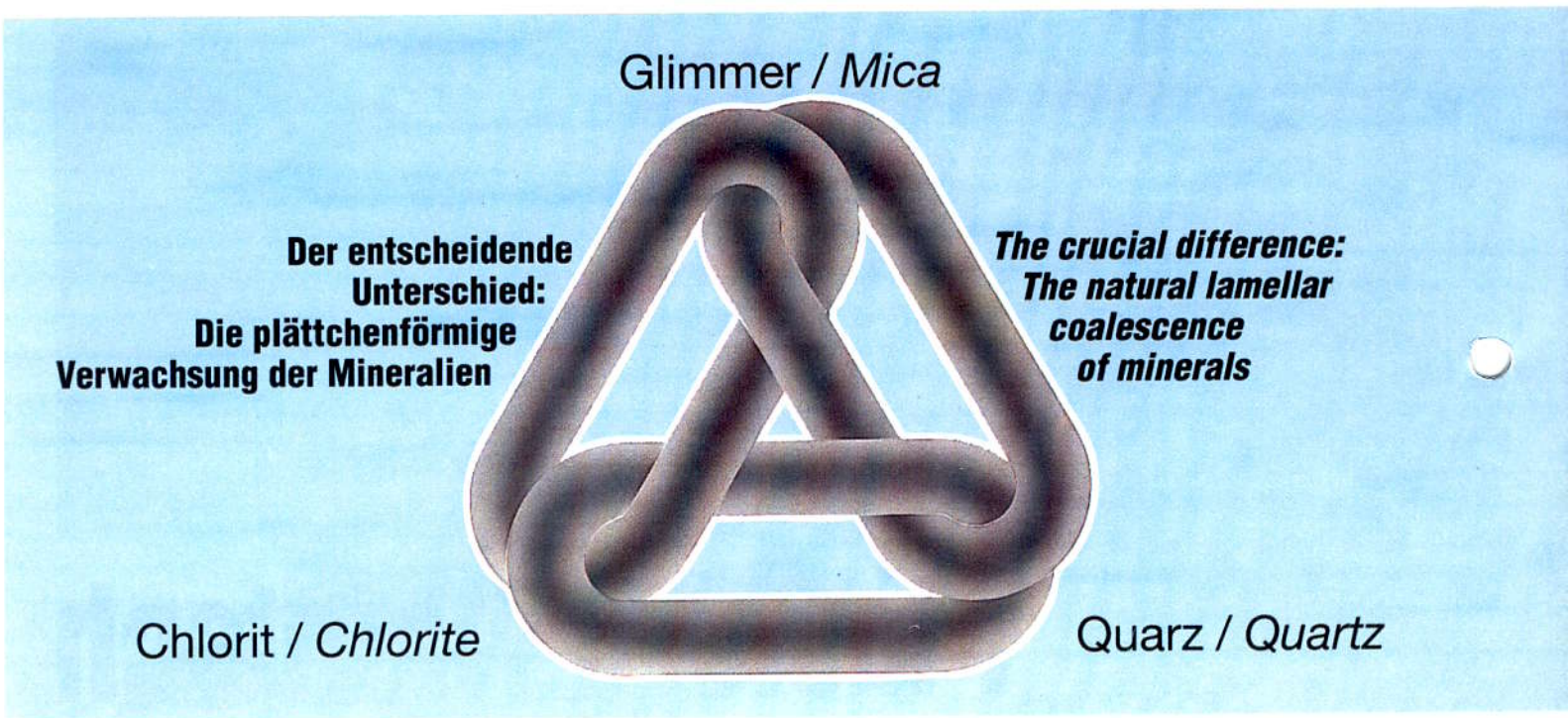
2. Chlorit
- plättchenförmig
- hydrophob
- hoch temperatur-beständig
- Härte: 2

3. Quarz
- kubische Teilchenform
- leicht dispergierbar
- hoch temperatur-beständig
- Härte: 7

1. Mica
- *lamellar structure*
- *UV-reflecting*
- *high temperature resistant*
- *hardness: 2*

2. Chlorite
- *lamellar structure*
- *hydrophobic*
- *high temperature resistant*
- *hardness: 2*

3. Quartz
- *cubic particle shape*
- *easy dispersion*
- *high temperature resistant*
- *hardness: 7*

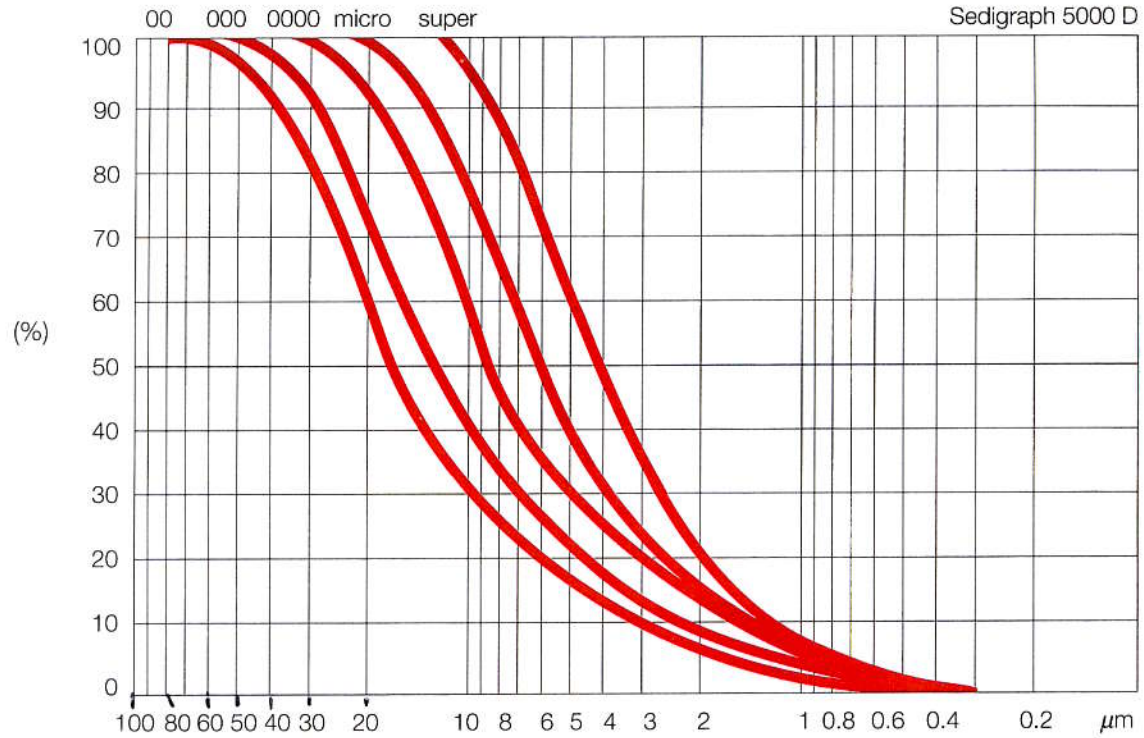


Chemische + physikalische Daten / *Chemical + Physical Data*

SiO_2	Al_2O_3	MgO	FeO	K_2O
58.0%	20.0%	12.0%	3.0%	2.0%

Glühverlust / *loss on ignition*	(%)	(1050° C, 1 h)	4.5
Feuchtigkeit ab Werk / *moisture ex works*	(%)	(DIN ISO 787/2)	max. 0.5
Dichte / *density*	(%)	(DIN ISO 787/10)	kg/dm³ 2.75
pH Wert / *pH value*		(DIN ISO 787/9)	9.5
Säurelöslichkeit / *Acid solubility*	(%)	(HCL 1%, 20° C, 20 min)	1.5

Kornverteilung /
Particle distribution



Siebanalyse / *sieve analysis*
Rückstand / *residue*
in % auf
on

DIN 66 165
DIN 66 165

(µm)	1	0.5	0.25	0	00	000	0000	M	S
1000	2								
500	72	2							
250	98	63	2						
125		98	24	2					
80			52	6	2				
50			72	19		2			
30			85	40			2		
20			90	61				2	
12				83					2

Hellbezugswert / *whiteness* (DIN 5033) FMY/C1			77,5	78,5	79,5	81,0	82,0	83,0
Stampfdichte / *tamped density* (DIN ISO 787/11) kg/dm³	/	/	1,15	1,08	0,99	0,90	0,85	0,77
Schüttdichte / *bulk density* (DIN 52110) kg/dm³	1,0	0,98	0,92	0,86	0,83	0,73	0,67	0,65	0,62
Ölzahl / *oil absorption* (g/100 g) (DIN ISO 787/5)	/	/	/	22	23	24	25	29	31
Spez. Oberfläche / *specific surface* Blaine 10	/	/	/	6300	7300	8500	10000	12000	15000

Diese technischen Angaben stellen mit Sorgfalt ermittelte Durchschnittswerte der Produktion dar. Sie entbinden nicht von einer Eingangskontrolle und sind keine Garantiewerte. Verfahrenstechnisch bedingte Änderungen in der Produktion behalten wir uns vor. Mit dieser Ausgabe verlieren ältere Datenblätter ihre Gültigkeit.

These data are average values obtained from the statistical processing of production controls. They are offered in good faith but are not to be considered as binding and do not exempt the user from controlling the product upon delivery. We reserve the right to modify the manufacturing process of this product. This edition annuls and replaces all previous editions of this ducument.

Plastorit Naintsch

Plastorit Naintsch verbessert...
- Wetterbeständigkeit
- Oberflächenhärte
- Abriebfestigkeit
- Wasch- und Scheuerbeständigkeit
- Elastizität
- Haftung
- Applikation

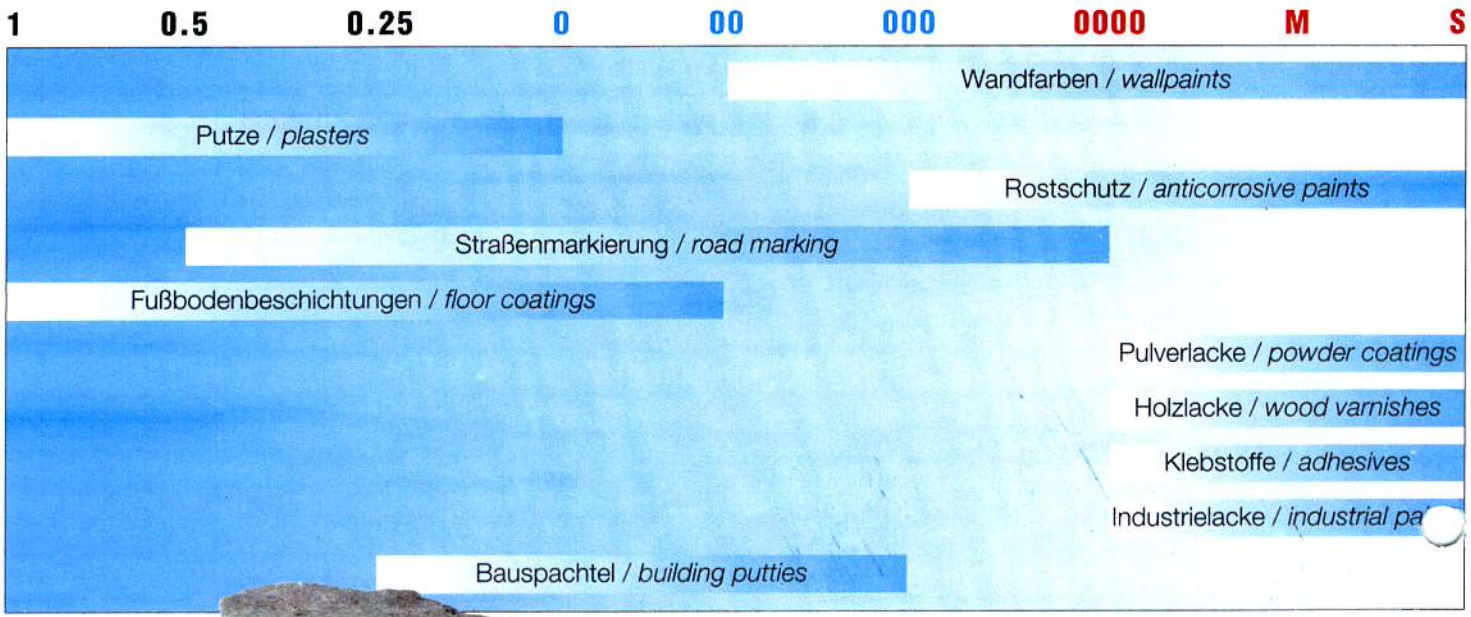
Plastorit Naintsch verhindert...
- Risse durch Armierung
- harten Bodensatz
- Kreidung in Volltonfarben

...durch
- inertes Verhalten
- Plättchenform
- Dispergierbarkeit
- geringe Strukturviskosität
- geringen Bindemittelbedarf

Plastorit Naintsch increases...
- *weather resistance*
- *hardness of the surface*
- *abrasion resistance*
- *wash- and scrub-resistance*
- *elasticity*
- *adhesion*
- *application*

Plastorit Naintsch prevents...
- *film cracking*
- *hard sediment*
- *chalking of deep colour paints*

...due to
- *inert behaviour*
- *lamellar structure*
- *dispersibility*
- *low structure viscosity*
- *low resin demand*



Glimmer
Mica

Chlorit
Chlorite

Quarz
Quartz

Weitere Auskünfte erteilt unsere anwendungstechnische Abteilung.

For further information please contact our technical service department.

Luzenac NAINTSCH

NAINTSCH MINERALWERKE GmbH, A 8045 Graz-Andritz, Austria, Statteggerstraße 60, PO Box 35, Tel. (Austria)-(0)316-69 36 50, Telex 31 12 23, Telefax (Austria)-(0)316-69 36 55.

ISO 9002 APPROVED

Edition 6/95

Luzenac EUROPE

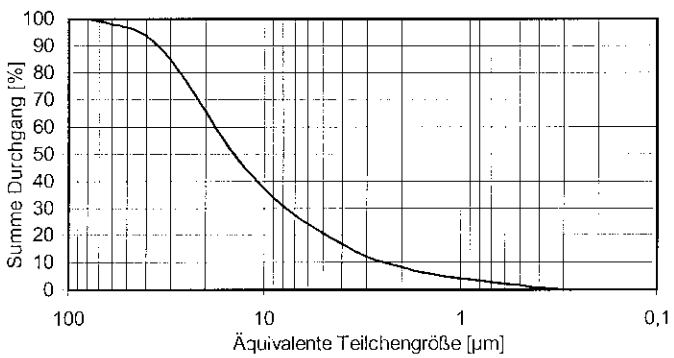
B.P. 1162 - 31036 Toulouse cedex 1 - France - Tel.: +33 5 61 50 20 20 - Fax: +33 5 61 40 06 23 - www.luzenac.com

DATENBLATT

PLASTORIT® 00

HELLIGKEIT	Minolta CR-300 Lichtart D65/2°	Y CIE	L*	79,5 91,4
			a*	-0.5
			b*	3,4
KORNGRÖSSEN VERTEILUNG	Siebrückstand (Alpine Luftstrahlsieb)	> 80 µm		0,3 %
	Sedigraph 5100	Mittlere Teilchengröße	d50	14,2 µm

Sedimentationsanalyse



MINERALOGIE		Glimmer / Quarz / Chlorit	100 %
CHEMISCHE ANALYSE	Colorimetrie Atomabsorptionsspektroskopie	SiO_2	64,0 %
		MgO	10,0 %
		Al_2O_3	16,5 %
		Fe_2O_3	2,5 %
		K_2O	2,0 %
		Glühverlust bei 1050 °C	4,5 %
	ISO 787/2	Feuchte (105 °C)	≤0,5 %
SPEZIFISCHE *OBERFLÄCHE*	DIN 66131/2	BET	3,0 m^2/g
		Blaine	*7300*
PHYSIKALISCHE DATEN	ISO 787/10	Dichte	2.78 g/cm^3
	ISO 787/11	Stampfdichte	1,1 g/cm^3
	EN 1097/3	Schüttdichte	0,8 g/cm^3
	Mohs´sche Härte Skala	Glimmer / Chlorit	2
		Quarz	7
	ISO 787/9	PH	9.5
	ISO 787/5	Ölzahl	27 ml/100g

Diese Angaben stellen mit Sorgfalt ermittelte Durchschnittswerte dar. Sie sind keine Garantiewerte.

Luzenac EUROPE

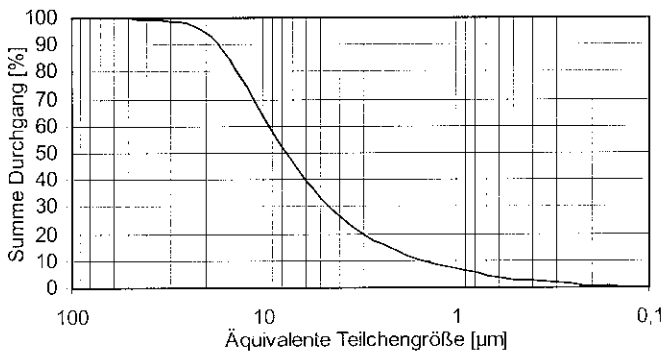
B.P. 1162 - 31036 Toulouse cedex 1 - France - Tel. : +33 5 61 50 20 20 - Fax : +33 5 61 40 06 23 - www.luzenac.com

DATENBLATT

PLASTORIT® 0000

HELLIGKEIT	Minolta CR-300 Lichtart D65/2°	Y CIE		82,0 L* 92,5 a* -0.4 b* 3,2
KORNGRÖSSEN VERTEILUNG	Siebrückstand (Alpine Luftstrahlsieb)	> 32 µm		0,5 %
	Sedigraph 5100	Mittlere Teilchengröße	d50	7,5 µm

Sedimentationsanalyse



MINERALOGIE		Glimmer / Quarz / Chlorit	100 %
CHEMISCHE ANALYSE	Colorimetrie Atomabsorptionsspektroskopie	SiO_2 MgO Al_2O_3 Fe_2O_3 K_2O Glühverlust bei 1050 °C	64,0 % 10,0 % 16,5 % 2,5 % 2,0 % 4,5 %
	ISO 787/2	Feuchte (105 °C)	≤0,5 %
SPEZIFISCHE OBERFLÄCHE	DIN 66131/2	BET Blaine	4,5 m^2/g 10000
PHYSIKALISCHE DATEN	ISO 787/10 ISO 787/11 EN 1097/3 Mohs´sche Härte Skala ISO 787/9 ISO 787/5	Dichte Stampfdichte Schüttdichte Glimmer / Chlorit Quarz pH Ölzahl	2.78 g/cm^3 0,90 g/cm^3 0,65 g/cm^3 2 7 9.5 29 ml/100g

COA/LNMW/DE/31-07-01

Diese Angaben stellen mit Sorgfalt ermittelte Durchschnittswerte dar. Sie sind keine Garantiewerte.

Luzenac EUROPE

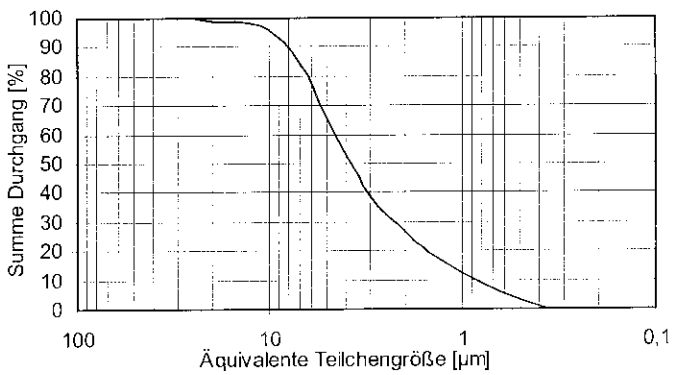
B.P. 1162 - 31036 Toulouse cedex 1 - France - Tel.: +33 5 61 50 20 20 - Fax: +33 5 61 40 06 23 - www.luzenac.com

DATENBLATT

PLASTORIT® SUPER

HELLIGKEIT	Minolta CR-300 Lichtart D65/2°	Y CIE	L*	84,0 93,4
			a*	-0.4
			b*	2,9
KORNGRÖSSEN VERTEILUNG	Siebrückstand (Alpine Luftstrahlsieb)	> 15 µm		0,4 %
	Sedigraph 5100	Mittlere Teilchengröße	d50	3,7 µm

Sedimentationsanalyse



MINERALOGIE		Glimmer / Quarz / Chlorit	100 %
CHEMISCHE ANALYSE	Colorimetrie Atomabsorptionsspektroskopie	SiO_2	64,0 %
		MgO	10,0 %
		Al_2O_3	16,5 %
		Fe_2O_3	2,5 %
		K_2O	2,0 %
		Glühverlust bei 1050 °C	4,5 %
	ISO 787/2	Feuchte (105 °C)	≤ 0,5 %
SPEZIFISCHE OBERFLÄCHE	DIN 66131/2	BET	6,5 m^2/g
		Blaine	15000
PHYSIKALISCHE DATEN	ISO 787/10	Dichte	2.78 g/cm^3
	ISO 787/11	Stampfdichte	0,8 g/cm^3
	EN 1097/3	Schüttdichte	0,6 g/cm^3
	Mohs´sche Härte Skala	Glimmer / Chlorit	2
		Quarz	7
	ISO 787/9	pH	9.5
	ISO 787/5	Ölzahl	33 ml/100g

Diese Angaben stellen mit Sorgfalt ermittelte Durchschnittswerte dar. Sie sind keine Garantiewerte.

B.P. 1162 - 31036 Toulouse cedex 1 - France - Tel. : +33 5 61 50 20 20 - Fax : +33 5 61 40 06 23 - www.luzenac.com

SICHERHEITSDATENBLATT

Gemäß Kommission Verordnung 91/155/EEC
Und zwei Änderungsanträge: 93/112/EC & 2001/58/EC

1 – PRODUKT - FIRMENBEZEICHNUNG

HANDELSNAME :	**PLASTORIT® 0000**
PRODUKT ANWENDUNG:	Funktionelles Mineral
LIEFERANT :	LUZENAC NAINTSCH
ADRESSE :	Statteggerstraße 60, A-8045 Graz AUSTRIA
TELEFON :	(43)-316-693650
TELEKOPIE :	(43)-316-693655

2 - ZUSAMMENSETZUNG/ ANGABEN ZU BESTANDTEILEN

SUBSTANZ : natürliches Mineralpulver: Verwachsung von Chlorit, Glimmer und Quarz.

	N° CAS	N° EINECS	Konzentration
Chlorit	1318-59-8	215-285-9	ca. 33%
Glimmer	12001-26-2	nich registriert	ca. 33%
Quarz	14808-60-7	238-878-4	ca. 33%

3 – MÖGLICHE GEFAHREN

Einatmen: Fortgesetztes und/oder massives Einatmen von lungengängiger kristalliner Kieselsäure (Quarz) kann zu Silikose führen.
Augenkontakt: Das Pulver führt bei massivem Eintritt zu vorübergehender Reizung.

4 - ERSTE HILFEMASSNAHMEN

Einatmen: Unfallhaftes, extremes Einatmen kann zu Husten und schwerem Atmen führen. Opfer an die frische Luft und zum Arzt bringen.
Augenkontakt: Mit viel reinem Wasser spülen.
Verschlucken: Es sind keine negativen Effekte bekannt.

5 – MASSNAHMEN ZUR BRANDBEKÄMPFUNG

Nicht brennbar, nicht explosiv. Alle Löschmittel am Brandplatz einsetzbar. Keine Gefährdung des Löschpersonales oder der Umwelt durch Brandeinwirkung auf das Produkt.

B.P. 1162 - 31036 Toulouse cedex 1 - France - Tel. : +33 5 61 50 20 20 - Fax : +33 5 61 40 06 23 - www.luzenac.com

6 - MASSNAHMEN BEI UNBEABSICHTIGTER FREISETZUNG

Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen:
Staubentwicklung vermeiden. Bei starker Staubentwicklung Staubmaske verwenden.
Umweltschutzmaßnahmen: nicht notwendig
Verfahren zur Reinigung:
Mit Industriestaubsauger aufnehmen, damit Staubentwicklung vermieden wird. Aufsprühen von Wasser und Wegspülen ist ebenfalls möglich.

7 - HANDHABUNG UND LAGERUNG

Handhabung: Staubentwicklung vermeiden. An Plätzen mit Staubentwicklung für entsprechende Belüftung bzw. Absaugung sorgen. Im Falle einer unzureichenden Belüftung passende Staubmaske tragen. Ideal ist die Naßverarbeitung oder die Verwendung von Maschinen, die unter Unterdruck betrieben werden.
Böden, Arbeitsplätze, Stiegen und Handläufe trocken und sauber halten.

Lagerung: Produkt trocken lagern, Behälter geschlossen halten un die Säcke so lagern, daß unbeabsichtigte Beschädigungen vermieden werden.
Alle üblichen Packstoffe anwendbar.
Für sichere Staubabscheidung bei der Silobefüllung sorgen.

8 - EXPOSITIONSÜBERWACHUNG / PERSÖNLICHER SCHUTZ

- **EXPOSITIONSGRENZWERTE:**
  Die Staubkonzentration am Arbeitsplatz sollte entsprechend den regionalen Vorschriften kontrolliert werden (VME, TLV, MAC oder MAK Werte).

- **EXPOSITIONSÜBERWACHUNG:**

  A. Expositionsüberwachung am Arbeitsplatz
  An den Staubquellen geeignete Belüftungs- bzw. Absaugeinrichtungen zur Einhaltung des MAK-Wertes installieren.
  Atemschutz: Bei Überschreitung des MAK-Wertes Staubmaske mit Partikelfilter P1 anlegen (EN149).
  Handschutz: nicht notwendig; Personen mit trockener Haut sollten Schutzhandschuhe tragen.
  Augenschutz: Bei extremer Staubbelastung sollten Brillen mit seitlichen Schutzschildern verwendet werden.

  B. Expositionsüberwachung im Bereich Umwelt
  Keine spezielle Anforderung. Es existiert kein Bericht über eine Ökotoxizität von Quarz (Quarzsand), Chlorit oder Glimmer, welche natürlich vorkommende Substanzen sind, die auf der ganzen Erde verbreitet sind.

B.P. 1162 - 31036 Toulouse cedex 1 - France - Tel. : +33 5 61 50 20 20 - Fax : +33 5 61 40 06 23 - www.luzenac.com

9 - PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

AGGREGATZUSTAND :	helles Pulver
GERUCH :	geruchlos
pH :	pH = 9,5 (10% ige Suspension in Wasser)
SCHMELZPUNKT :	> 1300°C
ENTZÜNDLICHKEIT :	nicht entzündlich
EXPLOSIONSGEFAHR :	keine
BRANDFÖRDERNDE EIGENSCHAFTEN:	keine
STOFFDICHTE:	2750 kg/m^3
LÖSLICHKEIT IN WASSER :	< 0,1%

Schüttdichte der verschieden feinen Plastorittypen (kg/m³): 860

10 – STABILITÄT UND REAKTIVITÄT

Substanz ist bei normalen Temperatur- und Druckbedingungen beständig.
Mögliche gefährliche Reaktionen: keine
Gefährliche Zersetzungsprodukte: keine

11 - ANGABEN ZUR TOXIKOLOGIE

Keine akuten toxischen Wirkungen bekannt.

Fortgesetztes und/oder massives Einatmen von lungengängigem Quarz kann zu Silikose führen, eine Lungenfibrose, ausgelöst durch die Ablagerung von feinen, lungengängigen Quarzteilchen in den Alveolen.

Die IARC (International Agency for Research on Cancer) glaubt, daß das Einatmen von Quarzstaub an Arbeitsplätzen beim Menschen Krebs verursachen kann. Es wurde jedoch dazugefügt, daß dies weder für alle Arbeitsplatzbedingungen noch für alle Arten von Quarz zutreffend ist.

Vieles deutet darauf hin, daß ein erhöhtes Krebsrisiko nur für Personen besteht, die bereits Silikose haben.
Nach dem gegenwärtigen Wissenstand bietet die Einhaltung der gesetzlichen Staubgrenzwerte einen ausreichenden Schutz vor Silikose.

Literatur:

"Silica and Silica-Induced Lung Diseases", V.Castranova, V.Vallyathan & W.E. Wallace (eds.) 1996. CRC Press, pp 418

"Silica, some silicates, coal dust and para-aramid fibrils", IARC monograph on the evaluation of carcinogenic risk to humans, Volume 68, 1997, pp. 41-242

"Scientific opinion on the health effects of airborne crystalline silica", A. Pilkington, W. MacLaren, A. Searl, JMG. Davis, JF. Hurley & CA. Soutar, Institute of Occupational Medicine Report TM/96/08, 1996, pp 63

"Epidemiological evidence on the carcinogenicity of silica: factors in scientific judgement", CA. Soutar, A. Robertson, BG. Miller & A. Scarl, Institute of Occupational Medicine Report, TM/97/09, 1997, pp 34

B.P. 1162 - 31036 Toulouse cedex 1 - France - Tel. : +33 5 61 50 20 20 - Fax : +33 5 61 40 06 23 - www.luzenac.com

12 – ANGABEN ZUR ÖKOLOGIE

Nicht wassergefährdend nach MAK Liste.

13 – HINWEISE ZUR ENTSORGUNG

Produktreste / ungebrauchtes Produkt
Kann als ungefährlicher Abfall unter Beachtung der örtlichen behördlichen Vorschriften auf Hausmülldeponien entsorgt werden.
Generell sollte eine Wiederverwendung der Entsorgung vorgezogen werden.

Packstoffe
Keine besonderen Vorschriften. Kommt es bei der Manipulation der Packstoffe durch Produktreste zu Staubentwicklung, dann sollte unbedingt eine Staubmaske getragen werden.

14 - ANGABEN ZUM TRANSPORT

Keine speziellen Vorsichtsmaßnahmen, wie sie die Verordnung für den Transport von gefährlichen Gütern vorsieht, notwendig.
Staubentwicklung vermeiden.

15 - VORSCHRIFTEN

Die in den einzelnen Ländern für die Belegschaft erlaubten Expositionsgrenzwerte (Siehe Punkt 8) beachten.
Quarz, Glimmer und Chlorit wurden von der EU nicht in der Verordung für gefährliche Substanzen und Zubereitungen eingestuft.

16 – SONSTIGE ANGABEN

Die Angaben im Sicherheitsdatenblatt geben den derzeitigen Kenntnisstand über unsere Produkte wieder. Das Sicherheitsdatenblatt dient der Produktbeschreibung im Hinblick auf den Umgang und auf die sicherheitsrelevanten Erfordernisse. Es stellt keine Produktspezifikation dar.

Dieses Sicherheitsdatenblatt ist maschinell erstellt worden und somit nicht unterschrieben.

SICHERHEITSDATENBLATT
gemäß 91/155/EWG

Künstlerbedarf,
Verlag, Fachbuchhandlung

KREMER PIGMENTE

QUARZMEHL, mittel 58610

Ausgabe: 01.12.1993

1. STOFF-/ ZUBEREITUNGS- UND FIRMENBEZEICHUNG

Angaben zum Produkt:
Handelsname: Quarzmehl, mittel, ca. 44 µ
Artikelnummer: 58610

Hersteller/Lieferant: Fa. Dr. Kremer, D-88317 Aichstetten
Tel. +49-7565-91120 Fax. +49-7565-1606

2. ZUSAMMENSETZUNG / ANGABEN ZU DEN BESTANDTEILEN

Chemische Charakterisierung: SiO_2, Siliciumdioxid
Naturprodukt, Quarz

CAS-Nr.: 14808-60-7
EINECS-Nr.: 2388784

3. MÖGLICHE GEFAHREN

Keine besondere Gefährdung.

4. ERSTE-HILFE-MAßNAHMEN

Nach Einatmen: Abhusten
Nach Hautkontakt: Mit Wasser abwaschen.
Nach Augenkontakt: Mt reinem Wasser spülen, evtl. Arzt konsultieren.
Nach Verschlucken: Keine besonderen Maßnahmen erforderlich.

5. MAßNAHMEN ZUR BRANDBEKÄMPFUNG

Nicht zutreffend.

6. MAßNAHMEN BEI UNBEABSICHTIGTER FREISETZUNG

Schutzmaßnahmen/Personen: Nicht zutreffend.
Schutzmaßnahmen/Umwelt: Nicht zutreffend.
Verfahren zur Reinigung/
Aufnahme: Mechanisch unter Staubvermeidung aufnehmen, mit Wasser entfernen.

Dr. Georg Kremer, Dipl.-Chemiker, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu,
Telefon +49 (0) 75 65 / 10 11, 9 11 20, 9 11 40, Telefax +49 (0) 75 65 / 16 06
kremer-pigmente@t-online.de, www.kremer-pigmente.com

EG-Tax No.: DE 147364259 Steuer-Nr. 91193-59418
Bankverbindung: Postgirokonto Stuttgart (BLZ 600 100 70), Konto-Nr. 0200 710 703

QUARZMEHL, mittel 58610

Ausgabe: 01.12.1993

7. HANDHABUNG UND LAGERUNG

Handhabung: Staubentwicklung vermeiden.

Lagerung: Papiersäcke trocken lagern.

8. EXPOSITIONSBEGRENZUNG UND PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG

Zusätzliche Hinweise zur Gestaltung technischer Anlagen:
Ggf. Absaugvorrichtungen erforderlich.

Bestandteile mit arbeitsplatzbezogenen, zu überwachenden Grenzwerten:
Quarz ist als silikoseerzeugender Stoff bekannt. Es gilt zur Zeit ein MAK Wert von 0,15 mg/m^3 (Feinstaub < 5 µm) (TRGS 900).

Hygienemaßnahmen am Arbeitsplatz:	Körperteile mit Wasser reinigen, Kleider absaugen.
Schutzmaßnahmen:	
- Atemschutz:	Feinstaubmaske P2 (bei Überschreitung des MAK Wertes)
- Augenschutz:	nicht zutreffend
- Haut- und Körperschutz:	nicht zutreffend

9. PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

Form:	Pulver
Farbe:	weiß
Geruch:	nicht zutreffend

pH-Wert im Lieferzustand:	nicht zutreffend
pH-Wert bei 100g/l Wasser, 20°C:	ca. 7
Zustandsänderung:	Sp. > 1700°C
Flammpunkt:	nicht zutreffend
Dichte (22°C):	2.65 g/cm^3
Schüttdichte:	0,9 - 1,2 t/m^3
Löslichkeit:	unlöslich
Viskosität in Wasser:	abhängig von Feststoff-Masseanteilen

10. STABILITÄT UND REAKTIVITÄT

Zu vermeidende Stoffe: Keine bekannt.
Gefährliche Zersetzungsprodukte: Keine bekannt.

Dr. Georg Kremer, Dipl.-Chemiker, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu,
Telefon +49 (0) 75 65 / 10 11, 9 11 20, 9 11 40, Telefax +49 (0) 75 65 / 16 06
kremer-pigmente@t-online.de, www.kremer-pigmente.com

EG-Tax No.: DE 147364259 Steuer-Nr. 91193-59418
Bankverbindung: Postgirokonto Stuttgart (BLZ 600 100 70), Konto-Nr. 0200 710 703

QUARZMEHL, mittel 58610

Ausgabe: 01.12.1993

11. ANGABEN ZUR TOXIKOLOGIE

Nicht zutreffend.

12. ANGABEN ZUR ÖKOLOGIE

Keine ökologisch negativen Effekte bekannt, Entfernung aus dem Abwasser durch Sedimentation.

13. HINWEISE ZUR ENTSORGUNG

Entsorgung / Produkt:	Kieselsäure- und Quarzabfälle (Bodenaushub).
Abfallschlüssel-Nr.:	31442/31411
Ungereinigte Verpackung:	Altpapierverwertung.

14. ANGABEN ZUM TRANSPORT

Kein Gefahrgut.

15. VORSCHRIFTEN

Kennzeichnung: nicht kennzeichnungspflichtig

Nationale Vorschriften
- TRGA 508 (Silikogener Staub)
- Wassergefährdungsklasse: WGK 0 (Selbsteinstufung)
- TA-Luft: Allgemeiner Staubgrenzwert 50 mg/m^3

16. SONSTIGE ANGABEN

Mit den vorstehenden Angaben, die dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und Erfahrungen entsprechen, wollen wir unser Produkt im Hinblick auf etwaige Sicherheitserfordernisse beschreiben, verbinden damit jedoch keine Eigenschaftszusicherungen und Qualitätsbeschreibungen.

Dr. Georg Kremer, Dipl.-Chemiker, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu,
Telefon +49 (0) 75 65 / 10 11, 9 11 20, 9 11 40, Telefax +49 (0) 75 65 / 16 06
kremer-pigmente@t-online.de, www.kremer-pigmente.com

EG-Tax No.: DE 147364259 Steuer-Nr. 91193-59418
Bankverbindung: Postgirokonto Stuttgart (BLZ 600 100 70), Konto-Nr. 0200 710 703

Stoffdaten

SIKRON-Feinstmehl

SGL 300

SIKRON-Feinstmehl SGL 300 wird durch eisenfreie Mahlung mit nachfolgender Windsichtung aus aufbereitetem Quarzsand mit über 99 % Siliciumdioxid hergestellt.

Typische Korngrößenverteilung und Körnungskennwerte

SIKRON	SGL300
Obere Korngröße $d_{95\,\%}$ in µm	30
Mittlere Korngröße $d_{50\,\%}$ in µm	9
Korndurchmesser in µm	**Cilas-Granulometer** (Rückstand in Vol.-%)
64	1
32	2
16	26
12	45
8	55
6	63
4	72
2	86

Fremdüberwacht nach DIN 4226

HS-Nr.: 2506 1000

Sand- und Tonwerk Walbeck GmbH
Schwarzer Weg
D-39356 Weferlingen
Telefon: 0 53 57/972-0
Telefax: 0 53 57/972-283

Typische physikalische Eigenschaften

Dichte	(DIN ISO 787-10)	2,65 g/ml
pH-Wert	(DIN 19684)	7
Linearer Ausdehnungskoeffizient α 20 – 300° C	(DIN 51045)	$14 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$

Typische chemische Analyse (Gew.-%)

SiO_2	99
Al_2O_3	0,2
Fe_2O_3	0,03
CaO + MgO	0,1
$Na_2O + K_2O$	0,2
Glühverlust 1000° C (DIN 55919)	0,2
Feuchtigkeit (ISO 787-2) (werksfrische Ware)	0,1

Typische körnungsabhängige Eigenschaften

SIKRON		SGL300
Schüttdichte DIN 53468	(g/cm³)	0,72
Stampfvolumen DIN ISO 787-11	(ml/100g)	90
Spez. Oberfläche DIN 66127 – Blaine DIN 66132 – BET	 (cm²/g) (m²/g)	 5500 1,4
Ölzahl DIN ISO 787-5	(g/100g)	20
Normfarbwert DIN 5033 X Y Z		 88 87 82

Alle SIKRON-Feinstmehle entsprechen DIN 55926, Qualitätsgruppe A.

SIKRON-Feinstmehl SGL 300 wird aus aufbereiteten natürlichen Rohstoffen hergestellt. Alle Daten sind Richtwerte mit vorkommens- und produktionsbedingter Toleranz. Sie dienen nur zur Beschreibung und stellen keine zugesicherten Eigenschaften dar. Gröbere Anteile sind in Spuren möglich.

Dem Benutzer obliegt es, die Tauglichkeit für seinen Verwendungszweck zu prüfen. Wir geben auf Wunsch gerne Auskunft über Toleranzbreiten und anwendungstechnische Erfahrungen. Verkäufe erfolgen gemäß unseren Verkaufs- und Lieferbedingungen.

SPHERIGLASS®

Potters Europe
an affiliate of The PQ Corporation

Potters Spheriglass 3000 Vollglasperlen - Technische Spezifikationen

High Performance Polymeradditive mit einzigartigen Vorteilen in Thermoplasten und Duromeren

■ Allgemeine Charakteristik

Spheriglass Vollglasperlen sind leicht, hart und haben eine glatte Oberfläche. Sie zeichnen sich durch eine hervorragende chemische Widerstandsfähigkeit und niedrige Ölabsorption aus. Ausserdem sind sie chemisch inert. Wegen dieser und anderer Eigenschaften können sie für ein weites Anwendungsspektrum eingesetzt werden. Endprodukte, die mit Spheriglass formuliert worden sind, finden sich in der Automobilindustrie, der Chemischen Industrie, in der Elektro- und Elektronikindustrie, der Klebstoff- und der Bodenbeschichtungsindustrie wieder.

Vollglaskugeln bieten grosse Vorteile sowohl bei der Verarbeitung von Kunststoffen als auch in den daraus gefertigten Endprodukten.

■ Vorteile bei der Verarbeitung

Spheriglass Perlen reduzieren die Viskosität des Polymers und erleichtern den Materialfluss in die Formen. Der Füllgrad von Glasfaser gefüllten Kunststoffen sowie deren Verarbeitbarkeit können erheblich verbessert werden.

Wegen ihrer Kugelform verteilen sich die Perlen gleichmässig. Durch Reduzierung des Oberflächen/Volumen Verhältnisses kann der Füllgrad erhöht werden ohne dass dadurch die Viskosität erheblich erhöht wird.

Viskosität von Polyester Giessharzen Glasperlen verglichen mit anderen Füllstoffen

Füllgrad (%)	Viskosität (cP)		
	Potters Perlen	Kalzium Karbonat	Ton
40	760	900	1300
60	1000	1350	3800

Ein weiterer Vorteil im Vergleich zu kantigen Partikeln, der in der sphärischen Form von Spheriglass begründet liegt, ist ein niedrigerer Verschleiss von Maschinenteilen. Ausserdem wird eine gute Schlagzähigkeit der Endprodukte erreicht, da Spheriglass äusserst bruchfest ist.

Abrasion durch eine Stahlscheibe von Spheriglass gefülltem Gelcoat - Carborundum

Spheriglass Füllgrad (%)	Erhöhung des Abrasionswiderstandes
10	15%
15	19%
20	27%
30	45%
40	51%

Da Spheriglass nicht porös ist, wird im Vergleich zu anderen mineralischen Füllstoffen eine reduzierte Ölabsorption erreicht. Durch höhere Füllgrade kann daher eine Kosteneinsparung erzielt werden.

Der Einsatz von Spheriglass kann ausserdem die Temperaturbeständigkeit erhöhen. Dadurch reduziert sich der lineare Ausdehnungskoeffizient und eine bessere thermische Widerstandsfähigkeit wird erreicht .

Gel und Exotherm Data für Polyester Resin Castings

Füllstoff	Füllgrad %	Gel Zeit (min)	Höckst Temp. °C	Gel to Exotherm (min)	Cure Time (min)
Unloaded Resin	0	19	134	22	41
3000, CP.01 Perlen	20	13	132	17	30
	40	13	122	20	33
	60	13	109	23	36
Kalzium Karbonat	20	16	115	23	39
	40	17	100	29	46
	60	19	93	30	49
Ton	20	43	106	43	86
	40	180	35	6+Stunden	--
	60	6Stden	28	6+Stunden	--

■ Produkt Vorteile

Durch die besondere Natur von Spheriglass ergibt sich eine gleichmässige Spannungsverteilung (Anisotropieeffekt) in einem Polymer Compound. In Verbindung mit einem hohen Füllgrad kann daher eine Schwindung der Fertigteile weitgehendst reduziert werden.

Schwindung von Polyester Formen

Material	Schwindung mm/mm	Schwindung %
ungefüllt	0,0153	100
20% Perlen	0,0043	28
40% Perlen	0,0040	26
60% Perlen	0,0040	26
80% Perlen	0,0037	24

Durch die Härte des Materials wird eine harte kratz- und abriebfeste Oberfläche erzielt, während die sphärische Form von Spheriglass ein veinerbessertes Oberflächenfinish der Teile bietet, da hier keine Kanten und Ecken im Füllstoff vorliegen.

■ Spheriglass 3000

Parameter	Einheit	Typischer Wert		Test-Methode
		Min. Durchgang	Max. Durchgang	
Korngrösse				
< 24 µm	%	45	75	CILAS
< 45 µm	%	85	100	
< 63 µm	%	95	100	
< 100 µm	%		100	
Mittelwert	µm	12	26	CILAS
Spezifische Oberfläche	cm^2/g	1000	3500	CILAS

SPHERIGLASS®

Potters Europe
an affiliate of The PQ Corporation

Potters Spheriglass 3000 Vollglasperlen - Technische Spezifikationen

High Performance Polymeradditive mit einzigartigen Vorteilen in Thermoplasten und Duromeren

Mechanische Eigenschaften	Test Methode		Einheit	PA 6		PA 6.6	PBTP	PP
	DIN	ASTM		Glas Perlen (GB)	GB + Fasern	GB	GB	GB
				20 – 50%	10-30 + 10-20%	30-50%	20-30%	10-30%
Zugfestigkeit	53455	D638	N/mm^2	60 –108	120-170	80-100	50-57	20-27
Reissdehnung	53455	D638	%	4-10	3-5	3-9	3-6	25-40
Elastizitätsmodul	53457	D790	N/mm^2	4100-6500	5500-7500	4500-6800	3800-4000	1800-2100
Schlagzähigkeit	53453	D696	KJ/m^2	20-45	25-35	20-40	32-50	32-42
Längen-ausdehnungskoeff.	53752	D150	$K^{-1}x10^{-5}$	2,3-4,5	2,3-4,5	4-7	6-8	4-10

■ Glas Eigenschaften

Spheriglass steht als Standard A Glas (Kalk - Natron Glas) oder für hohe Hydrolysebeanspruchung als E Glas (Borsilikatglas) zur Verfügung.

Zusammensetzung	A Glas	E Glas
SiO_2	72,5%	53,0%
Na_2O	13,7%	0,3%
CaO	9,8%	23,2%
MgO	3,3%	0,42%
AL_2O_3	0,4%	14,1%
FeO/Fe_2O_3	0,2%	0,19%
K_2O	0,1%	0,28%
B_2O_3	0	7,8%
TiO_2	0	0,145%

■ Qualität

Alle Potters Spheriglass Produkte werden gemäss DIN ISO 9002 hergestellt

■ Coatings

Eine bessere Einbindung der Glasperlen in die Polymermatrix wird durch Oberflächenbehandlung (coating) der Perlen erreicht. Je nach Polymer stellt Ihnen Potters die optimal gecoatete Spheriglass Type zur Verfügung. Weitere Informationen entnehmen Sie bitte dem separaten Datenblatt.

Eigenschaften	A Glas	E Glas
Physikalisch		
Brechungsindex	1,51	1,55
Spezifisches Gewicht	2,5 g/cm^3	2,54 g/cm^3
Freier Eisengehalt		
Mechanisch		
Young Modul	6,89 x 10^4 N/mm^2	6,89 x 10^4 N/mm^2
Rigidity Modul	2,96 x 10^4	2,96 x 10^4
Poisson´s rations	0,21	0,21
Chemisch		
pH bei 25° C	11-12	8-9
% Gew. Verlust, 1Stunde kochendes H_2O	11,1	1,7
Elektrisch		
Dielektrizitätskonstante 22° C , 10^6 Hz	6,9	5,8
Verlust Tangente, 22° C, 10^6Hz	0,0085	0,0010
Thermisch		
Erweichungspunkt °C	740	846
Ausdehnungskoeffizient. °C*10^{-7}	90	28

Bitte richten Sie sich um weitere Informationen über die hohen Leistungen von Spheriglass Vollglasperlen und anwendungstechnische Beratung an:

Potters Europe
Postfach 1226
67285 Kirchheimbolanden
Deutschland
Tel: +49 (0) 6352 70 44 0
Fax: +49 (0) 6352 70 44 44

Europäischer Hauptsitz
Tel. +44 (0) 1284 715 400
Fax. +44 (0) 1284 715 401

Email info.de@potterseurope.com
Http://www.pottersbeads.com

Die Empfehlungen in unseren technischen Merkblättern sollen nach bestem Wissen beraten.
Sie entsprechen unserem derzeitigen Kenntnisstand, sind aber unverbindlich und ohne Gewähr.
Der Kunde ist nicht davon entbunden, unsere Produkte auf ihre Eignung für den jeweiligen Anwendungsfall in eigener Verantwortung selbst zu prüfen
Ref: 3-03-005-3-01

Spheriglass ist ein eingetragenes Warenzeichen von Potters Industries. Inc

Technisches Merkblatt
Ausgabe 01.03
Sorten Nr. 10502

ADDIMENT
Fließmittel FM F

Fließmittel für hochwertigen Beton

Anwendungsgebiete

Addiment Fließmittel FM F wird für Beton mit bester Verarbeitbarkeit und sehr guten Gebrauchseigenschaften in Fertigteilwerken und auf Baustellen verwendet.
Addiment Fließmittel FM F eignet sich besonders für

- frühhochfesten Beton
- wasserundurchlässigen Beton
- Beton mit hohem Frost-/Frosttaumittelwiderstand
- Unterwasserbeton
- Sichtbeton
- Leichtbeton
- Beton mit geringem Feinkornanteil

Eigenschaften/Wirkung

Addiment Fließmittel FM F bewirkt

- bessere Dispergierung des Zements
- geringere Reibungskräfte zwischen Zement und Zuschlag
- geringeren Wasseranspruch

Dies ergibt bei Mörtel und Beton

- Verbesserung der Verarbeitbarkeit bei gleichem Wasserzementwert
- Reduzierung des Wasserzementwertes bei gleicher Verarbeitbarkeit
- homogeneren Beton, geringere Entmischungsneigung
- keine unerwünschten Nebenwirkungen
- höhere Früh- und Endfestigkeit
- höhere Dauerhaftigkeit
- geringeres Schwinden und Kriechen
- bessere Sichtbetonoberflächen

Eignungsnachweise/ Zulassungen

- Entspricht EN 934-2 Tabelle 2 (Betonverflüssiger) und Tabellen 3.1/3.2 (Fließmittel)
- Entspricht DIN V 18998
- In Beton mit Spanngliedern im sofortigen Verbund anwendbar (DIN V 20000-100 Abs. 4.4)
- In Beton mit alkaliempfindlicher Gesteinskörnung nach Alkali-Richtlinie Teil 1, 4.3.2, Abs. (2) oder (3)anwendbar
- Entspricht den Anforderungen der ZTV-ING
- Wirksamkeitsprüfung mit Addiment Luftporenbildner LP 1-87, LP S-87, LPS A-94 und LPS B 2000
- Erfüllt die Anforderungen der KTW-Empfehlungen
- Erfüllt die Anforderungen des DVGW-Arbeitsblattes W 270
- In allen EU-Ländern anwendbar
- Zugelassen auch in Tschechien und der Slowakei

Sika Addiment GmbH
Postfach 1361 • Peter-Schuhmacher-Straße 6 • 69181 Leiman
Tel. 06224/988-04 • Fax 06224/988-602
e-mail info-addiment@de.sika.com •
www.sika-addiment.de

ADDIMENT

Technische Daten gemäß EN 934-2 Tabelle 1	Farbe und Form:	gelbe Flüssigkeit
	Hauptwirkstoff:	Melaminsulfonat
	Dichte (20°C):	1,12 g/cm^3
	Feststoffgehalt:	20 %
	pH-Wert:	10
	Chloridgehalt:	< 0,1 %
	Alkaligehalt (Na_2O-Äquiv.):	< 5 %
	empfohlener Dosierbereich:	0,2 - 3,4 % vom Zementgewicht

Verarbeitungshinweise

- Bei sofortiger Zugabe im Werk empfehlen wir, Addiment Fließmittel FM F entweder gleichzeitig mit dem Wasser der Betonmischung zuzugeben oder zuletzt einzumischen
- Die erforderliche Mischzeit nach Zugabe ist vom Mischer abhängig und muss ausreichend bemessen sein
- Bei nachträglicher Zugabe und Nachdosierung im Transportbetonfahrzeug muss eine gleichmäßige Verteilung des Fließmittels im Beton sicher gestellt werden. Hierzu empfehlen wir, das Fließmittel auf den Beton zu geben. Die Mischzeit sollte 1 min pro m^3, mindestens jedoch 5 min. betragen.
- Da die Fließwirkung nur begrenzte Zeit anhält, sollte der verflüssigte Beton zügig verarbeitet werden.
- Vor Verwendung ist eine Erstprüfung nach DIN EN 206-1 /DIN 1045-2 erforderlich

Arbeitssicherheit/ Umweltschutz

- Kein Gefahrstoff nach Gefahrstoffverordnung
- Kein Gefahrgut nach Gefahrgutverordnung
- GISCODE BZM 1
- WGK 1 (Selbsteinstufung): schwach wassergefährdend
- Kontakt mit Haut und Augen möglichst vermeiden
- Weitere Informationen enthält das Sicherheitsdatenblatt
- Hinweise auf den Gebinden beachten

Qualitätssicherung

- Addiment Fließmittel FM F unterliegt bei der Herstellung einer werkseigenen Produktionskontrolle nach DIN EN 934-6
- Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO 9001

Lagerung/Haltbarkeit

- Vor Frost, starker Sonneneinstrahlung und Verunreinigungen schützen
- Bei loser Lieferung saubere Tanks und Behälter verwenden
- In geschlossenen Behältern mindestens 1 Jahr haltbar
- Bei Temperaturen unter + 5 °C ist ein Auskristallisieren möglich. Dies hat keinen Einfluss auf die Wirkung. Die Kristalle gehen beim Aufwärmen und Aufmischen wieder in Lösung.
- nach längerer Lagerung vor Gebrauch aufrühren

Lieferform	Kannen:	30 kg bfn
	Fässer:	220 kg netto eingewogen
	Tauschcontainer:	1000 kg netto eingewogen
	lose Lieferung:	ab 6 t

Sika Addiment GmbH
Postfach 1361 • Peter-Schuhmacher-Straße 8 • 69181 Leimen
Tel. 06224/966-04 • Fax 06224/966-602
e-mail info-addiment@de.sika.com •
www.sika-addiment.de

Technisches Merkblatt
Ausgabe 01.03
Sorten-Nr. 10601

ADDIMENT
Stabilisierer ST 1

Universell einsetzbar

Anwendungsgebiete

Addiment Stabilisierer ST 1 wird verwendet, um das Bluten und Entmischen von Beton- oder Mörtelmischungen zu verringern bzw. zu verhindern.

Addiment Stabilisierer ST 1 eignet sich besonders für:
- Leichtbeton, insbesondere in weicher Konsistenz
- Sichtbeton mit gleichmäßiger Oberflächenqualität
- Pumpbeton mit erhöhten Leistungen
- Rückprallreduzierung beim Spritzbeton

Eigenschaften/Wirkung

Addiment Stabilisierer ST 1 bewirkt
- Viskositätserhöhung des Wassers
- Verringerung der Wasserbeweglichkeit durch Bindung an langkettige Fadenmoleküle
- Verbesserung der Anlagerung des Wassers an die
- Feststoffteile des Betons oder Mörtels
- geringere innere Reibung durch Ausrichtung der Fadenmoleküle

Dies ergibt bei Mörtel und Beton
- homogenere Mischung
- bessere Verarbeitbarkeit
- geringeres Bluten
- besserer innerer Zusammenhalt
- geringere Entmischungsneigung
- gleichmäßige Betonoberflächen
- bessere Pumpfähigkeit

Eignungsnachweise/ Zulassungen

- Entspricht EN 934-2 Tabelle 4 (Stabilisierer)
- Entspricht DIN V 18998
- In allen EU-Ländern anwendbar

Technische Daten gemäß EN 934-2 Tabelle 1

Farbe und Form:	hellgraues Pulver
Hauptwirkstoff:	Polyethylenoxid
Feststoffgehalt:	100 %
Chloridgehalt:	< 0,1 %
empfohlener Dosierbereich:	0,2 – 0,6 % vom Zementgewicht

Sika Addiment GmbH
Postfach 1361 • Peter-Schuhmacher-Straße 8 • 65181 Leimen
Tel. 06224/688-04 • Fax 06224/688-502
e-mail info-addiment@de.sika.com •
www.sika-addiment.de

Verarbeitungshinweise	• Addiment Stabilisierer ST 1 nicht mit Wasser allein vermischen • Mit dem Zuschlag oder Zement zugeben oder zuletzt einmischen • Mischzeit bei Zwangsmischern um mindestens 45 sec , bei Freifallmischern um mindestens 90 sec verlängern • Keine hochtourigen Mischer, da sie die Wirkung verringern oder aufheben • Zugabemenge ist von der Wassermenge der Mischung abhängig: o Normalbeton: 0,1-0,5 kg/m³ o Leichtbeton: 0,5-1,0 kg/m³ o Suspensionen: 1,0-1,5 kg/m³ • Vor Verwendung ist eine Erstprüfung nach DIN EN 206-1 /DIN 1045-2 erforderlich
Arbeitssicherheit/ Umweltschutz	• Kein Gefahrstoff nach Gefahrstoffverordnung • Kein Gefahrgut nach Gefahrgutverordnung • GISCODE BZM 1 • WGK 1 (Selbsteinstufung): schwach wassergefährdend • Kontakt mit Haut und Augen sowie Einatmen von Staub möglichst vermeiden. • Weitere Informationen enthält das Sicherheitsdatenblatt • Hinweise auf den Gebinden beachten
Qualitätssicherung	• Addiment Stabilisierer ST 1 unterliegt bei der Herstellung einer werkseigenen Produktionskontrolle nach DIN EN 934-6 • Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO 9001
Lagerung/Haltbarkeit	• Trocken lagern • Sachgemäß gelagert 1 Jahr haltbar
Lieferform	Säcke : 25 kg 1050 kg auf Euro-Tauschpalette eingeschrumpft

Die Angaben in dieser Druckschrift basieren auf unseren derzeitigen technischen Kenntnissen und Erfahrungen. Sie befreien den Verarbeiter wegen der Fülle möglicher Einflüsse bei der Verarbeitung und Anwendung unserer Produkte nicht von eigenen Prüfungen und Versuchen und stellen nur allgemeine Richtlinien dar. Eine rechtlich verbindliche Zusicherung bestimmter Eigenschaften oder der Eignung für einen konkreten Einsatzzweck kann hieraus nicht abgeleitet werden. Etwaige Schutzrechte sowie bestehende Gesetze und Bestimmungen sind vom Verarbeiter stets in eigener Verantwortung zu beachten.

Sika Addiment GmbH
Postfach 1361 • Peter-Schuhmacher-Straße 8 • 86161 Lehmen
Tel. 08234/600-04 • Fax 08234/988-502
e-mail info-addiment@de.sika.com •
www.sika-addiment.de

ADDIMENT®

Technische Information
Technical Information

TI/P 3432 d, e
April 2002

Ersetzt TI/ED 143 d vom November 1998
Supersedes TI/ED 143 e of November 1998

Basonat® HW 180 PC

® = reg. Marke der BASF Aktiengesellschaft

® = Registered trademark of BASF Aktiengesellschaft

Bisher/Formerly: Basonat P LR 8963

Wasseremulgierbare Lösung eines HDI-Isocyanurats (Basonat HW 100) für die Vernetzung von Polymerdispersionen

Water-emulsifiable solution of an HDI isocyanurate (Basonat HW 100) for crosslinking polymer dispersions

Zusammensetzung

Emulgatormodifiziertes Polyisocyanat auf Basis von isocyanuratisiertem Hexamethylendiisocyanat, 80 %ig in Solvenon® PC (Propylencarbonat)

Nature

Emulsifier-modified polyisocyanate based on isocyanurated hexamethylene diisocyanate, 80 % solution in Solvenon PC (propylene carbonate)

Eigenschaften

Produktspezifikation

NCO-Gehalt (DIN 53185)	13 – 14 %
Nicht flüchtige Anteile (DIN EN ISO 3251)	79 – 81 %
Viskosität bei 23 °C (DIN EN ISO 3219), Geschwindigkeitsgefälle D = 250 s^{-1}	450 – 850 mPa·s

Properties

Product specification

NCO content (DIN 53185)	13 – 14 %
non-volatile matter (DIN EN ISO 3251)	79 – 81 %
Viscosity at 23 °C (DIN EN ISO 3219), Shear rate D = 250 s^{-1}	450 – 850 mPa·s

Anwendung

Basonat HW 180 PC ist als Härter für Polymerdispersionen geeignet, die reaktionsfähige OH-Gruppen aufweisen.

Verarbeitung

Basonat HW 180 PC kann direkt in die formulierte Dispersion eingerührt werden. Ein idealer stöchiometrischer Umsatz der OH-Gruppen mit den NCO-Gruppen ist nicht zu erwarten. Im Allgemeinen genügt ein Zusatz von ca. 10 Teilen Basonat HW 180 PC auf 100 Teile Dispersion (fest auf fest). Das für den jeweiligen Einsatz günstigste Mischungsverhältnis wird meist empirisch ermittelt.

Bei der Entwicklung von Beschichtungen ist darauf zu achten, dass Filmbildehilfsmittel (Lösemittel), Additive und Verdicker nicht mit den Isocyanatgruppen reagieren, d.h. alle Stoffe mit aktiven Wasserstoffgruppen sollten vermieden werden.

Zur pH-Wert-Einstellung eignen sich tertiäre Amine (Dimethylethanolamin, Triethyl-, Triethanolamin).

Einen entscheidenden Einfluss auf die Topfzeit hat der pH-Wert der Mischung. Je höher dieser Wert ist, um so kürzer ist die Topfzeit. Bei pH > 7 ist eine Reaktion des Polyisocyanats bevorzugt mit Wasser und dem Amin zu erwarten.

Beim Formulieren von Lacken unter Verwendung von Basonat HW 180 PC sind sorgfältige eigene Versuche durchzuführen, denn die erreichbaren Eigenschaften der Beschichtung und die Verarbeitungszeit werden von vielen Bedingungen beeinflusst, die wir in unseren Versuchen nicht alle erfassen können.

Sicherheit

Allgemeine Hinweise

Basonat HW 180 PC wird als Härter in Lacken empfohlen. Der Umgang mit Beschichtungsmaterialien, die reaktive polyfunktionelle Isocyanate und Restgehalte von Hexamethylen-1,6-diisocyanat enthalten, erfordert geeignete Schutzmaßnahmen. Basonat HW 180 PC darf daher nur in industriellen oder berufsmäßigen Anwendungen Verwendung finden. Für einen Einsatz in Do-it-yourself-Anwendungen ist Basonat HW 180 PC nicht geeignet.

Sicherheitsdatenblatt

Das Sicherheitsdatenblatt für Basonat HW 180 PC informiert über alle sicherheitsrelevanten Daten nach derzeitigen Richtlinien und Wissensstand.

Raumluftkonzentration

Da Basonat HW 180 PC Spuren von < 0,3 Gewichtsprozent Hexamethylen-1,6-diisocyanat enthält, ist auf jeden Fall besonders bei erhöhter Temperatur dessen MAK-Wert zu beachten.

Biologische Wirkung

Basonat HW 180 PC ist reizend und kann durch Hautkontakt sensibilisierend wirken. Zusätzlich besteht eine mögliche Gefährdung beim Einatmen von Dämpfen und Aerosolen. Bei der Verarbeitung sind entsprechende Sicherheitsmaßnahmen zu treffen. Insbesondere Haut- und Schleimhautkontakt müssen durch Schutzhandschuhe und Schutzbrille vermieden werden. Benetzte Kleidung ist sofort zu wechseln. Mit Harz oder Lack benetzte Haut ist sofort mit viel Wasser und Seife zu waschen.

Bei Augen- und Schleimhautkontakt ist sofort 15 Minuten mit Wasser zu spülen und anschließend ein Arzt aufzusuchen.

Gefahrstoffverordnung

Nach den vorliegenden Erkenntnissen ist Basonat HW 180 PC gemäß der Gefahrstoffverordnung bzw. des „EG-Leitfadens zur Einstufung und Kennzeichnung" folgendermaßen zu kennzeichnen:

Xi – reizend enthält polyfunktionelles Isocyanat

Weitere Angaben sind dem Sicherheitsdatenblatt zu entnehmen.

Lagerung

Basonat HW 180 PC ist feuchtigkeitsempfindlich. In dicht verschlossenen Gebinden aufbewahrt kann es bei Temperaturen unter 25 °C etwa 6 Monate gelagert werden.

Zur Beachtung

Die Angaben in dieser Druckschrift basieren auf unseren derzeitigen Kenntnissen und Erfahrungen. Sie befreien den Verarbeiter wegen der Fülle möglicher Einflüsse bei Verarbeitung und Anwendung unserer Produkte nicht von eigenen Prüfungen und Versuchen. Eine rechtlich verbindliche Zusicherung bestimmter Eigenschaften oder der Eignung für einen konkreten Einsatzzweck kann aus unseren Angaben nicht abgeleitet werden. Etwaige Schutzrechte sowie bestehende Gesetze und Bestimmungen sind vom Empfänger unserer Produkte in eigener Verantwortung zu beachten.

Sicherheitsdatenblatt

gemäß 91/155/EWG

(Druckdatum: 26.09.2002)

1. Stoff/Zubereitungs- und Firmenbezeichnung

BASONAT* HW 180 PC

Firma:
BASF Aktiengesellschaft
Veredlungschemikalien für Lacke, Kunststoff und Spezialitäten
67056 Ludwigshafen
Telefon: 0621-60-72783/ 42228
Telefax-Nummer: 0621-60-41517
E-Mailadresse: Productinformation.Performance-Chemicals(a)basf-ag.de

Notfallauskunft:
Werkfeuerwehr Ludwigshafen
Telefon: 0621-60-43333
Telefax-Nummer: 0621-60-92664

2. Zusammensetzung/Angaben zu Bestandteilen

Chemische Charakterisierung
Polyfunktionelles Isocyanat basierend auf
Hexamethylen-1,6-diisocyanat in Lösemittel.

Gefährliche Inhaltsstoffe

Hexamethylen-1,6-diisocyanat	Gehalt: >0.1<0.3 Gew.%
EINECS-Nr. 212-485-8	Gefahrensymbol: T
INDEX-Nr. 615-011-00-1	R-Sätze: 23-36/37/38-42/43
Propylencarbonat	Gehalt: 20 Gew.% (ca.)
EINECS-Nr. 203-572-1	Gefahrensymbol: Xi
INDEX-Nr. 607-194-00-1	R-Sätze: 36

3. Mögliche Gefahren

Besondere Gefahrenhinweise für Mensch und Umwelt:
R36 - Reizt die Augen.
R43 - Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich.

Enthält Isocyanate. Hinweise des Herstellers beachten.

4. Erste-Hilfe-Maßnahmen

Allgemeine Hinweise:
Verunreinigte Kleidung entfernen.

Nach Einatmen:
Bei Beschwerden nach Einatmen von Dampf/Aerosol: Frischluft, Arzthilfe.

Nach Hautkontakt:
Mit Wasser und Seife abwaschen.

Nach Augenkontakt:
15 Minuten bei gespreizten Lidern unter fließendem Wasser gründlich ausspülen, augenärztliche Nachkontrolle.

Nach Verschlucken:
Sofort Mund ausspülen und reichlich Wasser nachtrinken, Arzthilfe.

Hinweise für den Arzt:
Symptomatische Behandlung (Dekontamination, Vitalfunktionen), kein spezifisches Antidot bekannt.

5. Maßnahmen zur Brandbekämpfung

Geeignete Löschmittel:
Sprühwasser, Trockenlöschmittel, Schaum, Kohlendioxid (CO2)

Bei einem Brand kann freigesetzt werden: Gase/ Dämpfe.
Gefährdung hängt von den verbrennenden Stoffen und den Brandbedingungen ab.

Besondere Schutzausrüstung:
Im Brandfall umluftunabhängiges Atemschutzgerät tragen.

Weitere Angaben:
Kontaminiertes Löschwasser muß entsprechend den örtlichen behördlichen Vorschriften entsorgt werden.

6. Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung

Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen:
Augenschutz
Einatmen von Dampf/Aerosol vermeiden.

Umweltschutzmaßnahmen:
Das Produkt darf nicht ohne Vorbehandlung (biologische Kläranlage) in Gewässer gelangen.

Verfahren zur Reinigung/Aufnahme:
Mit saugfähigem Material aufnehmen und entsorgen.

7. Handhabung und Lagerung

Handhabung:
Gute Be- und Entlüftung von Lager- und Arbeitsplatz.

Brand- und Explosionsschutz:
Erdung von Abfüllbehältern wegen möglicher elektrostatischer Aufladung.

Lagerung:
Produkt ist hygroskopisch. Behälter dicht geschlossen an einem trockenen Ort aufbewahren.
Entwicklung von CO2-Überdruck in Isocyanatgebinden nach Feuchtigkeitszutritt.
Vor Temperaturen über 50 'C schützen.

8. Expositionsbegrenzung und persönliche Schutzausrüstungen

Zusätzliche Hinweise zur Gestaltung technischer Anlagen
(siehe Abschnitt 7)

Bestandteile mit arbeitsplatzbezogenen zu überwachenden Grenzwerten

Hexamethylen-1,6-diisocyanat,

Der zugehörige MAK Wert ist zu beachten (Deutschland).

Persönliche Schutzausrüstung

Atemschutz:
Einatmen von Dampf/Aerosol vermeiden.

Handschutz:
Schutzhandschuhe

Augenschutz:
Schutzbrille

Allgemeine Schutz- und Hygienemaßnahmen:
Die beim Umgang mit Chemikalien üblichen Vorsichtsmaßnahmen sind zu beachten.

9. Physikalische und chemische Eigenschaften

Form:		flüssig	
Farbe:		farblos - leicht gelb	
Geruch:		produktspezifisch	
Zustandsänderung			
Siedepunkt/Siedebereich:		240-245 °C	
Erstarrungstemperatur:		<-20 °C	
Flammpunkt:		123 °C	(DIN 51758)
Explosionsgrenzen:			
- untere		1.8 Vol.%	
- obere		14.3 Vol.%	
Zündtemperatur:		>200 °C	(DIN 51794)
Explosionsgefahr:		keine Explosionsgefahr	
Dampfdruck:	(20 °C)	0.17 mbar	
Dichte:	(20 °C)	1.18 g/cm³	

Löslichkeit in Wasser: emulgierbar

Löslichkeit in anderen Lösemitteln: löslich in: polaren Lösemitteln

Viskosität:	(23 °C)	250-750 mPa.s	DIN 53019

10. Stabilität und Reaktivität

Zu vermeidende Bedingungen:
Vor Feuchtigkeit schützen.

Zu vermeidende Stoffe:
Wasser, Alkohol, Amine

Gefährliche Reaktionen:
Entwicklung von CO2-Überdruck in Isocyanatgebinden nach Feuchtigkeitszutritt.

Gefährliche Zersetzungsprodukte:
Keine bei bestimmungsgemäßer Verarbeitung.

11. Angaben zur Toxikologie

Die Aussage ist von den Eigenschaften der Einzelkomponenten abgeleitet.

Akute Toxizität

LD50/oral/Ratte: >2000 mg/kg

Primäre Hautreizwirkung/Kaninchen/OECD 404: nicht reizend
Primäre Schleimhautreizwirkung/Kaninchenauge/OECD 405: reizend

Sensibilisierung, Haut
Bühler-Test: wirkt nicht sensibilisierend
Maximierungstest: wirkt sensibilisierend

Zusätzliche Hinweise
Gefahr der Sensibilisierung bei wiederholtem Hautkontakt.

12. Angaben zur Ökologie

Angaben zur Elimination
Hydrolyse zu wasserunlöslichen Verbindungen. Kann mechanisch eliminiert werden. Das Lösemittel ist biologisch abbaubar.

Verhalten in Umweltkompartimenten
Bei sachgemäßer Einleitung geringer Konzentrationen in adaptierte biologische Kläranlagen sind Störungen der Abbauaktivität von Belebtschlamm nicht zu erwarten.

Ökotoxische Wirkungen
Hydrolyse zu wasserunlöslichen Verbindungen: Harnstoff (Polymer)

Weitere ökologische Hinweise

AOX: Das Produkt enthält kein organisch gebundenes Halogen.

Gelangt bei bestimmungsgemäßer Verarbeitung nicht ins Abwasser.

13. Hinweise zur Entsorgung

Produkt:
Muß unter Beachtung der örtlichen Vorschriften z.B. einer geeigneten Deponie oder einer geeigneten Verbrennungsanlage zugeführt werden.

Ungereinigte Verpackungen:
Nicht kontaminierte Verpackungen können wiederverwendet werden.
Nicht reinigungsfähige Verpackungen sind wie der Stoff zu entsorgen.

14. Angaben zum Transport

Kein Gefahrgut im Sinne der Transportvorschriften.

15. Vorschriften

Kennzeichnung nach EG-Richtlinien

Xi - Reizend

R36 - Reizt die Augen.
R43 - Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich.

S23 - Dampf / Aerosol nicht einatmen.
S24 - Berührung mit der Haut vermeiden.

Enthält Isocyanate. Hinweise des Herstellers beachten.

Nationale Vorschriften

Klassifizierung nach VbF (Deutschland): keine

Wassergefährdungsklasse: WGK 1 (Deutschland) (Selbsteinstufung)

16. Sonstige Angaben

n.a. = nicht anwendbar
k.D.v. = keine Daten vorhanden

Senkrechte Striche am linken Rand weisen auf Änderungen gegenüber der vorangehenden Version hin.

Die vorstehenden Angaben stützen sich auf den heutigen Stand unserer Kenntnisse und stellen keine Zusicherung von Eigenschaften dar. Bestehende Gesetze und Bestimmungen sind vom Empfänger unseres Produktes in eigener Verantwortung zu beachten.

CABOT GmbH, Werk Rheinfelden
Postfach 1227
79602 Rheinfelden
Kronenstr. 2
79618 Rheinfelden
DEUTSCHLAND

Telefon: +49 (0) 76 23 / 707 - 0
Telefax: +49 (0) 76 23 / 707 -
Verwaltung / Administration - 530
Versand / Shipping - 555
Buchhaltung / Finance - 559
Einkauf / Purchasing - 350

CAB-O-SIL®

Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B (DIN EN 10204)

Inspection Certificate

Kunde / *Company*		FH Hildesheim/Holzminden/Göttingen Fachbereich Restaurierung z.Hd. Herrn Gerhard D'ham Bismarckplatz 10-11 D-31134 Hildesheim
Lieferscheinnr. / *Delivery Note No.*		Muster
CAB-O-SIL Type / *Grade*		M-5
Chargennummer / *Lot number*		5212 A
Menge / *Quantity*	kg	0,4

			Prüfmethode / *Test Method*
Oberfläche / *Surface Area*	BET, m^2/g	205	DIN 66131 *
pH-Wert / *pH-*	-	4,10	DIN EN ISO 787-9 *
Trocknungsverlust / *Loss on drying*	% (2h / 105 °C)	0,20	DIN EN ISO 787-2 *
Stampfdichte / *Tamped Density*	g/l	38	DIN EN ISO 787-11 *
Siebrückstand / *Wash Residue*	% (45µm sieve)	0,003	COS 006

Date of Manufacture: 16.12.02

Shelf Life: 2 Years from the date of manufacture, under normal storage conditions

Storage Temperature: Ambient

Obige Angaben basieren auf Ergebnissen von Proben, die während der Produktion und/oder Beladung dieser Lieferung nach den genannten Prüfmethoden ermittelt wurden. Wir können nicht garantieren, daß andere Laboratorien zu den gleichen Ergebnissen kommen und können deshalb eine Verbindlichkeit nicht übernehmen. * In Anlehnung an die angebene Prüfmethode.

*The data above was obtained from tests on samples taken during the time of production and/or packaging of this shipment using the above mentioned test methods. We do not guarantee the same results will be obtained by others in other laboratories and we disclaim liability from use of the contents of this report. * In accordance with test method mentioned.*

Cabot GmbH
CAB-O-SIL Division
Thomas Korr
Quality Manager
Cabot GmbH
Werk Rheinfelden

Datum / *Date* *24.02.03*

ISO 9001

M-5
7 Seiten

→ z.H. Herrn Dahm Fax 05121 - 881 386

CABOT

SICHERHEITSDATENBLATT

Nach EG-Richtlinie 2001/58/EG

Überarbeitet am: 12/März/2003

1. STOFF-/ZUBEREITUNGS- UND FIRMENBEZEICHNUNG

Produktname: **CAB-O-SIL® Untreated Fumed Silica**

Produktnummer: UNTDFS

Synonyma: , Siliziumdioxid, synthetisch, frei von kristallinen Anteilen

This SDS valid for thefollowing grades: CAB-O-SIL® Fumed Silica, L-50, L-90, LM-130, LM-150, M-5, PTG, MS-55, H-5, HS-5, EH-5, LM-130D, LM-150D, M-7D, MS-75D,S-17D, HP-60, M-8D

Verwendung des Stoffs/der Zubereitung: Rheologisches Additiv , Verstärkungsmittel , Rieselhilfsmittel in: , Beschichtungen, Klebstoffe, verschiedene

Supplier:

Cabot GmbH
Josef-Bautz-Strasse 15
D-63457 Hanau
DEUTSCHLAND
Tel: (+49) 6181-5050
Fax: (+49) 6181-505 201

Cabot Carbon, Ltd.
Sully Moors Road
Sully, Glamorgan CF64 5XP
Wales, UNITED KINGDOM
Tel: (+44) 1446.736999
Fax: (+44) 1446.737123

Cabot Corporation
700 E U.S. Highway 36
Tuscola, IL 61953-9643
UNITED STATES
Tel: 1-217-253-3370
Fax: 1-217-253-4334

Cabot Corporation
157 Concord Road
Billerica, MA 01821
UNITED STATES
Tel: 1-978-670-6959
Fax: 1-978-670-6955

Notrufnummer:
UK: (+44) 1446-709 641
Germany: (+49) 7623 707 545
US: CHEMTREC 1-800-424-9300 or 1-703-527-3887
US: Other 1-217-253-5595
Canada: CANUTEC 1-613-996-6666

2. ZUSAMMENSETZUNG/ANGABEN ZU BESTANDTEILEN

Chemische Bezeichnung	CAS-Nr	EINECS/ELINCS-Nr	Gewicht %	EEC KLASSIFIZIERUNG
Silica	7631-86-9	231-545-4	100	None

*Dieses spezifische Produkt gehört in die allgemeine Gruppe der Kieselsäuren, CAS Nr 112945-52-5. Wir führen sowohl die spezeillen als auch die allgemeinen Identifizierungen auf, da viele gesetzliche Informationen nur unter der allgemeinen Gruppe auflistet sind

3. MÖGLICHE GEFAHREN

Gefahrenbezeichnung: Kein Gefahrstoff oder gefaehrliche Zubereitung gemäss der EU-Richtlinie 67/545/EEC or 99/45/EC sowie ihren verschiedenen Ergänzungen und Änderungen .

Hauptexpositionswege: Einatmen, Hautkontakt, Augenkontakt

Mögliche Gesundheitseffekte:
Augenkontakt: Kann zu mechanischen Reizungen führen . Reizend, aber schädigt das Augengewebe nicht dauerhaft. Geringe Gefahr bei normalem Industrie- oder Gewerbegebrauch.

Hautkontakt:	Kann Hautreizungen und/oder Dermatitis verursachen. Wiederholter Kontakt kann zu sproder oder rissiger Haut führen.
Einatmen:	Staub reizt die Atemwege. Auf gute Belüftung und Absaugung an den Verarbeitungsmaschinen und an Plätzen, an denen Staubentwicklung möglich ist, muß geachtet werden. Siehe auch Abschnitt 8.
Verschlucken:	Bei bestimmungsgemäßem Umgang sind keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen bekannt oder zu erwarten. Geringe Gefahr bei normalem Industrie- oder Gewerbegebrauch.
Krebserzeugende Wirkungen:	Enthält keine Substanzen, die in IARC (International Agency for Research on Cancer), NTP (National Toxicology Program), OSHA (Occupation Safety and Health Administration), ACGIH (American Conference for Governmental Industrial Hygienists) oder EG (Europäische Gemeinschaft) gelistet sind
Auswirkungen auf Zielorgan:	Lungen
Verschlechterung bestehender Gesundheitsprobleme durch Exposition	Asthma, Atemstörung
Mögliche umweltschädigende Auswirkungen	Keine besonderen Umweltschutzmaßnahmen erforderlich.

4. ERSTE-HILFE-MASSNAHMEN

Hautkontakt:
Sorgfältig mit Seife und Wasser waschen. Arzt aufsuchen falls Rötung, Schwellung, Jucken oder Brennen auftritt.

Augenkontakt:
Augen sofort gründlich mit viel Wasser 15 Minuten spülen. Arzt aufsuchen falls Rötung, Schwellung, Jucken, Brennen oder eine Beeinflussung des Sehens auftritt.

Einatmen:
Falls Husten, Atemnot or Atemprobleme auftreten, Person an die frische Luft bringen. Arzt aufsuchen, falls Beschwerden weiterbestehen. Falls notwendig, normale Atmung durch Erste-Hilfe-Maßnahmen wiederherstellen.

Verschlucken:
Kein Erbrechen herbeiführen. Falls bei Bewußtsein, mehrere Gläser Wasser zu trinken geben. Niemals einer bewußtlosen Person etwas in den Mund geben.

Hinweise für den Arzt:
Symptomatische Behandlung.

5. MASSNAHMEN ZUR BRANDBEKÄMPFUNG

Geeignete Löschmittel:
Löschmaßnahmen auf die Umgebung abstimmen.

Besondere Schutzausrüstung bei der Brandbekämpfung:
Angemessene Schutzausrüstung tragen. Im Brandfall umluftunabhängiges Atemschutzgerät tragen.

Spezifische Gefahren:
Produkt läßt sich nicht entzünden und fördert nicht die Flammenausbreitung.

Gefährliche Zersetzungsprodukte:
Keiner.

Staubexplosionsgefahr:
Dieses Produkt ist ein anorganischer Staub, der Bedingungen, die zu Bränden oder Explosionen führen können, weder verursacht noch begünstigt.

6. MASSNAHMEN BEI UNBEABSICHTIGTER FREISETZUNG

Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen:
Staubbildung vermeiden. Alle Zündquellen entfernen. Für angemessene Lüftung sorgen. Persönliche Schutzausrüstung verwenden. Siehe auch Abschnitt 8.

Verfahren zur Reinigung:
Umgehend aufsaugen. Geeigneten Staubsauger benutzen. Um Aufwirbeln von Pulverlack zu vermeiden, keine Besen oder Druckluft verwenden. Aufnehmen und in korrekt angeschriebene Behälter geben. Siehe auch Abschnitt 13.

Umweltschutzmaßnahmen:
Keine besonderen Umweltschutzmaßnahmen erforderlich. Wenn grössere Mengen verschütteten Materials nicht eingedämmt werden können, sollen die lokalen Behörden benachrichtigt werden.

7. HANDHABUNG UND LAGERUNG

Handhabung:
Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden. Staubbildung vermeiden. Staub nicht einatmen. Auf gute Belüftung und Absaugung an den Verarbeitungsmaschinen und an Plätzen, an denen Staubentwicklung möglich ist, muß geachtet werden. Um Aufwirbeln von Pulverlack zu vermeiden, keine Besen oder Druckluft verwenden. Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladung treffen. Alle Metallteile der Misch- und Verarbeitungsmaschinen müssen geerdet sein. Vor Umladeoperationen sicherstellen, dass die gesamte Ausrüstung geerdet ist.

Lagerung:
Behälter dicht geschlossen an einem trockenen, kühlen und gut gelüfteten Ort aufbewahren. Speichern Sie zusammen mit flüchtigen Chemikalien nicht, als sie auf produc adsorbed werden können. Unter Umgebungstemperatur halten

8. EXPOSITIONSBEGRENZUNG UND PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG

Expositionsgrenzwerte

Exposure limits for silica are stated below:
"Silica 7631-86-9"

Austria MAK:	4 mg/m³, TWA, inhalable fraction
Belgium OEL:	10 mg/m³, TWA, Inhalable fraction
	3 mg/m³, TWA, Respirable fraction
Germany TRGS 900:	4 mg/m³, TWA, Inhalable fraction
Italy OEL:	10 mg/m³, TWA, Inhalable fraction
	3 mg/m³, TWA, Respirable fraction
Netherlands MAC:	10 mg/m³, TWA, Inhalable fraction
	5 mg/m³, TWA, Respirable fraction
Norway:	1.5 mg/m³, TWA, Respirable fraction
Spain:	10 mg/m³, TWA, Inhalable fraction
	3 mg/m³, TWA, Respirable fraction
Sweden:	10 mg/m³, TWA, Inhalable fraction
	5 mg/m³, TWA, Respirable fraction
UK. EH40 OES (Table 2):	6 mg/m³, TWA, Total Inhalable fraction
	2.4 mg/m³, TWA, Respirable fraction
ACGIH TLV:	10 mg/m³, TWA, Inhalable fraction

Silica - 7631-86-9

Österreich	4 mg/m³ Inhalable dust
Australia	Australia
Deutschland TRGS 900	MAK: 4 mg/m³ Inhalable fraction

Technische Schutzmaßnahmen
Auf gute Belüftung und Absaugung an den Verarbeitungsmaschinen und an Plätzen, an denen Staubentwicklung möglich ist, muß geachtet werden. Eine ausreichende Raumbelüftung ist sicherzustellen, um die zulässigen maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen zu unterschreiten.

Persönliche Schutzausrüstung

Atemschutz:	Zugelassener Atemschutz ist möglicherweise notwendig, falls die Raumbelüftung nicht ausreicht.
Handschutz:	Wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen. Vor der Handhabung des Produkts eine Hautschutzcreme auftragen. Geeignete Schutzhandschuhe tragen.
Augenschutz:	Schutzbrille / Geschichtsschutz tragen Schutzbrille mit Seitenschutz Korbbrille
Haut- und Körperschutz:	Bei der Arbeit geeignete Schutzkleidung tragen. Keine besondere Schutzausrüstung erforderlich.
Zusätzlich:	Die beim Umgang mit Chemikalien üblichen Vorsichtsmaßnahmen sind zu beachten. Augenspülflaschen und Notduschen sollten sich in der Nähe befinden.

9. PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN:

Aussehen:	Weiß Pulver
Geruch:	Keiner
PH-Wert:	3.6 - 4.5
Dichte:	2.2 g/cm3 @ 20 °C
Spezifisches Gewicht:	Nicht bestimmt
Siedepunkt/Siedebereich:	2230 °C
Schmelzpunkt/Schmelzbereich:	1700 °C
Wasserlöslichkeit:	Unlöslich
Dampfdruck:	Nicht bestimmt
% Volatile (by Volume):	Nicht bestimmt
Verdampfungsgeschwindigkeit:	Nicht bestimmt
Viskosität:	Nicht bestimmt
Verteilungskoeffizient (n-Oktanol/Wasser):	Nicht anwendbar
Flammpunkt:	Nicht bestimmt
Methode:	Nicht anwendbar
FEUERGEFÄHRLICHE GRENZE IN DER LUFT - OBERE (%):	Nicht bestimmt
FEUERGEFÄHRLICHER GRENZWERT DER LUFT - UNTERER (%):	Nicht anwendbar
Selbstentzündungstemperatur:	Nicht bestimmt

10. STABILITÄT UND REAKTIVITÄT

Stabilität: Stabil

Gefahrvolle Polymerisation: Eine gefährliche Polymerisation findet nicht statt.

Mechanische Empfindlichkeit (Schlag): Reagiert nicht empfindlich auf mechanische Einwirkung

Zu vermeidende Bedingungen:
Von Hitze- und Zündquellen fernhalten. Staubbildung vermeiden. Produkt läßt sich nicht entzünden und fordert nicht die Flammenausbreitung.

Gefährliche Zersetzungsprodukte:
Keiner

Statische Entladung
Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen. Staubbildung vermeiden. Alle Metallteile der Misch- und Verarbeitungsmaschinen müssen geerdet sein. Vor Umladeoperationen sicherstellen, dass die gesamte Ausrüstung geerdet ist. Dieses Product ist ein anorganischer Staub, der Bedingungen, die zu Bränden oder Explosionen führen können, weder verursacht noch begünstigt.

11. ANGABEN ZUR TOXIKOLOGIE

Akute Toxizität

Oral:	LD50/oral/Ratte = > 5000 mg/kg.
Einatmen:	Aufgrund der physikalischen Eigenschaften sind keine geeigneten Prüfverfahren verfügbar.
Hautkontakt	LD50/dermal/Kaninchen = > 2000 mg/kg
Augenreizung:	Draize score 0.7/110 @ 24 hr. Nicht reizend.
Hautreizung:	0./8. Nicht reizend.

Chronische Toxizität

Krebserzeugende Wirkungen:
Enthält keine Substanzen, die in IARC (International Agency for Research on Cancer), NTP (National Toxicology Program), OSHA (Occupation Safety and Health Administration), ACGIH (American Conference for Governmental Industrial Hygienists) oder EG (Europäische Gemeinschaft) gelistet sind.

Erbgutverändernde Wirkungen:
Nicht erbgutverändernd im AMES-Test, Unerwartete DNA Synthese, Chromosomenabweichung in Eierstockzellen (CHO) von chinesischen Hamstern.

Reproduktionstoxizität:
Zeigte keine fruchtschädigende Wirkung im Tierversuch. Erfahrungsgemäß nicht zu erwarten.

Sensibilisierende Wirkungen:
Eine verzogerte Kontakt-Hypersensibilisierungs-Studie mit Meerschweinchen wurde unter Nutzung der Magnussun und Kligman Maximierungstechnik durchgefuhrt. Eine sensibilisierende Wirkung konnte nicht beobachtet werden.

Synergistic Materials:
Normalerweise keine zu erwarten.

12. ANGABEN ZUR ÖKOLOGIE

Aquatische Toxizität: Fish (Brachydanio rerio) ECO (96 hours) > 10,000 mg/l (Method: OECD 203)
Daphnia magna ECO (24 hours) > 10,000 mg/l (Method: OECD 202)

Umwelt Pfad Mobilität: Migration nicht erwartet .

Bioakkumulation: Erfahrungsgemäß nicht zu erwarten.

Persistenz und Abbaubarkeit: Die Methoden zur Beurteilung der biologischen Abbaubarkeit sind bei anorganischen Substanzen nich anwendbar.

Verbreitung in den einzelnen Umweltbereichen Unbestimmt.

13. HINWEISE ZUR ENTSORGUNG

Kann unter Beachtung der örtlichen behördlichen Vorschriften abgelagert oder verbrannt werden.

14. ANGABEN ZUM TRANSPORT

Kein Gefahrgut im Sinne der Transportvorschriften

15. VORSCHRIFTEN

Gefahrenbezeichnung:
Kein Gefahrstoff oder gefaehrliche Zubereitung gemäss der EU-Richtlinie 67/548/EEC or 99/45/EC sowie ihren verschiedenen Erganzungen und Anderungen .

Label Information

S-Sätze:
S22 - Staub nicht einatmen.
S33 - Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen.

Internationale Bestandsverzeichnisse

Alle Bestandteile dieses Produktes sind aufgeführt oder ausgenommen von den folgenden Verzeichnissen

JA - European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances (EINECS)
JA - Australian Inventory of Chemical Substances (AICS)
JA - Canadian Domestic Substances List (DSL)
JA - Chinese Inventory
JA - Japanese Existing and New Chemical Substances (ENCS)
JA - Korean Existing Chemical Substances List (KECL)
JA - Philippine Inventory of Chemicals and Chemical Substances (PICCS)
JA - United States Toxic Substances Control Act (TSCA) Inventory

Deutschland
Wassergefährdungsklasse WGK
WGK ID No.: unbestimmt
WGK Class: Nicht eingetragen

Schweiz
(Giftklasse)
ID No.: unbestimmt
Giftkategorie: unbestimmt

16. SONSTIGE ANGABEN

Hergestellt durch:	Cabot Corporation, Sicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz Angelegenheiten
Überarbeitet am:	12/März/2003
Vorheriges Revisionsdatum	February/2000
Revisionsgrund:	Neues Format

Verzichterkl„rung:
Die vorstehenden Angaben sind nach bestem Wissen aus den Cabot Corporation vorliegenden Informationen erstellt worden. Es wird keine Gewähr, weder ausdrücklich noch stillschweigend, übernommen. Die Angaben dienen lediglich Informationszwecken. Cabot übernimmt keinerlei Haftung für eventuell aus der Anwendung dieser Information entstehenden Schäden.

R and 'TM' sind registrierte Warenzeichen der Cabot Corporation

Desmodur® DA-L

Ausgabe: 2002-09-25
Ersetzt Ausgabe vom: 2002-02-15

Typ	Hydrophiles aliphatisches Polyisocyanat auf Basis Hexamethylen-diisocyanat	
Charakterisierung	Desmodur DA-L ist ein lösemittelfreies, flüssiges und in wässrigen Polymerdispersionen emulgierbares Polyisocyanat. Es kann als Vernetzer für weitgehend pH-neutrale wässrige Polymerdispersionen, u. a. für Polyurethan-, Polyvinylacetat-, Polyacrylat- sowie Synthesekautschuk-Dispersionen verwendet werden. Die Vernetzung erhöht die Beständigkeit der Klebungen gegen Wärme, Wasser, Weichmacher und zahlreiche Lösemittel.	
Lieferform	Lösemittelfrei	
Spezifikation	NCO-Gehalt nach DIN EN ISO 11 909, Anhang A	20,0 ± 1 %
	Viskosität bei 23 °C nach DIN EN ISO 3219 A.3 Rotation	3400 ± 600 mPa·s
Sonstige Daten*	Gehalt an monomeren Isocyanat nach DIN 55 956	≤ 0,25 %
	Dichte bei 23 °C nach DIN 51 757	ca. 1,16 g/cm³
	Flammpunkt nach DIN EN 22 719	215 °C
	*Dies sind nur allgemeine Informationen. Die angegebenen Werte sind kein Bestandteil der Produktspezifikation.	
Anwendung	Zum Emulgieren von Desmodur DA-L in der Klebstoffdispersion ist gutes mechanisches Rühren erforderlich. Rühren von Hand reicht für eine gute Homogenisierung, insbesondere bei niedrigviskosen Dispersionsklebstoffen, nicht aus. Eine unzureichende Verteilung kann zu körnigen Abscheidungen aus der Klebstoffmischung führen.	

Anwendung (Fortsetzung)	Nach Zugabe von Desmodur DA-L ist der anwendungsfertige Zweikom ponenten-Klebstoff innerhalb eines Zeitraumes (“Topfzeit”) zu verarbeiten, der nicht nur durch seinen Polymeranteil, sondern auch durch seine übrigen Bestandteile (Harz, Verdickungsmittel, Weich-macher, u. a.) bestimmt ist. Das Ende dieser Topfzeit, die sich im allgemeinen über mehrere Stunden erstreckt, zeigt sich bei vielen Dispersionen nicht durch ein Gelieren an. Dieser Zeitpunkt kann durch Bestimmen der Festigkeitseigenschaften der Klebungen, vor allem der Wärme- und Wasserfestigkeit, ermittelt werden. Zur Vernetzung von 100 Gew.-Teilen eines Dispersions-Klebstoffes mit einem Polymeranteil von 40 - 60 Gew.-% empfiehlt sich ein Zusatz von 3 - 10 Gew.-% Desmodur DA-L.
Verpackung	Metallgebinde: 60 l-Kannen mit 60 kg Inhalt.
Lagerfähigkeit	6 Monate ab Auslieferung Bayer AG bei Lagerung in original verschlossenen Gebinden bei einer Temperatur unterhalb von +30 °C. Alle Desmodur-Typen sind sehr feuchtigkeitsempfindlich und reagieren mit Wasser zu Kohlendioxid und unlöslichen Harnstoffen. Behälter müssen stets dicht verschlossen sein. Der Zutritt von Wasser in jeder Form ist auszuschließen (feuchte Luft, feuchte Lösungsmittel, feuchte Behälter); durch die Kohlendioxidentwicklung kann es zu gefährlichen Drucksteigerungen kommen.
Ensorgung	Nicht weiter verwendbare Produktrückstände sollten unter Beachtung der behördlichen Vorschriften einer Verbrennungsanlage zugeführt werden. Die branchenspezifischen Abfallschlüsselnummern des "European Waste Cataloque" (EWC) sind zu verwenden. Nähere Informationen siehe Sicherheitsdatenblatt. Informationen über die nach deutscher Verpackungsverordnung vorgesehene Rücknahme für restentleerte Gebinde oder Verpackungen können einer auf Anforderung erhältlichen Broschüre "Rücknahme 2000" entnommen werden. Bei der Weitergabe nicht dekontaminierter Gebinde darf die Gefahrenkennzeichnung nicht entfernt werden.

Desmodur® DA-L

Ausgabe: 2002-09-25
Ersetzt Ausgabe vom: 2002-02-15

Sicherheit

Das Produkt erfordert als Polyisocyanat besondere Sorgfalt bei der Handhabung. Das Produkt ist schädlich für Wasserorganismen und kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben. Das Produkt wird aufgrund eines sehr empfindlichen Tests an Meerschweinchen (mit Immunstimulation und Injektion der Prüfsubstanz unter die Haut) als hautsensibilisierend eingestuft. Die langjährigen Er- fahrungen beim Umgang mit aliphatischen Polyisocyanaten sowie Ergebnisse von praxisnahen Tests belegen jedoch, dass die Gefahr einer Hautsensibilisierung als sehr gering einzuschätzen ist. Das Sicherheitsdatenblatt ist zu beachten. Es enthält u. a. Angaben zu Kennzeichnung, Transport und Lagerung sowie Informationen zu Handhabung, Produktsicherheit und Ökologie. Wir verweisen ferner auf die ergänzenden Hinweise zu unseren An- wendungstechnischen Informationen im Abschnitt 1.3 der Einfüh- rungsschrift "DD-Lackrohstoffe" (Bestell-Nr. LS 44734) sowie auf das Merkblatt M 044 "Polyurethane-Herstellung/Isocyanate" der Berufsge- nossenschaft Chemie (Bestell-Nr. BGI 524). Haut- und Augenkontakt mit dem Produkt sowie das Einatmen der Dämpfe sind zu vermeiden. Wir empfehlen das Tragen von Schutzbrille und Schutzhandschuhen. Bei der Spritzverarbeitung müssen die Atmungsorgane vor Sprühnebeln geschützt werden, deshalb ist Atemschutz erforderlich. Das Produkt enthält weniger als 0,25 % monomeres Diisocyanat. Es besteht nur eine geringe Gefahr der inhalativen Reizwirkung. In einzelnen Fällen sind Überempfindlichkeitsreaktionen möglich. Personen mit Überempfindlichkeit der Atemwege (Asthma, chronische Bronchitis) sollten vom Umgang mit dem Produkt ausgeschlossen werden.

Bayer AG
Geschäftsbereich
Lackrohstoffe, Farbmittel und Sondergebiete
D-51368 Leverkusen

Die vorstehenden Informationen und unsere anwendungstechnische Beratung in Wort, Schrift und durch Versuche erfolgen nach bestemWissen, gelten jedoch nur als unverbindliche Hinweise, auch in bezug auf etwaige Schutzrechte Dritter. Die Beratung befreit Sie nicht von einer eigenen Prüfung unserer aktuellen Beratungshinweise – insbesondere unserer Sicherheitsdatenblatter und technischen Informationen – und unserer Produkte und der aufgrund unserer anwendungstechnischen Beratung von Ihnen hergestellten Produkte erfolgen außerhalb unserer Kontrollmöglichkeit un liegen daher ausschließlich in Ihrem Verantwortungsbereich. Der Verkauf unserer Profukte erfolgt nach Maßgabe unserer jeweils aktuellen Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen.

BK Giulini

LOPON® 890

Produkt-Nr.: 7 1899

Dispergiermittel für Dispersionsfarben, -silikatfarben, -lacke sowie Putze und Klebstoffe

Nomenklatur	wäßrige Lösung eines Natriumpolyacrylates	
Beschaffenheit	klare, gelbliche Flüssigkeit	
Spezifikation	pH-Wert (original):	8,0 – 9,0
	Feststoffgehalt:	44,0 – 46,0 %
Spez.Eigenschaften	Dichte (20°C):	ca. 1,30 g/ml

Verwendung

LOPON 890 hat folgende Vorteile:

- leichte Dosierung, da Flüssigprodukt
- hohe Wirksamkeit, dadurch niedrige Kosten
- hervorragende Verflüssigung, dadurch höherer Feststoffgehalt erreichbar
- optimale Abstimmung mit Polyphosphaten (z.B. CALGON® N) zur Erreichung von wasch- und scheuerfesten Dispersionsfarben
- gute Lagerstabilität
- niedrige Anfangsviskosität der Farben
- zeichnet sich bei Einsatz in Dispersionssilikatfarben durch eine hervorragende Langzeitstabilität aus
- ergibt in Dispersionslacken einen hohen Glanz
- ist glykolverträglich

Die Einsatzmenge liegt im allgemeinen zwischen 0,2 – 0,6 %, bezogen auf Feststoffgehalt.

Arbeitssicherheit und Umweltschutz

Die beim Umgang mit Chemikalien üblichen Vorsichtsmaßnahmen sind zu beachten. Schutzhandschuhe aus Gummi und Sicherheitsschutzbrille. Bei sachgemäßer Einleitung in adaptierte, biologische Kläranlagen sind keine Störungen der Abbauaktivität des Belebtschlammes zu erwarten.

Bei der Handhabung des Produktes sind die Schutzmaßnahmen entsprechend den Angaben im Sicherheitsdatenblatt zu beachten.

Darüberhinaus enthält das Sicherheitsdatenblatt weitere wichtige Informationen.

Lagerung

Gebinde geschlossen halten und vor Frost schützen.

Verpackung

Einweg-Kunststoffkanister	à 40 kg netto; Verkaufseinheit 400 kg netto.
Einweg-Kunststoffaß	à 180 kg netto; Verkaufseinheit 540 kg netto.
Einweg-Container	à 1200 kg netto; Verkaufseinheit 1200 kg netto.

Diese Angaben entsprechen dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und sollen über unsere Produkte und deren Anwendungsmöglichkeiten informieren. Sie haben somit nicht die Bedeutung, bestimmte Eigenschaften der Produkte oder deren Eignung für einen konkreten Einsatzzweck zuzusichern. Eine rechtliche Verbindlichkeit kann daraus nicht abgeleitet werden. Etwa bestehende gewerbliche Schutzrechte sind zu berücksichtigen. Eine einwandfreie Qualität gewährleisten wir im Rahmen unserer Allgemeinen Verkaufsbedingungen.

Kontakt Bei Rückfragen rufen Sie bitte an:
(06203) 77-310

BK Giulini Chemie GmbH & Co. OHG
Werk Ladenburg
Dr.-Albert-Reimann-Straße 2
D-68526 Ladenburg
Telefon: (06203) 77-242
Telefax: (06203) 77-256
E-mail: industry@bk-giulini.com
Internet: www.bk-giulini.com

Stand: April 2002

Sicherheitsdatenblatt

gemäß 91/155/EWG

BK Giulini Chemie

Druckdatum: 21.05.2002 *überarbeitet am: 21.05.2002*

1 Stoff-/Zubereitungs- und Firmenbezeichnung

. **Angaben zum Produkt**

. **Handelsname: LOPON 890**
Artikelnummer: BK1899A

. **Artikelnummer:** BK1899A

. **Hersteller/Lieferant:**
BK Giulini Chemie GmbH & Co. OHG
Werk Ladenburg, Dr.A.Reimann-Str.2
D-68526 Ladenburg

www.bk-giulini.com
Tel: 06203 / 77-0
Fax: 06203 / 12818

. **Auskunftgebender Bereich:**
Geschäftsbereich Industrie
Werk Ladenburg Tel.: +49 (0) 6203 / 77-172
Werk Ludwigshafen Tel.: +49 (0) 621 / 5709-523

. **Notfallauskunft:**
Werk Ladenburg Tel.: +49 (0) 6203 / 77-112
Werk Ludwigshafen Tel.: +49 (0) 621 / 5709-01

2 Zusammensetzung/Angaben zu den Bestandteilen

. **Chemische Charakterisierung:**
. **CAS-Nr. Bezeichnung**
9003-04-7 Polyacrylsäure, Natriumsalz
. **Identifikationsnummer(n)**
. **EINECS-Nummer:** entfällt

. **Chemische Charakterisierung**
. **Beschreibung:** Natriumsalz von Polyacrylsäure in Wasser

. **Gefährliche Inhaltsstoffe:** entfällt

3 Mögliche Gefahren

. **Gefahrenbezeichnung:** entfällt
. **Besondere Gefahrenhinweise für Mensch und Umwelt:** entfällt
. **Klassifizierungssystem:**
Die Klassifizierung entspricht den aktuellen EG-Listen, ist jedoch ergänzt durch Angaben aus der Fachliteratur und durch Firmenangaben.

4 Erste-Hilfe-Maßnahmen

. **nach Einatmen:** Frischluftzufuhr, bei Beschwerden Arzt aufsuchen.
. **nach Hautkontakt:** Mit Wasser und Seife waschen.
. **nach Augenkontakt:**
Augen mehrere Minuten bei geöffnetem Lidspalt unter fließendem Wasser spülen. Bei anhaltenden Beschwerden Arzt konsultieren.
. **nach Verschlucken:**
Mund ausspülen und reichlich Wasser nachtrinken.
Bei anhaltenden Beschwerden Arzt konsultieren.

5 Maßnahmen zur Brandbekämpfung

. **Geeignete Löschmittel:**
Feuerlöschmaßnahmen auf die Umgebung abstimmen.
Das Produkt selbst ist nicht brennbar.
CO2, Löschpulver oder Wassersprühstrahl. Größeren Brand mit Schaum bekämpfen.

(Fortsetzung auf Seite 2)

Sicherheitsdatenblatt

gemäß 91/155/EWG

BK Giulini Chemie

Druckdatum: 21.05.2002 *überarbeitet am: 21.05.2002*

Handelsname: LOPON 890
Artikelnummer: BK1899A

(Fortsetzung von Seite 1)

. **Besondere Gefährdung durch den Stoff, seine Verbrennungsprodukte oder entstehende Gase:**
Bei einem Brand kann freigesetzt werden:
Kohlenmonoxid (CO)
. **Besondere Schutzausrüstung:** Keine besonderen Maßnahmen erforderlich.

6 Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung:

. **Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen:** Persönliche Schutzkleidung tragen.
. **Umweltschutzmaßnahmen:** Keine besonderen Maßnahmen erforderlich.
. **Verfahren zur Reinigung/Aufnahme:**
Mit flüssigkeitsbindendem Material (Sand, Kieselgur, Säurebinder, Universalbinder, Sägemehl) aufnehmen.

7 Handhabung und Lagerung

. **Handhabung:**
. **Hinweise zum sicheren Umgang:** Behälter dicht geschlossen halten.
. **Hinweise zum Brand- und Explosionsschutz:**
Keine besonderen Maßnahmen erforderlich.

. **Lagerung:**
. **Anforderung an Lagerräume und Behälter:** Keine besonderen Anforderungen.
. **Zusammenlagerungshinweise:** Nicht zusammen mit Säuren lagern.
. **Weitere Angaben zu den Lagerbedingungen:**
In gut verschlossenen Gebinden kühl und trocken lagern.
Vor Frost schützen.
. **Lagerklasse:**
. **VbF-Klasse:** entfällt

8 Expositionsbegrenzung und persönliche Schutzausrüstung

. **Bestandteile mit arbeitsplatzbezogenen, zu überwachenden Grenzwerten:**
Das Produkt enthält keine relevanten Mengen von Stoffen mit arbeitsplatzbezogenen, zu überwachenden Grenzwerten.
. **Zusätzliche Hinweise:**
Als Grundlage dienten die bei der Erstellung gültigen Listen.

. **Persönliche Schutzausrüstung:**
. **Allgemeine Schutz- und Hygienemaßnahmen:**
Die üblichen Vorsichtsmaßnahmen beim Umgang mit Chemikalien sind zu beachten.
Beschmutzte, getränkte Kleidung sofort ausziehen.
Vor den Pausen und bei Arbeitsende Hände waschen.
Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden.
. **Atemschutz:** nicht erforderlich.
. **Handschutz:**
Handschuhe aus Gummi.
Handschuhe aus PVC oder PE.
Handschuhe aus Neopren.
. **Augenschutz:** Dichtschließende Schutzbrille.

9 Physikalische und chemische Eigenschaften

. **Form:**	flüssig
. **Farbe:**	gelblich
. **Geruch:**	charakteristisch

(Fortsetzung auf Seite 3)

Sicherheitsdatenblatt

gemäß 91/155/EWG

BK Giulini Chemie

Druckdatum: 21.05.2002 *überarbeitet am: 21.05.2002*

Handelsname: LOPON 890
Artikelnummer: BK1899A

(Fortsetzung von Seite 2)

. **Zustandsänderung**	
Siedepunkt/Siedebereich:	> 100°C
Stockpunkt:	ca. 0°C
. **Flammpunkt:**	nicht anwendbar
. **Explosionsgefahr:**	Das Produkt ist nicht explosionsgefährlich.
. **Dampfdruck bei 20°C:**	ca. 23 hPa
. **Dichte bei 20°C:**	ca. 1,3 g/cm3 (DIN 51 757)
. **Löslichkeit in / Mischbarkeit mit**	
Wasser:	vollständig mischbar
. **pH-Wert (orig. g/l) bei 23°C:**	ca. 8 (ISO 19 268)
. **Viskosität:**	
dynamisch bei 23°C:	ca. 500 mPas (ISO 2555)

10 Stabilität und Reaktivität

. **Thermische Zersetzung / zu vermeidende Bedingungen:**
Keine Zersetzung bei bestimmungsgemäßer Verwendung.
. **Zu vermeidende Stoffe:** nicht bestimmt
. **Gefährliche Zersetzungsprodukte:** keine

11 Angaben zur Toxikologie

. **Akute Toxizität:**
. **Einstufungsrelevante LD/LC50-Werte:**

Produkt				
	LD50:	oral	> 2000 mg/kg	rat

. **Primäre Reizwirkung:**
. **an der Haut:** Keine Reizwirkung
. **am Auge:** Mäßig reizend
. **Sensibilisierung:** Keine sensibilisierende Wirkung bekannt
. **Zusätzliche toxikologische Hinweise:**
Bei sachgemäßem Umgang und bestimmungsgemäßer Verwendung verursacht das Produkt nach unseren Erfahrungen und den uns vorliegenden Informationen keine gesundheitsschädlichen Wirkungen.

12 Angaben zur Ökologie

. **Angaben zur Elimination (Persistenz und Abbaubarkeit):**
. **Sonstige Hinweise:**
Bewertung: gut eliminierbar
Elimination durch Flockung oder Adsorption an Schlamm
Eliminierbarkeit: ca. 20 - 70% (DOC-Abnahme-Methode)
. **Ökotoxische Wirkungen:**
. **Sonstige Hinweise:**
Kein AOX
CSB: ca: 350 gO2/l
BSB5: ca: 5 gO2/l
. **Weitere ökologische Hinweise:**
. **Enthält rezepturgemäß folgende Schwermetalle und Verbindungen der EG-Richtlinie Nr. 76/464 EWG:**
keine

(Fortsetzung auf Seite 4)

Sicherheitsdatenblatt

gemäß 91/155/EWG

BK Giulini Chemie

Druckdatum: 21.05.2002 *überarbeitet am: 21.05.2002*

Handelsname: LOPON 890
Artikelnummer: BK1899A

(Fortsetzung von Seite 3)

. **Allgemeine Hinweise:**
Nicht unverdünnt bzw. in größeren Mengen in das Grundwasser, in Gewässer oder in die Kanalisation gelangen lassen.

13 Hinweise zur Entsorgung

. **Produkt:**
. **Empfehlung:**
Darf nicht zusammen mit Hausmüll entsorgt werden. Nicht in konzentrierter Form in die Kanalisation gelangen lassen.
. **Europäischer Abfallkatalog**
16 03 06 organische Abfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 03 05 fallen
. **Ungereinigte Verpackungen:**
. **Empfehlung:**
Die Verpackung ist nach Maßgabe der Verpackungsverordnung zu entsorgen.
. **Empfohlenes Reinigungsmittel:**
Wasser, gegebenenfalls mit Zusatz von Reinigungsmitteln.

14 Transportvorschriften

. **Transport/weitere Angaben:**
Frostfreien Transport gewährleisten.
Kein Gefahrgut im Sinne der Transportvorschriften.

15 Vorschriften

. **Kennzeichnung nach EWG-Richtlinien:**
Das Produkt ist nicht kennzeichnungspflichtig auf Grund des Berechnungsverfahrens der "Allgemeinen Einstufungsrichtlinie für Zubereitungen der EG" in der letztgültigen Fassung.
. **Nationale Vorschriften:**
. **Störfallverordnung:** Störfallverordnung, Anhang: nicht genannt.
. **Klassifizierung nach VbF:** entfällt
. **Wassergefährdungsklasse:**
WGK 1 : schwach wassergefährdend (nach VwVwS vom 17.05.1999)
. **Sonstige Vorschriften, Beschränkungen und Verbotsverordnungen**
ZH 1/105 "Schutzkleidung-Merkblatt"

16 Sonstige Angaben:

Die Angaben stützen sich auf den heutigen Stand unserer Kenntnisse, sie stellen jedoch keine Zusicherung von Produkteigenschaften dar und begründen kein vertragliches Rechtsverhältnis.
Ein * bei einer Überschrift bedeutet eine Überarbeitung dieses Kapitels.

. **Datenblatt ausstellender Bereich:** Umweltschutz und Arbeitsicherheit
. **Ansprechpartner:** Dr. Roland Gitzing

KREMER PIGMENTE

780250 **TWEEN 20**

`Tween` 20 - Pharma grade
(Polysorbate 20)
In compliance with EP & NF

Polyoxyethylene 20 sorbiton monolaurate

General: Surfactant	Classification:	Nonionic
	Specific gravity, 25°C:	Approx. 1.1
	Viscosity, 25°C, mPas:	Approx. 400
	Flash point, °C:	Above 149
	Fire point, °C:	Above 149
	HLB Number:	16.7
Solubilities:	Soluble in water, methanol, ethanol, isopropanol, propylene glycol, ethylene glycol, ethylene glycol and cottonseed oil. Insoluble in mineral oil.	
Specifications:	Raw material feedstock:	Non-animal
	Identification in EP:	Pass
	Appearance at 25°C:	Clear liquid
	Acid value, mg KOH/g:	Max. 2.0
	Saponification value, mg KOH/g:	40 - 50
	Hydroxyl value, mg KOH/g:	96 - 108
	Water content, % w/w:	2.5 - 3.0
	Color at 25°C, Gardner:	Max. 5.0
	Heavy metals, ppm:	Max. 10.0
	Organic volatile impurities test:	Pass
	Reducing substances, ml 0.01 M: ammonium cerium nitrate solution	Max. 2.0
	Iodine value, g I_2/100g:	Max. 5.0
	Sulphated ash, % w/w:	Max. 0.2
	Free ethylene oxide, ppm:	Max. 1.0
	Free dioxane, ppm w/w:	Max. 5.0
	Peroxide value, meq O_2/kg:	Max. 5.0

The word `Tween` is a trade name of the ICI Group of Chemicals.

The information and recommendations in this publication are to the best of our knowledge, information and belief accurate at the date of publication.
Nothing herein is to be construed as a warranty, express or otherwise. In all cases, it is the responsibility of the user to determine the applicability of such information or the suitability of any products for their own particular purpose.

Dr. Georg Kremer, Dipl.-Chemiker, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu, Telefon +49-7565-91120, Telefax +49-7565-1606
kremer-pigmente@t-online.de, www.kremer-pigmente.com

EG-Tax No.: DE 147364259 Bankverbindung: Postgirokonto Stuttgart (BLZ 600 100 70) Konto-Nr. 0200 710 703

SICHERHEITSDATENBLATT
gemäß 93/112/EG

Künstlerbedarf,
Verlag, Fachbuchhandlung

KREMER PIGMENTE

TWEEN 20 780250

Ausgabe: 09.01.2001

1. STOFF-/ ZUBEREITUNGS- UND FIRMENBEZEICHUNG

Angaben zum Produkt:
Handelsname: **Tween 20**
Artikelnummer: **780250**

Hersteller/Lieferant: Fa. Dr. Kremer, D-88317 Aichstetten
Tel: +49-7565-91120 Fax: +49-7565-1606

2. ZUSAMMENSETZUNG / ANGABEN ZU DEN BESTANDTEILEN

Chemische Charakterisierung:
Polyoxyethylen-(20)-Sorbitanmonolaurat

CAS-Nr. 9005-64-5

3. MÖGLICHE GEFAHREN

Keine besonderen Gefahren bekannt.

4. ERSTE-HILFE-MAßNAHMEN

Nach Einatmen:	Frischluftzufuhr, bei Beschwerden Arzt aufsuchen.
Nach Hautkontakt:	Sofort mit Wasser und Seife abwaschen und gut nachspülen.
Nach Augenkontakt:	Augen mehrere Minuten bei geöffnetem Lidspalt mit fließendem Wasser spülen.
Nach Verschlucken:	Kein Erbrechen herbeiführen, sofort Arzthilfe zuziehen. Mund ausspülen und reichlich Wasser nachtrinken.
Hinweise für den Arzt:	Symptomatisch behandeln.

5. MAßNAHMEN ZUR BRANDBEKÄMPFUNG

Geeignete Löschmittel:	Wassersprühstrahl, Schaum, Löschpulver, CO2. Feuerlöschmaßnahmen auf die Umgebung abstimmen.
Besondere Schutzausrüstung:	Umgebungsluftunabhängiges Atemschutzgerät tragen.

Dr. Georg Kremer, Dipl.-Chemiker, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu,
Telefon +49 (0) 7565/1011, 91120, 91140, Telefax +49 (0) 7565/1606
kremer-pigmente@t-online.de, www.kremer-pigmente.com

EG-Tax No.: DE 147364259 Steuer-Nr. 91193-59418
Bankverbindung: Postgirokonto Stuttgart (BLZ 600 100 70), Konto-Nr. 0200 710 703

6. MAßNAHMEN BEI UNBEABSICHTIGTER FREISETZUNG

Personenbezogene Vorsichts-maßnahmen:	Keine besonderen Maßnahmen.
Umweltschutzmaßnahmen:	Keine besonderen Maßnahmen.
Verfahren zur Reinigung/ Aufnahme:	Mit flüssigkeitsbindendem Material (Sand, Kieselgur, Säurebinder, Universalbinder, Sägemehl) aufnehmen. In geeigneten Behältern der Rückgewinnung oder Entsorgung zuführen. Kontaminiertes Material als Abfall nach Punkt 13 entsorgen. Unfallstelle sorgfältig säubern; geeignet sind: warmes Wasser und Reinigungsmittel.

7. HANDHABUNG UND LAGERUNG

Handhabung:

Hinweise zum sicheren Umgang:	Keine besonderen Maßnahmen erforderlich.
Hinweise zum Brand- und Explosionsschutz:	Keine besonderen Maßnahmen erforderlich.

Lagerung:

Anforderungen an Lagerräume und Behälter:	Keine besonderen Anforderungen.
Zusammenlagerungshinweise:	nicht erforderlich
Lagerbedingungen:	keine

8. EXPOSITIONSBEGRENZUNG UND PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG

Zusätzliche Hinweise zur Gestaltung technischer Anlagen:
Keine weiteren Angaben, siehe Punkt 7.

Bestandteile mit arbeitsplatzbezogenen, zu überwachenden Grenzwerten:
Das Produkt enthält keine relevanten Mengen von Stoffen mit arbeitsplatzbezogenen, zu überwachenden Grenzwerten.

Persönliche Schutzausrüstung:

- Allgemeine Schutz- und Hygienemaßnahmen:	Die üblichen Vorsichtsmaßnahmen beim Umgang mit Chemikalien sind zu beachten.
- Handschutz:	Schutzhandschuhe.
- Augenschutz:	Schutzbrille.

Dr. Georg Kremer, Dipl.-Chemiker, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu,
Telefon +49 (0) 75 65 / 10 11, 9 11 20, 9 11 40, Telefax +49 (0) 75 65 / 16 06
kremer-pigmente@t-online.de, www.kremer-pigmente.com

EG-Tax No.: DE 147364259 Steuer-Nr. 91193-59418
Bankverbindung: Postgirokonto Stuttgart (BLZ 600 100 70), Konto-Nr. 0200 710 703

9. PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

Form:	Flüssigkeit
Farbe:	hellgelb
Schmelzpunkt/-bereich:	nicht bestimmt
Siedepunkt/-bereich:	> 100°C
Flammpunkt:	> 149°C (DIN 51758)
Dampfdruck (20°C):	< 1,4 hPa (DIN 51754)
Dichte (25°C):	1,1 g/cm³ (DIN 51757)
Löslichkeit in/Mischbarkeit mit:	
- Wasser:	löslich
- Alkoholen:	löslich
- pflanzlichen Ölen:	gut löslich
- Glykolen:	gut löslich
- Paraffinöl:	unlöslich
Viskosität, dynamisch (25°C):	ca. 400 mPa·s (DIN 53015)

10. STABILITÄT UND REAKTIVITÄT

Thermische Zersetzung/Zu vermeidende Bedingungen:	Keine Zersetzung bei bestimmungsgemäßer Verwendung.
Gefährliche Zersetzungsprodukte:	Kohlenmonoxid und Kohlendioxid.

11. ANGABEN ZUR TOXIKOLOGIE

Akute Toxizität:
LD50, oral: > 38,9 g/kg Spezies: Ratte

Primäre Reizwirkung:
Augenreizung: Keine Reizwirkung
Hautreizung: Keine Reizwirkung

Subakute bis chronische Toxizität:
Potentielle Teratogenität bei intraperitonealer Exposition an Mäusen.

12. ANGABEN ZUR ÖKOLOGIE

Angaben zur Elimination
(Persistenz und Abbaubarkeit):
97,2 % nach 5 Tagen; 100 % nach 19 Tagen Methode: OECD - statisch
Das Produkt ist biologisch leicht abbaubar.

Dr. Georg Kremer, Dipl.-Chemiker, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu,
Telefon +49 (0) 75 65 / 10 11, 9 11 20, 9 11 40, Telefax +49 (0) 75 65 / 16 06
kremer-pigmente@t-online.de, www.kremer-pigmente.com

EG-Tax No.: DE 147364259 Steuer-Nr. 91193-59418
Bankverbindung: Postgirokonto Stuttgart (BLZ 600 100 70), Konto-Nr. 0200 710 703

13. HINWEISE ZUR ENTSORGUNG

Produkt: Muß unter Beachtung der Sonderabfallvorschriften nach Vorbehandlung einer hierfür zugelassenen Sonderabfallverbrennungsanlage zugeführt werden.

14. ANGABEN ZUM TRANSPORT

Kein Gefahrgut im Sinne der Transportvorschriften.

15. VORSCHRIFTEN

Kennzeichnung nach EWG-Richtlinien:	Das Produkt ist nach EG-Richtlinien/GefStoffV nicht kennzeichnungspflichtig.
Nationale Vorschriften (D):	
- Wassergefährdungsklasse:	WGK 1 schwach wassergefährdend (Selbsteinstufung gem. VwVwS v. 17.05.99 Anhang 3).
Sonstige Vorschriften:	
- Schweiz: BAG-T-Nr. 17060:	Giftklasse: frei

16. SONSTIGE ANGABEN

Mit den vorstehenden Angaben, die dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und Erfahrungen entsprechen, wollen wir unser Produkt im Hinblick auf etwaige Sicherheitserfordernisse beschreiben, verbinden damit jedoch keine Eigenschaftszusicherungen und Qualitätsbeschreibungen.

Dr. Georg Kremer, Dipl.-Chemiker, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu,
Telefon +49 (0) 75 65/ 10 11, 9 11 20, 9 11 40, Telefax +49 (0) 75 65/ 16 06
kremer-pigmente@t-online.de, www.kremer-pigmente.com

EG-Tax No.: DE 147364259 Steuer-Nr. 91193-59418
Bankverbindung: Postgirokonto Stuttgart (BLZ 600 100 70), Konto-Nr. 0200 710 703

Datenblatt

Epilox® A 19-00

Charakterisierung des Produktes

Epilox® A 19-00 ist ein niedermolekulares mittelviskoses Epoxidharz, welches zur Kristallisation neigt.

Kennwerte

Viskosität bei 25 °C (DIN 53 015)	mPa·s	9000 - 13000
Epoxidäquivalent (DIN 16 945)	g/Äquiv.	182 - 192
Dichte bei 20 °C (DIN 53 217 T.4)	g/cm³	ca. 1,16
Farbzahl nach Gardner (DIN ISO 4630)	-	< 2

Anwendung

Epoxidharz für allgemeinen Einsatz, Grundharz. Epilox® A 19-00 kann mit Polyaminen, modifizierten Polyaminen oder Polyamidoaminen kalt oder warm gehärtet werden. Mit Di- oder Polycarbonsäureanhydriden können auch heißhärtende Systeme formuliert werden. Epilox® A 19-00 wird im Bauwesen für Reaktionsharzbetone, -estriche und -mörtel sowie für Spachtelmassen, Beschichtungen, Versiegelungen und zur Rißverpressung eingesetzt. Mit dem Produkt lassen sich Kleber für den Maschinen- und Anlagenbau formulieren. In der Elektrotechnik findet es als Träufel- und Gießharz Verwendung. Im Formenbau wird es als Bindemittel benutzt.
Epilox® A 19-00 neigt bei Lagerung zur Kristallisation. Das Wiederaufschmelzen des kristallisierten Produktes bei ca. 50 °C bis 60 °C ist ohne Qualitätsverlust möglich. Lokale Überhitzung ist dabei zu vermeiden.

Verpackung/ Lagerung/Transport

Epilox® A 19-00 wird vorzugsweise in Fässern, Containern und Straßentankzügen geliefert.
Das Produkt sollte in feuchtigkeitsgeschützten Gebinden bei Temperaturen zwischen 10 °C und 30 °C gelagert werden. Lagerungen über den Zeitraum von 12 Monaten hinaus führen bei günstigen Lagerungsbedingungen nicht zur Gebrauchswertminderung.

Sicherheitstechnische Hinweise

Epilox® A 19-00 ist gemäß Gefahrstoffverordnung mit "X_i" Reizend und "N" Umweltgefährlich gekennzeichnet.

Die Angaben in diesem Prospektblatt wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und entsprechen unserem derzeitigen Erkenntnisstand. Eine Verbindlichkeit kann jedoch daraus nicht abgeleitet werden.

LEUNA-Harze GmbH
PF 43, Bau 6619
D - 06233 Leuna
Tel.: 03461-43-3094, Fax: 03461-43-6543
email : wendt.harze@leuna.de
internet: http://www.leuna-harze.de

A19-00
Apr-03

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 12.06.2002 Vers.-Nr.: 1 überarbeitet am: [illegible].2002

1 Stoff-/Zubereitungs- und Firmenbezeichnung

· **Angaben zum Produkt**

· **Handelsname:** Epilox A 19-00

· **Artikelnummer:** 0101
· **Verwendung des Stoffes / der Zubereitung** Epoxy-Bindemittel

· **Hersteller/Lieferant:**
LEUNA-HARZE GmbH
Postfach 43
D-6233 Leuna
Telefon 03461 43 3639

· **Auskunftgebender Bereich:**
Abteilung Qualitätssicherung
Telefon 03461 43 4654
Telefax 03461 43 4574
Telefon außerhalb der Geschäftszeit: 03461 43 6188
· **Notfallauskunft:**
Leitstelle Werkfeuerwehr
03461 210007

2 Zusammensetzung / Angaben zu den Bestandteilen

· **Chemische Charakterisierung:**
· **CAS-Nr. Bezeichnung**
25068-38-6 Reaktionsprodukt: Bisphenol-A-Epichlorhydrinharze mit durchschnittlichem Molekulargewicht ≤ 700
· **Identifikationsnummer(n)**
· **EINECS-Nummer:** 500-033-5
· **EG-Nummer:** 603-074-00-8

3 Mögliche Gefahren

· **Gefahrenbezeichnung:**

Xi Reizend
N Umweltgefährlich

· **Besondere Gefahrenhinweise für Mensch und Umwelt:**
R 36/38 Reizt die Augen und die Haut.
R 43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich.
R 51/53 Giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben.
Enthält epoxidhaltige Verbindungen. Hinweise des Herstellers beachten.

4 Erste-Hilfe-Maßnahmen

· **Nach Einatmen:**
Reichlich Frischluftzufuhr und sicherheitshalber Arzt aufsuchen.
Bei Bewußtlosigkeit Lagerung und Transport in stabiler Seitenlage.
· **Nach Hautkontakt:** Sofort mit Wasser und Seife abwaschen und gut nachspülen.
· **Nach Augenkontakt:**
Augen mehrere Minuten bei geöffnetem Lidspalt unter fließendem Wasser spülen. Bei anhaltenden Beschwerden Arzt konsultieren.
· **Nach Verschlucken:**
Mund ausspülen und reichlich Wasser nachtrinken.

(Fortsetzung auf Seite 2)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 12.06.2002 Vers.-Nr.: 1 überarbeitet am:

Handelsname: Epilox A 19-00

(Fortsetzung von Seite 1)

Kein Erbrechen herbeiführen, sofort Arzthilfe zuziehen.

5 Maßnahmen zur Brandbekämpfung

· **Geeignete Löschmittel:**
CO_2, Löschpulver oder Wassersprühstrahl. Größeren Brand mit Wassersprühstrahl bekämpfen.
· **Besondere Gefährdung durch den Stoff, seine Verbrennungsprodukte oder entstehende Gase:**
Kohlenmonoxid (CO)
Unter bestimmten Brandbedingungen sind Spuren giftiger Stoffe nicht auszuschließen, wie z.B.:
HCl
· **Besondere Schutzausrüstung:**
Umgebungsluftunabhängiges Atemschutzgerät tragen.
Vollschutzanzug tragen.
· **Weitere Angaben**
Brandrückstände und kontaminiertes Löschwasser müssen entsprechend den behördlichen Vorschriften entsorgt werden.
Kontaminiertes Löschwasser getrennt sammeln, darf nicht in die Kanalisation gelangen.

6 Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung

· **Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen:** Schutzausrüstung tragen. Ungeschützte Personen fernhalten.
· **Umweltschutzmaßnahmen:**
Nicht in den Untergrund/Erdreich gelangen lassen.
Nicht in die Kanalisation oder in Gewässer gelangen lassen.
· **Verfahren zur Reinigung/Aufnahme:**
Kontaminiertes Material als Abfall nach Punkt 13 entsorgen.
Mit flüssigkeitsbindendem Material (Sand, Kieselgur, Säurebinder, Universalbinder, Sägemehl) aufnehmen.

7 Handhabung und Lagerung

· **Handhabung:**
· **Hinweise zum sicheren Umgang:** Für gute Belüftung/Absaugung am Arbeitsplatz sorgen.
· **Hinweise zum Brand- und Explosionsschutz:** Keine besonderen Maßnahmen erforderlich.

· **Lagerung:**
· **Anforderung an Lagerräume und Behälter:** Eindringen in den Boden sicher verhindern.
· **Zusammenlagerungshinweise:** Nicht erforderlich.
· **Weitere Angaben zu den Lagerbedingungen:**
Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren.
In gut verschlossenen Gebinden kühl und trocken lagern.
· **VbF-Klasse:** entfällt

8 Expositionsbegrenzung und persönliche Schutzausrüstungen

· **Zusätzliche Hinweise zur Gestaltung technischer Anlagen:** Keine weiteren Angaben, siehe Punkt 7.

· **Bestandteile mit arbeitsplatzbezogenen, zu überwachenden Grenzwerten:** Entfällt.
· **Zusätzliche Hinweise:** Als Grundlage dienten die bei der Erstellung gültigen Listen.

· **Persönliche Schutzausrüstung:**
· **Allgemeine Schutz- und Hygienemaßnahmen:**
Von Nahrungsmitteln, Getränken und Futtermitteln fernhalten.
Beschmutzte, getränkte Kleidung sofort ausziehen.
Vor den Pausen und bei Arbeitsende Hände waschen.
Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden.
· **Atemschutz:** Nicht erforderlich.

(Fortsetzung auf Seite 3)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 12.06.2002 Vers.-Nr.: 1 überarbeitet am: 10.06.2002

Handelsname: Epilox A 19-00

(Fortsetzung von Seite 2)

· **Handschutz:**

Schutzhandschuhe

Das Handschuhmaterial muss undurchlässig und beständig gegen das Produkt / den Stoff / die Zubereitung sein.
Auswahl des Handschuhmaterials unter Beachtung der Durchbruchzeiten, Permeationsraten und der Degradation.

· **Handschuhmaterial**
Nitrilkautschuk
Butylkautschuk
Die Auswahl eines geeigneten Handschuhs ist nicht nur vom Material, sondern auch von weiteren Qualitätsmerkmalen abhängig und von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich.

· **Durchdringungszeit des Handschuhmaterials**
Die genaue Durchbruchzeit ist beim Schutzhandschuhhersteller zu erfahren und einzuhalten.

· **Augenschutz:**

Dichtschließende Schutzbrille

· **Körperschutz:** Arbeitsschutzkleidung

9 Physikalisch-chemische Eigenschaften

· **Allgemeine Angaben**	
Form:	Viskos
Farbe:	Hellgelb
Geruch:	Fast geruchlos
· **Zustandsänderung**	
Siedepunkt/Siedebereich:	> 200°C
Stockpunkt:	5°C
· **Flammpunkt:**	151°C
· **Zündtemperatur:**	455°C
· **Explosionsgefahr:**	Das Produkt ist nicht explosionsgefährlich.
· **Dampfdruck bei 20°C:**	< 0,1 hPa
· **Dichte bei 20°C:**	1,17 g/cm³
· **Löslichkeit in / Mischbarkeit mit**	
Wasser bei 23°C:	0,009 g/l
organischen Lösemitteln:	Ketone, aromatischen Kohlenwasserstoffe
· **Viskosität:**	
Dynamisch bei 25°C:	9 000 - 13 000 mPas
Organische Lösemittel:	0,0 %

10 Stabilität und Reaktivität

· **Thermische Zersetzung / zu vermeidende Bedingungen:**
Keine Zersetzung bei bestimmungsgemäßer Verwendung.

· **Gefährliche Reaktionen**
Polymerisation unter Wärmeentwicklung.
Teilweise sehr heftige Reaktionen mit Basen sowie zahlreichen organischen Stoffklassen wie Alkoholen und Aminen.

(Fortsetzung auf Seite 4)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 12.06.2002 Vers.-Nr.: 1 überarbeitet am:

Handelsname: Epilox A 19-00

(Fortsetzung auf Seite 3)

· **Gefährliche Zersetzungsprodukte:** Reizende Gase/Dämpfe

11 Angaben zur Toxikologie

· **Akute Toxizität:**

· **Einstufungsrelevante LD/LC50-Werte:**		
25068-38-6 Reaktionsprodukt: Bisphenol-A-Epichlorhydrinharze mit durchschnittlichem Molekulargewicht ≤ 700		
Oral	LD50	> 10 000 mg/kg (Rat)

· **Primäre Reizwirkung:**
· **an der Haut:** Reizt die Haut und die Schleimhäute.
· **am Auge:** Reizwirkung.
· **Sensibilisierung:** Durch Hautkontakt Sensibilisierung möglich.

12 Angaben zur Ökologie

· **Angaben zur Elimination (Persistenz und Abbaubarkeit):**
· **Sonstige Hinweise:** Das Produkt ist biologisch schwer abbaubar.
· **Ökotoxische Wirkungen:**

· **Aquatische Toxizität:**	
25068-38-6 Reaktionsprodukt: Bisphenol-A-Epichlorhydrinharze mit durchschnittlichem Molekulargewicht ≤ 700	
EC50/48h	2,8 mg/l (Dap)
EC50/96h	220 mg/l (Alg)
LC50/96h	3,6 mg/l (leuciscus idus)

· **Bemerkung:** Giftig für Fische.
· **Allgemeine Hinweise:**
Wassergefährdungsklasse 2 (Listeneinstufung): wassergefährdend
Nicht in das Grundwasser, in Gewässer oder in die Kanalisation gelangen lassen.
giftig für Wasserorganismen

13 Hinweise zur Entsorgung

· **Produkt:**
· **Empfehlung:**
Muß unter Beachtung der behördlichen Vorschriften einer Sonderbehandlung zugeführt werden.
· **Europäischer Abfallkatalog**
Die Zuordnung der Abfallschlüsselnummern ist entsprechend der EAK-Verordnung branchen- und prozessartspezifisch durchzuführen.

· **Ungereinigte Verpackungen:**
· **Empfehlung:**
Kontaminierte Verpackungen sind optimal zu entleeren, sie können dann nach entsprechender Reinigung einer Wiederverwertung zugeführt werden.

14 Angaben zum Transport

· **Landtransport ADR/RID und GGVS/GGVE (grenzüberschreitend/Inland):**

· **ADR/RID-GGVS/E Klasse:** 9 Verschiedene gefährliche Stoffe und Gegenstände
· **Kemler-Zahl:** 90

(Fortsetzung auf Seite 5)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 12.06.2002 Vers.-Nr.: 1 überarbeitet am: 20.12.2

Handelsname: Epilox A 19-00

(Fortsetzung von Seite 4)

· **UN-Nummer:**	3082
· **Verpackungsgruppe:**	III
· **Gefahrzettel**	9
· **Bezeichnung des Gutes:**	3082 UMWELTGEFÄHRDENDER STOFF, FLÜSSIG, N.A.G. (Epoxidharze)

· **Seeschiffstransport IMDG/GGVSee:**

· **IMDG/GGVSee-Klasse:**	9
· **UN-Nummer:**	3082
· **Label**	9
· **Verpackungsgruppe:**	III
· **Marine pollutant:**	Nein
· **Richtiger technischer Name:**	ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS SUBSTANCE, LIQUID, N.O.S. (Epoxide resin)

· **Lufttransport ICAO-TI und IATA-DGR:**

· **ICAO/IATA-Klasse:**	9
· **UN/ID-Nummer:**	3082
· **Label**	9
· **Verpackungsgruppe:**	III
· **Richtiger technischer Name:**	ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS SUBSTANCE, LIQUID, N.O.S. (epoxide resin)

15 Vorschriften

· **Kennzeichnung nach EWG-Richtlinien:**
Das Produkt ist nach EG-Richtlinien/GefStoffV eingestuft und gekennzeichnet.

· **Kennbuchstabe und Gefahrenbezeichnung des Produktes:**
Xi Reizend
N Umweltgefährlich

· **R-Sätze:**
36/38 Reizt die Augen und die Haut.
43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich.
51/53 Giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben.

· **S-Sätze:**
28 Bei Berührung mit der Haut sofort abwaschen mit viel Wasser und Seife
37/39 Bei der Arbeit geeignete Schutzhandschuhe und Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen.
61 Freisetzung in die Umwelt vermeiden. Besondere Anweisungen einholen/Sicherheitsdatenblatt zu Rate ziehen.

· **Besondere Kennzeichnung bestimmter Zubereitungen:**
Enthält epoxidhaltige Verbindungen. Hinweise des Herstellers beachten.

· **Nationale Vorschriften:**

· **Störfallverordnung:** Die Mengenschwellen laut Störfallverordnung sind zu beachten.

· **Klassifizierung nach VbF:** entfällt

· **Wassergefährdungsklasse:** WGK 2 (Listeneinstufung): wassergefährdend.
· **BG-Merkblatt:** M 023 "Polyester- und Epoxid-Harze"

D

(Fortsetzung auf Seite 6)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 12.06.2002 *Vers.-Nr.: 1* *überarbeitet am: 20.2*

Handelsname: Epilox A 19-00

(Fortsetzung von Seite 5)

16 Sonstige Angaben

Die Angaben stützen sich auf den heutigen Stand unserer Kenntnisse, sie stellen jedoch keine Zusicherung von Produkteigenschaften dar und begründen kein vertragliches Rechtsverhältnis.

· **Datenblatt ausstellender Bereich:** *Abteilung Qualitätssicherung*
· **Ansprechpartner:** *Fr. Dr. Bierögel*

Empfänger:
Hildesheim

LEUNA-Harze GmbH
Bereich Qualitätssicherung
06236 Leuna Bau 6613
Telefon: 03461 43 4654
Telefax: 03461 43 4574

Abnahmeprüfzeugnis

13.1 B nach EN 10 204

10.03.03

Produkt : **EPILOX A 19-00** Charge : 81/03
Empfänger : Hildesheim
Lieferdatum : 11.03.03 Versandart : Muster

Merkmal	Dimension	Wert	Spezifikationswert	Prüfverfahren
flüchtige Bestandteile	%	0,19	höchstens 0,5	DIN 53 216 Teil 1
Epoxidäquivalent	g/mol Epoxid-sauerstoff	182	182 bis 192	DIN 16 945 Punkt 4.15.1
Viskosität bei 25°C	Pa.s	11,35	9 bis 13	DIN 53 015
leichtverseifbares Chlor	%	0,02	höchstens 0,1	LEUNA-NORM 460.91
Gardnerfarbzahl		< 1	höchstens 2	DIN ISO 4630

Qualitätssicherung

LEUNA

Epilox EGK 19

Schlüssel-Nr. EL 145 22 63 0

Chemische Bezeichnung

Modifiziertes niedrigmolekulares Epoxidharz.

Beschaffenheit

Bernsteinfarbenes, lösungsmittelfreies, flüssiges, kalthärtbares Epoxidharz.
Es ist löslich in aromatischen Kohlenwasserstoffen und Chlorkohlenwasserstoffen, Ketonen, Estern und Äthylglykol.
Der Flammpunkt von Epilox EGK 19 liegt bei 65 °C.

Standard

Werkstandard LEUNA 306

Qualität

Gieß- und Klebharz

Epoxidgruppengehalt (TGL 29 906/02)	200 bis 220
Viskosität bei 20 °C (TGL 29 202/03)	1,7 – 3,0 Pa·s (≙ 1700 bis 3000 cP)

Gießharz-Formstoff gehärtet mit DPTA

Wärmeformbeständigkeit nach Martens (TGL 29 910, Bl. 1 u. 2)	mind. 50 °C
Biegefestigkeit (TGL 29 910, Bl. 1 u. 2)	mind. 88 N/mm² (≙ 900 kp/cm²)
Zugscherfestigkeit (TGL 14 910)	mind. 13 N/mm² (≙ 130 kp/cm²)

Verwendung	Als Gieß-, Kleb- und Laminierharz, zur Gußfehlerbeseitigung sowie als Bindemittel zur Herstellung von Plastbeton.
Verpackung **Transport** **Lagerung**	In verzinkten Rollreifenfässern 200 l oder in verzinkten Kanistern. Vor Feuchtigkeit geschützt bei Lagerung unter 25 °C mindestens 1 Jahr haltbar.
Kennzeichnungspflicht	Bei Zusammenlagerung mit unter die ABAO 850/1 fallenden Flüssigkeiten: Flammpunkt über 21 °C Festgehalt größer als 30 % Feuergefährlich.
Hinweis	Schutzmaßnahmen siehe ASAO 726 a und unser Merkblatt „Schutzmaßnahmen bei der Verarbeitung von Epilox."

Epilox EGK 19

Epilox EGK 19 ist ein dünnflüssiges, modifiziertes Epoxidharz auf Basis von Bisphenol A und Epichlorhydrin. Durch Zugabe eines Härters wird ohne Abspaltung flüchtiger Produkte (Polyaddition) ein unlöslicher und unschmelzbarer Zustand erreicht.

Epilox EGK 19 wird als kalthärtendes Epoxidharz mit Epilox-Härter 8 oder Dipropylentriamin techn. (DPTA) verarbeitet.

Auf Grund seiner guten dielektrischen Eigenschaften wird Epilox EGK 19 vielseitig in der Elektroindustrie als Gießharz eingesetzt (z. B. Eingießen von Spulen, Wicklungen, Kondensatoren, Magnetköpfen, Steckverbindungen usw.). Der Einsatz erfolgt überall dort, wo Betriebstemperaturen über 70 °C nicht zu erwarten sind.

Die guten mechanischen Eigenschaften ermöglichen den vielseitigen Einsatz von Epilox EGK 19 im Maschinen- und Werkzeugbau. Es wird dort als Gieß- oder Klebharz für die unterschiedlichsten Zwecke verarbeitet. Die Möglichkeit der Kalthärtung kommt vielen Verbindungsproblemen entgegen. Durch Zugabe von Füllstoffen können Spachtel für die Beseitigung von Gußfehlern hergestellt werden. In der Bauindustrie wird Epilox EGK 19 als Bindemittel für die Herstellung von Plastbeton oder als Klebstoff für festigkeitsbeanspruchte Verbindungen eingesetzt.

Epilox EGK 19 eignet sich vorzüglich zum Laminieren verschiedenartigster Gewebe. Hierdurch ergeben sich große Einsatzgebiete im Formen-, Boots-, Karosserie- und Leichtbau.

Eigenschaften des ungehärteten Epilox EGK 19 (Durchschnittswerte)

Epoxidgruppengehalt	205
Viskosität bei 20 °C	2,2 Pa · s (≙ 2200 cP) (siehe Abb. 1)
Dichte bei 20 °C	1,138 g/cm³
Jodfarbzahl	20 – 30
Flammpunkt [1] (TGL 24 666)	65 °C
Zündtemperatur [1] (TGL 30 020)	410 °C
Explosionsgrenzen [1]	obere / untere } nicht bestimmbar
Gefahrklasse [1]	A III
Zündgruppe [1]	G 2

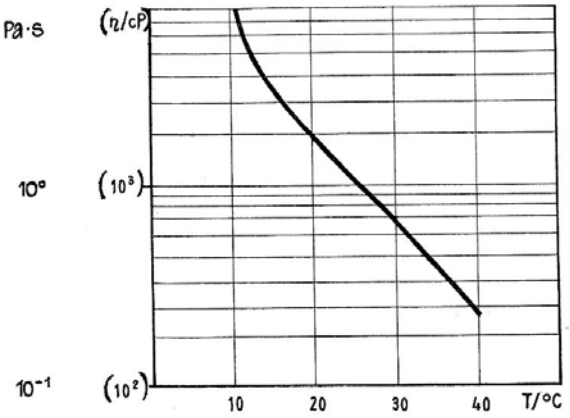


Abb. 1: Abhängigkeit der Viskosität von der Temperatur bei Epilox EGK 19.

[1] Die sicherheitstechnischen Kenndaten wurden vom Institut für Grubensicherheit Leipzig – Forschungsbereich Brände und Explosionen, Freiberg, ermittelt.

Mechanisches und thermisches Verhalten am Gießharz-Formstoff

Epilox EGK 19/DPTA bzw. Epilox EGK 19/Epilox-Härter 8 im jeweiligen äquivalenten Mischungsverhältnis (Durchschnittswerte)

Bestimmung	TGL	Einheit	Epilox EGK 19 + DPTA	Epilox EGK 19 + Epilox-Härter 8
Schlagbiegefestigkeit	TGL 29 910 Bl. 1 u. 2	mJ/mm² (≙ kp/cm²)	19 – 27 (≙ 20 – 28)	15 – 23 (≙ 15 – 23)
Biegefestigkeit	TGL 29 910 Bl. 1 u. 2	N/mm² (≙ kp/cm²)	110 (≙ 1100)	80 (≙ 800)
Biegespannung	TGL 29 910 Bl. 1 u. 2	N/mm² (≙ kp/cm²)	100 (≙ 1000)	75 (≙ 750)
Zugfestigkeit	TGL 29 910 Bl. 1 u. 2	N/mm² (≙ kp/cm²)	70 (≙ 700)	60 (≙ 600)
E-Modul aus Biegeversuch berechnet	TGL 29 910 Bl. 1 u. 2	N/mm² (≙ kp/cm²)	$2{,}8 \cdot 10^3$ ($\triangleq 28 \cdot 10^3$)	$2{,}4 \cdot 10^3$ ($\triangleq 24 \cdot 10^3$)
Lineare Schwindung		%	1	1
Gesamtvolumenschwindung		%	3,5 – 4,5	3,5 – 4,5
Torsionsschwingversuch	TGL 29 910 Bl. 1 u. 2	°C	91	70 (Abb. 2)
Kugeldruckhärte	TGL 29 910 Bl. 1 u. 2	N/mm² (≙ kp/cm²)	120 (≙ 1200)	85 (≙ 850)
Spez. Gewicht	TGL 29 910 Bl. 1 u. 2	g/cm³	1,16	1,17
Wärmeformbeständigkeit nach Martens	TGL 29 910 Bl. 1 u. 2	°C	63	58
Linearer Wärmeausdehnungskoeff.	TGL 200 – 0045	mm/mm °C	$8{,}8 \cdot 10^{-3}$	$9{,}6 \cdot 10^{-3}$ (bis 45 °C)
Glutfestigkeit	TGL 29 910 Bl. 1 u. 2	Gütegrad	2	2
Zersetzungstemperatur		°C	350	350

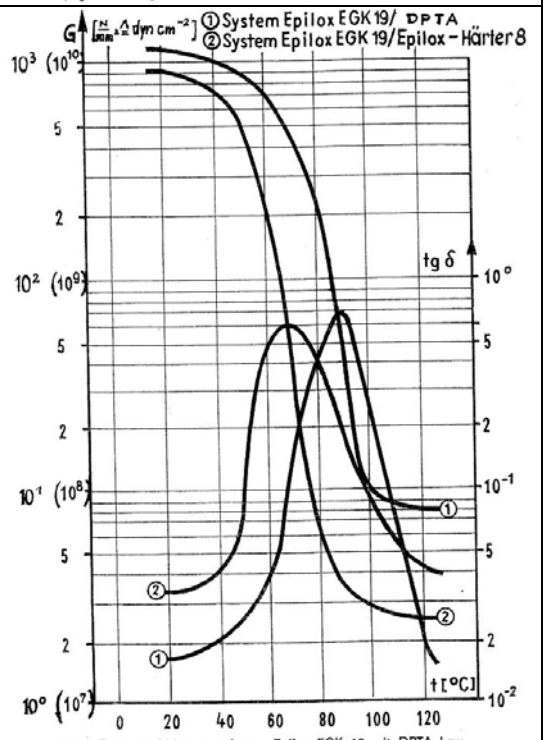


Abb. 2 Torsionsschwingversuch von Epilox EGK 19 mit DPTA bzw. Epilox-Härter 8.

Elektrisches Verhalten am Gießharz-Formstoff

Epilox EGK 19/DPTA bzw. Epilox EGK 19/Epilox-Härter 8 im jeweiligen äquivalenten Mischungsverhältnis (Durchschnittswerte)

Bestimmung	Prüfverf. bzw. TGL	Einheit	Ergebnis: Epilox EGK 19 + DPTA	Ergebnis: Epilox EGK 19 + Epilox-Härter 8	Bemerkungen
Dielektrischer Verlustfaktor tan δ bei 800 Hz und 20 °C	TGL 29 910 Bl. 1 u. 2	–	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	
Dielektrizitätskonstante εr bei 800 Hz u. 20 °C	TGL 29 910 Bl. 1 u. 2	–	4,0	4,6	
Spezifischer Volumenwiderstand bei 1000 V	TGL 29 910 Bl. 1 u. 2	$\Omega \cdot$ cm	$3 \cdot 10^{15}$	$8 \cdot 10^{14}$	
Durchschlagfestigkeit [1]	TGL 29 910 Bl. 1 u. 2	kV/mm	62	65	
Kriechstromfestigkeit	TGL 29 910 Bl. 1 u. 2 (Verfahren B)		600	600	
Oberflächenwiderstand	TGL 29 910 Bl. 1 u. 2	Ω	$3 \cdot 10^{15}$	$3 \cdot 10^{15}$	

[1] Elektrodenanordnung Kugel – Platte
Kugeldurchmesser 25 mm, Plattendurchmesser 75 mm
Prüfplatten 145 × 145 × 20 mm, Restdicke der eingegossenen kalottenförmigen Vertiefung 1 mm
Prüfung unter Isolieröl, Spannungssteigerung 2 kV/s.

Chemisches Verhalten am Gießharz-Formstoff

Epilox EGK 19/DPTA im äquivalenten Mischungsverhältnis (Durchschnittswerte)

Die Chemikalienbeständigkeit wurde nach TGL 29 910, Bl. 1 und 2 geprüft. Die Abmessung der Probekörper beträgt 50 × 15 × 10 mm. Ermittelt wurde die Aufnahme des Prüfmediums in mg/100 cm² Oberfläche. Die Lagerungstemperatur betrug 20 °C.

Aufnahmen bis zu 200 mg/100 cm² gelten als beständig, bis zu 1000 mg/100 cm² als bedingt beständig, darüber liegende Werte als unbeständig. 200 mg entsprechen 0,7 % Masseänderung, 1000 mg entsprechen 3 % Masseänderung

Medium		Zeit: 30 Tage	1 Jahr	3 Jahre	5 Jahre	8 Jahre
Wasser, dest.		+	0	0	0	–
Natriumchloridlösung	10 %ig	+	0	0	0	–
Ammonsulfat	10 %ig	+	0	0	0	0
Salzsäure	konz.	0	0	–		
Salzsäure	10 %ig	0	0	–		
Salzsäure	1 %ig	+	0	–		
Schwefelsäure	50 %ig	0	0	–		
Schwefelsäure	10 %ig	0	–			
Salpetersäure	30 %ig	–				
Salpetersäure	10 %ig	0	–			
Phosphorsäure	konz.	–				
Flußsäure		–				
Essigsäure	konz.	–				
Essigsäure	10 %ig	–				
Essigsäure	1 %ig	0	0	(–)		
Fettsäure		–				
Natronlauge	50 %ig	+	+	+	+	+
Natronlauge	10 %ig	+	0	0	0	–
Natronlauge	1 %ig	+	0	0	–	
Ammoniak	konz.	+	0	0	–	
Ammoniak	10 %ig	+	0	0	–	
Trinatriumphosphatlsg.	3 %ig	+	0	0	–	
Natriumhypochlorit	10 %ig	+	0	0	–	
Dimethylamin	50 %ig	–				
Dimethylamin	10 %ig	+	0	–		
Formalin	30 %ig	0	0	0	–	
Formalin	5 %ig	+	0	0	–	
Alkohol	50 %ig	–				
Alkohol	10 %ig	+	0	0	0	

Medium	Zeit: 30 Tage	1 Jahr	3 Jahre	5 Jahre	8 Jahre
n-Butanol	+	0	0		
Glykol	+	+	+	+	+
n-Benzin	+	+	+	+	0
Dieselöl	+	+	+	+	+
Benzol	–				
Toluol	0	–			
Anon	–				
Formamid	+	0	0	0	0
Dimethylformamid	–				

\+ = beständig
0 = bedingt beständig
– = unbeständig

Die Verarbeitung von Epilox EGK 19

Epilox EGK 19 wird mit DPTA oder Epilox-Härter 8 verarbeitet. Welcher Epilox-Härter zum Einsatz gelangt, ist von den gewünschten Eigenschaften des Gießharz-Formstoffes abhängig.

Epilox EGK 19, verarbeitet mit DPTA, besitzt u. a. folgende Eigenschaften:

- Niedrigviskose Gießharzmasse (Viskosität bei 20 °C etwa 0,7 Pa·s (≙ 700 cP)
- Geringe Gebrauchsdauer (etwa 35–45 min bei 20 °C)
- Starke exotherme Reaktion bei größerer Ansatzmenge
- Rasche Aushärtung
- Gute mechanische, dielektrische und chemische Eigenschaften
- Wärmeformbeständigkeit etwa 60–70 °C, daher beschränktes Einsatzgebiet
- Verarbeitungstemperatur von mindestens 10–15 °C erforderlich
- Verarbeitbar mit Beschleunigern [1]
- Modifizierbar mit sogenannten reaktiven (inneren) Weichmachern [2]
- Einfärbbar mit anorganischen Farbpigmenten oder Farbpasten [3]
- Relativ empfindlich gegen Luftfeuchtigkeit und feuchten Untergrund bei der Verarbeitung
- Genaue Dosierung erforderlich
- Zusatz von Füllstoffen möglich
- Die angewiesenen Arbeitsschutzmaßnahmen sind unbedingt einzuhalten.

[1] Zum Beispiel Triphenylphosphit, Hersteller: VEB Chemiewerk Greiz-Dölau
[2] Zum Beispiel Thioplast G 3, Hersteller: VEB Chemiewerk Greiz-Dölau
[3] Zum Beispiel Polyesterfarbpaste, Hersteller: VEB Farbenfabrik Nerchau

Eigenschaften des Gießharz-Systems Epilox EGK 19/Epilox-Härter 8

- Viskosität etwa 1,5 Pa·s (≙ 1500 cP) bei 20 °C
- Längere Gebrauchsdauer (etwa 100 min bei 20 °C)
- Langsamere Aushärtung bei RT
- Geringere exotherme Reaktion
- Härtung auch bei Temperaturen von 5–10 °C möglich
- Gute mechanische, dielektrische und chemische Eigenschaften
- Niedrigere Wärmeformbeständigkeit des Systems (55–60 °C)
- Mögliche Elastifizierung des Gießharz-Formstoffes durch Überdosierung der Härtermenge
- Epilox-Härter 8 enthält schwerflüchtiges Lösemittel
- Mit speziellem Beschleuniger verarbeitbar
- Nur bedingt mit Farbstoffen oder Farbpasten mischbar; Gießharz-Formstoffe dunkelgefärbt
- Relativ unempfindlich gegen Feuchtigkeit bei der Verarbeitung
- Dosierung zwischen Harz und Härter nicht so kritisch
- Mit Füllstoffen gut zu verarbeiten
- Bessere Verarbeitungseigenschaften, da keine Geruchsbelästigung und keine ätzenden Dämpfe.

Mischungsverhältnis

	Masse-Teile	
Epilox EGK 19	100	100
DPTA	11	–
Epilox-Härter 8	–	45

Vorbereitung der Gieß- oder Klebharzmischung

Epilox EGK 19 wird im vorgeschriebenen Mischungsverhältnis bei Raumtemperatur intensiv gemischt.

Zur Vermeidung von Blasenbildung ist der Härter durch Pendelbewegung oder besser durch Unterrühren mit einem regelbaren Elektrorührer vorsichtig einzumischen. Dabei ist darauf zu achten, daß der Rührer genügend tief in die Gießharzmasse eintaucht und beim Rühren kein Kegel entsteht, durch den Luft in das Gießharzgemisch eingezogen wird. Es sollten deshalb möglichst Gefäße mit geringem Durchmesser und ausreichender Füllhöhe verwendet werden. Sind beim Mischen dennoch Blasen in der Gießharzmasse entstanden, so muß eine gewisse Zeit bis zum Austreten derselben an die Oberfläche gewartet werden. Zur Beschleunigung kann im Vakuum 15 min bei 2000 Pa (≙ 15 Torr) entgast werden.

Anfangsviskosität, Isothermer Viskositätsverlauf, Gebrauchsdauer

Die Anfangsviskosität der Gießharzmasse ist temperaturabhängig. Sie beträgt bei 20 °C für das System Epilox EGK 19/DPTA etwa 0,7 Pa·s(≙ 700 cP) bzw. für das System Epilox EGK 19/Epilox-Härter 8 etwa 1,5 Pa·s (≙ 1500 cP).

Datenblatt

Epilox® - Härter DPTA

Charakterisierung des Produktes

Epilox® - Härter DPTA ist ein dünnflüssiges, farbloses, aliphatisches Polyamin.

Kennwerte

Viskosität bei 25 °C (DIN 53 015)	mPa·s	ca. 10
Aminäquivalentgewicht	g/Äquiv.	26
Aminzahl (DIN 16 945)	mg KOH/g	1200 - 1350
Dichte bei 20 °C (DIN 53 217 T.4)	g/cm³	0,92 - 0,935
Farbzahl (Gardner) (DIN ISO 4630)	-	< 2

Anwendung

Epilox® - Härter DPTA wird als Härter in Gieß-, Kleb-, Lackier-, Laminierharz- und Beschichtungssystemen zur Vernetzung ab ca. 15 °C sowie bei erhöhten Temperaturen (Heißhärtung) eingesetzt.
Epilox® - Härter DPTA kann mit den meisten Epilox® - Harzen als universeller Kalthärter eingesetzt werden. Eine erhöhte Wärmeformbeständigkeit kann durch Härtung nach einem ausgewählten Temperaturregime erreicht werden.

Verpackung/ Lagerung/Transport

Epilox® - Härter DPTA wird in Hobbocks und Fässern geliefert. Das Produkt sollte in feuchtigkeitsgeschützten Gebinden bei Temperaturen um 20 °C gelagert werden.

Sicherheitstechnische Hinweise

Epilox® - Härter DPTA ist gemäß Gefahrstoffverordnung mit den Symbolen "T^+" Sehr Giftig und "C" Ätzend gekennzeichnet.

Die Angaben in diesem Prospektblatt wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und entsprechen unserem derzeitigen Erkenntnisstand. Eine Verbindlichkeit kann jedoch daraus nicht abgeleitet werden.

LEUNA-Harze GmbH
PF 43, Bau 6619
D - 06233 Leuna
Tel.: 03461-43-3094, Fax: 03461-43-6543
email : wendt.harze@leuna.de
internet: http://www.leuna-harze.de

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 28.06.2002 *Vers.-Nr.: 1* *überarbeitet am [illegible].2002*

1 Stoff-/Zubereitungs- und Firmenbezeichnung

· ***Angaben zum Produkt***

· ***Handelsname:*** ***Epilox Härter DPTA***

· ***Artikelnummer:*** *0607*
· ***Verwendung des Stoffes / der Zubereitung*** *Härter*

· ***Hersteller/Lieferant:***
LEUNA-HARZE GmbH
Postfach 43
D-6233 Leuna
Telefon 03461 43 3639

· ***Auskunftgebender Bereich:***
Abteilung Qualitätssicherung
Telefon 03461 43 4654
Telefax 03461 43 4574
Telefon außerhalb der Geschäftszeit: 03461 43 6188
· ***Notfallauskunft:***
Leitstelle Werkfeuerwehr
03461 210007

2 Zusammensetzung / Angaben zu den Bestandteilen

· ***Chemische Charakterisierung:***
· ***CAS-Nr. Bezeichnung***
56-18-8 3,3'-Iminodi(propylamin)
· ***Identifikationsnummer(n)***
· ***EINECS-Nummer:*** *200-261-2*
· ***EG-Nummer:*** *612-063-00-7*

3 Mögliche Gefahren

· ***Gefahrenbezeichnung:***

T+ Sehr giftig
C Ätzend

· ***Besondere Gefahrenhinweise für Mensch und Umwelt:***
R 22 Gesundheitsschädlich beim Verschlucken.
R 24 Giftig bei Berührung mit der Haut.
R 26 Sehr giftig beim Einatmen.
R 35 Verursacht schwere Verätzungen.
R 43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich.

4 Erste-Hilfe-Maßnahmen

· ***Allgemeine Hinweise:***
Mit Produkt verunreinigte Kleidungsstücke unverzüglich entfernen.
Vergiftungssymptome können erst nach vielen Stunden auftreten, deshalb ärztliche Überwachung mindestens 48 Stunden nach einem Unfall.
Atemschutz erst nach Entfernen verunreinigter Kleidungsstücke abnehmen.
Bei unregelmäßiger Atmung oder Atemstillstand künstliche Beatmung.
· ***Nach Einatmen:***
Frischluft- oder Sauerstoffzufuhr; ärztliche Hilfe in Anspruch nehmen.
Bei Bewußtlosigkeit Lagerung und Transport in stabiler Seitenlage.

(Fortsetzung auf Seite 2)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 28.06.2002 *Vers.-Nr.: 1* *überarbeitet*

Handelsname: Epilox Härter DPTA

(Fortsetzung von Seite 1)

· **Nach Hautkontakt:**
Ärztlicher Behandlung zuführen.
Wunde steril abdecken.
Sofort mit Wasser und Seife abwaschen und gut nachspülen.
· **Nach Augenkontakt:**
Augen bei geöffnetem Lidspalt mehrere Minuten unter fließendem Wasser abspülen und Arzt konsultieren.
· **Nach Verschlucken:** Reichlich Wasser nachtrinken und Frischluftzufuhr. Unverzüglich Arzt hinzuziehen.

5 Maßnahmen zur Brandbekämpfung

· **Geeignete Löschmittel:**
CO2, Löschpulver oder Wassersprühstrahl. Größeren Brand mit Wassersprühstrahl bekämpfen.
Feuerlöschmaßnahmen auf die Umgebung abstimmen.
· **Besondere Schutzausrüstung:**
Umgebungsluftunabhängiges Atemschutzgerät tragen.
Vollschutzanzug tragen.
· **Weitere Angaben** Kontaminiertes Löschwasser getrennt sammeln, darf nicht in die Kanalisation gelangen.

6 Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung

· **Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen:** Personen fernhalten und auf windzugewandter Seite bleiben.
· **Umweltschutzmaßnahmen:**
Mit viel Wasser verdünnen.
Nicht in die Kanalisation/Oberflächenwasser/Grundwasser gelangen lassen.
· **Verfahren zur Reinigung/Aufnahme:**
Mit flüssigkeitsbindendem Material (Sand, Kieselgur, Säurebinder, Universalbinder, Sägemehl) aufnehmen.
Neutralisationsmittel anwenden.
Kontaminiertes Material als Abfall nach Punkt 13 entsorgen.
Für ausreichende Lüftung sorgen.

7 Handhabung und Lagerung

· **Handhabung:**
· **Hinweise zum sicheren Umgang:**
Aerosolbildung vermeiden.
Für gute Belüftung/Absaugung am Arbeitsplatz sorgen.
Behälter mit Vorsicht öffnen und handhaben.
· **Hinweise zum Brand- und Explosionsschutz:** Atemschutzgeräte bereithalten.

· **Lagerung:**
· **Anforderung an Lagerräume und Behälter:**
Bodenwanne ohne Abfluß vorsehen.
Nur im Originalgebinde aufbewahren.
· **Zusammenlagerungshinweise:** Nicht zusammen mit Säuren lagern.
· **Weitere Angaben zu den Lagerbedingungen:**
Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren.
In gut verschlossenen Gebinden kühl und trocken lagern.
· **VbF-Klasse:** entfällt

8 Expositionsbegrenzung und persönliche Schutzausrüstungen

· **Zusätzliche Hinweise zur Gestaltung technischer Anlagen:** Keine weiteren Angaben, siehe Punkt 7.

· **Bestandteile mit arbeitsplatzbezogenen, zu überwachenden Grenzwerten:** Entfällt.
· **Zusätzliche Hinweise:** Als Grundlage dienten die bei der Erstellung gültigen Listen.

· **Persönliche Schutzausrüstung:**
· **Allgemeine Schutz- und Hygienemaßnahmen:**
Von Nahrungsmitteln, Getränken und Futtermitteln fernhalten.

(Fortsetzung auf Seite 3)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 28.06.2002 *Vers.-Nr.: 1* *überarbeitet*

Handelsname: Epilox Härter DPTA

(Fortsetzung von Seite 2)

Beschmutzte, getränkte Kleidung sofort ausziehen.
Vor den Pausen und bei Arbeitsende Hände waschen.
Getrennte Aufbewahrung der Schutzkleidung.
Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden.

· **Atemschutz:**
Bei kurzzeitiger oder geringer Belastung Atemfiltergerät; bei intensiver bzw. längerer Exposition umluftunabhängiges Atemschutzgerät verwenden.

· **Handschutz:**
Handschuhe aus Kunststoff
Zur Minimierung der Nässe im Handschuh durch Schweißbildung ist ein Wechseln der Handschuhe während einer Schicht erforderlich.
Vor jeder erneuten Verwendung des Handschuhs ist die Dichtheit zu prüfen.
Vorbeugender Hautschutz durch Verwendung von Hautschutzmittel wird empfohlen.

· **Handschuhmaterial**
Empfohlene Materialstärke: ≥ 0,5 mm
Nitrilkautschuk
Handschuhe aus PVC
Die Auswahl eines geeigneten Handschuhs ist nicht nur vom Material, sondern auch von weiteren Qualitätsmerkmalen abhängig und von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich.

· **Durchdringungszeit des Handschuhmaterials**
Die genaue Durchbruchzeit ist beim Schutzhandschuhhersteller zu erfahren und einzuhalten.

· **Augenschutz:**

Dichtschließende Schutzbrille

· **Körperschutz:** *Schutzanzug verwenden.*

9 Physikalisch-chemische Eigenschaften

· **Allgemeine Angaben**	
Form:	*Flüssig*
Farbe:	*Farblos*
Geruch:	*Aminartig*
· **Zustandsänderung**	
Schmelzpunkt/Schmelzbereich:	*-14°C*
Siedepunkt/Siedebereich:	*232°C*
· **Flammpunkt:**	*118°C*
· **Zündtemperatur:**	*280°C*
· **Selbstentzündlichkeit:**	*Das Produkt ist nicht selbstentzündlich.*
· **Explosionsgefahr:**	*Das Produkt ist nicht explosionsgefährlich.*
· **Explosionsgrenzen:**	
Untere:	*1 Vol %*
Obere:	*6,1 Vol %*
· **Dampfdruck bei 30°C:**	*0,05 hPa*
· **Dichte bei 20°C:**	*0,93 g/cm³*
· **Löslichkeit in / Mischbarkeit mit**	
Wasser:	*Vollständig mischbar.*
organischen Lösemitteln:	*Löslich in vielen organischen Lösemitteln.*
· **pH-Wert (100 g/l) bei 20°C:**	*12*
· **Viskosität:**	
Dynamisch bei 20°C:	*9,9 mPas*

(Fortsetzung auf Seite 4)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 28.06.2002 Vers.-Nr.: 1 überarbeitet

Handelsname: Epilox Härter DPTA

(Fortsetzung von Seite 3)

Organische Lösemittel: 0,0 %

10 Stabilität und Reaktivität

· **Thermische Zersetzung / zu vermeidende Bedingungen:**
Keine Zersetzung bei bestimmungsgemäßer Verwendung.
· **Gefährliche Reaktionen**
Stark exotherme Reaktion mit Säuren.
Korrodiert Aluminium.
Korrodiert Kupfer und Messing.
· **Gefährliche Zersetzungsprodukte:** Keine gefährlichen Zersetzungsprodukte bekannt.

11 Angaben zur Toxikologie

· **Akute Toxizität:**

· **Einstufungsrelevante LD/LC50-Werte:**		
56-18-8 3,3'-Iminodi(propylamin)		
Oral	LD50	738 mg/kg (rat)
Dermal	LD50	110 mg/kg (rabbit)
Inhalativ	LC50/4 h	0,03 mg/l (rat)

· **Primäre Reizwirkung:**
· **an der Haut:**
Ätzende Wirkung auf Haut und Schleimhäute.
Starke Ätzwirkung auf Haut und Schleimhäute.
· **am Auge:** Starke Ätzwirkung.
· **Sensibilisierung:** Durch Hautkontakt Sensibilisierung möglich.
· **Zusätzliche toxikologische Hinweise:**
Das Produkt weist aufgrund des Berechnungsverfahrens der Allgemeinen Einstufungsrichtlinie der EG für Zubereitungen in der letztgültigen Fassung folgende Gefahren auf:
Gesundheitsschädlich.
Ätzend.
Reizend.
Bei Verschlucken starke Ätzwirkung des Mundraumes und Rachens sowie Gefahr der Perforation der Speiseröhre und des Magens.

12 Angaben zur Ökologie

· **Angaben zur Elimination (Persistenz und Abbaubarkeit):**
· **Verfahren:** OECD 302B/ISO 9888/EEC 88/302,C
· **Analysenmethode:** DOC-Abnahme
· **Eliminationsgrad:** > 10%
· **Bewertungstext:** gut eliminierbar
· **Verhalten in Umweltkompartimenten:**
· **Mobilität und Bioakkumulationspotential:**
Aufgrund des Verteilungskoeffizienten n-Octanol/Wasser ist eine Anreicherung in Organismen nicht zu erwarten.
· **Ökotoxische Wirkungen:**

· **Aquatische Toxizität:**	
56-18-8 3,3'-Iminodi(propylamin)	
EC50/48h	37 mg/l (daphnia)
EC50/72h	320 mg/l (algae)
LC50/96h	230 mg/l (leuciscus idus)

· **Allgemeine Hinweise:**
Wassergefährdungsklasse 2 (Listeneinstufung): wassergefährdend

(Fortsetzung auf Seite 5)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 28.06.2002 Vers.-Nr.: 1 überarbeitet

Handelsname: Epilox Härter DPTA

(Fortsetzung von Seite 4)

Nicht in das Grundwasser, in Gewässer oder in die Kanalisation gelangen lassen.
Darf nicht unverdünnt bzw. unneutralisiert ins Abwasser bzw. in den Vorfluter gelangen.
Trinkwassergefährdung bereits beim Auslaufen geringer Mengen in den Untergrund.
Wegspülen größerer Mengen in Kanalisation oder Gewässer kann zur pH-Wert-Erhöhung führen. Ein hoher pH-Wert schädigt Wasserorganismen. In der Verdünnung der Anwendungskonzentration reduziert sich der pH-Wert erheblich, so dass nach dem Gebrauch des Produktes die in die Kanalisation gelangenden Abwässer nur schwach wassergefährdend wirken.

13 Hinweise zur Entsorgung

· **Produkt:**
· **Empfehlung:**
Muß unter Beachtung der behördlichen Vorschriften einer Sonderbehandlung zugeführt werden.
Darf nicht zusammen mit Hausmüll entsorgt werden. Nicht in die Kanalisation gelangen lassen.
· **Europäischer Abfallkatalog**
Die Zuordnung der Abfallschlüsselnummern ist entsprechend der EAK-Verordnung branchen- und prozessartspezifisch durchzuführen.

· **Ungereinigte Verpackungen:**
· **Empfehlung:**
Kontaminierte Verpackungen sind optimal zu entleeren, sie können dann nach entsprechender Reinigung einer Wiederverwertung zugeführt werden.
Entsorgung gemäß den behördlichen Vorschriften.
· **Empfohlenes Reinigungsmittel:** *Wasser, gegebenenfalls mit Zusatz von Reinigungsmitteln.*

14 Angaben zum Transport

· **Landtransport ADR/RID und GGVS/GGVE (grenzüberschreitend/Inland):**

· **ADR/RID-GGVS/E Klasse:** 8 Ätzende Stoffe
· **Kemler-Zahl:** 80
· **UN-Nummer:** 2269
· **Verpackungsgruppe:** III
· **Gefahrzettel** 8
· **Bezeichnung des Gutes:** 2269 3,3'-IMINOBISPROPYLAMIN,

· **Seeschiffstransport IMDG/GGVSee:**

· **IMDG/GGVSee-Klasse:** 8
· **UN-Nummer:** 2269
· **Label** 8
· **Verpackungsgruppe:** III
· **EMS-Nummer:** 8-05
· **Marine pollutant:** Nein
· **Richtiger technischer Name:** 3,3'-IMINODIPROPYLAMINE,

· **Lufttransport ICAO-TI und IATA-DGR:**

· **ICAO/IATA-Klasse:** 8

(Fortsetzung auf Seite 6)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 28.06.2002 *Vers.-Nr.: 1* *überarbeitet*

Handelsname: Epilox Härter DPTA

(Fortsetzung von Seite 5)

· **UN/ID-Nummer:** 2269
· **Label** 8
· **Verpackungsgruppe:** III
· **Richtiger technischer Name:** 3,3'-IMINODIPROPYLAMINE,

15 Vorschriften

· **Kennzeichnung nach EWG-Richtlinien:**
Das Produkt ist nach EG-Richtlinien/GefStoffV eingestuft und gekennzeichnet.

· **Kennbuchstabe und Gefahrenbezeichnung des Produktes:**
T+ Sehr giftig
C Ätzend

· **R-Sätze:**
22 Gesundheitsschädlich beim Verschlucken.
24 Giftig bei Berührung mit der Haut.
26 Sehr giftig beim Einatmen.
35 Verursacht schwere Verätzungen.
43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich.

· **S-Sätze:**
26 Bei Berührung mit den Augen sofort gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren.
28 Bei Berührung mit der Haut sofort abwaschen mit viel Wasser und Seife
36/37/39 Bei der Arbeit geeignete Schutzkleidung, Schutzhandschuhe und Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen.
45 Bei Unfall oder Unwohlsein sofort Arzt zuziehen (wenn möglich, dieses Etikett vorzeigen).

· **Nationale Vorschriften:**

· **Klassifizierung nach VbF:** entfällt

· **Wassergefährdungsklasse:** WGK 2 (Listeneinstufung): wassergefährdend.
· **BG-Merkblatt:**
M 004 "Reizende Stoffe/ätzende Stoffe"
M 023 "Polyester- und Epoxid-Harze"

16 Sonstige Angaben

Die Angaben stützen sich auf den heutigen Stand unserer Kenntnisse, sie stellen jedoch keine Zusicherung von Produkteigenschaften dar und begründen kein vertragliches Rechtsverhältnis.

· **Datenblatt ausstellender Bereich:** Abteilung Qualitätssicherung
· **Ansprechpartner:** Fr. Dr. Bierögel

Empfänger:
Hildesheim

LEUNA-Harze GmbH
Bereich Qualitätssicherung
06236 Leuna Bau 6613
Telefon: 03461 43 4654
Telefax: 03461 43 4574

Abnahmeprüfzeugnis

3.1 B nach EN 10 204

10.03.03

Produkt : **EPILOX -Härter DPTA** Charge : 1
Empfänger : Hildesheim
Lieferdatum : 11.03.03 Versandart : Muster

Merkmal	Dimension	Wert	Spezifikationswert	Prüfverfahren
Aminzahl	mg KOH/g	1268	1200 bis 1350	DIN 16 945 Punkt 5.6. 3
Wassergehalt	%	0,12	höchstens 5	DIN 51 777 Teil 1
Gardnerfarbzahl		< 1	höchstens 2	DIN ISO 4630

Qualitätssicherung

Datenblatt

Epilox® - Härter H 10-34

Charakterisierung des Produktes

Epilox®- Härter H 10-34 ist ein flüssiges, modifiziertes Polyaminaddukt.

Kennwerte

Viskosität bei 25 °C (DIN 53 015)	mPa·s	ca. 100
Aminäquivalentgewicht	g/Äquiv.	93
Aminzahl (DIN 16 945)	mg KOH/g	250 - 350
Dichte bei 20 °C (DIN 53 217 T.4)	g/cm³	1,02 ± 0,02
Farbzahl nach Gardner (DIN ISO 4630)	-	< 1

Anwendung

Der Einsatz von Epilox®- Härter H 10-34 kann als Härter in Gieß-, Kleb-, Laminier- und Lackharzsystemen sowie Beschichtungen bei Temperaturen ab 10 °C eingesetzt werden. Die Zwischenschichthaftung im reinen Bindemittel, zum Beispiel in Kombination mit Epilox® T 19-36/1000 oder Epilox® T 19-34/700 sind sehr gut und gewährleisten somit eine universelle Einsetzbarkeit. Die resultierenden Oberflächen sind klebfrei und zeichnen sich durch eine geringe Vergilbung aus.

Verpackung/ Lagerung/Transport

Epilox®- Härter H 10-34 wird in Hobbocks und Fässern geliefert.
Das Produkt sollte in feuchtigkeitsgeschützten Gebinden bei Temperaturen um 20 °C gelagert werden.

Sicherheitstechnische Hinweise

Epilox® - Härter H 10-34 ist gemäß Gefahrstoffverordnung mit dem Symbol "C" Ätzend gekennzeichnet.

Die Angaben in diesem Prospektblatt wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und entsprechen unserem derzeitigen Erkenntnisstand. Eine Verbindlichkeit kann jedoch daraus nicht abgeleitet werden.

LEUNA-Harze GmbH
PF 4043, Bau 6619
D - 06233 Leuna
Tel.: 03461-43-3094, Fax: 03461-43-6543
email : wendt.harze@leuna.de
internet: http://www.leuna-harze.de

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 01.08.2002 *Vers.-Nr.: 1* *überarbeitet am: 01.08.2002*

1 Stoff-/Zubereitungs- und Firmenbezeichnung

· **Angaben zum Produkt**

· **Handelsname: Epilox-Härter H 10-34**

· **Artikelnummer:** 0641
· **Verwendung des Stoffes / der Zubereitung** Härter

· **Hersteller/Lieferant:**
LEUNA-HARZE GmbH
Postfach 43
D-6233 Leuna
Telefon 03461 43 3639

· **Auskunftgebender Bereich:**
Abteilung Qualitätssicherung
Telefon 03461 43 4654
Telefax 03461 43 4574
Telefon außerhalb der Geschäftszeit: 03461 43 6188
· **Notfallauskunft:**
Leitstelle Werkfeuerwehr
03461 210007

2 Zusammensetzung / Angaben zu den Bestandteilen

· **Chemische Charakterisierung**
· **Beschreibung:** Epoxidharzhärter, Formulierung auf Basis aliphatischer Polyamine

· **Gefährliche Inhaltsstoffe:**

CAS: 100-51-6 EINECS: 202-859-9	Benzylalkohol Xn; R 20/22	25-50%
CAS: 2855-13-2 EINECS: 220-666-8	3-Aminomethyl-3,5,5-trimethylcyclohexylamin C; R 21/22-34-43-52/53	25-50%
CAS: 25154-52-3 EINECS: 246-672-0	Nonylphenol C, N; R 22-34-50/53	2,5-10%

· **Zusätzliche Hinweise:** Der Wortlaut der angeführten Gefahrenhinweise ist dem Kapitel 16 zu entnehmen.

3 Mögliche Gefahren

· **Gefahrenbezeichnung:**

C Ätzend
N Umweltgefährlich

· **Besondere Gefahrenhinweise für Mensch und Umwelt:**
Das Produkt ist kennzeichnungspflichtig auf Grund des Berechnungsverfahrens der "Allgemeinen Einstufungsrichtlinie für Zubereitungen der EG" in der letztgültigen Fassung.
R 20/21/22 Gesundheitsschädlich beim Einatmen, Verschlucken und Berührung mit der Haut.
R 34 Verursacht Verätzungen.
R 43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich.
R 51/53 Giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben.
· **Klassifizierungssystem:**
Die Klassifizierung entspricht den aktuellen EG-Listen, ist jedoch ergänzt durch Angaben aus der Fachliteratur und durch Firmenangaben.

(Fortsetzung auf Seite 2)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 01.08.2002 *Vers.-Nr.: 1* *überarbeitet*

Handelsname: Epilox-Härter H 10-34

(Fortsetzung von Seite 1)

4 Erste-Hilfe-Maßnahmen

· **Allgemeine Hinweise:**
Mit Produkt verunreinigte Kleidungsstücke unverzüglich entfernen.
Vergiftungssymptome können erst nach vielen Stunden auftreten, deshalb ärztliche Überwachung mindestens 48 Stunden nach einem Unfall.
· **Nach Einatmen:**
Reichlich Frischluftzufuhr und sicherheitshalber Arzt aufsuchen.
Bei Bewußtlosigkeit Lagerung und Transport in stabiler Seitenlage.
· **Nach Hautkontakt:** Sofort mit Wasser und Seife abwaschen und gut nachspülen.
· **Nach Augenkontakt:**
Augen bei geöffnetem Lidspalt mehrere Minuten unter fließendem Wasser abspülen und Arzt konsultieren.
· **Nach Verschlucken:**
Sofort Arzt aufsuchen.
Reichlich Wasser nachtrinken und Frischluftzufuhr. Unverzüglich Arzt hinzuziehen.

5 Maßnahmen zur Brandbekämpfung

· **Geeignete Löschmittel:**
CO2, Löschpulver oder Wassersprühstrahl. Größeren Brand mit Wassersprühstrahl bekämpfen.
Feuerlöschmaßnahmen auf die Umgebung abstimmen.
· **Besondere Schutzausrüstung:**
Umgebungsluftunabhängiges Atemschutzgerät tragen.
Vollschutzanzug tragen.
Atemschutzgerät anlegen.
· **Weitere Angaben** Kontaminiertes Löschwasser getrennt sammeln, darf nicht in die Kanalisation gelangen.

6 Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung

· **Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen:**
Personen fernhalten und auf windzugewandter Seite bleiben.
Schutzausrüstung tragen. Ungeschützte Personen fernhalten.
· **Umweltschutzmaßnahmen:**
Bei Eindringen in Gewässer oder Kanalisation zuständige Behörden benachrichtigen.
Nicht in die Kanalisation/Oberflächenwasser/Grundwasser gelangen lassen.
· **Verfahren zur Reinigung/Aufnahme:**
Das aufgenommene Material vorschriftsmäßig entsorgen.
Mit flüssigkeitsbindendem Material (Sand, Kieselgur, Säurebinder, Universalbinder, Sägemehl) aufnehmen.
Neutralisationsmittel anwenden.
Kontaminiertes Material als Abfall nach Punkt 13 entsorgen.
Für ausreichende Lüftung sorgen.

7 Handhabung und Lagerung

· **Handhabung:**
· **Hinweise zum sicheren Umgang:** Für gute Belüftung/Absaugung am Arbeitsplatz sorgen.
· **Hinweise zum Brand- und Explosionsschutz:** Keine besonderen Maßnahmen erforderlich.

· **Lagerung:**
· **Anforderung an Lagerräume und Behälter:** Keine besonderen Anforderungen.
· **Zusammenlagerungshinweise:** Nicht erforderlich.
· **Weitere Angaben zu den Lagerbedingungen:**
Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren.
Behälter dicht geschlossen halten.
In gut verschlossenen Gebinden kühl und trocken lagern.
· **VbF-Klasse:** entfällt

(Fortsetzung auf Seite 3)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 01.08.2002 *Vers.-Nr.: 1* *überarbeitet am: 20.0*

Handelsname: Epilox-Härter H 10-34

(Fortsetzung von Seite 2)

8 Expositionsbegrenzung und persönliche Schutzausrüstungen

· **Zusätzliche Hinweise zur Gestaltung technischer Anlagen:** Keine weiteren Angaben, siehe Punkt 7.

· **Bestandteile mit arbeitsplatzbezogenen, zu überwachenden Grenzwerten:**
Das Produkt enthält keine relevanten Mengen von Stoffen mit arbeitsplatzbezogenen, zu überwachenden Grenzwerten.
· **Zusätzliche Hinweise:** Als Grundlage dienten die bei der Erstellung gültigen Listen.

· **Persönliche Schutzausrüstung:**
· **Allgemeine Schutz- und Hygienemaßnahmen:**
Von Nahrungsmitteln, Getränken und Futtermitteln fernhalten.
Beschmutzte, getränkte Kleidung sofort ausziehen.
Vor den Pausen und bei Arbeitsende Hände waschen.
Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden.
· **Atemschutz:**
Bei kurzzeitiger oder geringer Belastung Atemfiltergerät; bei intensiver bzw. längerer Exposition umluftunabhängiges Atemschutzgerät verwenden.
· **Handschutz:**

Schutzhandschuhe

Das Handschuhmaterial muss undurchlässig und beständig gegen das Produkt / den Stoff / die Zubereitung sein.
Auswahl des Handschuhmaterials unter Beachtung der Durchbruchzeiten, Permeationsraten und der Degradation.
· **Handschuhmaterial**
Nitrilkautschuk
Handschuhe aus PVC
Die Auswahl eines geeigneten Handschuhs ist nicht nur vom Material, sondern auch von weiteren Qualitätsmerkmalen abhängig und von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich. Da das Produkt eine Zubereitung aus mehreren Stoffen darstellt, ist die Beständigkeit von Handschuhmaterialen nicht vorausberechenbar und muß deshalb vor dem Einsatz überprüft werden.
· **Durchdringungszeit des Handschuhmaterials**
Die genaue Durchbruchzeit ist beim Schutzhandschuhhersteller zu erfahren und einzuhalten.
· **Augenschutz:**

Dichtschließende Schutzbrille

· **Körperschutz:** Arbeitsschutzkleidung

9 Physikalisch-chemische Eigenschaften

· **Allgemeine Angaben**	
Form:	Flüssig
Farbe:	Gelbbraun
Geruch:	Aminartig
· **Zustandsänderung**	
Siedepunkt/Siedebereich:	> 200°C
· **Flammpunkt:**	101°C
· **Zündtemperatur:**	380°C
· **Selbstentzündlichkeit:**	Das Produkt ist nicht selbstentzündlich.
· **Explosionsgefahr:**	Das Produkt ist nicht explosionsgefährlich.
· **Explosionsgrenzen:**	
Untere:	1,2 Vol %

(Fortsetzung auf Seite 4)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 01.08.2002 Vers.-Nr.: 1 überarbeitet

Handelsname: Epilox-Härter H 10-34

(Fortsetzung von Seite 3)

Obere:	13,0 Vol %
· **Dampfdruck bei 20°C:**	< 0,3 hPa
· **Dichte bei 20°C:**	1,02 g/cm³
· **Löslichkeit in / Mischbarkeit mit**	
Wasser:	Nicht bzw. wenig mischbar.
organischen Lösemitteln:	Löslich in vielen organischen Lösemitteln.
· **pH-Wert bei 20°C:**	10 (20)
· **Viskosität:**	
Dynamisch bei 25°C:	100 mPas

10 Stabilität und Reaktivität

· **Thermische Zersetzung / zu vermeidende Bedingungen:**
Keine Zersetzung bei bestimmungsgemäßer Verwendung.
· **Gefährliche Reaktionen** Reaktionen mit Säuren.
· **Gefährliche Zersetzungsprodukte:** Keine gefährlichen Zersetzungsprodukte bekannt.

11 Angaben zur Toxikologie

· **Akute Toxizität:**

· **Einstufungsrelevante LD/LC50-Werte:**		
100-51-6 Benzylalkohol		
Oral	LD50	1230 mg/kg (rat)
Dermal	LD50	2000 mg/kg (rabbit)
2855-13-2 3-Aminomethyl-3,5,5-trimethylcyclohexylamin		
Oral	LD50	1 030 mg/kg (rat)

· **Primäre Reizwirkung:**
· **an der Haut:** Ätzende Wirkung auf Haut und Schleimhäute.
· **am Auge:** Starke Ätzwirkung.
· **Sensibilisierung:** Durch Hautkontakt Sensibilisierung möglich.
· **Zusätzliche toxikologische Hinweise:**
Das Produkt weist aufgrund des Berechnungsverfahrens der Allgemeinen Einstufungsrichtlinie der EG für Zubereitungen in der letztgültigen Fassung folgende Gefahren auf:
Gesundheitsschädlich.
Ätzend.
Reizend.
Bei Verschlucken starke Ätzwirkung des Mundraumes und Rachens sowie Gefahr der Perforation der Speiseröhre und des Magens.

12 Angaben zur Ökologie

· **Ökotoxische Wirkungen:**

· **Aquatische Toxizität:**	
100-51-6 Benzylalkohol	
EC50/96h	640 mg/l (algae)
	400 mg/l (daphnia)
LC50/48	646 mg/l (leuciscus idus)
2855-13-2 3-Aminomethyl-3,5,5-trimethylcyclohexylamin	
EC50/24h	44 mg/l (daphnia)
EC50/72h	37 mg/l (algae)

· **Bemerkung:** Giftig für Fische.

(Fortsetzung auf Seite 5)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 01.08.2002 Vers.-Nr.: 1 überarbeitet

Handelsname: Epilox-Härter H 10-34

(Fortsetzung von Seite 4)

· **Allgemeine Hinweise:**
Wassergefährdungsklasse 3 (Selbsteinstufung): stark wassergefährdend
Nicht in das Grundwasser, in Gewässer oder in die Kanalisation gelangen lassen, auch nicht in kleinen Mengen.
Darf nicht unverdünnt bzw. unneutralisiert ins Abwasser bzw. in den Vorfluter gelangen.
Trinkwassergefährdung bereits beim Auslaufen geringster Mengen in den Untergrund.
In Gewässern auch giftig für Fische und Plankton.
giftig für Wasserorganismen

13 Hinweise zur Entsorgung

· **Produkt:**
· **Empfehlung:**
Muß unter Beachtung der behördlichen Vorschriften einer Sonderbehandlung zugeführt werden.
· **Europäischer Abfallkatalog**
Die Zuordnung der Abfallschlüsselnummern ist entsprechend der EAK-Verordnung branchen- und prozessartspezifisch durchzuführen.

· **Ungereinigte Verpackungen:**
· **Empfehlung:**
Kontaminierte Verpackungen sind optimal zu entleeren, sie können dann nach entsprechender Reinigung einer Wiederverwertung zugeführt werden.

14 Angaben zum Transport

· **Landtransport ADR/RID und GGVS/GGVE (grenzüberschreitend/Inland):**

· **ADR/RID-GGVS/E Klasse:**	8 Ätzende Stoffe
· **Kemler-Zahl:**	80
· **UN-Nummer:**	2735
· **Verpackungsgruppe:**	III
· **Gefahrzettel**	8
· **Bezeichnung des Gutes:**	2735 POLYAMINE, FLÜSSIG, ÄTZEND, N.A.G. (Epoxydharzhärter)

· **Seeschiffstransport IMDG/GGVSee:**

· **IMDG/GGVSee-Klasse:**	8
· **UN-Nummer:**	2735
· **Label**	8
· **Verpackungsgruppe:**	III
· **EMS-Nummer:**	8-05
· **Marine pollutant:**	Nein
· **Richtiger technischer Name:**	POLYAMINES, LIQUID, CORROSIVE, N.O.S. (Epoxide resin hardener)

· **Lufttransport ICAO-TI und IATA-DGR:**

· **ICAO/IATA-Klasse:**	8
· **UN/ID-Nummer:**	2735
· **Label**	8

(Fortsetzung auf Seite 6)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 01.08.2002 Vers.-Nr.: 1 überarbeitet

Handelsname: Epilox-Härter H 10-34

(Fortsetzung von Seite 5)

· **Verpackungsgruppe:** III
· **Richtiger technischer Name:** POLYAMINES, LIQUID, CORROSIVE, N.O.S. (Epoxide resin hardener)

15 Vorschriften

· **Kennzeichnung nach EWG-Richtlinien:**
Das Produkt ist nach EG-Richtlinien/GefStoffV eingestuft und gekennzeichnet.

· **Kennbuchstabe und Gefahrenbezeichnung des Produktes:**
C Ätzend
N Umweltgefährlich

· **Gefahrbestimmende Komponenten zur Etikettierung:**
3-Aminomethyl-3,5,5-trimethylcyclohexylamin
Benzylalkohol

· **R-Sätze:**
20/21/22 Gesundheitsschädlich beim Einatmen, Verschlucken und Berührung mit der Haut.
34 Verursacht Verätzungen.
43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich.
51/53 Giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben.

· **S-Sätze:**
26 Bei Berührung mit den Augen sofort gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren.
36/37/39 Bei der Arbeit geeignete Schutzkleidung, Schutzhandschuhe und Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen.
45 Bei Unfall oder Unwohlsein sofort Arzt zuziehen (wenn möglich, dieses Etikett vorzeigen).
57 Zur Vermeidung einer Kontamination der Umwelt geeigneten Behälter verwenden.

· **Nationale Vorschriften:**

· **Klassifizierung nach VbF:** entfällt

· **Technische Anleitung Luft:**

Klasse	Anteil in %
II	38,4

· **Wassergefährdungsklasse:** WGK 3 (Selbsteinstufung): stark wassergefährdend.
· **BG-Merkblatt:**
M 004 "Reizende Stoffe/ätzende Stoffe"
M 023 "Polyester- und Epoxid-Harze"

16 Sonstige Angaben

Die Angaben stützen sich auf den heutigen Stand unserer Kenntnisse, sie stellen jedoch keine Zusicherung von Produkteigenschaften dar und begründen kein vertragliches Rechtsverhältnis.

· **Relevante R-Sätze**
20/22 Gesundheitsschädlich beim Einatmen und Verschlucken.
21/22 Gesundheitsschädlich bei Berührung mit der Haut und beim Verschlucken.
22 Gesundheitsschädlich beim Verschlucken.
34 Verursacht Verätzungen.
43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich.
50/53 Sehr giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben.
52/53 Schädlich für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben.

· **Datenblatt ausstellender Bereich:** Abteilung Qualitätssicherung
· **Ansprechpartner:** Fr. Dr. Bierögel

Empfänger:
Hildesheim

LEUNA-Harze GmbH
Bereich Qualitätssicherung
06236 Leuna Bau 6613
Telefon: 03461 43 4654
Telefax: 03461 43 4574

Abnahmeprüfzeugnis

3.1 B nach EN 10 204 10.03.03

Produkt : **EPILOX -Härter H 10-34 (M 779)** Charge : 6/02
Empfänger : Hildesheim
Lieferdatum: 11.03.03 Versandart : Muster

Merkmal	Dimension	Wert	Spezifikationswert	Prüfverfahren
Aminzahl	mg KOH/g	315	250 bis 350	DIN 16 945 Punkt 5.6.
Viskosität bei 25°C	mPa.s	92	70 bis 120	DIN 53 015

Qualitätssicherung

Datenblatt

Epilox® P 13-20

Charakterisierung des Produktes

Epilox® P 13-20 ist eine klare, farblose Flüssigkeit.

Kennwerte

Viskosität bei 25 °C (DIN 53 015)	mPa·s	15 - 25
Epoxidäquivalent (DIN 16 945)	g/Äquiv.	140 - 160
Dichte bei 20 °C (DIN 53 217 T.4)	g/cm³	ca. 1,06

Anwendung

Reaktivverdünner für Epoxidharze.
Epilox® P 13-20 ist mit Epoxidharzen, vorzugsweise mit niedermolekularen flüssigen Produkten mittlerer oder höherer Viskosität, leicht mischbar und erniedrigt deren Viskosität.

Verpackung/ Lagerung/Transport

Epilox® P 13-20 wird vorzugsweise in Fässern, Containern oder Straßentankzügen geliefert.
Das Produkt sollte in feuchtigkeitsgeschützten Gebinden bei Temperaturen zwischen 10 °C und 30 °C gelagert werden. Lagerungen über den Zeitraum von 6 Monaten hinaus führen bei günstigen Lagerungsbedingungen nicht zur Gebrauchswertminderung.

Sicherheitstechnische Hinweise

Epilox® P 13-20 ist gemäß Gefahrstoffverordnung mit dem Symbol "X_i" Reizend gekennzeichnet.

Die Angaben in diesem Prospektblatt wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und entsprechen unserem derzeitigen Erkenntnisstand. Eine Verbindlichkeit kann jedoch daraus nicht abgeleitet werden.

LEUNA-Harze GmbH
PF 43, Bau 6619
D - 06233 Leuna
Tel.: 03461-43-3094, Fax: 03461-43-6543
email : wendt.harze@leuna.de
internet: http://www.leuna-harze.de

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 25.06.2002 *Vers.-Nr.: 1* *überarbeitet am 25.06.02*

1 Stoff-/Zubereitungs- und Firmenbezeichnung

· **Angaben zum Produkt**

· **Handelsname: Epilox P 13-20**

· **Artikelnummer:** 0403
· **Verwendung des Stoffes / der Zubereitung** Verdünnungsmittel

· **Hersteller/Lieferant:**
LEUNA-HARZE GmbH
Postfach 43
D-6233 Leuna
Telefon 03461 43 3639

· **Auskunftgebender Bereich:**
Abteilung Qualitätssicherung
Telefon 03461 43 4654
Telefax 03461 43 4574
Telefon außerhalb der Geschäftszeit: 03461 43 6188
· **Notfallauskunft:**
Leitstelle Werkfeuerwehr
03461 210007

2 Zusammensetzung / Angaben zu den Bestandteilen

· **Chemische Charakterisierung:**
· **CAS-Nr. Bezeichnung**
16096-31-4 1,6-Hexandioldiglycidylether
· **Identifikationsnummer(n)**
· **EINECS-Nummer:** 240-260-4

3 Mögliche Gefahren

· **Gefahrenbezeichnung:**

Xi Reizend

· **Besondere Gefahrenhinweise für Mensch und Umwelt:**
R 36/38 Reizt die Augen und die Haut.
R 43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich.
R 52/53 Schädlich für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben.

4 Erste-Hilfe-Maßnahmen

· **Nach Einatmen:**
Reichlich Frischluftzufuhr und sicherheitshalber Arzt aufsuchen.
Bei Bewußtlosigkeit Lagerung und Transport in stabiler Seitenlage.
· **Nach Hautkontakt:** Sofort mit Wasser und Seife abwaschen und gut nachspülen.
· **Nach Augenkontakt:**
Augen bei geöffnetem Lidspalt mehrere Minuten unter fließendem Wasser abspülen und Arzt konsultieren.
· **Nach Verschlucken:**
Mund ausspülen und reichlich Wasser nachtrinken.
Ärztlicher Behandlung zuführen.

(Fortsetzung auf Seite 2)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 25.06.2002 Vers.-Nr.: 1 überarbeitet am: 2[illegible]

Handelsname: Epilox P 13-20

(Fortsetz[illegible])

5 Maßnahmen zur Brandbekämpfung

· **Geeignete Löschmittel:**
CO2, Löschpulver oder Wassersprühstrahl. Größeren Brand mit Wassersprühstrahl bekämpfen.
Feuerlöschmaßnahmen auf die Umgebung abstimmen.
· **Besondere Gefährdung durch den Stoff, seine Verbrennungsprodukte oder entstehende Gase:**
Bei einem Brand kann freigesetzt werden:
Kohlenmonoxid (CO)
Unter bestimmten Brandbedingungen sind Spuren giftiger Stoffe nicht auszuschließen, wie z.B.:
Chlorwasserstoff (HCl)
· **Besondere Schutzausrüstung:**
Umgebungsluftunabhängiges Atemschutzgerät tragen.
Vollschutzanzug tragen.
· **Weitere Angaben** Kontaminiertes Löschwasser getrennt sammeln, darf nicht in die Kanalisation gelangen.

6 Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung

· **Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen:** Schutzausrüstung tragen. Ungeschützte Personen fernhalten.
· **Umweltschutzmaßnahmen:**
Nicht in die Kanalisation oder in Gewässer gelangen lassen.
Bei Eindringen in Gewässer oder Kanalisation zuständige Behörden benachrichtigen.
· **Verfahren zur Reinigung/Aufnahme:**
Kontaminiertes Material als Abfall nach Punkt 13 entsorgen.
Mit flüssigkeitsbindendem Material (Sand, Kieselgur, Säurebinder, Universalbinder, Sägemehl) aufnehmen.

7 Handhabung und Lagerung

· **Handhabung:**
· **Hinweise zum sicheren Umgang:** Für gute Belüftung/Absaugung am Arbeitsplatz sorgen.
· **Hinweise zum Brand- und Explosionsschutz:** Keine besonderen Maßnahmen erforderlich.

· **Lagerung:**
· **Anforderung an Lagerräume und Behälter:** Keine besonderen Anforderungen.
· **Zusammenlagerungshinweise:** Nicht erforderlich.
· **Weitere Angaben zu den Lagerbedingungen:** In gut verschlossenen Gebinden kühl und trocken lagern.
· **VbF-Klasse:** entfällt

8 Expositionsbegrenzung und persönliche Schutzausrüstungen

· **Zusätzliche Hinweise zur Gestaltung technischer Anlagen:** Keine weiteren Angaben, siehe Punkt 7.

· **Bestandteile mit arbeitsplatzbezogenen, zu überwachenden Grenzwerten:** Entfällt.
· **Zusätzliche Hinweise:** Als Grundlage dienten die bei der Erstellung gültigen Listen.

· **Persönliche Schutzausrüstung:**
· **Allgemeine Schutz- und Hygienemaßnahmen:**
Von Nahrungsmitteln, Getränken und Futtermitteln fernhalten.
Beschmutzte, getränkte Kleidung sofort ausziehen.
Vor den Pausen und bei Arbeitsende Hände waschen.
Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden.
· **Atemschutz:** Nicht erforderlich.
· **Handschutz:**

Schutzhandschuhe

Das Handschuhmaterial muss undurchlässig und beständig gegen das Produkt / den Stoff / die Zubereitung sein.
Auswahl des Handschuhmaterials unter Beachtung der Durchbruchzeiten, Permeationsraten und der Degradation.

(Fortsetzung auf Seite 3)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 25.06.2002 Vers.-Nr.: 1 überarbeitet am: 20.06.2002

Handelsname: Epilox P 13-20

(Fortsetzung von Seite 2)

· **Handschuhmaterial**
Die Auswahl eines geeigneten Handschuhs ist nicht nur vom Material, sondern auch von weiteren Qualitätsmerkmalen abhängig und von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich.
Butylkautschuk
Nitrilkautschuk
· **Durchdringungszeit des Handschuhmaterials**
Die genaue Durchbruchzeit ist beim Schutzhandschuhhersteller zu erfahren und einzuhalten.
· **Augenschutz:**

Dichtschließende Schutzbrille

· **Körperschutz:** Arbeitsschutzkleidung

9 Physikalisch-chemische Eigenschaften

· **Allgemeine Angaben**	
Form:	Flüssig
Farbe:	Farblos
Geruch:	Charakteristisch
· **Zustandsänderung**	
Siedepunkt/Siedebereich:	300°C
· **Flammpunkt:**	150°C
· **Zündtemperatur:**	> 290°C
· **Explosionsgefahr:**	Das Produkt ist nicht explosionsgefährlich.
· **Dampfdruck bei 20°C:**	< 2 hPa
· **Dichte bei 20°C:**	1,1 g/cm³
· **Löslichkeit in / Mischbarkeit mit**	
Wasser:	Nicht bzw. wenig mischbar.
organischen Lösemitteln:	Löslich in vielen organischen Lösemitteln.
· **Viskosität:**	
Dynamisch bei 20°C:	20 mPas
Organische Lösemittel:	0,0 %

10 Stabilität und Reaktivität

· **Thermische Zersetzung / zu vermeidende Bedingungen:**
Keine Zersetzung bei bestimmungsgemäßer Verwendung.
· **Gefährliche Reaktionen**
Teilweise sehr heftige Reaktionen mit Basen sowie zahlreichen organischen Stoffklassen wie Alkoholen und Aminen.
Polymerisation unter Wärmeentwicklung.
· **Gefährliche Zersetzungsprodukte:** Keine gefährlichen Zersetzungsprodukte bekannt.

11 Angaben zur Toxikologie

· **Akute Toxizität:**

· **Einstufungsrelevante LD/LC50-Werte:**		
16096-31-4 1,6-Hexandioldiglycidylether		
Oral	LD50	> 8 500 mg/kg (rat)
Dermal	LD50	> 4 900 mg/kg (rabbit)

(Fortsetzung auf Seite 4)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 25.06.2002 Vers.-Nr.: 1 überarbeitet am: [illegible]

Handelsname: Epilox P 13-20

(Fortsetz[illegible] Seite 3)

· **Primäre Reizwirkung:**
· **an der Haut:** Reizt die Haut und die Schleimhäute.
· **am Auge:** Reizwirkung.
· **Sensibilisierung:** Durch Hautkontakt Sensibilisierung möglich.

12 Angaben zur Ökologie

· **Ökotoxische Wirkungen:**

· **Aquatische Toxizität:**	
16096-31-4 1,6-Hexandioldiglycidylether	
EC50/48h	47 mg/l (daphnia)
LC50/96h	30 mg/l (leuciscus idus)

· **Bemerkung:** Schädlich für Fische.
· **Allgemeine Hinweise:**
Im allgemeinen nicht wassergefährdend
Wassergefährdungsklasse 2 (Selbsteinstufung): wassergefährdend
Nicht in das Grundwasser, in Gewässer oder in die Kanalisation gelangen lassen.

13 Hinweise zur Entsorgung

· **Produkt:**
· **Empfehlung:**
Muß unter Beachtung der behördlichen Vorschriften einer Sonderbehandlung zugeführt werden.
· **Europäischer Abfallkatalog**
Die Zuordnung der Abfallschlüsselnummern ist entsprechend der EAK-Verordnung branchen- und prozessartspezifisch durchzuführen.

· **Ungereinigte Verpackungen:**
· **Empfehlung:**
Kontaminierte Verpackungen sind optimal zu entleeren, sie können dann nach entsprechender Reinigung einer Wiederverwertung zugeführt werden.

14 Angaben zum Transport

· **Landtransport ADR/RID und GGVS/GGVE (grenzüberschreitend/Inland):**
· **ADR/RID-GGVS/E Klasse:** -

· **Seeschiffstransport IMDG/GGVSee:**
· **IMDG/GGVSee-Klasse:** -
· **Marine pollutant:** Nein

· **Lufttransport ICAO-TI und IATA-DGR:**
· **ICAO/IATA-Klasse:** -

15 Vorschriften

· **Kennzeichnung nach EWG-Richtlinien:**
Das Produkt ist nach EG-Richtlinien/GefStoffV eingestuft und gekennzeichnet.

· **Kennbuchstabe und Gefahrenbezeichnung des Produktes:**
Xi Reizend

· **R-Sätze:**
36/38 Reizt die Augen und die Haut.
43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich.
52/53 Schädlich für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben.

(Fortsetzung auf Seite 5)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 25.06.2002 *Vers.-Nr.: 1* *überarbeitet am*

Handelsname: Epilox P 13-20

(Fortsetz... Seite 4)

· ***S-Sätze:***
24/25 Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden.
28 Bei Berührung mit der Haut sofort abwaschen mit viel Wasser und Seife
37/39 Bei der Arbeit geeignete Schutzhandschuhe und Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen.

· ***Nationale Vorschriften:***

· ***Klassifizierung nach VbF:*** *entfällt*

· ***Wassergefährdungsklasse:*** *Im allgemeinen nicht wassergefährdend.*

16 Sonstige Angaben

Die Angaben stützen sich auf den heutigen Stand unserer Kenntnisse, sie stellen jedoch keine Zusicherung von Produkteigenschaften dar und begründen kein vertragliches Rechtsverhältnis.

· ***Datenblatt ausstellender Bereich:*** *Abteilung Qualitätssicherung*
· ***Ansprechpartner:*** *Fr. Dr. Bierögel*

Empfänger:
Hildesheim

LEUNA-Harze GmbH
Bereich Qualitätssicherung
06236 Leuna Bau 6613
Telefon: 03461 43 4654
Telefax: 03461 43 4574

Abnahmeprüfzeugnis

3.1 B nach EN 10 204

10.03.03

Produkt : **EPILOX P 13-20** Charge : 5/03
Empfänger : Hildesheim
Lieferdatum : 11.03.03 Versandart : Muster

Merkmal	Dimension	Wert	Spezifikationswert	Prüfverfahren
Epoxidäquivalent	g/mol Epoxid-sauerstoff	145	140 bis 160	DIN 16 945 Punkt 4.15.1
Viskosität bei 25°C	mPa.s	17,5	15 bis 25	DIN 53 015

Qualitätssicherung

Datenblatt

Epilox® P 22-00

(früher Epilox â M 700)

Charakterisierung des Produktes

Epilox® P 22-00 ist ein niedrigviskoses cycloaliphatisches Epoxidharz.

Kennwerte

Viskosität bei 25 °C (DIN 53 015)	mPa·s	1500 - 3000
Epoxidäquivalent (DIN 16 945)	g/Äquiv.	205 - 230
Farbzahl nach Gardner (DIN ISO 4630)	-	max. 2

Anwendung

Epilox® P 22-00 kann hauptsächlich im Beschichtungs- und Lacksektor als niedrigviskoses Spezialepoxidharz mit sehr guter Licht- und Bewitterungsbeständigkeit sowie verbesserter Schockresistenz und Kriechstrombeständigkeit verwendet werden.

Verpackung/ Lagerung/Transport

Epilox® P 22-00 wird vorzugsweise in Fässern oder Containern geliefert.
Das Produkt sollte in feuchtigkeitsgeschützten Gebinden bei Temperaturen zwischen 10 °C und 30 °C gelagert werden. Lagerungen über den Zeitraum von 6 Monaten hinaus führen bei günstigen Lagerungsbedingungen nicht zur Gebrauchswertminderung.

Sicherheitstechnische Hinweise

Epilox® P 22-00 ist gemäß Gefahrstoffverordnung mit dem Symbol "Xi" Reizend gekennzeichnet.

Die Angaben in diesem Prospektblatt wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und entsprechen unserem derzeitigen Erkenntnisstand. Eine Verbindlichkeit kann jedoch daraus nicht abgeleitet werden.

LEUNA-Harze GmbH
PF 43, Bau 6619
D - 06233 Leuna
Tel.: 03461-43-3094, Fax: 03461-43-6543
email : wendt.harze@leuna.de
internet: http://www.leuna-harze.de

P22-00
Dez-00

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 27.06.2002 *Vers.-Nr.: 1* *überarbeitet am: 27.06.2002*

1 Stoff-/Zubereitungs- und Firmenbezeichnung

· **Angaben zum Produkt**

· **Handelsname: Epilox P 22-00**

· **Artikelnummer:** 0415
· **Verwendung des Stoffes / der Zubereitung** Verdünnungsmittel

· **Hersteller/Lieferant:**
LEUNA-HARZE GmbH
Postfach 43
D-6233 Leuna
Telefon 03461 43 3639

· **Auskunftgebender Bereich:**
Abteilung Qualitätssicherung
Telefon 03461 43 4654
Telefax 03461 43 4574
Telefon außerhalb der Geschäftszeit: 03461 43 6188
· **Notfallauskunft:**
Leitstelle Werkfeuerwehr
03461 210007

2 Zusammensetzung / Angaben zu den Bestandteilen

· **Chemische Charakterisierung:**
· **CAS-Nr. Bezeichnung**
13410-58-7 Hydrogenated bisphenol A diglycidyl ether
· **Identifikationsnummer(n)**
· **EINECS-Nummer:** 236-502-3

3 Mögliche Gefahren

· **Gefahrenbezeichnung:**

Xi Reizend

· **Besondere Gefahrenhinweise für Mensch und Umwelt:**
R 36/38 Reizt die Augen und die Haut.
R 43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich.

4 Erste-Hilfe-Maßnahmen

· **Nach Einatmen:**
Reichlich Frischluftzufuhr und sicherheitshalber Arzt aufsuchen.
Bei Bewußtlosigkeit Lagerung und Transport in stabiler Seitenlage.
· **Nach Hautkontakt:** Sofort mit Wasser und Seife abwaschen und gut nachspülen.
· **Nach Augenkontakt:**
Augen mehrere Minuten bei geöffnetem Lidspalt unter fließendem Wasser spülen. Bei anhaltenden Beschwerden Arzt konsultieren.
· **Nach Verschlucken:**
Mund ausspülen und reichlich Wasser nachtrinken.
Ärztlicher Behandlung zuführen.

(Fortsetzung auf Seite 2)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 27.06.2002 Vers.-Nr.: 1 überarbeitet am: 20.2.00

Handelsname: Epilox P 22-00

(Fortsetzung von Seite 1)

5 Maßnahmen zur Brandbekämpfung

· **Geeignete Löschmittel:**
CO2, Löschpulver oder Wassersprühstrahl. Größeren Brand mit Wassersprühstrahl bekämpfen.
Feuerlöschmaßnahmen auf die Umgebung abstimmen.
· **Besondere Gefährdung durch den Stoff, seine Verbrennungsprodukte oder entstehende Gase:**
Bei einem Brand kann freigesetzt werden:
Kohlenmonoxid (CO)
Unter bestimmten Brandbedingungen sind Spuren giftiger Stoffe nicht auszuschließen, wie z.B.:
Chlorwasserstoff (HCl)
· **Besondere Schutzausrüstung:**
Umgebungsluftunabhängiges Atemschutzgerät tragen.
Vollschutzanzug tragen.
· **Weitere Angaben** Kontaminiertes Löschwasser getrennt sammeln, darf nicht in die Kanalisation gelangen.

6 Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung

· **Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen:** Schutzausrüstung tragen. Ungeschützte Personen fernhalten.
· **Umweltschutzmaßnahmen:** Nicht in die Kanalisation/Oberflächenwasser/Grundwasser gelangen lassen.
· **Verfahren zur Reinigung/Aufnahme:**
Kontaminiertes Material als Abfall nach Punkt 13 entsorgen.
Mit flüssigkeitsbindendem Material (Sand, Kieselgur, Säurebinder, Universalbinder, Sägemehl) aufnehmen.

7 Handhabung und Lagerung

· **Handhabung:**
· **Hinweise zum sicheren Umgang:** Für gute Belüftung/Absaugung am Arbeitsplatz sorgen.
· **Hinweise zum Brand- und Explosionsschutz:** Keine besonderen Maßnahmen erforderlich.

· **Lagerung:**
· **Anforderung an Lagerräume und Behälter:** Keine besonderen Anforderungen.
· **Zusammenlagerungshinweise:** Nicht erforderlich.
· **Weitere Angaben zu den Lagerbedingungen:** In gut verschlossenen Gebinden kühl und trocken lagern.
· **VbF-Klasse:** entfällt

8 Expositionsbegrenzung und persönliche Schutzausrüstungen

· **Zusätzliche Hinweise zur Gestaltung technischer Anlagen:** Keine weiteren Angaben, siehe Punkt 7.

· **Bestandteile mit arbeitsplatzbezogenen, zu überwachenden Grenzwerten:** Entfällt.
· **Zusätzliche Hinweise:** Als Grundlage dienten die bei der Erstellung gültigen Listen.

· **Persönliche Schutzausrüstung:**
· **Allgemeine Schutz- und Hygienemaßnahmen:**
Von Nahrungsmitteln, Getränken und Futtermitteln fernhalten.
Beschmutzte, getränkte Kleidung sofort ausziehen.
Vor den Pausen und bei Arbeitsende Hände waschen.
Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden.
· **Atemschutz:** Bei unzureichender Belüftung Atemschutz.
· **Handschutz:**

Schutzhandschuhe

Das Handschuhmaterial muss undurchlässig und beständig gegen das Produkt / den Stoff / die Zubereitung sein.
Auswahl des Handschuhmaterials unter Beachtung der Durchbruchzeiten, Permeationsraten und der Degradation.

(Fortsetzung auf Seite 3)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 27.06.2002 Vers.-Nr.: 1 überarbeitet am:

Handelsname: Epilox P 22-00

(Fortsetzung auf Seite 2)

· **Handschuhmaterial**
Die Auswahl eines geeigneten Handschuhs ist nicht nur vom Material, sondern auch von weiteren Qualitätsmerkmalen abhängig und von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich.
Butylkautschuk
Nitrilkautschuk
· **Durchdringungszeit des Handschuhmaterials**
Die genaue Durchbruchzeit ist beim Schutzhandschuhhersteller zu erfahren und einzuhalten.
· **Augenschutz:**

Dichtschließende Schutzbrille

· **Körperschutz:** Arbeitsschutzkleidung

9 Physikalisch-chemische Eigenschaften

· **Allgemeine Angaben**	
Form:	Flüssig
Farbe:	Farblos
Geruch:	Charakteristisch
· **Zustandsänderung**	
Siedepunkt/Siedebereich:	> 300°C
· **Flammpunkt:**	> 200°C
· **Explosionsgefahr:**	Das Produkt ist nicht explosionsgefährlich.
· **Dichte bei 20°C:**	1,1 g/cm³
· **Löslichkeit in / Mischbarkeit mit**	
Wasser:	Nicht bzw. wenig mischbar.
organischen Lösemitteln:	Löslich in vielen organischen Lösemitteln.
· **Viskosität:**	
Dynamisch bei 25°C:	1 500 - 3 000 mPas
Organische Lösemittel:	0,0 %

10 Stabilität und Reaktivität

· **Thermische Zersetzung / zu vermeidende Bedingungen:**
Keine Zersetzung bei bestimmungsgemäßer Verwendung.
· **Gefährliche Reaktionen**
Polymerisation unter Wärmeentwicklung.
Teilweise sehr heftige Reaktionen mit Basen sowie zahlreichen organischen Stoffklassen wie Alkoholen und Aminen.
· **Gefährliche Zersetzungsprodukte:** Keine gefährlichen Zersetzungsprodukte bekannt.

11 Angaben zur Toxikologie

· **Akute Toxizität:**

· **Einstufungsrelevante LD/LC50-Werte:**		
13410-58-7 Hydrogenated bisphenol A diglycidyl ether		
Oral	LD50	> 5 300 mg/kg (rat) > 2000 mg/kg (rabbit)

· **Primäre Reizwirkung:**
· **an der Haut:** Reizt die Haut und die Schleimhäute.

(Fortsetzung auf Seite 4)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 27.06.2002 Vers.-Nr.: 1 überarbeitet

Handelsname: Epilox P 22-00

(Fortsetzung von Seite 3)

· **am Auge:** Reizwirkung.
· **Sensibilisierung:** Durch Hautkontakt Sensibilisierung möglich.

12 Angaben zur Ökologie

· **Allgemeine Hinweise:**
Wassergefährdungsklasse 2 (Selbsteinstufung): wassergefährdend
Nicht in das Grundwasser, in Gewässer oder in die Kanalisation gelangen lassen.

13 Hinweise zur Entsorgung

· **Produkt:**
· **Empfehlung:**
Muß unter Beachtung der behördlichen Vorschriften einer Sonderbehandlung zugeführt werden.
· **Europäischer Abfallkatalog**
Die Zuordnung der Abfallschlüsselnummern ist entsprechend der EAK-Verordnung branchen- und prozessartspezifisch durchzuführen.

· **Ungereinigte Verpackungen:**
· **Empfehlung:**
Kontaminierte Verpackungen sind optimal zu entleeren, sie können dann nach entsprechender Reinigung einer Wiederverwertung zugeführt werden.

14 Angaben zum Transport

· **Landtransport ADR/RID und GGVS/GGVE (grenzüberschreitend/Inland):**
· **ADR/RID-GGVS/E Klasse:** -

· **Seeschiffstransport IMDG/GGVSee:**
· **IMDG/GGVSee-Klasse:** -
· **Marine pollutant:** Nein

· **Lufttransport ICAO-TI und IATA-DGR:**
· **ICAO/IATA-Klasse:** -

15 Vorschriften

· **Kennzeichnung nach EWG-Richtlinien:**
Das Produkt ist nach EG-Richtlinien/GefStoffV eingestuft und gekennzeichnet.

· **Kennbuchstabe und Gefahrenbezeichnung des Produktes:**
Xi Reizend

· **R-Sätze:**
36/38 Reizt die Augen und die Haut.
43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich.

· **S-Sätze:**
24 Berührung mit der Haut vermeiden.
26 Bei Berührung mit den Augen sofort gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren.
37 Geeignete Schutzhandschuhe tragen.
60 Dieses Produkt und sein Behälter sind als gefährlicher Abfall zu entsorgen.

· **Nationale Vorschriften:**

· **Klassifizierung nach VbF:** entfällt

· **Wassergefährdungsklasse:** WGK 2 (Selbsteinstufung): wassergefährdend.
· **BG-Merkblatt:** M 023 "Polyester- und Epoxid-Harze"

D

(Fortsetzung auf Seite 5)

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 27.06.2002 *Vers.-Nr.: 1* *überarbeitet am:*

Handelsname: Epilox P 22-00

(Fortsetz...)

16 Sonstige Angaben

Die Angaben stützen sich auf den heutigen Stand unserer Kenntnisse, sie stellen jedoch keine Zusicherung von Produkteigenschaften dar und begründen kein vertragliches Rechtsverhältnis.

· **Datenblatt ausstellender Bereich:** *Abteilung Qualitätssicherung*
· **Ansprechpartner:** *Fr. Dr. Bierögel*

D

Empfänger:
Hildesheim

Leuna-Harze GmbH
Bereich Qualitätssicherung
06236 Leuna Bau 6613
Telefon: 03461 43 4654
Telefax: 03461 43 4574

Abnahmeprüfzeugnis

3.1 B nach EN 10 204

10.03.03

Produkt : **EPILOX P 22-00** Charge : 5/02
Empfänger : Hildesheim
Lieferdatum : 11.03.03 Versandart : Muster

Merkmal	Dimension	Wert	Spezifikationswert	Prüfverfahren
Epoxidäquivalent	g/mol Epoxid-sauerstoff	223	205 bis 235	DIN 16 945 Punkt 4.15.1
Viskosität bei 25°C	Pa.s	2,79	1,5 bis 3,5	DIN 53 015

Qualitätssicherung

RESINA 150/9

Indurente 150/9

Sistema epossidico cicloalifatico bicomponente senza solventi a bassa viscosità, indurente a temperatura ambiente con reattività moderata, non ingiallente per esposizione alle radiazioni UV della luce solare e che, dopo indurimento, possiede elevate caratteristiche meccaniche e resistenza all'aggressione di atmosfere fortemente inquinate o pesantemente industriali.

Applicazioni

Formulazione di pitture o rivestimenti senza solventi con eccellente resistenza all'ingiallimento.
Formulazione di malte, mastici o stucchi mediante aggiunta di cariche minerali per la produzione di copie di opere d'arte da esporre all'esterno, per la riparazione di manufatti artistici danneggiati o per la ricostruzione di loro lacune.

Modo d'impiego

Applicazione a pennello, a rullo o a spatola in funzione del tipo di formulato realizzato.

Proprietà del sistema non indurito

Viscosità molto bassa che ne consente la facile caricabilità con la più grande varietà di pigmenti e di cariche minerali come gli ossidi di ferro, di titanio, di cromo, i blu e verdi ftalocianina, il nero fumo, i silicati, il carbonato di calcio, il solfato di bario, ecc.
L'aspetto trasparente e quasi incolore ne permettono l'uso anche come materiale trasparente per piccole colate.

Proprietà del sistema indurito

Ottima resistenza all'ingiallimento dovuto all'esposizione continua alla luce solare. Elevate proprietà meccaniche. Eccellente resistenza all'acqua, alle soluzioni di sali, alle soluzioni alcaline e alle soluzioni acide diluite. Buone proprietà adesive su metalli, su alcune materie plastiche, su calcestruzzo e materiali lapidei in genere. Alta temperatura di transizione vetrosa.

stac srl *Via San Faustino 64 20134 MILANO tel. (02) 26.411.971 - 26.40.431 - 26.415.258 fax(02) 26.40.860*

1. Caratteristiche fisiche dei componenti.

	RESINA 150/9	INDURENTE 150/9
Natura	Resina epossidica cicloalifatica	Poliammina cicloalifatica
Stato fisico	liquido trasparente	liquido trasparente
Indice di colore Gardner	≤ 2	≤ 1
Viscosità a 25°C mPas	circa 500	circa 20
Peso specifico a 20°C g/cm³	1,10 - 1,15	0,90 - 0,95
Punto di infiammabilità °C	> 140	> 110

2. Rapporto di miscelazione.

	in peso	in volume
RESINA 150/9	100	100
INDURENTE 150/9	26	30

Il rapporto di miscelazione va accuratamente rispettato. Gli errori di dosaggio tollerabili non devono essere superiori a ± 5 %.
La miscelazione dei componenti va eseguita preferibilmente con miscelatore meccanico e va protratta fino a che non si è certi di aver ottenuto una perfetta omogeneità.

3. Caratteristiche della miscela.

Viscosità a 25°C	mPas	circa 250
Pot-life 200 g a 20°C	min	240 - 300
Pot-life 200 g a 25°C	min	120 -150
Gelificazione in strato sottile a 20°C	ore	16 - 24
Gelificazione in strato sottile a 25°C	ore	32 - 48

Quando il sistema appena miscelato viene utilizzato in strato sottile a temperatura inferiore a 25°C e con umidità relativa superiore al 60%, la superficie può risultare leggermente carbonatata o irregolare. Per evitare o minimizzare questo fenomeno è opportuno attendere 20-30 minuti dopo la miscelazione prima del suo utilizzo.

4. Condizioni di indurimento.

Alla temperatura di 20-25°C la gelificazione - che corrisponde ad un avanzamento della polimerizzazione del 65-70% - avviene in 3-5 ore se in massa, 24-48 ore se in film.
In strato sottile, cioè nella condizione più svantaggiosa per l'avanzamento della polimerizzazione, questa raggiunge il 95-96% - a cui corrisponde una temperatura di transizione vetrosa (Tg) di 60-65°C - nel tempo di 7-15 giorni.
Se si desidera raggiungere una polimerizzazione prossima al 100% - a cui corrisponde una Tg di circa 90°C - è necessario ricorrere a un post-indurimento a caldo (per esempio 24-48 ore a 60°C).

5. Caratteristiche del sistema non caricato dopo indurimento di 15 giorni a 25°C.

Peso specifico a 20°C	g/cm³		1,00 - 1,05
Resistenza a trazione	N/mm²	UNI 5819	55 - 65
Allungamento a rottura	%	UNI 5819	3 - 5
Resistenza a compressione	N/mm²	UNI 4279	90 - 110
Resistenza a flessione	N/mm²	UNI 7219	75 - 90
Temperatura di transizione vetrosa	°C	Mettler TA 3000	60 - 65
Coefficiente di dilatazione termica lineare (da 20 a 90°C)	/°C	Mettler TA 3000	70 - 80 · 10^{-6}

6. Igiene del lavoro.

Tutte le resine epossidiche con peso molecolare inferiore a 700 e i loro indurenti sono sostanze irritanti per la pelle e possono causare, se usate continuamente senza nessuna cautela, allergie della pelle. Si consiglia di manipolare la RESINA 150/9 e il suo indurente protetti da guanti e da indumenti adatti al fine di evitare il contatto diretto con la pelle. Anche alcune creme protettive si sono rivelate utili allo scopo.
In caso di contatto con la pelle, lavarsi il più presto possibile con acqua calda e sapone. Per questa operazione non devono essere assolutamente usati solventi.
In caso di contatto con gli occhi lavare abbondantemente con acqua corrente per almeno 15 minuti e consultare un medico.
Invitiamo inoltre gli utilizzatori del prodotto menzionato nel presente bollettino tecnico a prendere visione delle schede di sicurezza relative ai prodotti stessi.

7. Confezioni.

RESINA 150/9:	5 e 20 kg.
INDURENTE 150/9	1.3 e 5,2 kg.

8. Durata del magazzinaggio.

1 anno a temperatura ambiente di 5-25°C nelle confezioni originali ermeticamente chiuse.

Le informazioni e i dati riportati nel presente bollettino sono basati sulle nostre esperienze e su accurate prove di laboratorio, tuttavia, a causa della grande varietà di applicazioni, non possiamo assumerci alcuna responsabilità sull'esito finale delle Vostre lavorazioni.

stac

SCHEDA DATI DI SICUREZZA

(D.M. 28/01/1992 in attuazione direttiva 91/155/CEE e successivi aggiornamenti fino al DL 285/98)

1. IDENTIFICAZIONE DEL PREPARATO E DELLA SOCIETÀ

1.1. Denominazione del preparato: ***RESINA 150/9***
resina epossidica bicomponente senza solventi

1.2. Società produttrice: **stac s.r.l.**
via Pacinotti 4, 20090 SEGRATE (MI)
tel. 02.21.32.633 – 02.21.32.757 – 02.21.32.610
telefax 02.21.32.629 e-mail: stac@jumpy.it

1.3. Numero telefonico di emergenza extra orario d'ufficio: -

2. COMPOSIZIONE / INFORMAZIONE SUGLI INGREDIENTI

denominazione sostanza pericolosa	N° INDICE	N° CAS	concen-trazione	simbolo di pericolo	concentrazione limite per il simbolo	frasi R
Cicloesano-dimetanolo-diglicidiletere	-	14228-73-0	50 – 75	Xi Xi Xi	$1 \le c < 20$ $20 \le c < 25$ $c \ge 25$	43 36/38, 43 36/38, 43, 52/53

R 36/38: Irritante per gli occhi e la pelle.
R 43: Può provocare sensibilizzazione per contatto con la pelle.
R 52/53: Nocivo per gli organismi acquatici, può provocare a lungo termine effetti negativi per l'ambiente acquatico.

3. IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI

3.1. Pericoli tipici per l'ambiente.
Il preparato è nocivo per gli organismi acquatici e può provocare a lungo termine effetti negativi per l'ambiente acquatico

3.2 Pericoli per la salute.

3.2.1. Sintomi: Arrossamento della pelle, irritazioni, infiammazioni e prurito. Irritazione degli occhi, annebbiamento della vista.

3.2.2. Effetti: Prurito e/o bruciore della pelle, orticarie, dermatiti, effetti sistematici per l'assorbimento cutaneo. Disidratazione e secchezza della pelle. Manifestazioni allergiche. Arrossamento, lacrimazione e bruciore degli occhi.

4. MISURE DI PRIMO SOCCORSO

4.1. Inalazione: A temperatura ambiente il preparato non emette vapori pericolosi per la salute in quantità significativa. Se riscaldato e per effetto della reazione esotermica che si verifica se conservato in massa (> 1 kg) dopo miscelazione con il componente indurente, può emettere vapori irritanti per le vie respiratorie.

4.1.1. Se il paziente è in stato di incoscienza: Portare la persona infortunata all'aria aperta. Sistemare il paziente bocconi con il viso rivolto su un lato. Accertare se vi sia una qualsiasi ostruzione nella bocca che arresti la respirazione. Tirare fuori la lingua del paziente. Rimuovere le secrezioni in eccesso. Pulire residui di vomito. Rimuovere la dentiera se esistente. Inserire il dispositivo Guedel per prevenire che la lingua ostruisca il passaggio dell'aria; il dispositivo Guedel deve essere lasciato in posto fino a che il paziente sia di nuovo cosciente. Somministrare ossigeno. Tenere il paziente al caldo. ***Non somministrare nulla per bocca a un paziente in stato di incoscienza. Non somministrare alcool, morfina o qualsiasi altro stimolante.***

4.1.2. Se il paziente è cosciente: Portare la persona infortunata all'aria aperta. Il paziente può essere cosciente, ma avere difficoltà di respirazione. In questo caso sistemare il paziente nella posizione di "seduto eretto" e tenerlo al caldo. Somministrare ossigeno. Se la respirazione non migliora malgrado queste misure, possono essersi verificate l'asfissia o l'edema polmonare e diviene necessario l'intervento del medico.

4.2. Contatto con la pelle: Lavare immediatamente e abbondantemente con acqua e sapone per almeno 15 minuti. Rimuovere gli eventuali indumenti e scarpe contaminati. Per detergere la pelle non usare solventi organici che.

diluendo il prodotto, ne consentono una più facile penetrazione nei pori della pelle. Consultare un medico se persistono segni di irritazione. Lavare gli indumenti prima del loro riutilizzo.

4.3. **Contatto con gli occhi:** Togliere le lenti a contatto se sono portate dall'infortunato. Lavare via il prodotto dagli occhi, tenendo le palpebre aperte, con abbondanti quantità di acqua il più rapidamente possibile. Proseguire il lavaggio per almeno 15 minuti. Se l'irritazione, la lacrimazione, il dolore o il gonfiore agli occhi persiste è necessario sottoporre il paziente a un sollecito controllo medico.

4.4. **Ingestione:** La decisione se indurre il vomito deve essere presa da un medico presente. Non somministrare liquidi o indurre il vomito se il paziente è in stato di incoscienza o ha le convulsioni.

5. MISURE ANTINCENDIO

5.1. **Mezzi di estinzione appropriati:** Acqua nebulizzata, CO_2, schiuma sintetica, polveri estinguenti.

5.2. **Mezzi di estinzione non idonei:** Acqua in getti.

5.3. **Rischi all'esposizione:** La decomposizione termica o la combustione possono rilasciare ossidi di carbonio e altri gas e vapori tossici.

5.4. **Equipaggiamento protettivo per gli addetti allo spegnimento:** Indossare indumenti protettivi per agenti chimici e autorespiratore.

6. MISURE IN CASO DI FUORIUSCITA ACCIDENTALE

6.1. **Precauzioni personali:** Evitare il contatto con la pelle, gli occhi e gli indumenti. Indossare mezzi protettivi individuali idonei (vedi punto 8).

6.2. **Precauzioni per l'ambiente:** Impedire che il prodotto si disperda attraverso scarichi, fognature, acque di superficie e sotterranee.

6.3. **Metodi di pulizia:** Se il prodotto viene a contatto con il suolo che lo assorbe, rimuovere lo strato contaminato. Se il prodotto viene a contatto con una superficie impermeabile, assorbire con materiali inerti come sabbia, terra, vermiculite, segatura, ecc. In entrambi i casi raccogliere il materiale contaminato in contenitori adatti e avviare allo smaltimento. Il prodotto residuo può essere rimosso usando vapore o acqua e detersivo. In questo caso anche le acque di lavaggio devono essere confinate e inviate allo smaltimento.

7. MANIPOLAZIONE E STOCCAGGIO

7.1. **Manipolazione:** Assicurare buona ventilazione e un adeguato ricambio d'aria nel locale. Osservare l'igiene sul posto di lavoro. Non mangiare, bere o fumare durante l'impiego. Evitare il contatto con pelle e occhi. Non respirare i vapori se riscaldato. Se applicato mediante polverizzazione usare appropriati mezzi di protezione (ventilazione, apparecchio respiratorio adatto, ecc.).

7.2. **Stoccaggio:** Conservare con buona ventilazione in recipienti chiusi ermeticamente. Conservare a temperatura ambiente lontano da fonti di calore. Tenere lontano da cibi e bevande. Materiali incompatibili: sostanze fortemente ossidanti.

8. CONTROLLO DELL'ESPOSIZIONE / PROTEZIONE INDIVIDUALE

8.1. **TLV - TWA:** Non assegnato.

8.2. **Controllo dell'esposizione:**

*8.2.1. **Controllo dell'esposizione professionale:*** A causa del potere sensibilizzante e del potenziale potere irritante dei vapori se riscaldato, particolare attenzione dovrà essere rivolta alla protezione della pelle e all'efficacia dell'aerazione del posto di lavoro.

8.2.1.1. Protezione respiratoria: Se applicato mediante polverizzazione usare appropriati mezzi di protezione (ventilazione, apparecchio respiratorio adatto, ecc.). Quando si ha sviluppo di vapori a causa del riscaldamento, adottare un adeguato ricambio d'aria.

8.2.1.2. Protezione delle mani: Usare guanti impermeabili in neoprene, PVC o in gomma nitrilica e, eventualmente, una specifica crema-barriera.

8.2.1.3. Protezione degli occhi: Usare occhiali di sicurezza.

8.2.1.4. Protezione della pelle: Usare indumenti da lavoro che devono essere cambiati e lavati in caso di contaminazione prima di essere nuovamente indossati. Specifiche creme-barriera consentono una facile asportazione del preparato dalla pelle mediante lavaggio con acqua calda e sapone.

*8.2.2. **Controllo dell'esposizione ambientale:*** Il preparato deve essere considerato nocivo per gli organismi acquatici e può provocare effetti negativi a lungo termine per l'ambiente acquatico, non può quindi essere rilasciato nell'ambiente senza trattamento.

9. PROPRIETÀ FISICHE E CHIMICHE

9.1. Informazioni generali:

9.1.1. Aspetto: liquido trasparente di colore leggermente paglierino.

9.1.2. Odore: leggermente aromatico.

9.2. Importanti informazioni sulla salute umana, la sicurezza e l'ambiente:

pH: circa 7 (1 kg / 1 l di acqua)
Punto di infiammabilità: > 150°C
Proprietà comburenti: no
Densità a 20°C: 1,1 g/cm³
Liposolubilità: in solventi aromatici, chetoni
Viscosità : ca. 1000 mPas
Velocità di evaporazione: praticamente non volatile
Intervallo di ebollizione: non pertinente
Proprietà esplosive: no
Pressione di vapore: < 0,1 hPa a 20°C
Idrosolubilità: non solubile
Coefficiente di ripartizione n-ottanolo/acqua: non disponibile
Densità di vapore: non disponibile

9.3. Altre informazioni: -

10. STABILITÀ E REATTIVITÀ

10.1. Condizioni da evitare: Temperature che portino alla decomposizione termica.

10.2. Materie da evitare: Ammine, acidi di Lewis, mercaptani, composti fortemente ossidanti.

10.3. Prodotti di decomposizione pericolosi: La decomposizione termica e la combustione danno origine ad anidride carbonica, ossido di carbonio e, in mancanza di abbondante ossigeno, ad altri gas o vapori che devono essere trattati come sostanze potenzialmente pericolose.

11. INFORMAZIONI TOSSICOLOGICHE

Si tenga presente la concentrazione delle singole sostanze pericolose al fine di valutare gli effetti tossicologici derivanti dall'esposizione del preparato. Di seguito sono riportate le informazioni tossicologiche attualmente in nostro possesso riguardanti le sostanze pericolose presenti nel preparato.

11.1. Inalazione:

Cicloesano-dimetanolo-diglicidiletere: A temperatura ambiente è improbabile la formazione di vapori. Se il prodotto viene riscaldato i vapori possono generare una irritazione temporanea delle vie respiratorie. Non sono noti effetti ritardati.

11.2. Ingestione:

Cicloesano-dimetanolo-diglicidiletere: La tossicità per una singola dose orale è ritenuta bassa.
LD_{50} orale (ratto): > 2000 mg/kg.

11.3. Contatto con la pelle:.

Cicloesano-dimetanolo-diglicidiletere: L'esposizione singola e prolungata probabilmente non produce un assorbimento della sostanza attraverso la pelle in quantità nocive. . Possibile sensibilizzazione per contatto con la pelle.
LD_{50} cutaneo (coniglio): non disponibile.

11.4. Contatto con gli occhi:

Cicloesano-dimetanolo-diglicidiletere: Irritante con arrossamento e sensazione dolorosa.

12. INFORMAZIONI ECOLOGICHE

Si tenga presente la concentrazione delle singole sostanze pericolose al fine di valutare gli effetti sull'ambiente derivanti dall'impiego del preparato. Di seguito sono riportate le informazioni ecologiche attualmente in nostro possesso riguardanti le sostanze pericolose presenti nel preparato.

12.1. Ecotossicità:

Cicloesano-dimetanolo-diglicidiletere: La sostanza è nociva per gli organismi acquatici.
Tossicità acuta – pesci: LC_{50} (carpa) = 13 mg/l – 96h
Tossicità acuta – pesci: LC_0 (carpa) = 10 mg/l – 96h
Inibizione della respirazione da fanghi attivi EC_{10} = 1181 mg/l.

12.2. Mobilità:

Cicloesano-dimetanolo-diglicidiletere: Non solubile in acqua, tuttavia può penetrare facilmente nel terreno e contaminare le acque di falda.

12.3. Persistenza e degradabilità:

Cicloesano-dimetanolo-diglicidiletere: Non immediatamente biodegradabile.

12.4. Potenziale di bioaccumulo:

Cicloesano-dimetanolo-diglicidiletere: Nessun dato.

12.5. Altri effetti avversi:

Nessun dato.

13. CONSIDERAZIONI SULLO SMALTIMENTO

Ogni operazione di recupero o smaltimento deve essere effettuata da ditte autorizzate.
E' raccomandato l'incenerimento che deve essere effettuato in accordo con le vigenti regole locali. Non incenerire i contenitori chiusi. Si consiglia di schiacciare o pressare i fustini vuoti.
Se si sceglie la bonifica dei contenitori vuoti, questi dovrebbero essere smaltiti come rifiuti pericolosi a meno che non vengano sottoposti a lavaggio. In questo caso i fluidi risultanti devono essere smaltiti in modo sicuro e in osservanza dei regolamenti locali.
Se i contenitori vengono bonificati non togliere l'etichetta se non dopo bonifica effettuata.

14. INFORMAZIONI SUL TRASPORTO

RID/ADR: libero
IMDG (mare): libero
IATA (aria): libero
N° ONU: libero

15. INFORMAZIONI SULLA REGOLAMENTAZIONE

15.1. D.M. 28 gennaio 1992:

SIMBOLO: Xi – irritante.
CONTIENE: Cicloesano-dimetanolo-diglicidiletere.
DISPOSIZIONI SPECIALI: Contiene resine epossidiche. Vedere le informazioni trasmesse dal fabbricante.
FRASI DI RISCHIO: R 36/38, 43, 52/53
R 36/38: Irritante per gli occhi e per la pelle.
R 43: Può provocare sensibilizzazione per contatto con la pelle.
R 52/53: Nocivo per gli organismi acquatici, può provocare a lungo termine effetti negativi per l'ambiente acquatico.
FRASI DI PRUDENZA: S 24, 37
S 24:Evitare il contatto con la pelle.
S 37: Usare guanti adatti.

15.2. D.M. 28 giugno 1989: Non disperdere il contenitore nell'ambiente.

15.3. Altre norme: Le principali norme con i successivi aggiornamenti che regolamentano la sicurezza e la protezione ambientale sono, quando applicabili, le seguenti:

- DPR 27.04.1955 N.547: Norme la prevenzione degli infortuni sul lavoro.
- DPR 19.03.1956 N.303: Norme generali per l'igiene del lavoro.
- DPR 24.05.1988 N.203: Inquinamento atmosferico prodotto da specifici agenti inquinanti a da impianti industriali.
- DPR 17.06.1988 N.175: Rischi di incidenti rilevanti connessi con determinate attività industriali.
- DPR 15.08.1991 N.277: protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti dall'esposizione ad agenti fisici, chimici e biologici durante il lavoro.
- DPR 336/94 del 13.04.94: nuove tabelle delle malattie professionali in industria e in agricoltura.
- DL 626/94 del 19.09.94: attuazione delle direttive comunitarie riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro.
- DL 242/96 del 19.03.96: modifiche e integrazioni al DL 626/94.
- DL 22/97: attuazione delle direttive per lo smaltimento dei rifiuti.
- DM 12.08.98: restrizioni in materia di immissione sul mercato e di uso di talune sostanze e preparati pericolosi.
- DL 152/99: disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento.
- DL 344/99:controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze.

16. ALTRE INFORMAZIONI

16.1 Redatta il: 11. 03. 2003. terza edizione.

16.2 Versione precedente del: 03. 05. 2002.

16.3 Variazioni rispetto all'ultima versione nei paragrafi: 2, 3, 7, 8, 9, 12, 14, 15.

16.4. I dati riportati nella presente scheda di sicurezza sono stati ricavati dalle schede di sicurezza dei fornitori delle materie prime.

Questo prodotto deve essere immagazzinato, manipolato e usato in accordo con idonee pratiche di igiene industriale e in conformità con la legislazione vigente.
Le informazioni contenute nella presente scheda di sicurezza si riferiscono soltanto al prodotto indicato e possono non valere se il prodotto viene modificato o usato in combinazione con altri. Tali informazioni sono basate sulle conoscenze in nostro possesso e ritenute corrette, alla data di emissione della scheda, relativamente alle prescrizioni per la sicurezza e per il corretto uso del prodotto. Nessuna garanzia viene comunque fornita per ciò che riguarda l'accuratezza, l'attendibilità o la completezza di tali informazioni.
Non si deve interpretare questo documento come garanzia di alcuna proprietà specifica del prodotto.
La STAC srl non assume responsabilità per impieghi del prodotto non ragionevolmente prevedibili, non corretti, incauti o impropri.

stac	**SCHEDA DATI DI SICUREZZA** (D.M. 28/01/1992 in attuazione direttiva 91/155/CEE e successivi aggiornamenti fino al DL 285/98)

1. IDENTIFICAZIONE DEL PREPARATO E DELLA SOCIETÀ

1.1. Denominazione del preparato: ***INDURENTE 150/9***
indurente per resina epossidica senza solventi

1.2. Società produttrice: **stac s.r.l.**
via Pacinotti 4, 20090 SEGRATE (MI)
tel. 02.21.32.633 – 02.21.32.757 – 02.21.32.610
telefax 02.21.32.629 e-mail: roofing@tiscalinet.it

1.3. Numero telefonico di emergenza extra orario d'ufficio: -

2. COMPOSIZIONE / INFORMAZIONE SUGLI INGREDIENTI

denominazione sostanza pericolosa	N° INDICE	N° CAS	concen-trazione	simbolo di pericolo	concentrazione limite per il simbolo	frasi R
Isoforondiammina (IPDA)	612-067-00-9	2855-13-2	50 - 75	Xi Xi C C	$1 \le c < 5$ $5 \le c < 10$ $10 \le c < 25$ $c \ge 25$	43 36/38, 43 34, 43 21/22, 34, 43

R 21/22: Nocivo a contatto con la pelle e per ingestione.
R 34: Provoca ustioni.
R 36/38: Irritante per gli occhi e la pelle.
R 43: Può provocare sensibilizzazione per contatto con la pelle.

3. IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI

3.1. Pericoli tipici per l'ambiente.
L'ammina contenuta è nociva per gli organismi acquatici e può provocare a lungo termine effetti negativi per l'ambiente acquatico.

3.2 Pericoli per la salute.

3.2.1. Sintomi: Arrossamento della pelle e bruciore della parte contaminata, infiammazioni e prurito. Irritazione degli occhi e della pelle, annebbiamento della vista. Se ingerito: mal di testa, vertigini nausea e vomito.

3.2.2. Effetti: Ustioni chimiche con flittene o ulcerazione della parte colpita dopo contatto prolungato. Prurito e/o bruciore della pelle, orticarie, dermatiti, effetti sistematici per l'assorbimento cutaneo. Disidratazione e secchezza della pelle. Manifestazioni allergiche. Arrossamento, lacrimazione e bruciore degli occhi. Se ingerito: vomito, diarrea, depressione al sistema nervoso centrale, danno renale ed epatico. Offuscamento della vista, nei casi gravi anche cecità.

4. MISURE DI PRIMO SOCCORSO

4.1. Inalazione: A temperatura ambiente il preparato non emette vapori pericolosi per la salute in quantità significativa. Se riscaldato e per effetto della reazione esotermica che si verifica se mantenuto in massa dopo miscelazione con il componente indurente (> 1 kg), può emettere vapori irritanti per le vie respiratorie.

4.1.1. Se il paziente è in stato di incoscienza: Portare la persona infortunata all'aria aperta. Sistemare il paziente bocconi con il viso rivolto su un lato. Accertare se vi sia una qualsiasi ostruzione nella bocca che arresti la respirazione. Tirare fuori la lingua del paziente. Rimuovere le secrezioni in eccesso. Pulire residui di vomito. Rimuovere la dentiera se esistente. Inserire il dispositivo Guedel per prevenire che la lingua ostruisca il passaggio dell'aria; il dispositivo Guedel deve essere lasciato in posto fino a che il paziente sia di nuovo cosciente. Somministrare ossigeno. Tenere il paziente al caldo. ***Non somministrare nulla per bocca a un paziente in stato di incoscienza. Non somministrare alcool, morfina o qualsiasi altro stimolante.***

4.1.2. **Se il paziente è cosciente:** Portare la persona infortunata all'aria aperta. Il paziente può essere cosciente, ma avere difficoltà di respirazione. In questo caso sistemare il paziente nella posizione di "seduto eretto" e tenerlo al caldo. Somministrare ossigeno. Se la respirazione non migliora malgrado queste misure, possono essersi verificate l'asfissia o l'edema polmonare e diviene necessario l'intervento del medico.

4.2. **Contatto con la pelle:** Lavare immediatamente e abbondantemente con acqua e sapone per almeno 15 minuti. Rimuovere gli eventuali indumenti e scarpe contaminati. Per detergere la pelle non usare solventi organici che, diluendo il prodotto, ne consentono una più facile penetrazione nei pori della pelle. Consultare un medico se persistono segni di irritazione. Lavare gli indumenti prima del loro riutilizzo.

4.3. **Contatto con gli occhi:** Togliere le lenti a contatto se sono portate dall'infortunato. Lavare via il prodotto dagli occhi, tenendo le palpebre aperte, con abbondanti quantità di acqua il più rapidamente possibile. Proseguire il lavaggio per almeno 15 minuti. Se l'irritazione, la lacrimazione, il dolore o il gonfiore agli occhi persiste è necessario sottoporre il paziente a un sollecito controllo medico.

4.4. **Ingestione:** Non indurre il vomito. I prodotti chimici corrosivi possono distruggere le membrane della bocca, della gola e dell'esofago. Inoltre c'è il rischio che la sostanza possa essere aspirata nei polmoni in caso di vomito.

Se il paziente è conscio: somministrare due bicchieri di acqua per diluire l'agente caustico chiedere l'intervento del medico e trasportare l'infortunato al più presto in ospedale.

Se il paziente non è conscio: non somministrare liquidi, chiedere l'intervento del medico e trasportare l'infortunato al più presto in ospedale.

5. MISURE ANTINCENDIO

5.1. **Mezzi di estinzione appropriati:** Acqua nebulizzata, CO_2, schiuma sintetica, polveri estinguenti.

5.2. **Mezzi di estinzione non idonei:** Acqua in getti.

5.3. **Rischi all'esposizione:** La decomposizione termica o la combustione possono rilasciare ossidi di carbonio ossidi di azoto e altri gas e vapori tossici.

5.4. **Equipaggiamento protettivo per gli addetti allo spegnimento:** Indossare indumenti protettivi per agenti chimici e autorespiratore.

6. MISURE IN CASO DI FUORIUSCITA ACCIDENTALE

6.1. **Precauzioni personali:** Indossare l'attrezzatura protettiva personale adeguata (vedi Sezione 8). Non respirare i vapori.

6.2. **Precauzioni per l'ambiente:** Impedire che il prodotto si disperda attraverso scarichi, fognature, acque di superficie e sotterranee.

6.3. **Metodi di pulizia:** Se il prodotto viene a contatto con il suolo che lo assorbe, rimuovere lo strato contaminato. Se il prodotto viene a contatto con una superficie impermeabile, assorbire con materiali inerti come sabbia, terra, vermiculite, segatura, ecc. In entrambi i casi raccogliere il materiale contaminato in contenitori adatti e avviare allo smaltimento. Il prodotto residuo può essere rimosso usando vapore o acqua e detersivo. In questo caso anche le acque di lavaggio devono essere confinate e inviate allo smaltimento.

7. MANIPOLAZIONE E STOCCAGGIO

7.1. **Manipolazione:** Assicurare buona ventilazione e un adeguato ricambio d'aria nel locale. Osservare l'igiene sul posto di lavoro. Non mangiare, bere o fumare durante l'impiego. Evitare il contatto con pelle e occhi. Non respirare i vapori se riscaldato.

7.2. **Stoccaggio:** Conservare con buona ventilazione in recipienti chiusi ermeticamente. Conservare a temperatura ambiente lontano da fonti di calore. Tenere lontano da cibi e bevande. Materiali incompatibili: rame, agenti ossidanti, perossidi, acidi.

8. CONTROLLO DELL'ESPOSIZIONE / PROTEZIONE INDIVIDUALE

8.1. **TLV - TWA:** Non assegnato.

8.2. **Protezione respiratoria:** Usare solo in presenza di adeguata ventilazione, altrimenti indossare una idonea maschera protettiva.

8.3. **Protezione delle mani e della pelle:** Usare guanti impermeabili e indumenti specifici in relazione al tipo di operazione da eseguire.

8.4. **Protezione degli occhi:** Usare occhiali di sicurezza/schermo facciale se durante l'impiego è possibile la formazione schizzi.

9. PROPRIETÀ FISICHE E CHIMICHE

Aspetto: liquido paglierino
Intervallo di ebollizione: non applicabile
Temperatura di decomposizione: >200°C
Densità a 20°C: 0,9 g/cm³
Proprietà esplosive: no
Autoinfiammabilità: >400°C
pH: circa 12 (1000 g/ 1 l di acqua)

Odore: tipico di ammine
Punto di infiammabilità: > 100°C
Tensione di vapore: < 0,1 mbar a 20°C
Solubilità in acqua a 20°C: poco solubile
Proprietà comburenti: no
Viscosità a 25°C: ca. 20 mPas

10. STABILITÀ E REATTIVITÀ

10.1. Condizioni da evitare: Temperature che portino il prodotto alla decomposizione termica.

10.2. Materie da evitare: Acrilati, aldeidi, chetoni, composti organici alogenati, agenti ossidanti e acidi. La miscela con questi materiali causerà un aumento della temperatura e/o pressione.

10.3. Prodotti di decomposizione pericolosi: La decomposizione termica e la combustione danno origine ad anidride carbonica, ossido di carbonio ossidi di azoto e, in mancanza di abbondante ossigeno, ad altri gas o vapori che devono essere trattati come sostanze potenzialmente pericolose.

11. INFORMAZIONI TOSSICOLOGICHE

Si tenga presente la concentrazione delle singole sostanze pericolose al fine di valutare gli effetti tossicologici derivanti dall'esposizione del preparato. Di seguito sono riportate le informazioni tossicologiche attualmente in nostro possesso riguardanti le sostanze pericolose presenti nel preparato.

11.1. Inalazione:

Isoforondiammina (IPD): A causa della sua bassa tensione di vapore a temperatura ambiente è improbabile una significativa inalazione di vapori. Se il prodotto viene riscaldato i vapori possono generare forte irritazione delle vie respiratorie.

LC 50 inalatoria (ratto): non disponibile

11.2. Ingestione:

Isoforondiammina (IPD): La tossicità per una singola dose orale è da ritenersi moderata. Il rischio previsto per una ingestione accidentale di prodotto durante le normali operazioni di manipolazione industriale è la irritazione e l'ulcerazione del tratto gastrointestinale e l'ustione della bocca e della gola.

LD50 orale (ratto): 1030 mg/kg.

11.3. Contatto con la pelle:.

Isoforondiammina (IPD): Il prodotto è corrosivo per la pelle e causa ustioni. La tossicità dovuta ad assorbimento per via cutanea può considerarsi moderata, ma il prodotto dà origine a sensibilizzazione.

LD50 cutanea (coniglio): 1840 mg/kg.

11.4. Contatto con gli occhi:.

Isoforondiammina (IPD): Causa gravi danni agli occhi.

12. INFORMAZIONI ECOLOGICHE

Il preparato deve essere considerato nocivo per gli organismi acquatici. Si prevede che il preparato causi effetti negativi di lungo termine nell'ambiente acquatico. La biodegradazione è bassa.

13. CONSIDERAZIONI SULLO SMALTIMENTO

Ogni operazione di recupero o smaltimento deve essere effettuata da ditte autorizzate.

E' raccomandato l'incenerimento che deve essere effettuato in accordo con le vigenti regole locali. Non incenerire i contenitori chiusi. Si consiglia di schiacciare o pressare i fustini vuoti.

Se si sceglie la bonifica dei contenitori vuoti, questi dovrebbero essere smaltiti come rifiuti pericolosi a meno che non vengano sottoposti a lavaggio. In questo caso i fluidi risultanti devono essere smaltiti in modo sicuro e in osservanza dei regolamenti locali.

Se i contenitori vengono bonificati non togliere l'etichetta se non dopo bonifica effettuata.

14. INFORMAZIONI SUL TRASPORTO

RID/ADR (strada e ferrovia): 8 - 53, (c)
IATA (aria): 8

N°. ONU: 2735
IMDG (mare): 8

15. INFORMAZIONI SULLA REGOLAMENTAZIONE

15.1. D.M. 28 gennaio 1992:

SIMBOLO: C - corrosivo.
CONTIENE: Isoforondiammina.

FRASI DI RISCHIO: R 21/22,34, 43	R 21/22: Nocivo per contatto con la pelle e ingestione. R 34: Provoca ustioni. R 43: Può provocare sensibilizzazione per contatto con la pelle.
FRASI DI PRUDENZA: S 26, 36/37/39,45	S 26: In caso di contatto con gli occhi, lavare immediatamente e abbondantemente con acqua e consultare un medico. S 36/37/39: Indossare indumenti protettivi e guanti adatti e proteggersi gli occhi/la faccia. S 45: In caso di incidente o di malessere consultare immediatamente il medico (se possibile, mostrargli l'etichetta).

15.2. D.M. 28 giugno 1989: Non disperdere il contenitore nell'ambiente.

15.3. Altre norme: Le principali norme con i successivi aggiornamenti che regolamentano la sicurezza e la protezione ambientale sono, quando applicabili, le seguenti:

- DPR 27.04.1955 N.547: Norme la prevenzione degli infortuni sul lavoro.
- DPR 19.03.1956 N.303: Norme generali per l'igiene del lavoro.
- DPR 24.05.1988 N.203: Inquinamento atmosferico prodotto da specifici agenti inquinanti a da impianti industriali.
- DPR 17.06.1988 N.175: Rischi di incidenti rilevanti connessi con determinate attività industriali.
- DPR 15.08.1991 N.277: protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti dall'esposizione ad agenti fisici, chimici e biologici durante il lavoro.
- DPR 336/94 del 13.04.94: nuove tabelle delle malattie professionali in industria e in agricoltura.
- DL 626/94 del 19.09.94: attuazione delle direttive comunitarie riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro.
- DL 242/96 del 19.03.96: modifiche e integrazioni al DL 626/94.
- DL 22/97: attuazione delle direttive per lo smaltimento dei rifiuti.
- DM 12.08.98: restrizioni in materia di immissione sul mercato e di uso di talune sostanze e preparati pericolosi.
- DL 152/99: disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento.
- DL 344/99:controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze.

16. ALTRE INFORMAZIONI

16.1 Redatta il: 03. 05. 2002. Seconda edizione, questa versione annulla le precedenti che devono essere distrutte.

16.2 Versione precedente del: 18.10.1995.

16.3 Variazioni rispetto all'ultima versione nei paragrafi: tutti.

16.4. I dati riportati nella presente scheda di sicurezza sono stati ricavati dalle schede di sicurezza dei fornitori delle materie prime.

Questo prodotto deve essere immagazzinato, manipolato e usato in accordo con idonee pratiche di igiene industriale e in conformità con la legislazione vigente.
Le informazioni contenute nella presente scheda di sicurezza si riferiscono soltanto al prodotto indicato e possono non valere se il prodotto viene modificato o usato in combinazione con altri. Tali informazioni sono basate sulle conoscenze in nostro possesso e ritenute corrette, alla data di emissione della scheda, relativamente alle prescrizioni per la sicurezza e per il corretto uso del prodotto. Nessuna garanzia viene comunque fornita per ciò che riguarda l'accuratezza, l'attendibilità o la completezza di tali informazioni.
Non si deve interpretare questo documento come garanzia di alcuna proprietà specifica del prodotto.
La STAC srl non assume responsabilità per impieghi del prodotto non ragionevolmente prevedibili, non corretti, incauti o impropri.

SCHEDA TECNICA

BRESCIANI
MATERIALI
ATTREZZATURE
PER RESTAURO

EPOSSIDICA PER IMPREGNAZIONE EUROSTAC EP 2101

N° scheda 0220 **Sinonimi:**

N° articolo 22131

Generalità prodotto

EUROSTAC EP 2101 è una resina epossidica cicloalifatica formulata, sciolta in solventi organici, da utilizzare con l'INDURENTE K 2102.
Il sistema EUROSTAC EP 2101 / Indurente K 2102 è termoindurente, polimerizzabile anche a temperature medio-basse a partire da 12°C, non ingiallente.

Proprietà del sistema all'applicazione
Presenta bassa viscosità relativa ad un elevato residuo secco.
La leggera idrofilia del sistema non polimerizzato consente la penetrabilità anche su materiali non completamente secchi.
Polimerizza a partire da temperature di 12 - 15°C.

Proprietà del sistema indurito
- Elevate caratteristiche meccaniche e resistenza chimica;
- eccellente resistenza all'ingiallimento dovuto all'azione dei raggi del sole.

Caratteristiche chimico-fisiche

Famiglia chimica:	Resina epossidica cicloalifatica in soluzione	
- Stato:	liquido	
- Colore:	incolore trasparente	
- Odore:	di solvente	
- Solubilità:	parzialmente solubile in acqua a 20° C	
- Punto/intervallo di ebollizione:	105-110	°C
- Punto/intervallo di decomposizione:	> 180	°C
- Punto di infiammabilità:	5	°C
- Proprietà esplosive:	no	
- Autoinfiammabilità:	>300	°C
- Proprietà comburenti:	no	
- Tensione di vapore a 20° C:	< 30	mbar
- Densità a 20°C:	0,95	g/cm³
- Viscosità a 25° C:	25	mPa*s

Impieghi

Resina termoindurente, bicomponente, di facile applicazione idonea per l'impregnazione ed il consolidamento, non reversibile, di materiali porosi e fortemente degradati quali: pietre, legni, malte, intonaci, laterizi, ecc.
Su materiali molto degradati la sua penetrazione può essere anche dell'ordine dei centimetri, garantendo il ripristino delle caratteristiche meccaniche.

Rapporto di miscelazione
Il rapporto di miscelazione va accuratamente rispettato. Gli errori di dosaggio tollerabili non devono essere superiori a ± 5% La miscelazione dei componenti va eseguita preferibilmente con miscelatore meccanico e va prolungata fino a che non si è certi di aver ottenuto una perfetta omogeneità.
A miscelazione avvenuta il prodotto non può essere subito applicato ma necessita di un periodo di induzione, che varia in funzione della temperatura ambiente, per far sì che i gruppi reattivi dell'indurente si orientino verso i gruppi reattivi della resina. Se tale periodo non viene rispettato possono verificarsi dei problemi di indurimento nel sistema applicato.

	in peso	in volume
EUROSTAC EP 2101	100	100

SCHEDA TECNICA

EPOSSIDICA PER IMPREGNAZIONE EUROSTAC EP 2101

EUROSTAC EP 2101	100	100
INDURENTE K 2102	20	22

Metodologia applicativa

Applicare, anche fino a rifiuto mediante pennello, irrorazione o impacchi su superfici preventivamente pulite (per es. con acqua nebulizzata o vapore) ed asciugate. Per piccoli manufatti, è possibile effettuare l'applicazione attraverso immersione.

Per evitare l'aspetto lucido delle superfici trattate si può ricorrere a lavaggio con solvente, prima dell'indurimento, oppure ad una leggera sabbiatura, a indurimento avvenuto, quando il manufatto lo consenta.

Come finitura di sacrificio è adatto EUROSTAC AC 2002, dall'aspetto opaco e satinato.

Il consumo dipende dalla porosità e dalla dimensione dei pori del materiale da trattare. Un valore orientativo può essere considerato 200 g/m^2 per mm di penetrazione.

Tempo di impiego a 20° C ca. 24 ore

Avvertenze

Prodotto destinato ad uso professionale.

BRESCIANI MATERIALI ATTREZZATURE PER RESTAURO	SCHEDA DI SICUREZZA C.E.E. (D.M. 28/01/1992 in attuazione direttiva 91/155/CEE e successivi adeguamenti fino al DL 285/98)	scheda n.: 0220 Data: 19-02-2003 Versione: 01/2003 Pagina 1

Prodotto: EPOSSIDICA PER IMPREGNAZIONE EUROSTAC EP 2101 **Codice: 22131**

1 ELEMENTI IDENTIFICATORI DELLA SOSTANZA O DEL PREPARATO E DELLA SOCIETA'

Elementi identificatori della sostanza o del preparato

- **Denominazione** EPOSSIDICA PER IMPREGNAZIONE EUROSTAC EP 2101
- **Numero catalogo** 22131
- **Descrizione** Consolidante
- **Elementi identificatori della società:**

Brescian' S.r.l. - via Breda 142 - 20126 Milano -tel. 0227002121 r.a. - fax 022576184

2 COMPOSIZIONE/INFORMAZIONI SUGLI INGREDIENTI

Caratterizzazione chimica - natura chimica del prodotto

Resina epossidica cicloalifatica in soluzione

Componente	%	Cas N°	Cee n°	Simbolo	Frasi R
Resina epossidica con p.mol. medio< 700	< 30			Xi	R 36/38-43
Toluene	< 35			F, Xn	R 11-20
Alcool isobutilico	< 45			Xn	R 10-20

3 INDICAZIONE DEI PERICOLI

- Rischi principali per la salute e per l'ambiente: il rischio maggiore è costituito dall'infiammabilità.
I solventi contenuti nel prodotto hanno un effetto irritante per le mucose e leggermente irritante per la pelle e per gli occhi. Se inalati in quantità elevata, possono verificarsi sintomi di tipo narcotico.
La resina contenuta è irritante per gli occhi e per la pelle e può provocare sensibilizzazione per contatto con la pelle.

4 MISURE DI PRONTO SOCCORSO

- Inalazione: portare la persona contaminata all'aria aperta. In caso di irritazione dell'apparato respiratorio o delle mucose, in caso di malore o di esposizione prolungata, consultare un medico.

- Contatto con la pelle: rimuovere gli eventuali indumenti contaminati e lavare abbondantemente con acqua e sapone o con idonea crema detergente. Non usare solventi organici.

- Contatto con gli occhi: sciacquare immediatamente con acqua per almeno 15 minuti. In caso di irritazione degli occhi, consultare un medico.

- Ingestione: la decisione di indurre il vomito deve essere presa da un medico presente. Non somministrare liquidi o indurre il vomito se il paziente è in stato di incoscienza o ha le convulsioni.

5 MISURE ANTINCENDIO

- Rischi fisici di esposizione derivanti dalla sostanza, dai prodotti di combustione o dai gas prodotti: la decomposizione termica o la combustione possono rilasciare ossido di carbonio, anidride carbonica e altri gas e vapori tossici.

- Mezzi di estinzione appropriati: acqua nebulizzata, anidride carbonica, schiuma sintetica, polveri estinguenti.

- Mezzi di estinzione non appropriati: acqua in getti.

- Equipaggiamento speciale: indossare indumenti protettivi per agenti chimici ed autorespiratore.

6 MISURE IN CASO DI FUORIUSCITA ACCIDENTALE

- Precauzioni individuali: evitare il contatto con la pelle, gli occhi e gli indumenti. Non respirare i vapori. Evitare fonti di innesco.

- Precauzioni ambientali: evitare che il prodotto si disperda attraverso scarichi, fognature, acque di superficie o sotterranee.

BRESCIANI MATERIALI ATTREZZATURE PER RESTAURO	SCHEDA DI SICUREZZA C.E.E. (D.M. 28/01/1992 in attuazione direttiva 91/155/CEE e successivi adeguamenti fino al DL 285/98)	scheda n.: 0220 Data: 19-02-2003 Versione: 01/2003 Pagina 2
Prodotto: EPOSSIDICA PER IMPREGNAZIONE EUROSTAC EP 2101		Codice: 22131

- Metodi di pulizia: se il prodotto viene a contatto con il suolo che lo assorbe, rimuovere lo strato contaminato. Se il prodotto viene a contatto con una superficie impermeabile, assorbire con materiali inerti come sabbia, terra, vermiculite, segatura, ecc. In entrambi i casi raccogliere il materiale contaminato in contenitori adatti e avviare allo smaltimento.

7 MANIPOLAZIONE E STOCCAGGIO

- Manipolazione: assicurare buona ventilazione ed un adeguato ricambio di aria nel locale. Eliminare ogni fonte di accensione. Osservare l'igiene sul posto di lavoro. Non mangiare, bere o fumare durante l'impiego. Evitare il contatto con la pelle e con gli occhi. Non respirare i vapori.

- Stoccaggio: conservare con buona ventilazione in recipienti chiusi ermeticamente. Conservare a temperatura ambiente lontano da fonti di ignizione. Impianto elettrico anticeflagrante. Tenere lontano da cibi e bevande. Materiali incompatibili: composti fortemente ossidanti.

8 CONTROLLO DELL'ESPOSIZIONE/PROTEZIONE INDIVIDUALE

- Parametro di controllo specifico: TLV-TWA 100 ppm

Equipaggiamento di protezione

- Protezione vie respiratorie: quando vengono superati limiti di esposizione, usare una maschera per la purificazione dell'aria idonea per solventi organici.

- Protezione delle mani e della pelle: usare guanti impermeabili e/o una specifica crema -barriera.

- Protezione degli occhi: usare occhiali di sicurezza.

9 PROPRIETÀ FISICHE E CHIMICHE

Dati ai sensi della direttiva 67/548/CEE

Famiglia chimica:	Resina epossidica cicloalifatica in soluzione	
- Stato:	liquido	
- Colore:	incolore trasparente	
- Odore:	di solvente	
- Solubilità:	parzialmente solubile in acqua a 20° C	
- Punto/intervallo di ebollizione:	105-110	°C
- Punto/intervallo di decomposizione:	> 180	°C
- Punto di infiammabilità:	5	°C
- Proprietà esplosive:	no	°C
- Autoinfiammabilità:	>300	mbar
- Proprietà comburenti:	no	g/cm³
- Tensione di vapore a 20° C:	< 30	mPa*s
- Densità a 20°C	0,95	
- Viscosità a 25° C:	25	

10 STABILITÀ E REATTIVITÀ

- Condizioni da evitare: lo stoccaggio ad alta temperatura genera pressione all'interno dei contenitori ermeticamente chiusi con la conseguente possibilità di rotture dei contenitori stessi.

- Materie o sostanze da evitare: composti fortemente ossidanti.

- Prodotti pericolosi se decomposti: la decomposizione termica e la combustione danno origine ad anidride carbonica, ossido di carbonio e, in mancanza di abbondante ossigeno, ad altri gas o vapori che devono essere trattati come sostanze potenzialmente pericolose.

11 INFORMAZIONI TOSSICOLOGICHE

- Effetti nocivi per inalazione: i vapori di solvente assorbiti per inalazione possono provocare tossicità sistemica a

Funcosil®
KSE 300 E

Technisches Merkblatt
Artikelnummer 0714

Remmers
...schützt Werte am Bau
49624 Löningen Telefon 05432/83-0
www.remmers.de Telefax 05432/3985

Elastifizierter Steinfestiger auf Basis Kieselsäureethylester (KSE).

Produkteigenschaften

Der elastifizierte Steinfestiger Funcosil® KSE 300 E wurde im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (Osnabrück) geförderten Projektes "Schutz von Steinoberflächen durch Applikation elastischer Kieselsäureester" in Zusammenarbeit mit Herrn Dr. E. Wendler (München) und der Arbeitsgruppe um Herrn Prof. Dr. J. Grobe (Münster) entwickelt. Funcosil® KSE 300 E unterscheidet sich von herkömmlichen Steinfestigern durch einen

- moderaten E-Modul-Anstieg (Spannungs-Dehnungs-Verhalten) bei einer
- gleichzeitig hinreichend großen Konsolidierung des Natursteingefüges.

Der Steinfestiger Funcosil® KSE 300 E reagiert mit dem im Porensystem eingelagerten Wasser bzw. mit der Luftfeuchtigkeit. Bei dieser Reaktion wird über Weichsegmente verknüpftes, amorphes und wasserhaltiges Siliciumdioxid als Bindemittel abgeschieden. Die Gelabscheidungsreaktion ist als Funktion der Temperatur und Luftfeuchtigkeit stark zeitabhängig. Bei Normalbedingungen (20°C, 50% rel. Feuchtigkeit) ist die Bindemittelabscheidung nach ca. 3 Wochen abgeschlossen. Pro Liter Funcosil® KSE 300 E werden ca. 300 g Kieselgel als Bindemittel abgeschieden.
Nachfolgend sind die wichtigsten Eigenschaftsparameter des Steinfestigers Funcosil® KSE 300 E zusammengestellt.

- 1-Komponentensystem - sichere einfache Verarbeitung,
- Katalysator neutral,
- hohe Eindringtiefe, bis zum unverwitterten Kern des Steinmaterials möglich,
- keine bauschädlichen Nebenprodukte,
- hohe Witterungsresistenz und UV-Stabilität,
- partiell gefestigte Natursteine mit Funcosil® Restauriermörtel überarbeitbar.

Produktkenndaten im Anlieferungszustand

Kieselsäureethylestergehalt:	> 40% (m/m)
Dichte bei 20° C:	ca. 0,92 kg/l
Flammpunkt:	23° C
Farbe:	klar, leicht gelblich
Geruch:	typisch
Katalysatorsystem:	neutral

Produktkenndaten nach Applikation

Abgeschiedene Gelmenge:	ca. 300 g/l
Reaktionsbedingtes Nebenprodukt:	Ethanol (entweicht)

Anwendungsgebiete

Geeignet für poröse, saugfähige mineralische Baustoffe. Bevorzugt geeignet für morbide, fein- bis grobporöse Sandsteine, bestimmte Vulkanite (z. B. Tuffe) sowie abgewitterte Ziegel. Zur Festigung historischer Putze und Fugen, soweit eine Substanzerhaltung gefordert wird. Gesteine die aufgrund von quellfähigen Tonmineralien ein ausgeprägtes Quellen und Schwinden zeigen, bedürfen einer quellmindernden Vorbehandlung mit Funcosil® (Antihygro (Art.-Nr.: 0616). Untersuchung im Remmers Werkslabor.

Verarbeitung

Voruntersuchung, Anlegen von Musterflächen:
Folgende Materialkenndaten sind zu ermitteln (Bauzustandsanalyse):

1. Saugfähigkeit, Wasseraufnahme, Porosität, hygroskopische Wasseraufnahme.
2. Materialfeuchte, Bindemittelanalyse, Mineralbestand, Schadstoffgehalt,
3. Festigkeitsprofil, Schadsalze.
4. Verwitterungstiefe, Materialverbrauch pro Fläche, Eindringtiefe des
5. elastifizierten Steinfestigers, resultierendes Festigkeitsprofil.
6. Festlegung der Arbeitsgänge, Beachtung von Farbänderungen.
7. Die Anlage einer größeren Musterfläche ist notwendig, um die Korrelation
8. der Laborergebnisse mit den am Objekt erreichten Mengen und Werten zu
9. überprüfen.
10. Die Ausführung der Behandlung und der Materialverbrauch sind zu überwachen
11. und zu dokumentieren.

Untergrundvorbereitung:
Die zur Konservierung anstehenden Natursteinoberflächen weisen durch Verschmutzung / Patinierung unterschiedlichster Art oftmals ein vermindertes Saugvermögen auf. Die zur Wiederherstellung des ursprünglichen Saugvermögens notwendige Reinigungsmaßnahme sollte möglichst schonend, z. B. durch Besprühen mit Kalt- bzw. Warmwasser oder durch Dampfreinigung; bei hartnäckigen Verschmutzungen mit Alkutex® Reinigungsprodukten (s. entsprechende Technische Merkblätter) erfolgen.
In vielen Fällen ist der Stein bereits mürbe, so dass die Reinigung ohne einen empfindlichen Substanzverlust nicht mehr erfolgen kann. Zur Vermeidung des Substanzverlustes kann bereits vor der Reinigung eine Vorverfestigung mit dem Funcosil® KSE 300 E oder einem anderen, geeig-

neten Steinfestiger aus der Funcosil® Steinfestiger-Familie vorgenommen werden. Nach Abtrocknung des gereinigten Untergrundes wird dann anschließend die Hauptverfestigung durchgeführt. Damit die gesamte verwitterte Gesteinszone mit dem Steinfestiger Funcosil® KSE 300 E getränkt werden kann, ist es notwendig, dass die zu behandelnden Flächen lufttrocken, saugfähig und nicht aufgeheizt sind. Um eine starke Erwärmung zu vermeiden, können z. B. Sonnensegel gesetzt werden.

Auftragsverfahren:
Die Verarbeitungstemperaturen liegen zwischen 10° C und 20° C. Eine wesentliche Voraussetzung für eine optimale Festigung ist die gesamte Durchtränkung der verwitterten Steinzone bis zum unverwitterten Kern mit dem Steinfestiger. Dazu wird der Steinfestiger Funcosil® KSE 300 E im Flut-, Tauch und / oder Kompressenverfahren in den Baustoff eingebracht. Beim Flutverfahren werden stets kleinere Flächen (evtl. Stein für Stein) nass in nass mit dem Funcosil® KSE 300 E behandelt, bis das aufgetragene Material nicht mehr aufgesaugt wird. Das zu wählende Auftragsverfahren hängt letztlich von der abzuarbeitenden Aufgabenstellung ab. Von der sogenannten "Schnellhydrolyse" wird abgeraten, da sie eine unkontrollierte Einflussnahme auf die Gelbildungsreaktion und damit auf die resultierende Kieselgelstruktur darstellt.

Hinweise

Falls erforderlich, kann 2-3 Wochen nach der Erstbehandlung eine weitere erfolgen, wobei ebenfalls eine Durchtränkung der verwitterten Steinzone erreicht werden muss. Der Bedarf an Funcosil® KSE 300 E ist im Labor bei den Voruntersuchungen und an einer Musterfläche zu ermitteln und ist sowohl von der Saugfähigkeit des Untergrundes als auch von der letztlich gewählten Applikationsmethode abhängig.

Nachbehandlung:
Um eine Farbtonveränderung der Oberfläche infolge von Übersättigung mit Funcosil® KSE 300 E zu vermeiden, sollte unmittelbar nach dem Erreichen der Sättigung die Steinoberfläche mit einem trockenem Lösemittel (z. B. Funcosil® Verdünnung V 101) nachgewaschen werden.
Auftrag von Steinersatzmassen, hydrophobierenden Imprägnierungen und Anstrichen: Auf die mit Steinfestiger Funcosil® KSE 300 E gefestigten Flächen und Fugenflanken können - nach Abschluss der Gelabscheidung - Funcosil® Restauriermörtel, Funcosil® Imprägniermittel und Produkte aus dem Funcosil® Siliconfarb-System aufgetragen werden.

Das chemische System "Kieselsäureester" führt nach Applikation zu einer temporären Hydrophobie, die sich im Laufe der Gelbildung verliert. Zeigen gefestigte Flächen bei nachfolgend durchzuführenden Restauriermörtelarbeiten noch einen störenden Wasser-Abperleffekt, so kann dieser durch Benetzung der Oberfläche mit Alkohol unterdrückt werden.

Angrenzende Flächen:
Fassadenteile, die nicht mit dem Imprägniermittel in Berührung kommen sollen, wie z. B. Fenster, lackierte Flächen sowie Glas, müssen ebenso wie Pflanzen mit Baufolie (Polyethylenfolie) abgedeckt werden.

Arbeitsgeräte

Je nach Aufgabenstellung z. B. Niederdruck-Spritzgeräte, Airlessgeräte, Spritzflasche.

Lieferform, Verbrauch, Lagerung

Lieferform: 5 Liter, 30 Liter

Verbrauch: Der Verbrauch an Funcosil® KSE 300 E richtet sich maßgeblich nach Art und Zustand des zu behandelnden Untergrundes sowie nach der zu lösenden Aufgabenstellung bzw. der daraus resultierenden, jeweils anzuwendenden Applikationstechnik. Dementsprechend kann der Bedarf zwischen 0,1 l/m² und mehreren Litern pro m² liegen. Er ist daher jeweils vorab im Labor bei den Voruntersuchungen sowie an einer Musterfläche zu ermitteln.

Lagerung: Im verschlossenen Originalgebinde bei frostfreier, kühler und trockener Lagerung mindestens 12 Monate. Funcosil® KSE 300 E reagiert mit (Luft)Feuchtigkeit, daher sind die Gebinde nach jeder Entnahme wieder luftdicht zu schließen.

Sicherheit, Ökologie, Entsorgung

Nähere Informationen zur Sicherheit bei Transport, Lagerung und Umgang sowie zu Entsorgung und Ökologie können dem aktuellen Sicherheitsdatenblatt entnommen werden.

Vorstehende Angaben wurden aus unserem Herstellerbereich nach dem neuesten Stand der Entwicklung und Anwendungstechnik zusammengestellt. Da Anwendung und Verarbeitung außerhalb unseres Einflusses liegen, kann aus dem Inhalt des Merkblattes keine Haftung des Herstellers abgeleitet werden.

Über den Inhalt des Merkblattes hinausgehende oder abweichende Angaben bedürfen der schriftlichen Bestätigung durch das Stammwerk.

Es gelten in jedem Fall unsere allgemeinen Geschäftsbedingungen.

Mit Herausgabe dieses technischen Merkblattes verlieren vorangegangene ihre Gültigkeit.

Remmers ...schützt Werte am Bau

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 11.01.2005 überarbeitet am: 02.12.2004

*
1 Stoff-/Zubereitungs- und Firmenbezeichnung

· **Angaben zum Produkt**

· **Handelsname:** **Funcosil KSE 300 E**

· **Artikelnummer:** 0714
· **Verwendung des Stoffes / der Zubereitung:** Steinfestiger

· **Hersteller/Lieferant:**
Remmers Baustofftechnik GmbH
Postfach 1255
D-49624 Löningen
Tel.: 05432/83-0
Fax: 05432/3985

· **Auskunftgebender Bereich:** Abteilung Produktsicherheit Tel.: 0 54 32/83-138
· **Notfallauskunft:**
Mo.- Do. von 07.30 bis 16.00 Uhr; Fr. 07.30 bis 14.00 Uhr
Abt. Produktsicherheit: Tel.: 05432/83-138
nach Dienstschluß: Tel.: 05961/919547
oder Tel.: 0171/6428297 Fax: 05961/919548

*
2 Zusammensetzung/Angaben zu den Bestandteilen

· **Chemische Charakterisierung**
· **Beschreibung:** Kieselsäureester mit Organo-Zinnverbindung in alkoholischer Lösung

· **Gefährliche Inhaltsstoffe:**

CAS: 64-17-5 EINECS: 200-578-6	Ethanol	F; R 11	25-<50%
CAS: 78-10-4 EINECS: 201-083-8	Tetraethylsilikat	Xn; R 10-20-36/37	2,5-<10%
CAS: 77-58-7 EINECS: 201-039-8	Dibutylzinndilaurat	T; R 25-36/38	<1,0%

· **zusätzl. Hinweise:** Der Wortlaut der angeführten Gefahrenhinweise ist dem Kapitel 16 zu entnehmen.

*
3 Mögliche Gefahren

· **Gefahrenbezeichnung:**

F Leichtentzündlich

· **Besondere Gefahrenhinweise für Mensch und Umwelt:**
R 11 Leichtentzündlich.
· **Klassifizierungssystem:**
Die Klassifizierung entspricht den aktuellen EU-Listen, ist jedoch ergänzt durch Angaben aus der Fachliteratur und durch Firmenangaben.

*
4 Erste-Hilfe-Maßnahmen

· **Allgemeine Hinweise:**
Mit Produkt verunreinigte Kleidungsstücke unverzüglich entfernen.
Vergiftungssymptome können erst nach vielen Stunden auftreten, deshalb ärztliche Überwachung mindestens 48 Stunden nach einem Unfall.
Bei unregelmäßiger Atmung oder Atemstillstand künstliche Beatmung.
· **nach Einatmen:**
Den Betroffenen an die frische Luft bringen und ruhig lagern.
Bei Beschwerden ärztlicher Behandlung zuführen.
Bei Bewußtlosigkeit Lagerung und Transport in stabiler Seitenlage.
· **nach Hautkontakt:**
Sofort mit Wasser und Seife abwaschen und gut nachspülen.

(Fortsetzung auf Seite 2)

Remmers ...schützt Werte am Bau

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 11.01.2005 überarbeitet am: 02.12.2004

Handelsname: Funcosil KSE 300 E

(Fortsetzung von Seite 1)

Bei andauernder Hautreizung Arzt aufsuchen.
· **nach Augenkontakt:**
Augen mehrere Minuten bei geöffnetem Lidspalt unter fließendem Wasser spülen. Bei anhaltenden Beschwerden Arzt konsultieren.
Sofort Arzt hinzuziehen.
· **nach Verschlucken:**
Kein Erbrechen herbeiführen, sofort Arzthilfe zuziehen.
Aspirationsgefahr!
Mund ausspülen und reichlich Wasser nachtrinken.
Medizinalkohle einnehmen lassen.
· **Hinweise für den Arzt:**
· **Folgende Symptome können auftreten:**
Bei längerer/wiederholter Exposition bzw. in hohen Konzentrationen:
Kopfschmerz
Schwindel
Übelkeit
betäubende Wirkung
Hautkontakt kann Reizung verursachen.
Kann Reizungen am Auge verursachen.
Einatmen kann Reizwirkung der Schleimhäute verursachen.
· **Gefahren** Langanhaltende oder wiederholte Exposition kann Hautentzündung (Dermatitis) verursachen.
· **Behandlung**
Frühestmöglich Cortison-Spray einatmen lassen.
Fettfilm der Haut durch Eincremen wieder herstellen, um Dermatitis (Hautentzündung) vorzubeugen.

*
5 Maßnahmen zur Brandbekämpfung

· **Geeignete Löschmittel:**
Wassersprühstrahl
Löschpulver
alkoholbeständiger Schaum
Kohlendioxid
· **Aus Sicherheitsgründen ungeeignete Löschmittel:** Wasser im Vollstrahl.
· **Besondere Gefährdung durch den Stoff, seine Verbrennungsprodukte oder entstehende Gase:**
Beim Erhitzen oder im Brandfalle Bildung giftiger Gase möglich.
Kohlenmonoxid (CO)
Kohlendioxid
Zinnoxide
· **Besondere Schutzausrüstung:**
Umgebungsluftunabhängiges Atemschutzgerät tragen.
Chemieschutzanzug tragen.
· **Weitere Angaben** Gefährdete Behälter mit Wassersprühstrahl kühlen.

6 Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung:

· **Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen:**
Schutzausrüstung tragen. Ungeschützte Personen fernhalten.
Für ausreichende Lüftung sorgen.
Zündquellen fernhalten.
· **Umweltschutzmaßnahmen:**
Nicht in die Kanalisation oder gelangen lassen. Bei der Verschmutzung von Flüssen, Seen oder Abwasserleitungen entsprechend den örtlichen Gesetzen die jeweils zuständigen Behörden in Kenntnis setzen.
Nicht in den Untergrund/Erdreich gelangen lassen.
Bei Eindringen in Gewässer oder Kanalisation zuständige Behörden benachrichtigen.
Bei Eindringen in Gewässer oder Kanalisation zuständige Behörden benachrichtigen.
Örtliche behördliche Vorschriften beachten.

(Fortsetzung auf Seite 3)

Remmers ...schützt Werte am Bau

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 11.01.2005 überarbeitet am: 02.12.2004

Handelsname: Funcosil KSE 300 E

(Fortsetzung von Seite 2)

· **Verfahren zur Reinigung/Aufnahme:**
Größere Mengen abpumpen, aufnehmen mit saugfähigen Material, kleine Mengen abspülen, Abwässer vorschriftsmäßig beseitigen.
In geeigneten Behältern der Rückgewinnung oder Entsorgung zuführen.
Für ausreichende Lüftung sorgen.
· **Zusätzliche Hinweise:** Informationen zur Entsorgung siehe Kapitel 13.

*
7 Handhabung und Lagerung

· **Handhabung:**
· **Hinweise zum sicheren Umgang:** Nur in gut gelüfteten Bereichen verwenden.
· **Hinweise zum Brand- und Explosionsschutz:**
Von Zündquellen fernhalten - nicht rauchen.
Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladung treffen.
Dämpfe können mit Luft ein explosionsfähiges Gemisch bilden.

· **Lagerung:**
· **Anforderung an Lagerräume und Behälter:**
Eindringen in den Boden sicher verhindern.
An einem kühlen Ort lagern.
· **Zusammenlagerungshinweise:** Getrennt von Oxidationsmitteln aufbewahren.
· **Weitere Angaben zu den Lagerbedingungen:**
In gut verschlossenen Gebinden kühl und trocken lagern.
Vor Luftfeuchtigkeit und Wasser schützen.
Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren.
Vor Frost schützen.
Vor Hitze und direkter Sonnenbestrahlung schützen.
Im Lagerbereich nicht rauchen.
Lagertemperatur: Raumtemperatur.

*
8 Expositionsbegrenzung und persönliche Schutzausrüstung

· **Zusätzliche Hinweise zur Gestaltung technischer Anlagen:** Nur an gut belüfteten Stellen verwenden.

· **Bestandteile mit arbeitsplatzbezogenen, zu überwachenden Grenzwerten:**	
64-17-5 Ethanol	
MAK	960 mg/m³, 500 ml/m³
MAK (TRGS 900)	960 mg/m³, 500 ml/m³ Y; DFG
78-10-4 Tetraethylsilikat	
MAK	86 mg/m³, 10 ml/m³
MAK (TRGS 900)	170 mg/m³, 20 ml/m³ DFG
77-58-7 Dibutylzinndilaurat	
MAK	0,1E mg/m³ als Sn berechnet
MAK (TRGS 900)	0,1 E mg/m³ DFG, H, 25

· **Zusätzliche Hinweise:** Als Grundlage dienten die bei der Erstellung gültigen Listen.

· **Persönliche Schutzausrüstung:**
· **Allgemeine Schutz- und Hygienemaßnahmen:**
Beschmutzte, getränkte Kleidung sofort ausziehen.
Getrennte Aufbewahrung der Schutzkleidung.
Von Nahrungsmitteln, Getränken und Futtermitteln fernhalten.
Bei der Arbeit nicht essen, trinken, rauchen, schnupfen.
Vor Arbeitsbeginn lösemittelbeständige Hautschutzpräparate verwenden.
Vor den Pausen und bei Arbeitsende Hände waschen.
Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden.

(Fortsetzung auf Seite 4)

(Fortsetzung von Seite 3)

Gase/Dämpfe/Aerosole nicht einatmen.
· **Atemschutz:**
Bei unzureichender Belüftung (Luftaustausch < 1/2 pro Stunde) Atemschutz:
Atemschutz bei hohen Konzentrationen.
Kurzzeitig Filtergerät:
Filter A/P2.
· **Handschutz:** Handschuhe / lösemittelbeständig.
· **Handschuhmaterial**
Nitrilkautschuk
Chloroprenkautschuk
z.B. Camapren, Fa. KCL
Polychloropren mit Naturlatex-Innenschicht
z.B. Tricotril der Fa. KCL
Nitrilbeschichteter Baumwollhandschuh
· **Durchdringungszeit des Handschuhmaterials**
Permeation abhängig von Einsatzbedingungen, gem. Herstellerangaben nach max. 480 min (DIN EN 374).
· **Augenschutz:** Dichtschließende Schutzbrille
· **Körperschutz:** Arbeitsschutzkleidung.

*

9 Physikalische und chemische Eigenschaften

· **Allgemeine Angaben**	
Form:	flüssig
Farbe:	klar
Geruch:	arttypisch
· **Zustandsänderung**	
Schmelzpunkt/Schmelzbereich:	Nicht bestimmt
Siedepunkt/Siedebereich:	Nicht bestimmt
· **Flammpunkt:**	13°C (Setaflash)
· **Selbstentzündlichkeit:**	Das Produkt ist nicht selbstentzündlich.
· **Explosionsgefahr:**	Das Produkt ist nicht explosionsgefährlich, jedoch ist die Bildung explosionsgefährlicher Dampf-/Luftgemische möglich.
· **Explosionsgrenzen:**	
untere:	3,5 Vol % Ethanol
obere:	15 Vol % Ethanol
· **Dichte bei 20°C:**	0,902 g/cm3 (Aräometer)
· **Löslichkeit in / Mischbarkeit mit**	
Wasser:	unlöslich
· **Viskosität:**	
kinematisch bei 23°C:	11 s (DIN 53211/4)

*

10 Stabilität und Reaktivität

· **Thermische Zersetzung / zu vermeidende Bedingungen:**
Keine Zersetzung bei bestimmungsgemäßer Verwendung.
Keine Zersetzung bei bestimmungsgemäßer Lagerung und Handhabung.
Zu vermeiden: Wärme, Flammen, Funken
· **Zu vermeidende Stoffe:**
Oxidationsmittel
Säuren

(Fortsetzung auf Seite 5)

Remmers ...schützt Werte am Bau

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 11.01.2005 überarbeitet am: 02.12.2004

Handelsname: Funcosil KSE 300 E

(Fortsetzung von Seite 4)

· **Gefährliche Reaktionen**
Ungereinigte Leergebinde können Produktgase enthalten, die mit Luft explosible Gemische bilden.
Reaktionen mit Oxidationsmitteln.
· **Gefährliche Zersetzungsprodukte:**
Keine bei bestimmungsgemäßer Verwendung.
Keine bei vorschriftsmäßiger Lagerung.
Bei einem Brand kann freigesetzt werden:
giftige Gase/Dämpfe

*
11 Angaben zur Toxikologie

· **Akute Toxizität:**

· **Einstufungsrelevante LD/LC50-Werte:**		
64-17-5 Ethanol		
Oral	LD50	7060 mg/kg (Ratte)
Inhalativ	LC50/4 h	20000 mg/l (Ratte)

Tetraethylsilikathydrolysat Oral: LD50: > 2000 mg/kg (rat)
Inhalativ: LC50: > 5,03 mg/l/4h (rat) Limittest (inhalativ): Keine Mortalität bei der angegebenen Dosierung
· **Primäre Reizwirkung:**
· **an der Haut:**
Keine Reizwirkung
Wirkt entfettend auf die Haut.
· **am Auge:** Keine Reizwirkung
· **Sensibilisierung:** Keine sensibilisierende Wirkung bekannt
· **Sonstige Angaben (zur experimentellen Toxikologie):**
Angabe für Tetraethylsilikathydrolysat:
Anhaltspunkte für erbgutverändernde (krebserzeugendes) Potential:
Testsystem Wirkung Salmonella typhimurium, Reverse Mutation Assay nicht mutagen
in vitro Mammalian Cytogenetic Test nicht mutagen
· **Zusätzliche toxikologische Hinweise:**
Erfahrungen am Nenschen:
Längerer/wiederholter Hautkontakt kann entfettend wirken und zu Dermatitis führen.

Bei oraler Aufnahme, bei Inhalation z.B. in Form von Aerosolnebeln und bei Hautkontakt, können Gesundheitsschäden besonders bei Langzeitexposition nicht völlig ausgeschlossen werden.
Ethanol (64-17-5) wirkt lt. Literatur reizend auf Schleimhäute, schwach reizend auf die Haut, hautentfettend, narkotisch, Leberschäden möglich.

12 Angaben zur Ökologie

· **Angaben zur Elimination (Persistenz und Abbaubarkeit):** Durch Hydrolyse: Kieselsäure und Ethanol
· **Allgemeine Hinweise:**
Wassergefährdungsklasse 1: schwach wassergefährdend
Nicht in das Grundwasser, in Gewässer oder in die Kanalisation gelangen lassen.

*
13 Hinweise zur Entsorgung

· **Produkt:**
· **Empfehlung:**
Angelierte Produktreste mit Wasser versetzen und ausreagieren lassen.
Festes Kieselgel kann den gemischten Bau- und Abbruchabfällen zugeführt werden.
Die angegebenen Abfallschlüssel sind eine Empfehlung aufgrund der bestimmungsgemäßen Verwendung dieses Produkts. Aufgrund der speziellen Verwendung und Entsorgungsgegebenheiten beim Verwender können unter
Umständen auch andere Abfallschlüssel zugeordnet werden.

(Fortsetzung auf Seite 6)

Remmers ...schützt Werte am Bau

Sicherheitsdatenblatt
gemäß 91/155/EWG

Druckdatum: 11.01.2005 überarbeitet am: 02.12.2004

Handelsname: Funcosil KSE 300 E

(Fortsetzung von Seite 5)

· **Europäischer Abfallkatalog**	
17 00 00	BAU- UND ABBRUCHABFÄLLE (EINSCHLIESSLICH AUSHUB VON VERUNREINIGTEN STANDORTEN)
17 01 00	Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik
17 01 01	Beton

· **Ungereinigte Verpackungen:**
· **Empfehlung:** Entsorgung gemäß den behördlichen Vorschriften.

*
14 Angaben zum Transport

· **Landtransport ADR/RID und GGVSE (grenzüberschreitend/Inland):**

· **ADR/RID-GGVSE Klasse:** 3 Entzündbare flüssige Stoffe
· **Kemler-Zahl:** 33
· **UN-Nummer:** 1993
· **Verpackungsgruppe:** II
· **Gefahrzettel** 3
· **Bezeichnung des Gutes:** 1993 ENTZÜNDBARER FLÜSSIGER STOFF, N.A.G. (Dampfdruck bei 50°C höchstens 110 kPa) (Tetraethylsilikat, Ethanol)
· **Bemerkungen:** UMB-Nr. 32

· **Seeschiffstransport IMDG/GGVSee:**

· **IMDG/GGVSee-Klasse:** 3
· **UN-Nummer:** 1993
· **Label** 3
· **Verpackungsgruppe:** II
· **EMS-Nummer:** F-E,S-E
· **Marine pollutant:** -
· **Richtiger technischer Name:** FLAMMABLE LIQUID, N.O.S. (tetraethylsilicate, ethanol))

· **Lufttransport ICAO-TI und IATA-DGR:**

· **ICAO/IATA-Klasse:** 3
· **UN/ID-Nummer:** 1993
· **Label** 3
· **Verpackungsgruppe:** II
· **Richtiger technischer Name:** FLAMMABLE LIQUID, N.O.S. (tetraethylsilicate, ethanol)

*
15 Vorschriften

· **Kennzeichnung nach EWG-Richtlinien:**
Das Produkt ist nach EU-Richtlinien/GefStoffV eingestuft und gekennzeichnet.

(Fortsetzung auf Seite 7)

Druckdatum: 11.01.2005 überarbeitet am: 02.12.2004

Handelsname: Funcosil KSE 300 E

(Fortsetzung von Seite 6)

· **Kennbuchstabe und Gefahrenbezeichnung des Produktes:**

F Leichtentzündlich

· **R-Sätze:**
11 Leichtentzündlich.

· **S-Sätze:**
2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen.
23 Dampf/Aerosol nicht einatmen
51 Nur in gut gelüfteten Bereichen verwenden.
62 Bei Verschlucken kein Erbrechen herbeiführen. Sofort ärztlichen Rat einholen und Verpackung oder dieses Etikett vorzeigen.

· **Nationale Vorschriften:**

· **Hinweise zur Beschäftigungsbeschränkung:** Beschäftigungsbeschränkungen für Jugendliche beachten.

· **Störfallverordnung:** Die Mengenschwellen laut Störfallverordnung sind zu beachten.

· **Technische Anleitung Luft:**

Klasse	Anteil in %
NK	40-<60

· **Wassergefährdungsklasse:**
WGK 1: schwach wassergefährdend.
gemäß Anhang 4 VwVwS

· **Sonstige Vorschriften, Beschränkungen und Verbotsverordnungen**
· **BG-Merkblatt:** M 017 "Lösemittel"

16 Sonstige Angaben:

Die Angaben stützen sich auf den heutigen Stand unserer Kenntnisse, sie stellen jedoch keine Zusicherung von Produkteigenschaften dar und begründen kein vertragliches Rechtsverhältnis.
Die Lieferspezifikation entnehmen Sie den jeweiligen "Technischen Merkblättern".

· **Relevante R-Sätze**
10 Entzündlich.
11 Leichtentzündlich.
20 Gesundheitsschädlich beim Einatmen.
25 Giftig beim Verschlucken.
36/37 Reizt die Augen und die Atmungsorgane.
36/38 Reizt die Augen und die Haut.

· **Datenblatt ausstellender Bereich:** Abteilung Produktsicherheit

Technisches Merkblatt
Lascaux Acrylharz Paraloid B 72

Basis
Ethylmethylacrylat/Methylacrylat Copolymer.
100% als Granulat, 50% gelöst in Toluol
40% gelöst in Aceton, 10% gelöst in Toluol/Isopropanol
4%ige Lösung als Lascaux Fixativ Spray

Eigenschaften
Mittelhartes, thermoplastisches Reinacrylat, licht- und alterungsbeständig, nicht vernetzend.

Glasübergangstemperatur (Tg)
ca. 40° C.

Löslichkeit
Sehr gut löslich in Toluol und Aceton, weiter verdünnbar mit Verdünner X, Verdünner A, Isopropanol, Alkohol, Butylglycol, Methoxypropanol (PM).
Nicht löslich oder verdünnbar mit aliphatischen Kohlenwasserstoffen wie Terpentinersatz/White Spirit.

Erweichungs-/Siegelpunkt
ca. 70° C.

Schmelz-/Fliesspunkt
ca. 150° C.

Viskosität
40%ige Lösung bei 25° C, in cps, in Aceton ca. 200 in Toluol ca. 600, in Verdünner X ca. 980.

Anwendungsgebiet
Paraloid B 72 wird seit den 50er Jahren in der Restaurierung verwendet und gilt als das meistgeprüfte und stabilste Harz, welches für die Konservierung von Kunstwerken eingesetzt wird.
Es ist bestens geeignet zum Imprägnieren, Festigen und Konsolidieren von Wandmalereien und Gemälden, als Grund- und Schlussfirnis und als Fixativ für Graphiken, Kreide- und Kohlezeichnungen und Pastelle, als Klebstoff für Glas und Keramik, für Holzkonservierung und -konsolidierung.

Verarbeitung
Bei allen Arbeiten ist die richtige Verdünnung bzw. Anwendungskonzentration entscheidend für den Erfolg.
Durch Versuche ist die zweckmässige Verdünnung und das richtige Lösungsmittel zu ermitteln um sowohl eine genügende Penetration des Harzes als auch eine ausreichende Festigung des Objektes zu erreichen. Da Objekte unterschiedliche Saugkräfte aufweisen, ist es in jedem Falle besser, mit niedrigen Konzentrationen zu arbeiten und, falls notwendig, die Applikationen zu wiederholen. Eine zu hohe Konzentration kann zu einer störenden Saturierung der Oberfläche des Objektes führen.
Ein anderer Faktor, den es zu beachten gilt, ist die Lösungsmittelretention. Insbesondere bei der Verwendung langsam verdunstender Lösungsmittel (Hochsieder) auf saugenden Unterlagen kann es bis zu Tagen oder Wochen dauern, bis alle Lösungsmittelreste verdunstet sind. Erst dann kann festgestellt werden, ob die Festigung ausreichend ist.
Der Zusatz von ca. 0,1% Netzmittel Disponil 05 kann das Eindringvermögen solcher Lösungen erhöhen.
Oberflächliche Harzüberschüsse oder Glanzstellen können mit Toluol entfernt werden.

Anwendungsbeispiele

a) *Wandmalereien*
Für die Konsolidierung von Wandmalereien z.B. fresco/secco, Mineral- und Kalkfarben, für die Festigung von sandendem Putz, max. 5%ige Lösung in Toluol/Isopropanol bis zur gewünschten Sättigung auftragen.

b) Gemälde
Für die Festigung und Konsolidierung von Grundierungen und Farbschichten auf Leinwand oder Holzträger, 5-10%ige Lösung in Toluol oder Toluol/Isopropanol auftragen.
Aufstehende Farbschüssel können nach der Trocknung mit dem Heizspachtel niedergelegt werden.
Als Grundfirnis kann Paraloid B 72 als 10%ige Lösung in Toluol/Verdünner X mit dem Pinsel aufgestrichen werden. Schlussfirnisse sollen nur mit der Spritzpistole aufgetragen werden (10%ige Lösung in Toluol/Verdünner X).
Es gilt zu beachten, dass beim Spritzen, je nach Raumtemperatur, und bei Verwendung von schnell verdunstenden Lösungsmitteln sogenannte Verdunstungskälte auftreten kann; dem kann mit einem Zusatz von ca. 10% Verdünner A oder Butylglycol Methoxypropanol (PM) begegnet werden.

c) Holz
Für die Konsolidierung von Holz sind Lösungen von 5-10% in Toluol geeignet. Ist eine langsamere und tiefere Penetration erwünscht, so sind Lösungen in Toluol/Verdünner X oder Toluol/Verdünner A vorzuziehen. Eine Imprägnierung hat in mehreren Gängen nass in nass zu erfolgen.

d) Fixativ
Paraloid B 72 eignet sich auch sehr gut als Fixativ für Bleistift-, Kohle- und Kreidezeichnungen, Pastelle usw., wobei Lösungen von 2-4% in Toluol/Isopropanol die besten Resultate ergeben. Eine solche Lösung ist auch als Lascaux Fixativ Spray in 12 oz.-Aerosol-Dosen erhältlich.

e) Glas und Keramik
Paraloid B72 hat sich auch als Kleber für Glas- und Keramik-objekte bewährt. Lösungen in Aceton oder Aceton/Alkohol sorgen für eine rasche Trocknung. Je nach Porosität der Bruchstellen sind diese mit einer ca. 10%igen Lösung zu isolieren um eine gute Verankerung zu gewährleisten. Die Scherben werden mit einer 20-40%igen Lösung direkt verklebt oder nach der Reaktivierung des Harzes (durch Benetzen mit Lösungsmittel) zusammengefügt.

Lieferform

Granulat:
Kunststoffeimer zu 1 kg

Lösungen:
50% in Toluol:
Weissblechflaschen zu 500 ml
Weissblechflaschen zu 1 lt
Weissblechkannen zu 5 lt

10% in Toluol/Isopropanol:
Weissblechflaschen zu 1 lt
Weissblechkannen zu 5 lt

40% in Aceton:
Glasflaschen zu 200 ml
Kunststoffflaschen zu 1 lt

4% als Spray:
Spraydosen zu 300 ml
7103.01 - 99

Herausgeber: Alois K. Diethelm AG, Lascaux Farbenfabrik
Zürichstrasse 42, CH-8306 Brüttisellen
Tel. +41-1-833 07 86, Fax +41-1-833 61 80
www.lascaux.ch, info@lascaux.ch