

HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst
Fachhochschule Hildesheim/Holzminde/Göttingen
Fachbereich Konservierung und Restaurierung
Studienrichtung Wandmalerei/Architekturoberfläche

ROSAFARBENE BAKTERIEN AUF WANDFLÄCHEN

UNTERSUCHUNGEN ZU DEN WACHSTUMSBEDINGUNGEN

DIPLOMARBEIT

Erstprüferin: Prof. Dr. Karin Petersen

Zweitprüfer: Prof. Dr. Ivo Hammer

Vorgelegt von:

Carla Leupold

Dammstr.6

31134 Hildesheim

Matrikelnummer: 349897

Hildesheim, Januar 2006

Danksagung

Besonders danke ich meiner Erstprüferin Frau Prof. Dr. PETERSEN für die hervorragende Betreuung.

Meinem Zweitprüfer Herrn Prof. Dr. HAMMER danke ich für Informationen und Hinweise.

Für die Ermöglichung der Untersuchungen in ihrer Kirche möchte ich der Kirchengemeinde Sonneborn, insbesondere Herrn GIEBEL und Frau SCHOPPE meinen Dank ausdrücken.

Dem Westfälischen Amt für Denkmalpflege, vor allem Herrn SIGRIST, danke ich für die Ermöglichung der Akteneinsicht Betreff der Dorfkirche zu Sonneborn.

Desweiteren gilt mein Dank dem Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches Museum für die Bereitstellung der Literatur zur Nikolaikirche Luckau, insbesondere Frau Dr. ARNOLD.

Ein Dankeschön geht an die AG Geomikrobiologie der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, besonders an Frau Dr. MÖHLENHOFF und Frau AMMERMANN für die Einführung in die molekularbiologischen Testmethoden.

Herrn Dr. SCHWARZ danke ich für die Einweisung in die Techniken der Salzanalyse.

Für fachliche und private Unterstützung bin ich meinen Kommilitoninnen, allen voran Malaika Scheer sehr dankbar.

Nicht zuletzt danke ich meiner Familie und meinem Freund für Hilfe jeder Art.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Konservatorische Bedeutung von rosafarbenen Bakterien auf Wandflächen.....	1
1.2	Stand der Forschung	2
1.3	Zielsetzung und Aufbau dieser Arbeit	6
2	Methoden und Materialien	8
2.1	Aktivitätsnachweis mittels ATP-Messung	8
2.2	Nachweis mittels fluoreszenzmarkierten Antikörper	10
2.2.1	Durchführung des Tests nach Möhlenhoff.....	11
2.3	Materialspezifische Nachweismethoden	13
2.3.1	Elektrische Leitfähigkeit der Oberfläche	13
2.3.2	Feuchtemessung auf kapazitiver Basis	14
2.3.3	Polarisationsmikroskopie	15
2.3.4	Mikrochemischer Nachweis von Ionen	16
2.3.5	Mikrochemischer Nachweis organischer Bindemittel	17
2.3.6	Histochemische Färbemethoden	17
2.4	Verwendete Nährböden	18
2.4.1	Anreicherungsverfahren und Inkubationsbedingungen	18
2.5	Exkurs: Salze allgemein.....	21
3	Vorstellung der Objekte	24
3.1	Aldersbach (Niederbayern).....	25
3.1.1	Objektbeschreibung.....	25
3.1.2	Baugeschichte	25
3.1.3	Beschreibung des rosafarbenen Befalls	26
3.1.4	Wachstumsbedingungen	27
3.2	Barntrup-Sonneborn (Westfalen).....	28
3.2.1	Objektbeschreibung.....	28
3.2.2	Bau- und Restaurierungsgeschichte.....	29
3.2.3	Beschreibung des rosafarbenen Befalls	31
3.2.4	Durchgeführte Analysen	34
3.2.5	Wachstumsbedingungen	37
3.3	Buxheim (Bayern-Schwaben)	43
3.3.1	Objektbeschreibung.....	43
3.3.2	Bau- und Restaurierungsgeschichte.....	43
3.3.3	Beschreibung des rosafarbenen Befalls	44
3.3.4	Wachstumsbedingungen	44

3.4	Eilsun (Niedersachsen).....	45
3.4.1	Objektbeschreibung.....	45
3.4.2	Bau- und Restaurierungsgeschichte.....	46
3.4.3	Beschreibung des rosafarbenen Befalls	47
3.4.4	Wachstumsbedingungen	47
3.5	Filzingen (Bayern).....	49
3.5.1	Objektbeschreibung.....	49
3.5.2	Bau- und Restaurierungsgeschichte.....	50
3.5.3	Beschreibung des rosafarbenen Befalls	51
3.5.4	Wachstumsbedingungen	52
3.6	Idensen (Niedersachsen).....	53
3.6.1	Objektbeschreibung.....	53
3.6.2	Bau- und Restaurierungsgeschichte.....	54
3.6.3	Beschreibung des rosafarbenen Befalls	55
3.6.4	Wachstumsbedingungen	56
3.7	Luckau (Brandenburg)	57
3.7.1	Objektbeschreibung.....	57
3.7.2	Bau- und Restaurierungsgeschichte.....	58
3.7.3	Beschreibung des rosafarbenen Befalls	59
3.7.4	Durchgeführte Analysen	60
3.7.5	Wachstumsbedingungen	62
3.8	Lüdingworth (Niedersachsen).....	66
3.8.1	Objektbeschreibung.....	66
3.8.2	Bau- und Restaurierungsgeschichte.....	66
3.8.3	Beschreibung des rosafarbenen Befalls	67
3.8.4	Durchgeführte Analysen	68
3.8.5	Wachstumsbedingungen	69
3.9	Nusplingen (Baden-Württemberg)	70
3.9.1	Objektbeschreibung.....	70
3.9.2	Bau- und Restaurierungsgeschichte.....	71
3.9.3	Beschreibung des rosafarbenen Befalls	72
3.9.4	Wachstumsbedingungen	73
3.10	Regensburg (Oberpfalz).....	75
3.10.1	Objektbeschreibung.....	75
3.10.2	Bau- und Restaurierungsgeschichte.....	76
3.10.3	Beschreibung des rosafarbenen Befalls	77

3.10.4	Wachstumsbedingungen	78
3.11	Urschalling (Oberbayern)	79
3.11.1	Objektbeschreibung	79
3.11.2	Bau- und Restaurierungsgeschichte	79
3.11.3	Beschreibung des rosafarbenen Befalls	80
3.11.4	Wachstumsbedingungen	81
3.12	Voronet (Rumänien)	82
3.12.1	Objektbeschreibung	82
3.12.2	Bau- und Restaurierungsgeschichte	83
3.12.3	Beschreibung des rosafarbenen Befalls	83
3.12.4	Wachstumsbedingungen	84
4	Gegenüberstellung der Wachstumsbedingungen an den Objekten	85
4.1	Untergründe	85
4.1.1	Tabellarische Gegenüberstellung vorhandenen Bindemittelsysteme	85
4.1.2	Tabellarische Gegenüberstellung der organischen Zusätze	86
4.1.3	Auswertung	86
4.2	Salze	87
4.2.1	Tabellarische Gegenüberstellung der im Gefüge vorhandenen freien Ionen ...	87
4.2.2	Tabellarische Gegenüberstellung der vorliegenden/zu vermutenden Salze ...	88
4.2.3	Auswertung	89
4.3	Klima	90
4.3.1	Gegenüberstellung der Klimasituationen	90
4.3.2	Auswertung	90
5	Bewertung der Ergebnisse	91
5.1	Zu bedenkende mögliche Fehlerquellen	91
5.2	Untergründe	92
5.3	Salze	93
5.4	Klima	94
6	Kultivierung der Bakterien	95
6.1	Nährboden nach Xue et al.	95
6.2	Probenwürfel	95
6.3	Kalktünchen	96
7	Zusammenfassung	98
8	Literaturverzeichnis	101
9	Quellenverzeichnis	111
9.1	Archivquellen	111

9.2	Internetquellen	111
9.3	Mündliche Auskünfte.....	111
10	Abbildungsverzeichnis.....	113
11	Glossar.....	115
12	Anhang.....	119

1 Einleitung

1.1 Konservatorische Bedeutung von rosafarbenen Bakterien auf Wandflächen

Mikrobiologische Besiedlung als Schadensphänomen rückt neben der Salzproblematik immer mehr in den Fokus der Denkmalpflege. Neben einer ästhetischen Beeinträchtigung durch Verfärbungen können Mikroorganismen durch Bindemittelabbau oder Säurebildung auch zur strukturellen Schädigung des Gefüges führen.¹ Ging man anfangs davon aus, dass es an Objekten mit einer hohen Salzbelastung nur selten zu einer Besiedlung durch Mikroorganismen kommt, weiß man inzwischen, dass es viele Arten gibt, die sich gerade auf dieses Milieu spezialisiert haben.²

Verfärbungen durch mikrobielle Besiedlung können verschiedene Ursachen haben. Sie sind auf in den Organismen enthaltene Farbstoffe (zum Beispiel Melanin, Carotinoide, Chlorophyll), auf Ausscheidungsprodukte und deren Reaktionen mit den am Objekt vorliegenden Materialien zurückzuführen.

Das Phänomen der mikrobiell induzierten, rosafarbenen Verfärbungen von Wandmalereien und –anstrichen ist seit den 1960er Jahren bekannt. Erst die verstärkte Zusammenarbeit zwischen Denkmalpflegern und Mikrobiologen und die verbesserten Untersuchungsmethoden machten es möglich, den rosafarbenen Belag eindeutig als das zu identifizieren, was er ist: eine Besiedelung mit pigmentierten Bakterien.³

Durch das oft sehr geschlossene Erscheinungsbild und die extreme Farbigkeit dieses Befalls ist die Gefahr groß, dass es zu Verwechslungen mit Farbanstrichen kommt, zumal eine rötliche Raumfassung nicht ungewöhnlich ist. In der „St. Peter und Paul“ Kirche in Nusplingen zum Beispiel konnte 1999/2000 sowohl eine weiße Raumfassung mit rosafarbenem Befall, als auch eine rötliche Raumfassung nachgewiesen werden.⁴

Rosafarbene Bakterien auf Wandflächen wurden bisher vor allem als ästhetisches Problem eingestuft. Eine strukturelle Schädigung konnte an keinem Objekt beobachtet, jedoch auch nicht ausgeschlossen werden. Die Bakterien wachsen, soweit bekannt, vor allem auf Kalktünchen mit geringen organischen Beimengungen. Sollten sie diese Beimengungen als Kohlenstoffquelle nutzen, führt dies auf lange Sicht zu einer Schwächung des Gefüges. Eine Schädigung der Substanz durch Ausscheidungsprodukte wurde bislang nicht beobachtet.⁵

¹ Vgl. Petersen und Krummbein 1994, S.50.

² Vgl. Hammer und Petersen 1992, S.263ff.

³ Vgl. Petersen und Krummbein 1991.

⁴ Vgl. Borkowski 1999/2000.

⁵ Vgl. Wörz 2000.

Nicht endgültig geklärt ist die mögliche Gesundheitsgefährdung für den Menschen. Wegen der nicht immer zusammenhängenden, befallenen Bereiche kann vermutet werden, dass sich die Bakterien über die Luft verbreiten⁶. Sie kommen in den befallenen Gebäuden also vermutlich als Keime in der Raumluft vor. Im Falle einer gesundheitlichen Relevanz wären sie damit sehr bedenklich. Die Frage der Gesundheitsgefährdung ist auch deshalb sehr wichtig, um im Falle von konservatorischen/restauratorischen Maßnahmen am Objekt die geeigneten Sicherheitsmaßnahmen für den Restaurator treffen zu können. Der intensive Kontakt mit der Architekturoberfläche sowie die lange Aufenthaltsdauer in den mikrobiell befallenen Gebäuden führt zu einem intensiven Kontakt mit den Keimen und damit zu einer erhöhten Gesundheitsgefährdung, wie unter anderem bei Möhlenhoff für Schimmelpilze beschrieben.⁷ Alle bislang durchgeführten Untersuchungen zur Gesundheitsgefährdung durch die rot pigmentierten Bakterien fielen negativ aus⁸, völlig ausgeschlossen werden kann eine Gefährdung jedoch nicht.

1.2 Stand der Forschung

Die Erforschung der Herkunft der rosafarbenen Beläge auf Wandflächen stellte die Wissenschaft lange vor Rätsel. Zwar war relativ schnell klar, dass es sich um einen mikrobiellen Befall handeln musste, die Art des Befalls ließ sich jedoch nicht klären.

Bei einer Studie des Instituto Centrale per il restauro in Rom 1967 über rosafarbenen Befall auf Wandflächen hielt man die vorgefundene kokkale Zellform für Bakterien. Nachdem eine Kultivierung auf den üblichen Nährböden jedoch nicht gelang, kam man nach jahrelanger Forschung und vielen verworfenen Hypothesen 1980 zu dem Schluss, dass es sich um kokkale Algen handeln müsse.⁹

Bei der Untersuchung des rosafarbenen Befalls der Jacobuskirche in Urschalling 1984 identifizierte Raschle den Befall als kleine selbstgefärbte Partikel in Form von Diplokokken oder Haufen.¹⁰ Bei Kultivierungsversuchen im Labor wuchsen jedoch nur orangegelbe, kugelige Zellen in Haufen oder zitronengelbe, kugelige Zellen in Paaren oder Viererpaketform. Allerdings beobachtete Raschle, dass sich die zitronengelben Zellen beim Altern oder Eintrocknen der Kulturen rot bis rosa verfärbten.¹¹

1991 gelang es Petersen und Krummbein, den rosafarbenen Belag in der „St. Petruskirche“ in Eilsaum mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie als mehr oder weniger flächigen Befall

⁶ Vgl. Wörz 2000, S.111.

⁷ Vgl. Möhlenhoff 2002, S.6.

⁸ Mündliche Auskunft Möhlenhoff.

⁹ Vgl. Giacobini 1993, S.49ff.

¹⁰ Vgl. Wörz 2000, S.8.

¹¹ Ebenda.

durch Bakterien zu identifizieren. Im Labor konnten auf Medien mit stark erhöhtem Salzgehalt Organismen kultiviert werden.¹² Ob es sich hierbei um die Mikroorganismen handelte, die den rosafarbenen Belag verursachen, ist nicht geklärt, da die kultivierten Bakterien nicht am Leben erhalten werden konnten.¹³

Um die Problematik des Kultivierens der rosafarbenen Mikroorganismen zu umgehen, versuchte man 1996, die in der Katharinenkapelle in Schloss Herbertstein, Österreich, vorhandenen Bakterien auf molekularbiologischem Weg zu identifizieren (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis). Durch Vergleich von DNA- Sequenzen der Bakterien mit einer DNA-Datenbank identifizierte man sie als extrem halophile Archaeobakterien.¹⁴

Basierend auf Kulturen, welche die Arbeitsgruppe Geomikrobiologie der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg von der evangelisch-reformierte Kirche St. Petrus in Eilsum und dem Pfalzmuseum in Forchheim isolierten¹⁵, wurden diverse Fach- und Diplomarbeiten über die Eigenschaften dieser Isolate geschrieben:

- 1997 beschäftigte sich Oltmanns in seiner Diplomarbeit an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg im Fach Mikrobiologie mit der Charakterisierung der Mikroorganismen. Er untersuchte ihre Wachstumsbedingungen, den Stoffwechsel, ihren Farbstoff und ihre Reaktion auf Biozide und Salze. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die kultivierten Organismen von der Deutschen Sammlung Mikroorganismen und Zellkulturen (DSMZ) als *Micrococcus agilis* und *Nocardia corynebacterioides* identifiziert.¹⁶
- 2000 schrieb Wörz eine Diplomarbeit an der HAWK im Fachbereich Konservierung und Restaurierung. Er beschäftigte sich unter anderem mit der Verwertung verschiedener organischer Bindemittel, der Alkalitoleranz der Bakterien und der Toleranz anderer, für Wandmalereien typischer, Mikroorganismen gegenüber den rosafarbenen Bakterien.¹⁷
- Im selben Jahr schrieb Sievers eine Facharbeit über die Hemmwirkung verschiedener Pigmente auf die Bakterien an der HAWK, Fachbereich Konservierung und Restaurierung.¹⁸
- Ebenfalls im Jahr 2000 versuchte Fölster in ihrer Diplomarbeit an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Fach Mikrobiologie, die Bakterien über die indirekte

¹² Vgl. Petersen und Krummbein 1991, S.64ff.

¹³ Vgl. mündliche Auskunft Petersen.

¹⁴ Vgl. Rölleke et al 1996 und Rölleke und Lubitz 1996.

¹⁵ Vgl. Oltmanns 1997, S.20. und

¹⁶ Vgl. Oltmanns 1997.

¹⁷ Vgl. Wörz 2000.

¹⁸ Vgl. Sievers 2000.

ELISA-Technik¹⁹ und, beruhend auf den Ergebnissen von Rölleke et al., durch eine *In situ –Hybridisierung*²⁰ zu identifizieren. Für den ELISA–Test wurden Antikörper gegen die bei Thorsten Oltmanns identifizierten Bakterien hergestellt. Mit keinem der Isolate der AG Geomikrobiologie kam es zu einer positiven Reaktion.²¹ Mit Hilfe der *In situ – Hybridisierung* konnten alle vorliegenden rosa bis roten Isolate als Eubakterien identifiziert werden. Eine Hybridisierung an Materialproben war mit der Eubakteriensonde nicht möglich.²²

- 2001 vertiefte Sievers ihre Forschungen über die Organismen in ihrer Diplomarbeit an der HAWK, Fachbereich Konservierung und Restaurierung, in der sie sich unter anderem mit der möglichen Gesundheitsgefährdung, der Materialschädigung und der Wachstumshemmung der Mikroorganismen beschäftigte.²³
- 2002 untersuchte Kühne in ihrer Diplomarbeit an der Fachhochschule Potsdam, Studiengang Restaurierung, den Stoffwechsel der kultivierten Bakterien, ihre Reaktion auf verschiedene pH–Werte und Salzkonzentrationen, die mögliche Gefahr der Objektschädigung durch Säurebildung sowie die Auswirkung antimikrobieller Agenzien.²⁴

Seit 2003 werden an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg im Rahmen eines Projektes des Europäischen Sozialfonds und des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (ESF/EFRE-Projekt) Untersuchungen zur Bewertung der möglichen Gesundheitsgefährdung beim Umgang mit verkeimten Kunstobjekten durchgeführt (da dieses Projekt erst Ende des Jahres ausläuft, liegt derzeit noch kein Bericht zu den Untersuchungen und Ergebnissen vor. Die im Folgenden aufgeführten Erkenntnisse berufen sich auf mündliche Auskünfte der am Projekt beteiligten Wissenschaftlerinnen Möhlenhoff und Petersen.²⁵).

Im Rahmen dieses Projektes wurde mit Hilfe von Abstrichen vom Objekt ein Antikörper gegen die in der „St. Jacobi“ Kirche in Lüdingworth vorkommenden rosafarbenen Bakterien hergestellt. Dieser Antikörper wurde gegen Abstriche rosafarbener Bakterien von anderen Objekten und gegen die kultivierten und identifizierten Mikroorganismen *Micrococcus agilis* und *Nocardia corynebacterioides* getestet. Die Testung gegen Abstriche von den Objekten

¹⁹ Vgl. Kapitel 2.2

²⁰ Nachweis von am Objekt entnommenen Bakterienzellen mit Gensonden, vgl. Fölster 2000, S.73ff.

²¹ Vgl. Fölster 2000, S.78.

²² Vgl. Fölster 2000.

²³ Vgl. Sievers 2001.

²⁴ Vgl. Kühne 2002.

²⁵ Vgl. mündliche Auskunft Möhlenhoff und mündliche Auskunft Petersen.

lieferte, bis auf eine Ausnahme, immer ein positives Ergebnis. Gegen die kultivierten Organismen aus dem Labor zeigte der Antikörper keine Reaktion.

Des Weiteren wurde anhand von an den Objekten entnommenen Abstrichen die Gesundheitsgefährdung des rosafarbenen Befalls für den Menschen überprüft. Hierfür wurden ein LAL-Test²⁶ und ein LPS-Nachweis²⁷ durchgeführt sowie die Toxizität der Bakterien auf Säuger-Zellkulturen mittels Aktivitätsnachweis (FDA-Spaltung²⁸) überprüft. Es konnten keine Auffälligkeiten verzeichnet werden.

Zur Kultivierung der am Objekt vorliegenden rosafarbenen Bakterien wurden von Möhlenhoff verschiedene Nährböden unter diversen Bedingungen getestet. Immer wieder gelang die Kultivierung verschiedener, durchaus auch rosafarbener Kulturen, eine Übereinstimmung mit den am Objekt vorliegenden rosafarbenen Bakterien konnte nicht erreicht werden.

Durch die Forschung von Möhlenhoff konnte nachgewiesen werden, dass es bis heute nicht gelungen ist die Bakterien zu kultivieren die den rosafarbenen Belag auf vielen Kulturobjekten bilden. Es ist anzunehmen, dass es sich bei allen untersuchten Isolaten um Luftkeime handelt. Daraus folgt, dass alle an Kulturmaterial gewonnenen Ergebnisse für die Erforschung der am Objekt vorliegenden rosafarbenen Bakterien nicht relevant sind.

Die einzige „heiße Spur“ bei der Identifizierung der rosafarbenen Bakterien scheint die von Rölleke et al. durchgeführte Untersuchung mittels Denaturing Gradient Gel Electrophoresis zu sein (siehe oben). Hierbei wurden die rosafarbenen Verfärbungen auf ein extrem halophiles Archaeobakterium der Familie Halococcus zurückgeführt. Da bei den molekularbiologischen Methoden zu diesem Zeitpunkt viele mögliche Fehlerquellen nicht auszuschließen waren, wurden diese Ergebnisse nicht mit Nachdruck weiter verfolgt. Nachdem Möhlenhoff in ihrer Dissertation nachweisen konnte, dass die DGGE auch im Einsatz in der Denkmalpflege eindeutige Ergebnisse liefert,²⁹ scheint die Identifizierung der rosafarbenen Bakterien als Archaeobakterium heute als wahrscheinlich.

Über das halophile Archaeobakterium der Familie Halococcus war zum Start dieser Arbeit nicht viel bekannt. Nach mündlicher Auskunft von Petersen³⁰, war es Möhlenhoff gelungen, durch den Einsatz molekularbiologischer Methoden mit anschließender Sequenzierung und

²⁶ Erläuterung LAL-Test, aus Madigan et al. 2002, S.886: Endotoxine verursachen spezifisch die Lyse des Pfeilschwanzkrebses. Der genaue Mechanismus ist nicht bekannt. Zum Nachweis von Endotoxinen werden die Amöbocyten der Königskrabbe *Limulus polyphemus* mit dem zu untersuchenden Organismus in Verbindung gebracht. Beim Vorhandensein von Endotoxinen setzt die Lyse ein.

²⁷ LPS = Lipopolysaccharid, toxischer Zellwandbestandteil gram negativer Zellen.

²⁸ Fluoreszindiacetat-Spaltung = beim Zugeben von aktiven Organismen in Fluoreszindiacetat, wird durch die vorhandenen, aktiven Esterasen das Acetat-Molekül vom Gesamtmolekül abgespalten. Es entsteht grünliches Fluoreszin.

²⁹ Vgl. Möhlenhoff 2002.

³⁰ Vgl. Mündliche Auskunft Petersen.

Abgleich mit entsprechenden Datenbanken, das den Befall verursachende Bakterium zu identifizieren. Es handelte sich um ein Bakterium, das zuvor aus einem Salzsee in Tibet isoliert worden war.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Internetrecherche über dieses Bakterium führte im Juli 2005 zu der Vorveröffentlichung von Xue et al. In diesem Artikel wird das Bakterium einem neuen Genus und einer neuen Spezies (*Halalkalicoccus tibetensis*) zugeordnet.³¹ Die Zellen werden als unbewegliche, gramvariable Kokken beschrieben.³² Desweiteren fanden sich Angaben zu einem zur Kultivierung geeigneten Nährboden sowie Hinweise zu den Kultivierungsbedingungen.

Weitere Tests zur Überprüfung des Zusammenhanges zwischen diesem marinen Archaeobakterium und den am Objekt vorliegenden rosafarbenen Bakterien stehen bislang noch aus.

1.3 Zielsetzung und Aufbau dieser Arbeit

In den letzten Jahren sind viele Objekte, die einen Befall mit rot pigmentierten Bakterien aufwiesen, umfassend untersucht worden. In den Diplomarbeiten von Wörz und Sievers wurden die Situationen an einigen Denkmälern gegenübergestellt. Ein genauer Vergleich der Wachstumsbedingungen blieb bislang jedoch aus.

In dieser Arbeit soll untersucht werden, ob es Gemeinsamkeiten an den verschiedenen Objekten gibt, inwieweit Klima und Zusammensetzung des Untergrundes ähnlich sind. Ein besonderes Augenmerk soll hierbei auf die Salzbelastung gelegt werden. In vielen der hier verwendeten Berichte wird erwähnt, dass die Bakterien gemeinsam mit Salzausblühungen auftreten. Ob Salzbelastung und mikrobieller Befall zusammenhängen, ist bislang nicht erforscht.

Für den Vergleich der Wachstumsbedingungen der rosafarbenen Bakterien wurden zwölf Objekte ausgewählt, die zum größten Teil im Rahmen von Projekten, Fach- und Diplomarbeiten untersucht wurden. Der Vergleich erfolgt hier über die Auswertung der Quellen. Aufgrund der Themenstellung dieser Arbeit wird beim Zusammentragen der Informationen der Fokus auf den rosafarbenen Befall und alle hierfür relevant scheinenden Daten gerichtet. Eine umfassende Auflistung von Bestand und Zustand der Objekte unterbleibt.

Die hier verwendeten Daten beziehen sich auf den Zustand der Objekte zum Zeitpunkt der Projekte, Fach- und Diplomarbeiten. Auf eine Aktualisierung wurde verzichtet, so dass die

³¹ Vgl. Xue et al. 2005

³² Vgl. Xue et al. 2005, S.2.

Möglichkeit besteht, dass an dem einen oder anderen Denkmal der rosafarbene Befall mittlerweile erfolgreich bekämpft wurde.

Zusätzlich zur Auswertung der Quellen werden Salz- und Bindemittelanalysen an Materialproben befallener und unbefallener Bereiche von drei Objekten durchgeführt. An zweien dieser Denkmale wurden in den letzten Jahren bereits Untersuchungen durchgeführt, die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Analysen dienen hier der Vervollständigung³³. Zum dritten Objekt liegen keinerlei Erkenntnisse vor³⁴. Zur Klärung der grundsätzlichen Situation erfolgt eine knappe Erfassung der Kirche. Auf eine umfassende Befundssicherung wird aufgrund der Themenstellung der Arbeit verzichtet. Es werden vor allem die Daten ermittelt, die für die Untersuchung des Befalls relevant erscheinen. An diesem Objekt erfolgt zusätzlich eine Klimamessung.

Die Ergebnisse der hier durchgeführten Analysen werden der Vorstellung der Objekte beigelegt. Um eine Unterscheidung zwischen den hier erworbenen und der Literatur entnommenen Daten möglich zu machen, werden die durchgeführten Untersuchungen und ihre Ergebnisse in einem Unterkapitel zunächst der Zusammenfassung der Wachstumsbedingungen vorangestellt.

Die im Laufe der Arbeit erworbenen Kenntnisse über die Zusammensetzung des Untergrundes sollen genutzt werden, um Versuche zur Entwicklung eines geeigneten Nährbodens für die Bakterien durchzuführen. Auch der bei Xue et al. beschriebene Nährboden für *Halalkalicoccus tibetensis* soll für Kultivierungsversuche genutzt werden³⁵.

Ziel dieser Arbeit ist es, Erkenntnisse über die Wachstumsbedingungen der rosafarbenen Bakterien zu sammeln, um weitere Möglichkeiten zur Erforschung und Bekämpfung dieses mikrobiellen Schadensphänomens auf Wandflächen zu eröffnen.

³³ Luckau und Lüdingworth.

³⁴ Bartrup-Sonneborn.

³⁵ Vgl. Xue et al. 2005, S.3.

2 Methoden und Materialien

In diesem Kapitel werden alle in dieser Diplomarbeit verwendeten Nachweismethoden aufgelistet und kurz erläutert. Des Weiteren wird die Zusammensetzung der verwendeten Nährböden aufgelistet und Grundlagen zu den hier untersuchten Materialien vermittelt.

Soweit nicht anders gekennzeichnet wurden alle Abbildungen und Zeichnungen in dieser Arbeit von der Verfasserin angefertigt.

2.1 Aktivitätsnachweis mittels ATP-Messung

Beim Aktivitätsnachweis mittels Adenosintriphosphat (ATP) wird in dem befallenen Bereich eine Fläche definiert. In dieser wird dann die in den sie besiedelnden Zellen vorhandene Menge an ATP gemessen. Da ATP nur in aktiven Zellen vorhanden ist, können über den ermittelten Wert Rückschlüsse auf die Aktivität der Mikroorganismen an dieser Stelle gezogen werden.

Die Messung des ATP erfolgt über Umsetzung durch das auch zum Beispiel in Glühwürmchen enthaltene Enzym Luciferin. Die dabei entstehenden Lichtblitze können mit Hilfe eines Photomultipliers³⁶ erfasst werden.

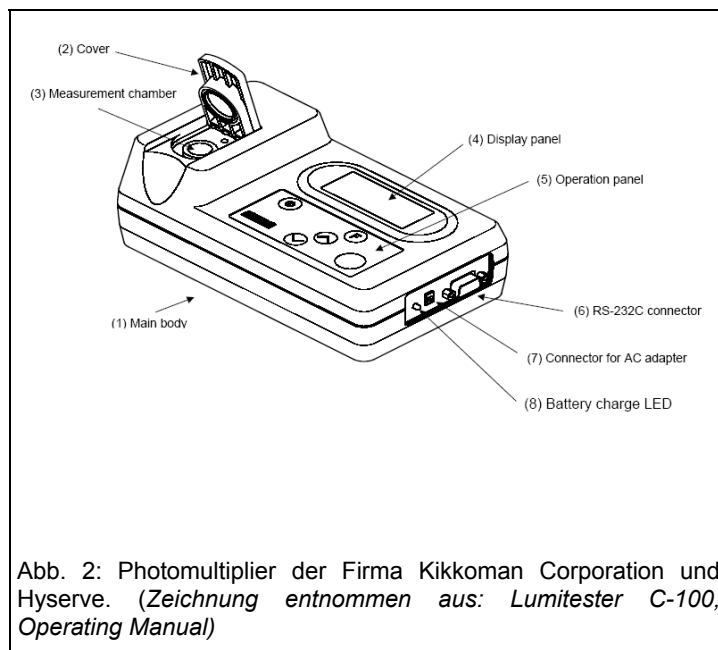


Abb. 2: Photomultiplier der Firma Kikkoman Corporation und Hyserve. (Zeichnung entnommen aus: Lumitester C-100, Operating Manual)

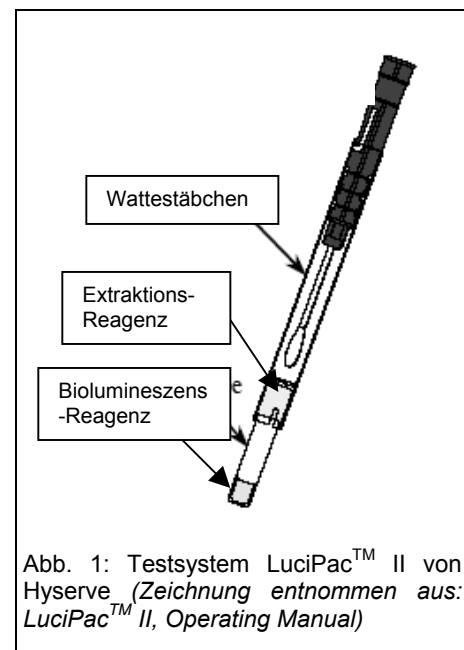


Abb. 1: Testsystem LuciPac™ II von Hyserve. (Zeichnung entnommen aus: LuciPac™ II, Operating Manual)

³⁶ Vgl. Glossar.

Praktische Durchführung bei Verwendung des Messsystems LuciPac™ II der Firma Hyserve:

- Abrieb der an der Oberfläche befindlichen Mikroorganismen mit dem trockenen, zum Set gehörenden Wattestäbchen in einem definierten Bereich (zum Beispiel 2x2cm²)
- Einbringen des Wattestäbchens in die Extraktionsreagenz, Schütteln (für vergleichbare Werte definierte Zeit/Wiederholung des Schüttelns)
- Zusammenbringen von Extraktionsreagenz und Biolumineszenz-Reagenz
- Abziehen der Hülse mit der enthaltenen Lösung und Messung der entstehenden Biolumineszenz mit Hilfe eines Photomultipliers

2.2 Nachweis mittels fluoreszenzmarkierten Antikörper³⁷

Der Nachweis eines bestimmten Bakteriums, respektive einer bestimmten Zelle, mittels fluoreszenzmarkierten Antikörper, ist eine Antikörperreaktion. Vereinfacht gesagt wird bei der Durchführung des Tests einer Zellsuspension ein Antikörper, der mit einem Fluoreszenzfarbstoff markiert ist, zugefügt. Befinden sich Zellen in der Mischung, mit deren Zellwandkomponenten der Antikörper bindet, kommt es zu einer Antikörperreaktion, das heißt, der Antikörper lagert sich an die Zelle an. Diese Reaktion ist unter dem Mikroskop zu beobachten, da der Antikörper die Fluoreszenzmarkierung trägt.

Den für diese Methode benötigten Antikörper stellt man her, indem man ein Tier (in diesem Fall einem Kaninchen) gegen diese eine Zellstruktur immunisiert. Das heißt, man spritzt dem Tier den in der Regel abgetöteten Mikroorganismus unter die Haut. Das Immunsystem des Tieres stellt einen Antikörper gegen den Mikroorganismus her, den man aus dem Blutserum gewinnen kann.

Die Färbemethode zum Nachweis bestimmter Mikroorganismen, gibt es in einem direkten und einem indirekten Verfahren. Bei dem direkten Verfahren ist der Antikörper selbst markiert. Bei dem indirekten ist der Antikörper nicht fluoreszenzmarkiert und es kommt ein zweiter fluoreszenzmarkierter Antikörper zum Einsatz. Dieser zweite Antikörper reagiert gegen die Kaninchenimmunglobuline des ersten Antikörpers. Hergestellt wird er, indem man

eine zweite Tierart, zum Beispiel eine Ziege, mit Antigenen des Kaninchens immunisiert. Da dieser zweite Antikörper gegen jeden Antikörper reagiert, der durch Immunisierung eines Kaninchens hergestellt wurde, ist er vielseitig einsetzbar.

Zum Nachweis der Mikroorganismen, die den rosafarbenen Befall verursachen, kommt das indirekte Verfahren zum Einsatz. Die Durchführung des Tests, die verwendeten Verdünnungen und Techniken, wurde von Möhlenhoff im Rahmen des ESF/EFRE-Projektes entwickelt.³⁸

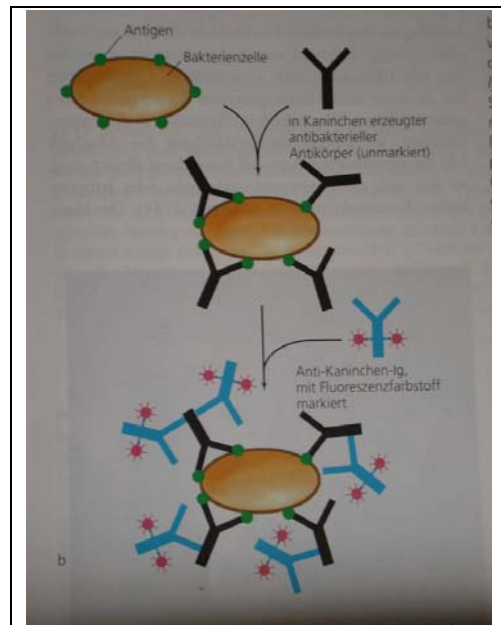

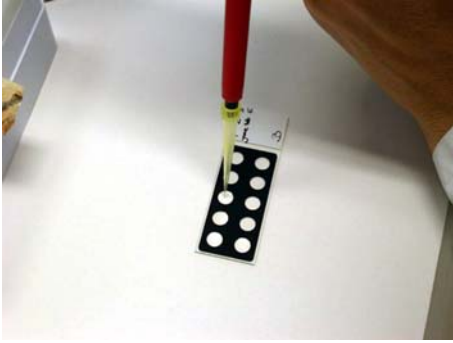



Abb. 3: Schematische Darstellung des indirekten Verfahrens zum Zellenachweis mittels fluoreszenzmarkiertem Antikörper. (Zeichnung aus: Madigan et al. 2002, S.975)

³⁷ Vgl. Madigan et al. 2002, S. 974ff.

³⁸ Vgl. Kapitel 1.2

2.2.1 Durchführung des Tests nach Möhlenhoff³⁹

<p>Herstellen einer Bakteriensuspension in Phosphatpuffer (pH 7,4) oder Antikörperpuffer (Phosphatpuffer + 0,1% Rinderserum).</p> <p>Waschen der Suspension in der Zentrifuge, um lösliche Verunreinigungen (wie zum Beispiel Salze) zu entfernen.</p> <p>Entfernen des Überstandes, hinzufügen von 500µl Pufferlösung, durchmischen.</p>	 <p>Suspension nach der Waschung. Unten die Bakterien und noch enthaltene unlösliche Bestandteile, oben der Überstand mit Salzen.</p>
<p>Auftrag der Suspension auf einen sterilen Analyseobjektträger (25µl pro Feld, zwei Felder untereinander)</p> <p>Auftrag einer Negativ-Kontrolle (zum Beispiel Escherichia coli) und falls gewünscht einer Positiv-Kontrolle (zum Beispiel Bakterien aus Lüdingworth), um überprüfen zu können, ob der Test fehlerfrei durchgeführt wurde.</p>	 <p>Auftrag der Suspension mit der Pipette.</p>
<p>Trocknen der Probe bei 37°C (ca. ½ Stunde).</p> <p>Hitzeфикierung der Bakterien auf dem Objektträger.</p>	 <p>Hitzeфикierung: Der Objektträger wird dreimal mit der Unterseite durch die Flamme gezogen.</p>

³⁹ Die Durchführung des Tests wurde von Silke Ammermann vermittelt.

Auftrag des ersten, gegen die rosafarbenen Bakterien in Lüdingworth hergestellten, Antikörpers 1:100 in Pufferlösung (25µl pro Feld).

30 Minuten bei Raumtemperatur reagieren lassen. Abschlagen der überschüssigen Antikörpersuspension.

Objektträger zweimal je 10 Minuten in Pufferlösung waschen.



Analyseobjektträger in Bad aus Pufferlösung

Auftrag des zweiten, gegen Kaninchen gerichteten, mit FITC⁴⁰ markierten Antikörpers, ebenfalls 1:100 in Pufferlösung. (25µl pro Feld; da der Fluoreszenzfarbstoff sehr lichtempfindlich ist, den Auftrag in einem möglichst abgedunkelten Raum durchführen.) 30 Minuten bei 37°C reagieren lassen. (Während der Reaktionszeit den Objektträger abdecken.)

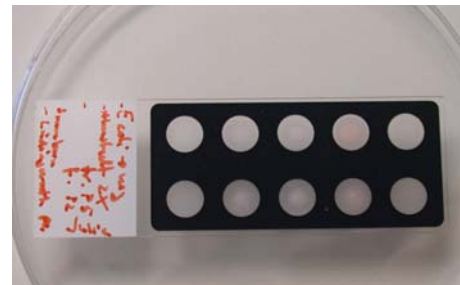


Auftrag des zweiten Antikörpers.

Abschlagen der überschüssigen Antikörpersuspension.

Objektträger dreimal je 10 min in Pufferlösung waschen.

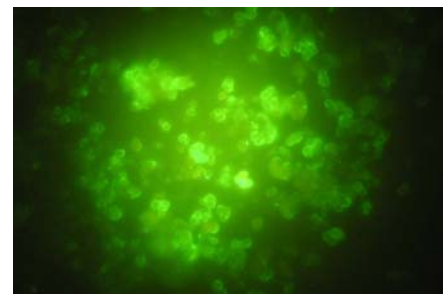
Ca. 30 Minuten trocknen lassen.



Probe nach der Trocknung. Im zweiten Feld von rechts, in der oberen Reihe sind die aufgetrockneten Bakterien zu erkennen.

Auftrag eines Eindeckelungsmittels (je 3µl), Vectashild, welches einen Fluoreszenzfarbstoff enthält, der in die DNA aller Bakterien eingelagert wird (DAPI⁴¹)

Am Mikroskop überprüfen, ob eine Anlagerung stattgefunden hat. Zusätzlich überprüfen ob weitere nicht antikörpermarkierten Zellen vorhanden sind.



Fluoreszenz der angelagerten Antikörper am Beispiel eines Abstriches aus Bartrup-Sonneborn (Foto: Ammermann).

⁴⁰ Vgl. Glossar.

⁴¹ Ebenda.

2.3 Materialspezifische Nachweismethoden

2.3.1 Elektrische Leitfähigkeit der Oberfläche⁴²

Mit der Messung der elektrischen Leitfähigkeit der Oberfläche wird ein Wert ermittelt, der durch Feuchtigkeit und Salzbelastung bestimmt wird.

Die elektrische Leitfähigkeit eines nicht metallischen Stoffes ist sehr niedrig, solange er trocken ist. Durch einen Anstieg der Materialfeuchte wird der Transport von in Ionen dissoziierte Molekülen ermöglicht, die Leitfähigkeit steigt. Da die elektrische Leitfähigkeit eines Stoffes neben der Feuchtigkeit abhängig ist von der Konzentration der Ionen und Temperatur, werden mit dieser Methode keine absoluten Feuchtwerte erfasst. Sie ist lediglich geeignet, die Feuchte tendenziell zu erfassen⁴³.

Die elektrische Leitfähigkeit der Oberfläche wurde in dieser Arbeit mit dem Gerät Surveymaster SM der Firma Protimeter ermittelt. Dazu werden zwei, im fixen Abstand zueinander montierte, Elektroden mit sanftem Druck an die Architekturoberfläche gehalten, ohne jedoch in das Material einzudringen. Das Gerät liefert einen dimensionslosen, digitalen Wert und eine Einordnung in eine Farbskala (gelb bis grün für niedrige Werte, rot für hohe Werte). Die sehr komplexe Zusammensetzung der ermittelten Werte an den Objekten (siehe oben) macht es nicht möglich, eine Aussage über die Feuchte- und Ionen-Konzentration anhand eines einzelnen ermittelten Wertes zu



Abb. 4: Das Gerät Surveymaster SM der Firma Protimeter.

treffen. Es ist allerdings möglich über den Vergleich einzelner Werte einen Trend der Feuchte- und Ionen-Verteilung an der Architekturoberfläche zu erfassen. Hierfür ermittelt man anhand eines Rasters die elektrische Leitfähigkeit der Architekturoberfläche an vielen Stellen und stellt diese Werte zum Beispiel grafisch dar.⁴⁴

⁴² Vgl. Schwarz 2000, Teil II, S.23.

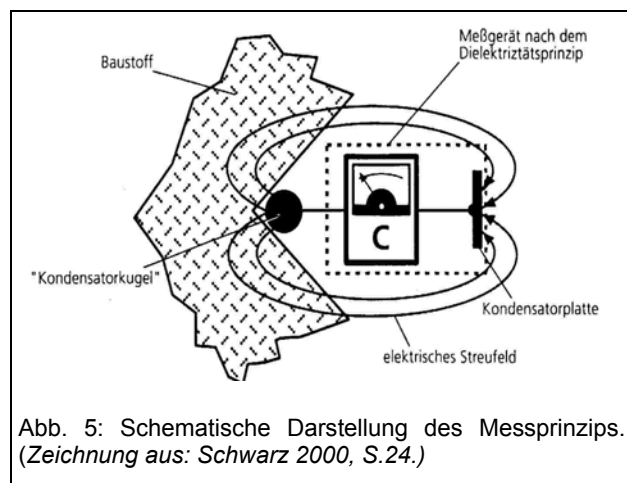
⁴³ Vgl. Arendt 1996, S.19.

⁴⁴ Vgl. Hammer 1988, S.38ff und Arendt 1996, S.20.

2.3.2 Feuchtemessung auf kapazitiver Basis

Die Messung der Kapazität des oberflächennahen Bereiches hat ein ähnliches Ziel wie die Messung der elektrischen Leitfähigkeit. Mit ihrer Hilfe soll die Verteilung der Feuchtigkeit ermittelt werden, in diesem Fall jedoch nicht nur an der Oberfläche, sondern in bis zu 5 Zentimetern Tiefe. Die Werte sind ebenfalls abhängig von der Ionen-Konzentration. Die ermittelten Werte können nur in Beziehung gesetzt zu weiteren, am Objekt ermittelten, Werten für eine Aussage genutzt werden.⁴⁵

Das hier genutzte Gerät der Firma Gann misst mit einem Streufeldkondensator, der an die Architekturoberfläche gebracht wird, mit Hilfe eines hochfrequenten Wechselstroms die Dielektrizitätskonstante des Kondensator-dielektrikums.⁴⁶ Er ermittelt also über den Widerstand die Kapazität der Wand. Das Ergebnis liefert das Gerät in dimensionslosen digitalen Zahlen. Je höher dieser Wert ausfällt, desto höher ist die Feuchtigkeit/Ionen-Konzentration. Zu beachten ist bei dieser Messung, dass sie neben Feuchtigkeit und Ionen-Konzentration von der Temperatur und der Dichte des Materials abhängig ist. Das Vorhandensein von Metall im Messbereich verfälscht die Ergebnisse.



Das Vorhandensein von Metall im Messbereich verfälscht die Ergebnisse.

Laut Hammer⁴⁷ kann die Messung der elektrischen Leitfähigkeit und der Kapazität in Verbindung mit einer Messung der absoluten Feuchte (zum Beispiel mit der Calciumkarbidmethode) im Mauerinneren für die Aussage genutzt werden, ob es sich bei der Feuchte im Mauerwerk um aufsteigende Feuchte oder thermische Kondensation bzw. hygroskopische Wirkung vorhandener Salze handelt: „Senkrecht zur Oberfläche nach innen abfallende absolute Feuchtigkeit,...,bei gleichzeitig hohen Werten der elektrischen Leitfähigkeit bzw. elektrischen Kapazität...weist darauf hin, dass die Ursache der Schäden nicht in akuter aufsteigender Feuchtigkeit zu suchen sind, sondern in thermischer Kondensation oder in hygroskopischer Wirkung löslicher Salze.“⁴⁸

⁴⁵ Vgl. Arndt 1996, S.20.

⁴⁶ Vgl. Schwarz 2000 Teil II, S.24ff.

⁴⁷ Vgl. Hammer 1996, S.88.

⁴⁸ Ebenda.

2.3.3 Polarisationsmikroskopie⁴⁹

Die Polarisationsmikroskopie ist eine Technik der Durchlichtmikroskopie, mit deren Hilfe man die Doppelbrechung von anisotropen Kristallen erfassen kann. Dabei wird das von unten einfallende „natürliche“ Licht mit Hilfe eines Polarisators in Lichtwellen einer Schwingungsebene umgewandelt. Oberhalb des Polarisators aber unterhalb des betrachtenden Auges wird ein zweites polarisierendes Element, der Analysator, in den Strahlengang gebracht. Steht die Transmissionsebene des Analysators wie 90° zu der Transmissionsebene des Polarisators, hat man ein Polarisations–Dunkelfeld erzeugt. Das betrachtende Auge kann kein Licht mehr wahrnehmen. Bringt man nun einen anisotropen Kristall zwischen diese beiden polarisierenden Elemente, bricht dieser die einfallenden linear polarisierten Lichtwellen durch den Aufbau seines Kristallgitters. Der Betrachter kann je nach Höhe der Doppelbrechung, der Größe und der Stellung des Kristalls, graue bis bunte Interferenzfarben wahrnehmen. Dreht man den Kristall, verändern sich diese Interferenzfarben (die einfallenden Lichtwellen werden durch die veränderte Position des Kristallgitters anders gebrochen). Manche Kristalle weisen eine Durchlassebene auf, in der das Licht nicht gebrochen wird. Steht diese parallel zur Durchlassebene des Polarisators, ist der Kristall in Auslöschung, das heißt, in Dunkelstellung. Diese Stellung kommt alle 90° Drehwinkel wieder vor.

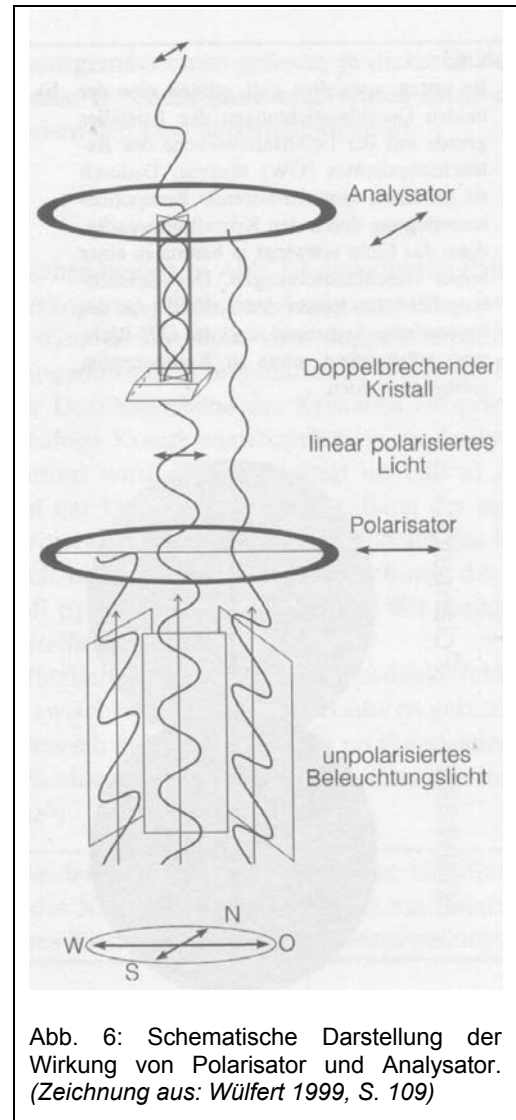


Abb. 6: Schematische Darstellung der Wirkung von Polarisator und Analysator. (Zeichnung aus: Wulfert 1999, S. 109)

Man unterscheidet zwischen paralleler, symmetrischer und schiefer Auslöschung, je nachdem, wie die Durchlassrichtung zur äußeren Form oder den sichtbaren Spaltflächen des Kristalls liegt. Die Art, wie der Kristall das Licht bricht, seine Interferenzfarben, das Vorhandensein und die Ausrichtung seiner Transmissionsebene können zur Identifizierung genutzt werden.

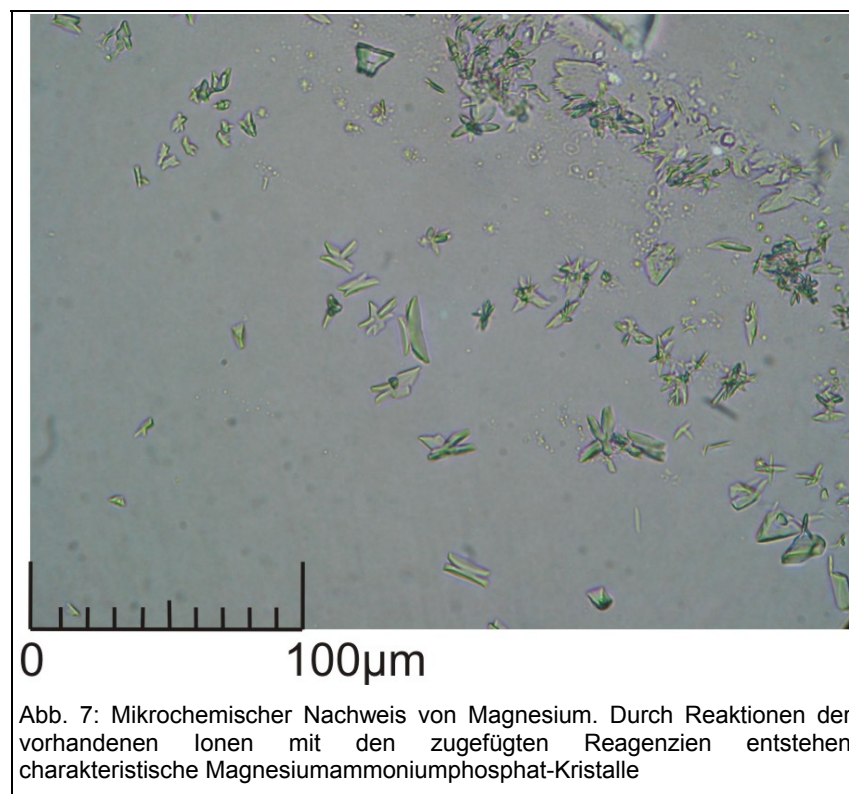
⁴⁹ Vgl. Wulfert 1999, S.100ff.

2.3.4 Mikrochemischer Nachweis von Ionen⁵⁰

Nach der Untersuchung der am Objekt vorhandenen Salze mit Hilfe der Polarisationsmikroskopie, werden die gewonnen Erkenntnisse durch mikrochemische Nachweise der einzelnen Ionen belegt. Einen wichtigen Hinweis auf die nachzuweisenden Ionen, liefert der pH-Wert der wässrigen Lösung des Salzes. Er ist ein zweiter Hinweis auf die in der Lösung zu vermutenden Ionen.

Der Nachweis der Ionen wird an einer kleinen Menge des meist wässrig gelösten Salzes durchgeführt. Der Lösung werden Substanzen hinzugefügt, die mit den nachzuweisenden Ionen spezifische Reaktionen eingehen.

Zum Nachweis von Magnesium-Ionen zum Beispiel wird einem kleinen Tropfen des wässrig gelösten Salzes wenig 2M Salzsäure hinzugefügt. Anschließend wird der Tropfen mit Ammoniumhydrogenphosphat-Lösung versetzt und über die Dämpfe von konzentriertem Ammoniak gehalten. Sind Magnesium-Ionen in der Lösung enthalten bilden sich charakteristische Magnesiumammoniumphosphat-Kristalle



⁵⁰ Vgl. Bläuer-Böhm 1994, S.98ff.

2.3.5 Mikrochemischer Nachweis organischer Bindemittel⁵¹

Wie auch beim mikrochemischen Nachweis von Ionen werden zum Nachweis organischer Bindemittel elementspezifische Reaktionen mit zugefügten Stoffen genutzt. Auch hierbei wird der Versuch an sehr kleinen Mengen Probenmaterial durchgeführt. Allerdings ist eine vorherige Lösung des Probenmaterials nicht nötig.

Der Nachweis von trocknenden Ölen zum Beispiel erfolgt über die alkalische Verseifbarkeit. Einem kleinen Partikel der zu untersuchenden Substanz wird ein frisch vorbereitetes Gemisch aus konzentrierter Ammoniaklösung und 30%igem Wasserstoffperoxid zugegeben. Falls trocknende Öle in der Probe vorhanden sind, kann durch die Netzmittelwirkung der entstandenen Seifen das Entweichen des Sauerstoffes aus dem Wasserstoffperoxid in Form von Schaumbildung beobachtet werden. (Frische Weichharze, Balsame, Eigelb, Casein und Gummen zeigen ebenfalls eine, allerdings schwächere Reaktion.)

2.3.6 Histochemische Färbemethoden⁵²

Die histochemischen Färbemethoden dienen hier ebenfalls dem Nachweis organischer Bindemittel. Die Probe wird zunächst in ein Kunstharz gebettet und angeschliffen. Anschließend wird eine Anfärbung des Anschliffes in einem Bad aus Färbelösung durchgeführt. Je nachdem welches Färbemittel man verwendet, lagert sich dieses an den proteinhaltigen oder öligen Bestandteil der Probe an. Unter dem Mikroskop ist eine Anfärbung erkennbar.

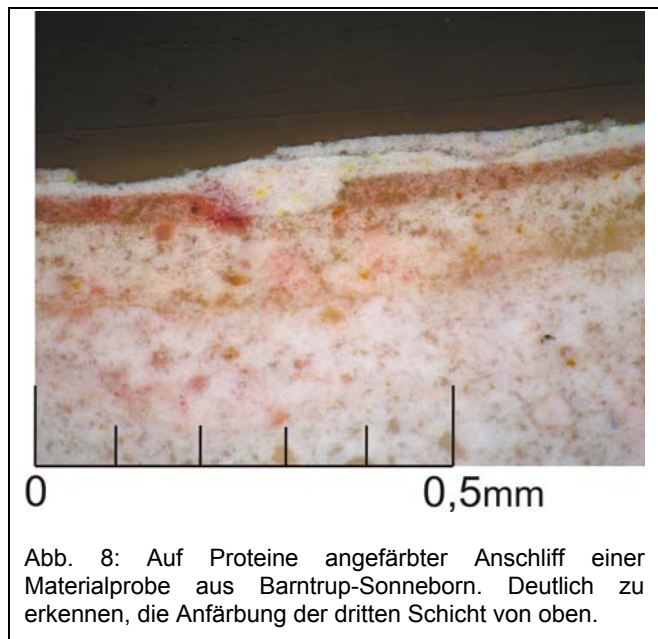


Abb. 8: Auf Proteine angefärbter Anschliff einer Materialprobe aus Bartrup-Sonneborn. Deutlich zu erkennen, die Anfärbung der dritten Schicht von oben.

⁵¹ Vgl. Schramm und Hering 1995, S.192-214.

⁵² Vgl. Schramm und Hering 1995, S.214-218.

2.4 Verwendete Nährböden

2.4.1 Anreicherungsverfahren und Inkubationsbedingungen

Die im Laufe der Untersuchungen erworbenen Erkenntnisse zu Salzbelastungen und Zusammensetzungen von befallenen Untergründen wurden genutzt, um Nährböden auf Kalkbasis herzustellen. Um die Nährböden so nahe wie möglich der anzunehmenden Situation am Objekt anzupassen, wurde eine Kalktünche wie zum Beispiel bei Wehlte⁵³ oder Knoepfli und Emmenegger⁵⁴ beschrieben, hergestellt. In handelsüblichen Sumpfkalk⁵⁵ wurde ein „Schuss“ Leinöl bzw. Celluloseleim gegeben. Nach gründlichem Untermengen des organischen Zuschlages wurde der Kalk mit sterilem und destilliertem Wasser verdünnt, bis eine dicke Kalktünche entstand. Eine genaue Bestimmung der Menge an Kalk und organischem Zusatz in den Nährböden ist nicht möglich. Der so hergestellten Kalktünche wurden die Salze zugefügt, die an der Mehrzahl der Objekte nachgewiesen wurden. Da es sich bei den durchgeführten Salzuntersuchungen vor allem um qualitative Analysen handelt, konnten im Vorfeld keine Angaben zu mengenmäßigen Verhältnissen gemacht werden, so dass verschiedene Mischungsverhältnisse zum Einsatz kamen.

Um die hohe Luftfeuchtigkeit an den Objekten nachzustellen, wurden drei Methoden angewandt:

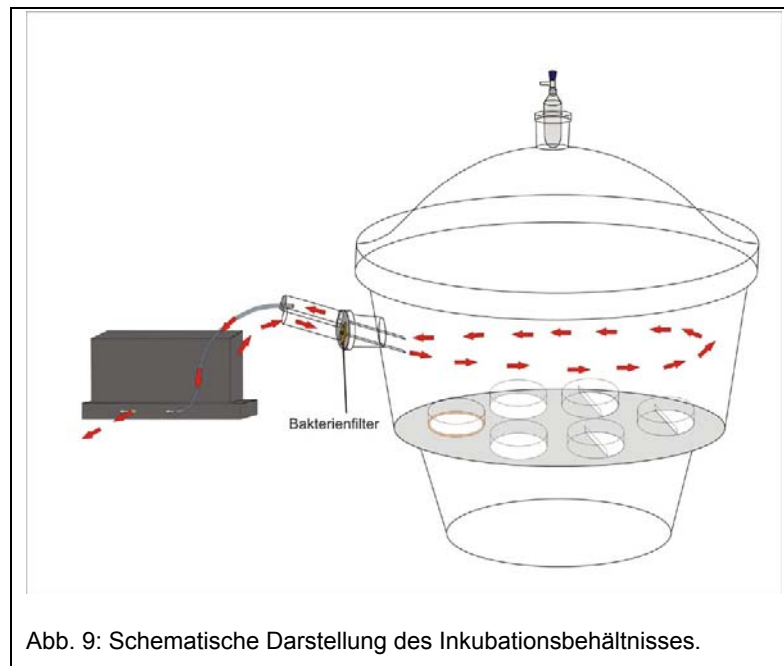
- Die Nährböden wurden in die eine Hälfte von verschließbaren geteilten Petrischalen gegossen; in die andere Seite wurde ein feuchtes Stück Zellstoff gelegt.
- Die Nährböden wurden in verschließbare Petrischalen direkt auf Zellstoff gegossen, um sie mit sterilem Wasser von unten feucht halten zu können.
- Die beimpften Nährböden wurden über einer gesättigten Salzlösung inkubiert.

Auf das Autoklavieren der Kalkböden wurde verzichtet, da es nicht auszuschließen ist, dass die hohen Temperaturen zu einer Veränderung des enthaltenen Salzgemisches führen könnten. Für eine ausreichende CO₂-Zufuhr beim Carbonatisieren mussten die Petrischalen während des Abbindeprozesses geöffnet bleiben. Da es bei einem ersten Versuch hierbei zu einer Kontamination der Böden kam, wurden die Böden in einen Exsikkator mit je einem Zugang für Zu- und Abluft gestellt. Durch eine luftziehende Pumpe wurde ein Luftstrom erzeugt. Die Zuluft erfolgte durch einen Bakterienfilter.

⁵³ Vgl. Wehlte 1992, S.278.

⁵⁴ Vgl. Knoepfli und Emmenegger 1990, S.23.

⁵⁵ Es ist denkbar, dass Sumpfkalk durch die Art der Herstellung und Lagerung Spuren verschiedener Mineralien enthält.



Zusätzlich zu den aus Kalktünchen gegossenen Böden, wurden Probewürfel beimpft, die in einem vorangegangenen Kurs in der Mikrobiologie hergestellt worden waren. Sie waren aufgebaut aus einem Kalkputz und einer darauf liegenden Kalktünche. Bei einer Hälfte der Würfel war der Kalktünche ein „Schuss“ Leinöl zugegeben worden, die andere Hälfte besaß keine organische Beimengung. Die Probewürfel wurden in einer gesättigten Natriumcarbonatlösung getränkt und anschließend unten und an den vier Seiten mit Alufolie abgedichtet, so dass die Salze sich beim Abtrocknen der Würfel in der Kalk- bzw. Kalk-Leinöl-Tünche anreicherten. Die Würfel wurden anschließend in die eine Hälfte einer verschließbaren, halbierten Petrischale gestellt, in die andere kam mit sterilem Wasser getränkter Zellstoff.

Als weiterer Nährboden wurde die von Xue et al. beschriebene Rezeptur in fester (+ 20g Agar pro Liter) und flüssiger Form hergestellt. Bei Xue et al. wird zu den Methoden der Anreicherung und Isolierung auf Tindall et al. verwiesen. Hier wird als optimale Wachstumsbedingung 37°C und Tageslicht angegeben.⁵⁶ Da sich diese Bedingungen an der HAWK nicht nachstellen ließen, wurden Versuche zur Kultivierung bei Raumtemperatur (ca. 20°C) und Tageslicht durchgeführt.

Alle hergestellten Nährböden wurden mit Abstrichmaterial des Objektes Barntrop–Sonneborn durch Aufstreichen beimpft.

⁵⁶ Vgl. Tindall et al. 1980, S.258.

2.4.1.1 Nährböden auf Kalkbasis

Variante	Na ₂ CO ₃	NaHCO ₃	MgHCO ₃	KNO ₃	Kalktünche mit Cellulose	Kalktünche mit Leinöl
1	0,5g	/	/	/	/	Auffüllen bis 100ml
2	1,0g	/	/	/	/	Auffüllen bis 100ml
3	/	1,0g	/	/	/	Auffüllen bis 100ml
4	0,05g	0,1g	/	/	/	Auffüllen bis 100ml
5	0,5g	1,0g	/	/	/	Auffüllen bis 100ml
6	1,0g	2,0g	/	/	/	Auffüllen bis 100ml
7	2,0g	4,0g	/	/	/	Auffüllen bis 100ml
8	0,05g	0,1g	0,005g	/	/	Auffüllen bis 100ml
9	0,5g	1,0g	0,05g	/	/	Auffüllen bis 100ml
10	1,0g	2,0g	0,5g	/	/	Auffüllen bis 100ml
11	2,0g	4,0g	1,0g	/	/	Auffüllen bis 100ml
12	0,1g	/	/	0,05g	/	Auffüllen bis 100ml
13	0,05g	0,1g	/	/	Auffüllen bis 100ml	/
14	0,5g	1,0g	/	/	Auffüllen bis 100ml	/
15	1,0g	2,0g	/	/	Auffüllen bis 100ml	/
16	2,0g	4,0g	/	/	Auffüllen bis 100ml	/
17	0,05g	0,1g	0,005g	/	Auffüllen bis 100ml	/
18	0,5g	1,0g	0,05g	/	Auffüllen bis 100ml	/
19	1,0g	2,0g	0,5g	/	Auffüllen bis 100ml	/
20	2,0g	4,0g	1,0g	/	Auffüllen bis 100ml	/

2.4.1.2 Nährboden nach Xue et al.⁵⁷

Casamino acid	7,5g
Hefeextrakt	10,0g
Tri-Natriumcitrat	3,0g
MgSO ₄ •7H ₂ O	1,0g
KCl	10,0g
LiCl	0,1g
Fe ²⁺	Spuren
Mn ²⁺	Spuren
NaCl	200,0g
Na ₂ CO ₃	10,0g
ad. Aqua dest.	1L

2.5 Exkurs: Salze allgemein

Salz als Schadensursache an Denkmälern ist seit einigen Jahren in das Bewusstsein der Denkmalpfleger gerückt.⁵⁸ Sie werden durch Baustoffe (alkalische Mörtel, wie zum Beispiel Zement), Festigungs- und Restaurierungsmaterialien (zum Beispiel Wasserglas), Wasserschäden oder über Luft (zum Beispiel Natriumchlorid in marinen Gegenden) und Grundwasser (zum Beispiel Nitrate aus Landwirtschaft und Viehzucht) in die Mauern eingebracht. Durch Kristallisationsprozesse führen sie zur Schädigung des Gefüges.

Wird ein Salz in ein Denkmal eingebracht, so geschieht dies meist auf dem Weg einer verdünnten wässrigen Salzlösung.⁵⁹ Geht Salz in Lösung, zerfällt es in seine einzelnen Ionen. Dort wo das Wasser verdunstet, konzentriert sich die Lösung auf. Wird die Lösung für eine Salzzart übersättigt, fällt das Salz aus und kristallisiert⁶⁰. Wann die Lösung für eine Salzzart übersättigt ist, hängt dabei von der Temperatur ab.

An den Denkmälern liegen durch Baustoffe und zum Beispiel nachträglich eingebrachte Konservierungsmittel oft viele verschiedene Salze vor. Gehen diese Salze in Lösung, kann es je nach Temperatur, zum Zusammenfinden neuer Ionenpaare kommen. Das heißt, es entstehen andere Salze als die eingebrachten. In den meist sehr komplexen Salzgemischen kommt es auch häufig zur Bildung von Doppelsalzen, das heißt es finden sich z.B. zwei Kationen mit einem Anion zusammen.

⁵⁷ Vgl. Xue et al. 2005, S.3.

⁵⁸ Vgl. Hammer 1996, S.82ff.

⁵⁹ Vgl. Arnold 1992, S.3

⁶⁰ Ebenda.

Kristallisationsprozesse finden zumeist an der Architekturoberfläche aber auch im Porenraum des oberflächennahen Bereiches statt. Es entstehen dabei erhebliche Drücke. Ist im Porenraum nicht genügend Platz für die Kristallbildung, kann es zur Anspregung der „störenden“ Schichten kommen.

Im Objekt befinden sich meist mehrere unterschiedlich lösliche Ionenpaare, die verschieden schnell auskristallisieren. Bewegt sich die Salzlösung dabei in einem porösen System, kommt es zu einer Fraktionierung wie in einem Chromatogramm.⁶¹ Stammen die Salze zum Beispiel aus in einer Mauer aufsteigendem Grundwasser, werden die schwerer löslichen Salze bereits recht fußbodennah ausblühen, die leichter löslichen Salze dagegen weiter oben. In der obersten Zone der Versalzung (Zone C in Abb. 10) reichern sich deshalb die leichtlöslichen und damit meist hygroskopischen Salze an.⁶² Durch diese Fraktionierung der Salze muss man davon ausgehen, dass man durch die Entnahme nur einer Materialprobe nie ein umfassendes Bild der Salzbelastung erhalten wird. Eine vollständige Erfassung der Situation wird nur durch die Erstellung von Salzprofilen in Höhe und Tiefe des Mauerwerkes an mehreren Stellen im Raum möglich.

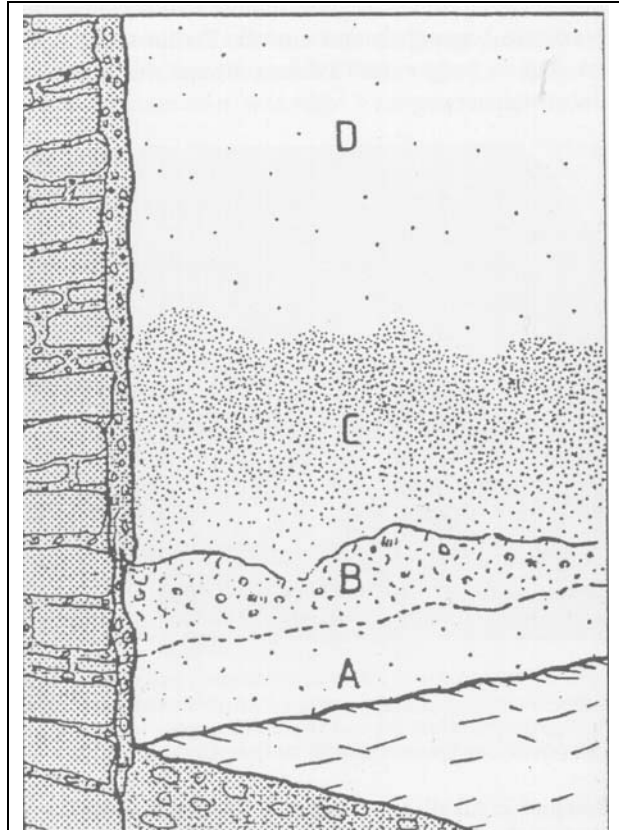


Abb. 10: Die Salzverteilung im Mauerwerk. (Zeichnung aus: Zehnder 2002, S.16.)

Die Hygroskopizität der Salze beschreibt die Fähigkeit Wasser aus der Luft aufzunehmen. Sie ist nicht gleichzusetzen mit der Löslichkeit. Zwar sind leichtlösliche Salze oft hygroskopisch, es gilt jedoch nicht: „je löslicher desto hygroskopischer“. Die Hygroskopizität eines Salzes ist ein Zusammenspiel von relativer Gleichgewichtsfeuchte, Delinquenzpunkt und Sorptionsverhalten. Hygroskopische Salze sind bestrebt in Lösung zu gehen, das heißt, sie nehmen solange Feuchtigkeit aus der Luft auf, bis sie ihren Delinquenzpunkt erreicht haben und gleichsam zerfließen. In einem geschlossenen System stellt sich über einer gesättigten Salzlösung dabei eine konstante Luftfeuchtigkeit ein: die Gleichgewichtsfeuchte.

⁶¹ Ebenda.

⁶² Vgl. Zehnder 2002, S.16.

Ob ein Salz am Objekt auskristallisiert oder in Lösung vorliegt, ist abhängig von der Löslichkeit, der Gleichgewichtsfeuchte und der Sorptionsfähigkeit des Salzes und damit vor allem von der relativen Luftfeuchte. In Salzgemischen, wie sie an den Objekten zumeist vorliegen, werden diese drei Faktoren stark verändert. Die Löslichkeit von Gips zum Beispiel wird durch das Vorhandensein von Natriumchlorid erheblich erhöht. Während reiner Gips nur in Verbindung mit flüssigem Wasser zu Schäden durch Kristallisationsprozesse führen kann, bewirkt das Vorhandensein von Natriumchlorid, dass schon ein Wechsel der relativen Luftfeuchte ausreicht um Schäden zu verursachen.⁶³ Auch Verunreinigungen, die am Objekt häufig vorhanden sind, bewirken eine Veränderung dieser Parameter. Silicagel zum Beispiel bewirkt, dass Natriumchlorid mit einer für gewöhnlich schwachen Hygroskopizität schon bei sehr niedriger relativer Feuchte beträchtliche Mengen an Wasser aufnimmt.⁶⁴ Eine Ermittlung der Hygroskopizität und der Gleichgewichtsfeuchte eines Salzgemisches muss deshalb für jedes Objekt erneut erfolgen. Erschwerend kommt hinzu, dass die Gleichgewichtsfeuchte eines Salzgemisches nicht in Form einer geraden Linie errechnet werden kann. Vielmehr handelt es sich um eine mehr oder weniger breite Region von Feuchtwerten.⁶⁵ Empirische Untersuchungen der Gleichgewichtsfeuchte belegen bislang Werte zwischen 60 und 70%, so dass in der Praxis davon ausgegangen wird, dass über 70% relativer Luftfeuchte die meisten Salze in Lösung vorliegen.⁶⁶

Als besonders bauschädlich werden Salze eingestuft, die verschiedene Hydratstufen besitzen. Diese Salze sind in der Lage, im kristallisierten Zustand bei Anstieg der relativen Luftfeuchte Wasser in ihr Kristallgitter einzulagern. Der Phasenwechsel ist oft mit einer beträchtlichen Zunahme an Größe verbunden. Findet dieser Wechsel im Porenraum unter der Malschicht statt kommt es durch den entstehenden Druck zu Absprengungen der Architekturoberfläche.

⁶³ Vgl. Schwarz 2000, S.16ff.

⁶⁴ Vgl. Arnold 1992, S.8.

⁶⁵ Vgl. Sawdy 2003, S.96.

⁶⁶ Vgl. Hammer 1996, S.86.

3 Vorstellung der Objekte

Die im Folgenden vorgestellten Objekten wiesen/weisen⁶⁷ alle einen mehr oder weniger ausgebreiteten Befall von rot pigmentierten Bakterien auf. Es erfolgt eine kurze Beschreibung des Denkmals, seiner Bau- und Restaurierungsgeschichte, des rosafarbenen Befalls und aller bekannten Wachstumsbedingungen. Die hier aufgeführten Daten beziehen sich sowohl auf eine Literaturrecherche als auch auf selbst durchgeführte Analysen.

Eine ausführliche Erfassung der Objekte unterbleibt aufgrund der Themenstellung dieser Arbeit. Der Schwerpunkt der Betrachtung liegt auf den befallenen Bereichen.

Die Aufführung erfolgt alphabetisch nach den Namen der Städte.



⁶⁷ Wie oben erwähnt stützt sich die Arbeit auf Untersuchungen der letzten Jahre.

3.1 Aldersbach (Niederbayern)

Ehemalige Zisterzienser-Abteikirche Maria Himmelfahrt, Grabeskapelle

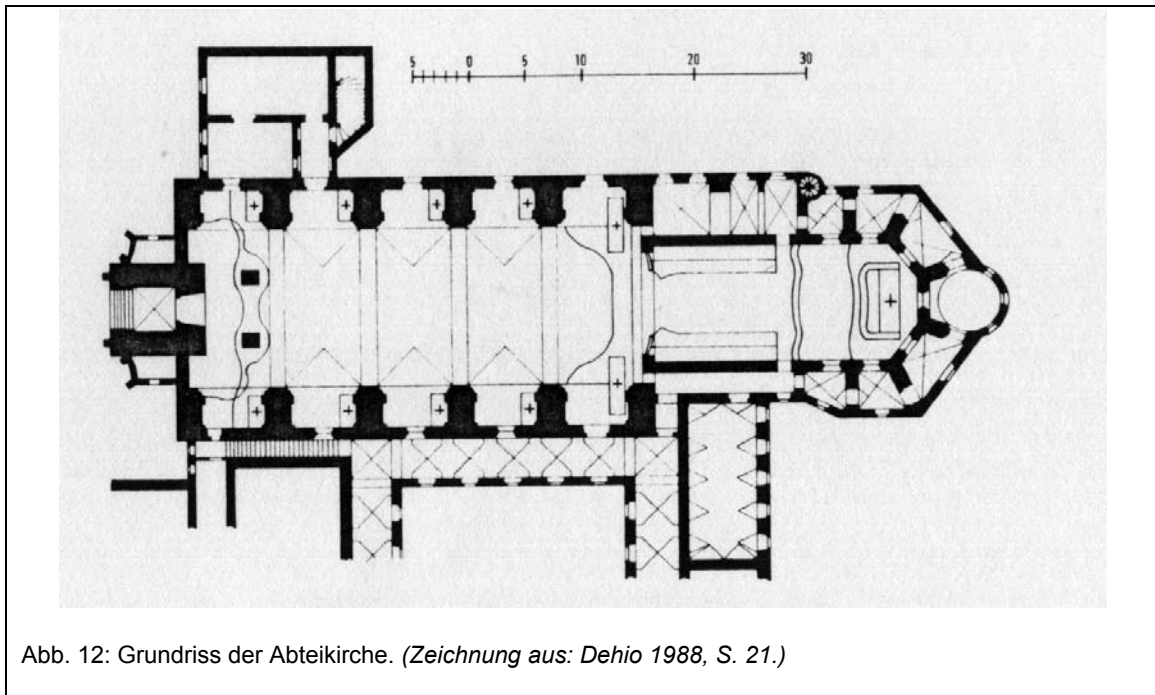


Abb. 12: Grundriss der Abteikirche. (Zeichnung aus: Dehio 1988, S. 21.)

3.1.1 Objektbeschreibung⁶⁸

Die Abteikirche besteht aus einem spätmittelalterlichen Westturm, einem fünfschigen, tonnengewölbten Langhaus aus dem 18. Jahrhundert und einem stilistisch an das Langhaus angepassten Chor aus dem 17. Jahrhundert. Der Chor ist umgeben von einem Kapellenkranz. Im Scheitel befindet sich die Sakramentskapelle, nördlich schließt sich die Grabeskapelle an.

3.1.2 Baugeschichte⁶⁹

1. Drittel 12. Jh.	Gründung der Zisterzienserabtei
1617	Bau des Chores
1705-1734	Bau des Langhauses, Überarbeitung des Chores
Ende 17. Jh.	Neuerrichtung sämtlicher Gebäude
Zur Restaurierungsgeschichte der Kirche liegen keine Unterlagen vor.	

⁶⁸ Vgl. Dehio 1988, S.20ff.

⁶⁹ Ebenda und Wörz 2000, S.29.

3.1.3 Beschreibung des rosafarbenen Befalls⁷⁰

Im gesamten Sockelbereich der Grabeskapelle (bis auf eine Höhe von ca. 1–1,5m) fand sich im Jahr 2000 ein flächiger rosafarbener Befall mit kokkalen Bakterien. In den Raumecken konnte man diese Schicht bis in das Gewölbe verfolgen. Außerdem lagen rosa Verfärbungen im Durchgang zum Chor und unterhalb der Fenster vor. Die Bakterienkolonien konzentrierten sich zum Teil in Form von vermutlich durch Kondensation entstandenen Wasserlaufspuren. Zu sehen waren außerdem tropfenförmige Verstärkungen des Bewuchses in der Fläche, die laut Wörz vermutlich auf Kalkspritzer von durchgeführten Ausbesserungsarbeiten zurückzuführen sind.

Die ca. 1µm großen kokkalen Zellen lagen in dichten Kugelpaketen auf der Oberfläche. Sie wiesen keine Schleimhülle auf.



Abb. 14: Rosafarbener Befall der Südwand der Grabeskapelle.
(Foto aus: Wörz 2000, S.30)

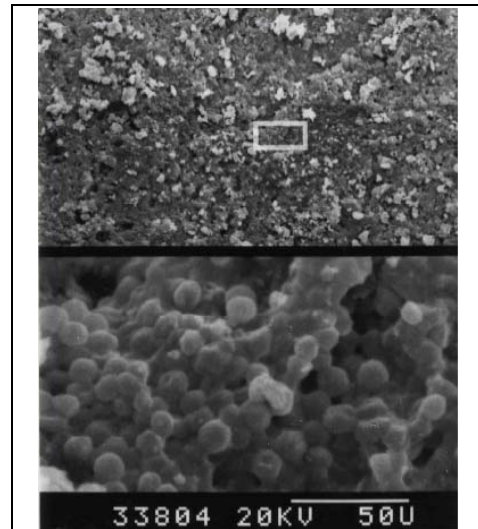


Abb. 13: REM-Aufnahme des Befalls
(Foto Petersen, entnommen aus Wörz 2000)

⁷⁰ Vgl. Wörz 2000, S.29ff.

3.1.4 Wachstumsbedingungen⁷¹

Der Bakterienrasen lag auf einer weißen, mit Haaren armierten Kalkschlämme, die einen Kohlehydratanteil und Proteine aufwies. Außerdem gab es eine schwache positive Reaktion auf einen Glycerinnachweis. Wörz folgert daraus, dass der Kalk eine Beimengung von Cellulose- und/oder tierischem Leim enthält.⁷² Ein positiver Proteinnachweis kann jedoch auch durch die oben erwähnten Haare oder den rosafarbenen Befall verursacht werden, so dass ein Zusatz von Celluloseleim wahrscheinlicher scheint.

Der pH-Wert der Wandoberflächen lag zwischen 8,5 und 9.

Die befallene Sockelzone wies vor allem an den Außenwänden deutliche Salzausblühungen auf. Durch eine EDX-Analyse konnten die Elemente Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Natrium, Magnesium, Silizium, Kalium und Calcium nachgewiesen werden.⁷³ Eine Zuordnung dieser Elemente zu möglicherweise vorhandenen Salzen⁷⁴ konnte nicht hergestellt werden.

Die Grabeskapelle wurde nicht beheizt, so dass die Raumtemperatur im Winter teilweise unter 0°C lag. Durch die häufig unter der Außentemperatur liegende Innentemperatur wurden Kondensationserscheinungen an den Wänden beobachtet.

⁷¹ Vgl. ebenda.

⁷² Vgl. Wörz 2000, S.65ff.

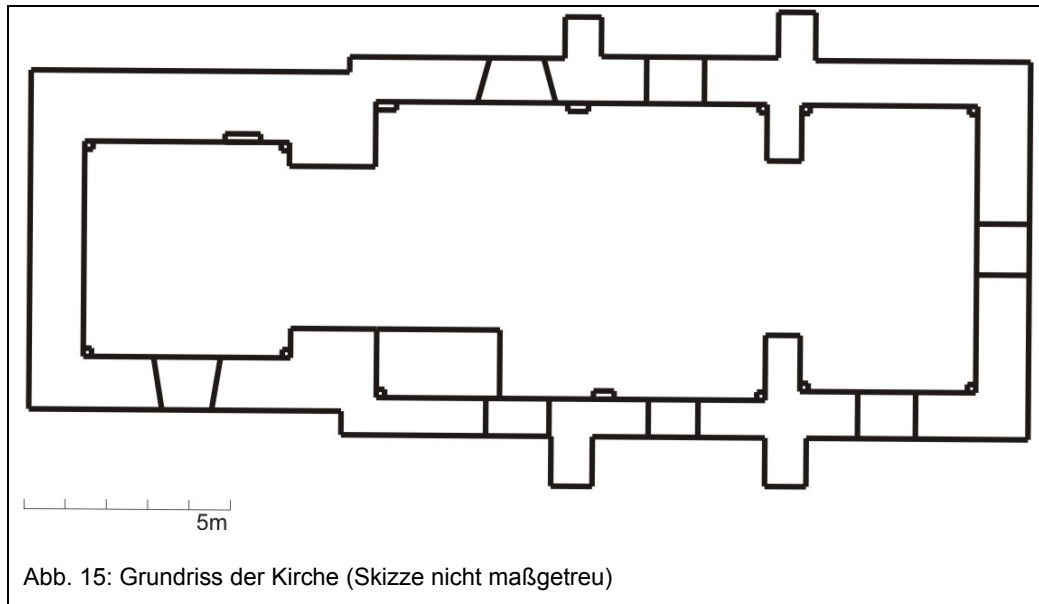
⁷³ Vgl. Wörz 2000, S.64.

⁷⁴ Dies wäre durch Überlagerung der Elemente möglich.

3.2 Bartrup-Sonneborn (Westfalen)

Evangelisch-reformierte Kirche zu Sonneborn

3.2.1 Objektbeschreibung⁷⁵



Die Saalkirche mit Rechteckchor wurde um 1300 aus Bruchsteinen erbaut. Im Westen befindet sich ein massiger romanischer Turm. Das Äußere der Kirche ist sehr schlicht gehalten mit einem monochromen weißen Anstrich, das Dach ist mit Sollingplatten gedeckt. Das Langhaus weist ein flaches Tonnengewölbe mit Stichkappen auf niedrig angeordneten, zweitverwendeten Konsolsteinen auf. Der im Osten anschließende Chor wird von einem Kreuzgratgewölbe überspannt. Die Gewölbe und die oberen Wandabschnitte sind mit einem umfangreichen, ca. 50 Bilder umfassenden Programm aus der Reformationszeit ausgemalt. Das Bildprogramm zeigt Szenen aus der Passion Christi und dem Katechismus⁷⁶ in Rot, Ocker und Schwarz auf einem weiß-gelblichen Hintergrund. In den unteren Wandabschnitten finden sich als malerische Gestaltung Apostelkreuze unter einem die Bilder rahmenden Ornamentband.

Das Gelände um die Kirche steigt nach Westen hin an, so dass der Fußboden des Turms sowie eines Teils des Langhauses ca. 1,5 m unter Bodenniveau liegen.

⁷⁵ Vgl. Dehio 1986, S.544 und Claussen 1963, S.354ff.

⁷⁶ Eine ausführliche Beschreibung des Bildzyklus findet sich bei Claussen 1963.

3.2.2 Bau– und Restaurierungsgeschichte

12. oder 13. Jahrhundert	Bau des Turmes ⁷⁷
Um 1300	Bau des Chorjochs und des Langhauses ⁷⁸
1381	Erste urkundliche Erwähnung einer Kirche in Sonneborn ⁷⁹
1518	Einbau der gotischen Fenster. ⁸⁰ Renovierung und Umgestaltung der Kirche durch die Familie Kerßenbrock. (Datierung durch Wappen über der Eingangstür) ⁸¹
1564	Entstehung der Malereien (Datierung durch Wappen in den gemalten Schlusssteinen des Langhauses. Es ist das Wappen des Grafen Hermann Simons. Dieser kaufte 1564 das an Familie Kerßenbrock verpfändete Sonneborn zurück.) ⁸²
1606	„Sonneborner Kirchenrevolte“. (Der vormals lutherische Pfarrer bekannte sich zum Calvinismus und verlangte von seiner Gemeinde das Gleiche. Diese wehrten sich durch das unerlaubte Läuten der Glocke. Der Pfarrer setzte sich durch, die Gemeindemitglieder mussten Strafe zahlen) ⁸³
17. Jahrhundert	Übertünchung der Wandmalereien im Zuge der calvinistischen Reformation; Einbau von Prieche (Emporen) entlang der Nordwand des Langhauses und in der Turmhalle ⁸⁴
1636	Sonneborn wird im Dreißigjährigen Krieg von den Schweden geplündert; das Dach der Kirche wird durchschlagen ⁸⁵
1952	Entfernung des Gestühls; Neueindeckung des Daches ⁸⁶
1953/54	Restaurierung der Kirche: Ausbesserungs- und Anstricharbeiten außen; Einbau einer Elektroheizung,

⁷⁷ Bei Wiehmann und Claussen wird als vermutliche Entstehungszeit des Turmes das 13. Jahrhundert angegeben, in den Objektakten des Amtes für Denkmalpflege Westfalen findet sich später mehrfach die Datierung in das 12. Jahrhundert.

⁷⁸ Vgl. Objektakten des Amtes für Denkmalpflege Westfalen, Landschaftsverband Westfalen-Lippe, C76 N.522.

⁷⁹ Vgl. Wiehmann 1965, S.195.

⁸⁰ Vgl. Objektakten des Amtes für Denkmalpflege Westfalen, Landschaftsverband Westfalen-Lippe, C76 N.522.

⁸¹ Vgl. Wiehmann 1965, S.196.

⁸² Vgl. Claussen 1963, S.356ff.

⁸³ Vgl. Wiehmann 1965, S.200ff.

⁸⁴ Ebenda, S.197.

⁸⁵ Ebenda, S.202.

⁸⁶ Vgl. Objektakten des Amtes für Denkmalpflege Westfalen, Landschaftsverband Westfalen-Lippe, C76 N.522.

- Verlegung eines neuen Fußbodens; Beseitigung der Priechen im Langhaus, dabei Entdeckung und Freilegung der Wandmalereien; laut Rechnung führte Firma Menna Würzburg folgende Arbeiten aus: Auskeilung von Rissen an der Decke (mit Zementmörtel vorgeworfen, mit Kalkmörtel ausgebessert); Abschlagen des Putzes im Sockelbereich (teilweise bis 1,8m Höhe); Neuverputz durch Vorspritzen mit Zement, Verputzen mit Kalkmörtel; „durchschlagende Flecken“ wiederholt überfilzt; „Isolierung“ der Wände mit einem „chemischen Mittel“ (möglich wäre Fluatin, Kaliwasserglas oder PVAc⁸⁷); Festigung der Malereien mit Sinterwasser, Ausbesserung von Fehlstellen; Ergänzung der Ornament- und Rahmenstreifen; neutrale Eintönung von Fehlstellen; Übertünchung der sehr fragmentarischen Darstellungen der Ostwand⁸⁸
- 1969 Entfernung der Empore im Turm; Installation einer elektrischen Fußbodenheizung; Trockenlegung der Kirche in deren Verlauf die Mauern durchbohrt wurden (Belüftungsröhrchen); Abschlagen des Putzes im Sockelbereich innen⁸⁹
- 1976 Erneuerung des Außenputzes in hydraulischem Kalkmörtel, mit heller „Mineralfarbe“ gestrichen.⁹⁰ Teilweises Verschließen der Belüftungsröhrchen(?)
- 1990 Angebot einer Malerfirma und Antrag der Kirchengemeinde beim Westfälischen Amt für Denkmalpflege auf erneute Instandsetzung der Fassade mit Mineralfarben⁹¹
- 2003 Erste Erwähnung des rosafarbenen Befalls⁹²
- 2004 Bau einer Drainage (1,5–1,8m tief) rund um die Kirche. U. a. Vertikalsperre aus Beton.⁹³ Vermutlich wurde in diesem Zusammenhang die Fassade mit einer weißen, wasserundurchlässigen Farbe gestrichen⁹⁴.

⁸⁷ Mündliche Auskunft Hammer [b] 2005.

⁸⁸ Vgl. Objektakten des Amtes für Denkmalpflege Westfalen, Landschaftsverband Westfalen-Lippe, C76 N.522.

⁸⁹ Ebenda.

⁹⁰ Ebenda.

⁹¹ Ebenda.

⁹² Vgl. Objektakten des Amtes für Denkmalpflege Westfalen 1975 bis heute.

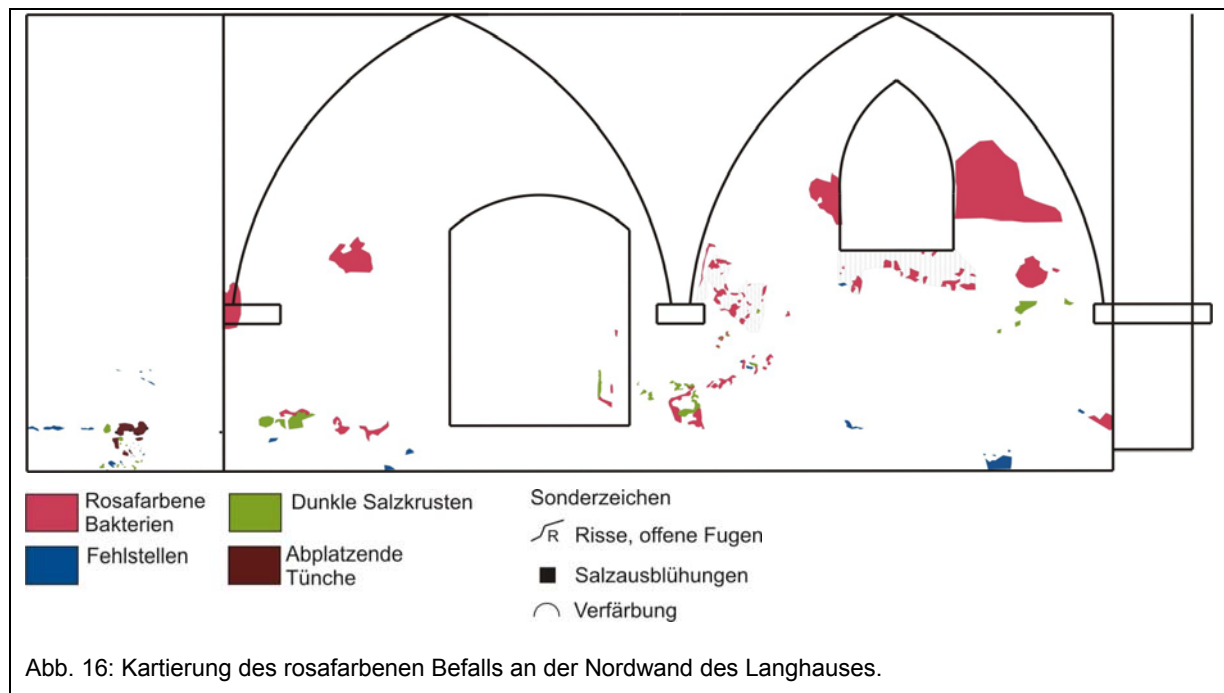
⁹³ Ebenda.

⁹⁴ Mündlicher Auskunft Hammer [a] 2005.

3.2.3 Beschreibung des rosafarbenen Befalls

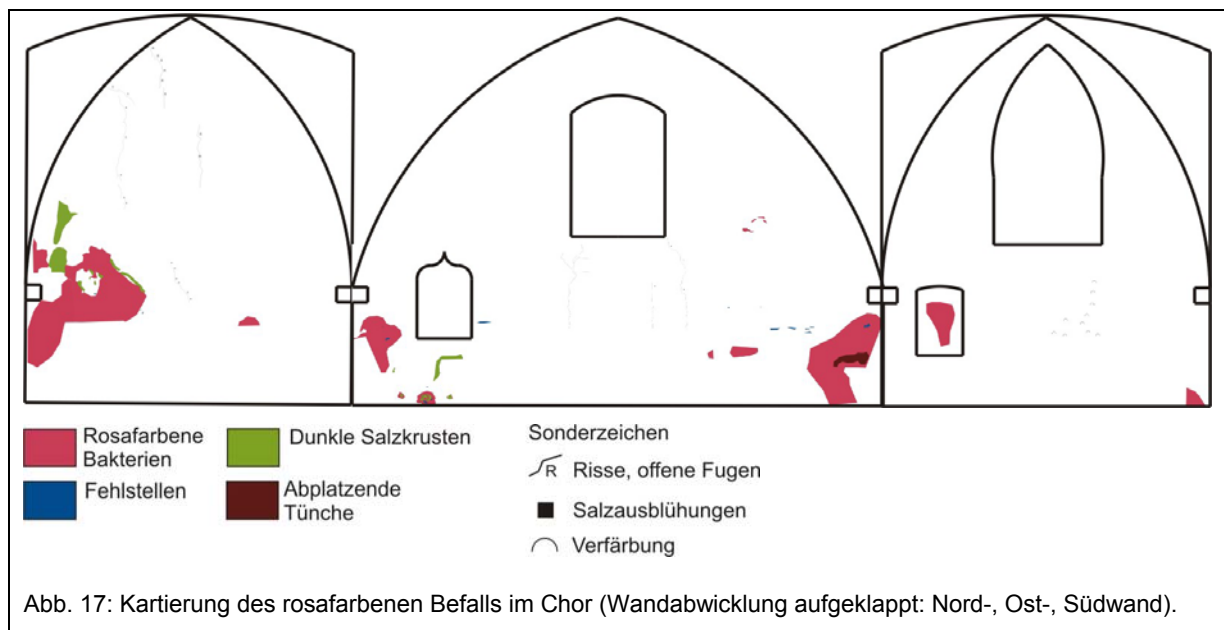
Vor allem die Nordwand der Kirche weist einen flächigen Befall mit rot pigmentierten Bakterien auf. Im Langhaus liegt dieser Befall unter einer weiß-gelben Tüncheschicht und wird nur an Aussparungen dieser Tünche und in Fehlstellen sichtbar. Die Weißung ist im gesamten, unbemalten, Sockelbereich auf Alt- und Neuputz aufgebracht. Sie reicht bis an die Malereien heran und ist auch im bemalten Gewölbe in den Hintergrundbereichen vorhanden. Die rezente Schicht stammt vermutlich von 1969 oder 1976. Besonders in der Nähe der Fenster und auf Höhe der ehemals vorhandenen, 1969 eingebrachten Belüftungsröhrchen platzt die Tünche ab. Darunter kommt der rosafarbene Befall zum Vorschein⁹⁵.

Die Südwand des Langhauses weist keinen Befall mit rosafarbenen Bakterien auf. Zwar gibt es rosa gefärbte Bereiche über der Eingangstür und im östlichen Gewölbe, die Messung der Aktivität an dieser Stelle brachte jedoch Werte, die nicht auf eine mikrobielle Besiedlung schließen lassen. Möglicherweise handelt es sich hierbei um Malschicht. Auf eine Probenentnahme wurde zugunsten der Malereien verzichtet.



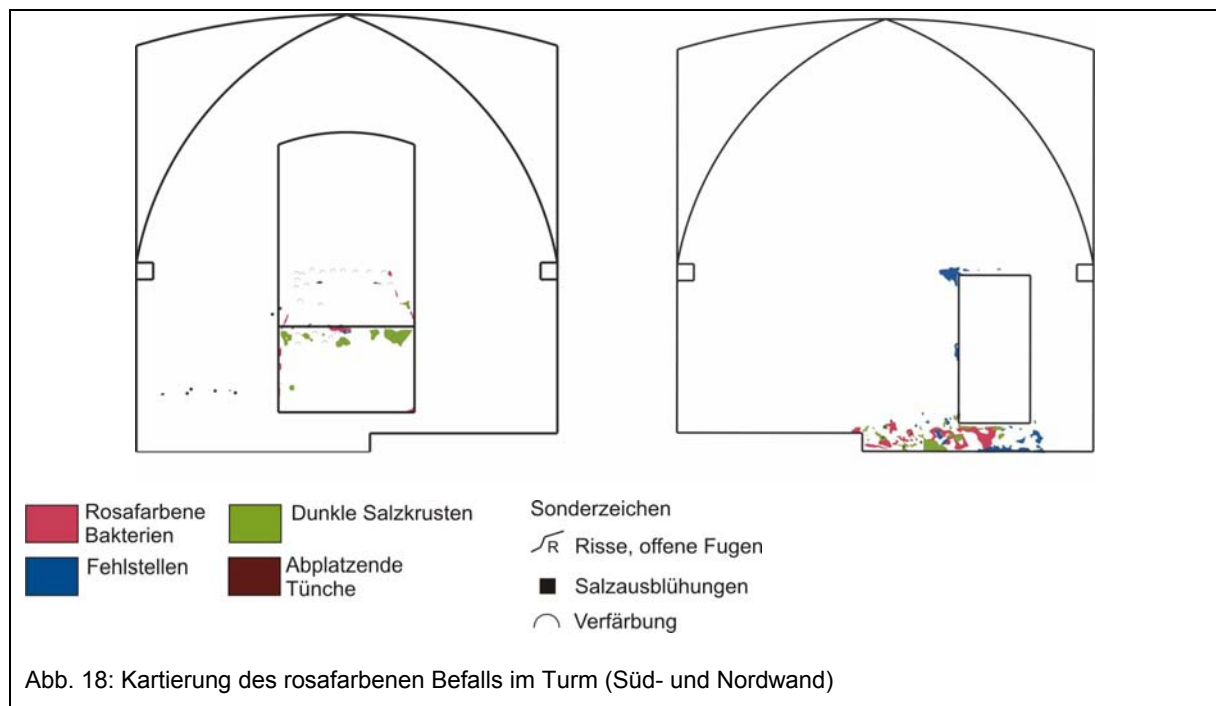
⁹⁵ Siehe Befund Son 4, Befunddatenblätter im Anhang.

Im Chor befinden sich die Bakterien auf der stratigraphisch obersten Schicht. Hier breitet sich der Befall in lichtgeschützten Bereichen auch auf die Ost- und Südwand aus. An der Chornordwand findet sich der größte sichtbare, zusammenhängende Befall⁹⁶. Die betroffene Fläche weist eine scharfe Grenze zum unbefallenen Bereich auf. Begleitet wird diese Grenze von einer dunklen Verfärbung. An der Ostwand finden sich die rot pigmentierten Bakterien vor allem im bodennahen Bereich und hinter Stühlen. Die Südwand des Chores weist nur in der Sakramentsnische und direkt über dem Fußboden einen Befall auf.



⁹⁶ Siehe Befund Son 1, Befunddatenblätter im Anhang.

Im Turmbereich gibt es eine Besiedlung mit rosafarbenen Bakterien im fußbodennahen Bereich, unter der Tür zum Turm und in der Fensternische der Südwand. In der Fensternische wird der Befall von einer weißen Tüncheschicht überdeckt, die in vielen Bereichen abplatzt. Die Farbigkeit der rot pigmentierten Bakterien unter dem Turmzugang ist auffällig grell, hier sind die höchsten Aktivitätswerte in der Kirche zu verzeichnen. Die Mikroorganismen sitzen rund um Einputzungen, bei denen es sich vermutlich um Kalk-Zement-Putz handelt.



3.2.4 Durchgeführte Analysen

Zur Untersuchung des Aufbaus der Architekturoberfläche und zur Analyse der verwendeten Bindemittel wurden zwei Materialproben aus den unteren Wandbereichen entnommen. Die eine Probe entstammte einem Bereich in dem die ursprüngliche Putz- und Tüncheschicht noch erhalten war, die andere einem Neuputzbereich.⁹⁷ Beide Flächen wiesen einen Befall mit rot pigmentierten Bakterien auf. Die Proben wurden mit den an der HAWK gegebenen Möglichkeiten untersucht.

Von beiden Proben wurden Anschliffe angefertigt, um die Abfolge der Schichten verfolgen zu können:

In den oberen Sockelbereichen, in denen der ursprüngliche Putz erhalten geblieben ist, liegt auf dem Bruchsteinmauerwerk ein Grob- und ein Feinputz. Darauf liegt die vermutlich ursprüngliche weiße Tünche (Schicht 1) mit deutlich erkennbaren gelb-ockerfarbenen Einlagerungen. Es folgt eine weitere, sehr dünne Schicht ohne erkennbare Einlagerungen (Schicht 2). Es ließ sich nicht klären, ob es sich hierbei tatsächlich um eine Fassungsschicht handelt. Denkbar wäre entweder, dass es sich um eine mit Einbettmittel verfüllte Hohlstelle handelt oder um das in der Rechnung der Firma Menna erwähnte „chemische Mittel“ von 1969. Diese „Schicht“ ließ sich nur in einem Probesplitter finden. Die rezente, ebenfalls weiße Tünche (Schicht 3 und 4) ist teilweise zweischichtig aufgebracht. Sie weist gelbe Pigmenteinlagerungen auf.

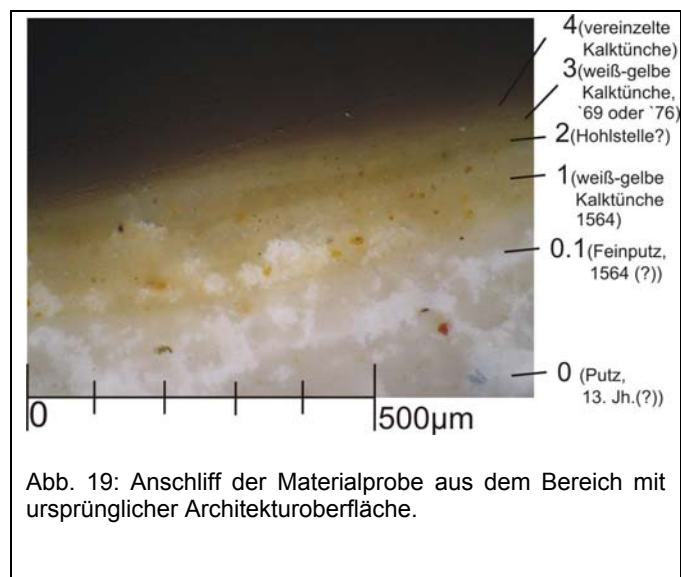


Abb. 19: Anschliff der Materialprobe aus dem Bereich mit ursprünglicher Architekturoberfläche.

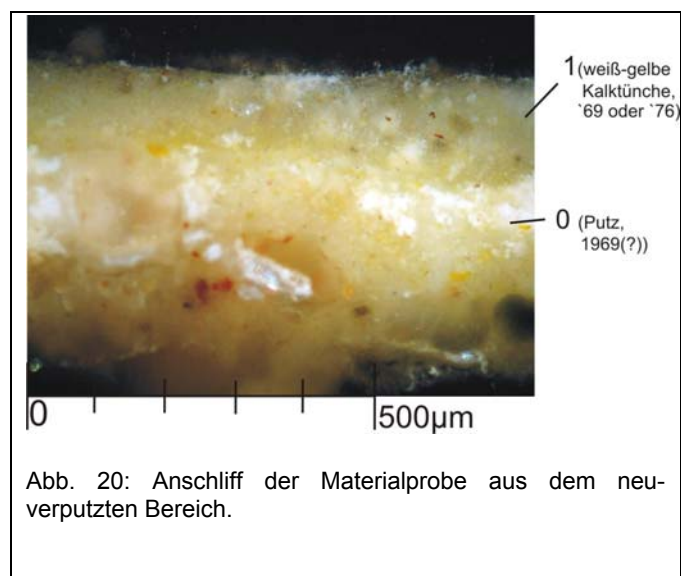


Abb. 20: Anschliff der Materialprobe aus dem neuverputzten Bereich.

⁹⁷ Siehe auch Befunddatenblätter im Anhang.

Die neu verputzten unteren Sockelbereiche weisen einen einschichtigen Putz, vermutlich von 1969, auf. Darauf liegt die rezente ein- bis zweischichtige weiße Tünche mit gelb-ockerfarbenen Pigmentbeimengungen.

Als Hauptbindemittel wurde über mikrochemischen Ionennachweis in allen weiß erscheinenden Schichten Kalk nachgewiesen.⁹⁸

Zusätzlich wurden an beiden Proben mikro- und histochemische Untersuchungen zu organischen Bestandteilen durchgeführt. Die Ergebnisse waren vermutlich durch den sehr geringen Prozentsatz der Beimengung nicht eindeutig. Die Resultate der mikrochemischen Untersuchungen widersprachen teilweise den histochemischen Anfärbungen. Es wäre deshalb wünschenswert, die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse durch weiterführende Analysen zu verifizieren.

In der ursprünglichen Malschicht konnte mit Hilfe der histochemischen Anfärbung neben dem Hauptbindemittel Kalk ein proteinischer Bestandteil nachgewiesen werden. Möglich wäre zum Beispiel ein Kaseinzusatz.

Die nicht eindeutig als Malschicht zu identifizierende Schicht (Schicht 2, Abb. 19) ließ sich sowohl auf Proteine als auch auf trocknende Öle anfärben. (Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Anfärbung auf Proteine durch den Befall mit rosafarbenen Bakterien zustande kommt.) Eine Identifizierung dieser Schicht war nicht möglich.

Der Putz von 1969 enthielt neben Kalk sowohl einen geringen proteinischen als auch einen öligen Bestandteil. In den rezenten Tünchen konnten keine organischen Beimengungen aufgewiesen werden.

Zur Erfassung der Belastung der Architekturoberfläche mit bauschädlichen Salzen wurden wässrige Auszüge der



Abb. 21: Salznadeln eines befallenen Bereiches.

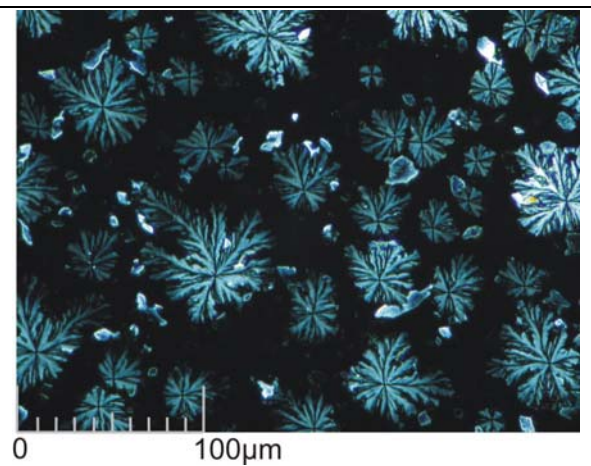


Abb. 22: Rekristallisierte Salze nach wässriger Lösung der Salznadeln.

⁹⁸ Eine Fehlinterpretation durch vorhandene Salze ist nicht völlig ausgeschlossen

Materialproben sowie Proben vorhandener Salzausblühungen mit Hilfe der Polarisationsmikroskopie und mikrochemisch untersucht.

In den befallenen Bereichen lagen Salzausblühungen in Form von langen, miteinander verfilzten durchsichtigen Nadeln vor. Nach Entnahme dieser Salze fielen sie beim Transport ins Labor teilweise zu einem sehr feinen weißen Pulver zusammen. Dies deutet auf einen Phasenwechsel hin.

Die ausblühenden Salze in den befallenen Bereichen konnten als Natrit ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) bzw. Thermonatrit ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) und Nahcolit (NaHCO_3) identifiziert werden.

Auch in den unbefallenen Bereichen gab es Salzausblühungen. Es handelte sich hierbei um weiße opake Blumenkohlkrusten. Diese Salzkrusten wurden als Mirabilit ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) und Thenardit ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) identifiziert.

An einigen Stellen der Sockelzone der Kirche gab es dunkle Verfärbungen. Sie befanden sich stets über und an, vermutlich zementhaltigen, Ausbesserungen (zum Beispiel rund um die vermutlich 1976 verschlossenen Belüftungsröhrchen). Teilweise traten diese Verfärbungen auch als Randbegrenzung des rosafarbenen Befalls auf. Die Analyse dieser Krusten ergaben Natrium und Sulfat als Hauptionen. Es handelt sich also vermutlich um Thenarditkrusten.

Zur Erfassung der ungefähren Verteilung von Feuchtigkeit und Ionen im Mauerwerk



Abb. 23: Dunkle Verfärbung als Begrenzung des rosafarbenen Befalls.



Abb. 24: Dunkle Verfärbungen rund um die verschlossenen Belüftungsröhrchen.

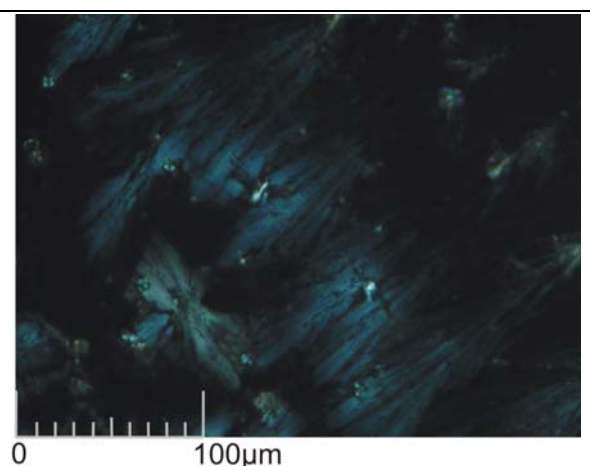


Abb. 25: Rekristallisierte Salze unter gekreuzten Polarisatoren. Die dunkle Kruste wurde zuvor in destilliertem Wasser gelöst.

wurde die elektrische Leitfähigkeit der Oberfläche und die Kapazität im Sockelbereich des Chores gemessen. Bei beiden Methoden wurden in den befallenen Bereichen höhere Werte als in den unbefallenen ermittelt. Wie oben erwähnt, scheint der Unterschied zwischen diesen Flächen nicht in der Quantität, sondern in der Qualität der Salze zu liegen. Die höheren Werte könnten somit auf eine stärkere Hygroskopizität des Salzgemisches in den befallenen Bereichen hindeuten.

Um das Klima im Innenraum zu ermitteln, wurden zwei Datenlogger (testostor 171) der Firma Testo installiert, die Temperatur und relative Luftfeuchte erfassten, sowie den Taupunkt errechneten. Eines der Geräte wurde im Chor in ca. 1m Höhe direkt vor der Nordwand installiert, das andere knapp unter dem Gewölbe. Des Weiteren wurde an vier Messpunkten die Oberflächentemperatur der Wände, auf 1 bis 1,70m Höhe, mit Hilfe des Gerätes testo 177-T4 der Firma Testo gemessen. Einer der Messpunkte lag dabei in einem Bereich der eine Besiedlung mit rot pigmentierten Bakterien aufwies, die anderen drei lagen in unbefallenen Bereichen. Erfasst wurden hierbei Nord-, Ost- und Südwand des Chores. Das Raumklima wurde im Zeitraum September 2005 bis Dezember 2005 aufgezeichnet (der Datenlogger im Gewölbe und die Oberflächenfühler zeichneten erst ab Oktober auf).⁹⁹

Um zu überprüfen ob die Aktivität der Mikroorganismen abhängig ist von Raumtemperatur und –feuchtigkeit, wurde in sie in regelmäßigen Abständen (einmal im Monat) mittels ATP-Messung erfasst. Der Abgleich mit der Klimamessung brachte keine eindeutigen Ergebnisse, als Trend ist aber ein Rückgang der Aktivität mit sinkender Luftfeuchtigkeit zu bemerken.¹⁰⁰

3.2.5 Wachstumsbedingungen

Die rot pigmentierten Bakterien konnten sowohl auf der ursprünglichen Tünche als auch auf einem Neuputz nachgewiesen werden. Beide Untergründe waren kalkgebunden mit einem geringen organischen Zuschlag. In der ursprünglichen Tünche wiesen die durchgeführten Analysen auf einen proteinischen, im Neuputz auf einen öligen Bestandteil hin.

Der pH-Wert der Wandoberfläche lag in den befallenen Bereichen bei 10 bis 11, in den unbefallenen Bereichen bei 6.¹⁰¹

Die Sockelbereiche der Kirche sind stark salzbelastet. Vor allem Bereiche um teilweise erhaltene, zum Teil entfernte Belüftungsröhrchen im Mauerwerk, weisen starke Salzausblühungen auf.¹⁰²

⁹⁹ Der genaue Standort der Geräte ist dem Anhang zu entnehmen.

¹⁰⁰ Vgl. Befunddatenblätter im Anhang.

¹⁰¹ Zur Ermittlung dieser Werte wurde ein pH-Papier an die Wand gehalten und ein Tropfen destilliertes Wasser darauf gegeben.

¹⁰² Es ist zu vermuten, dass die Röhrchen mit einem zementhaltigen Mörtel eingesetzt wurden.

In den Analysen der Salzausblühungen sowie wässriger Auszüge von Materialproben wurden in befallenen und unbefallenen Bereichen verschiedene Salze nachgewiesen. Die befallenen Stellen wiesen vor allem Natrit, Thermonatrit und Nahcolit auf, die unbefallenen Mirabilit und Thenardit. Als weitere freie Ionen konnten Magnesium und Chlorid nachgewiesen werden.

Die elektrische Leitfähigkeit und die Kapazität der Wandoberflächen sind in den rosa befallenen Bereichen deutlich erhöht. Dies spricht für eine Erhöhung der Feuchtigkeit und/oder der Ionen-Konzentration in diesen Bereichen.

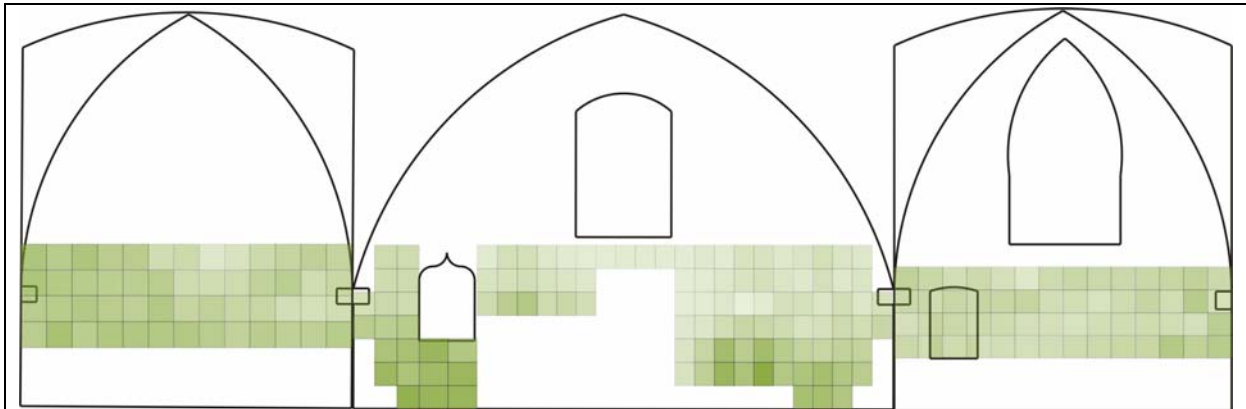


Abb. 26: Kapazität der Sockelzone des Chores (aufgeklappte Wandabwicklung, von Norden nach Süden). Zur farbigen Darstellung wurden die erreichten Werte negativ reziprok in der Transparenz der Farbe angegeben, d.h. je intensiver die Farbigkeit, desto höher der erreichte Wert.

[Gerät: „Hydro-Mette/UNI II“, Firma Gann; Raumlufttemperatur: 14°C; Raumluftfeuchte: 83%]

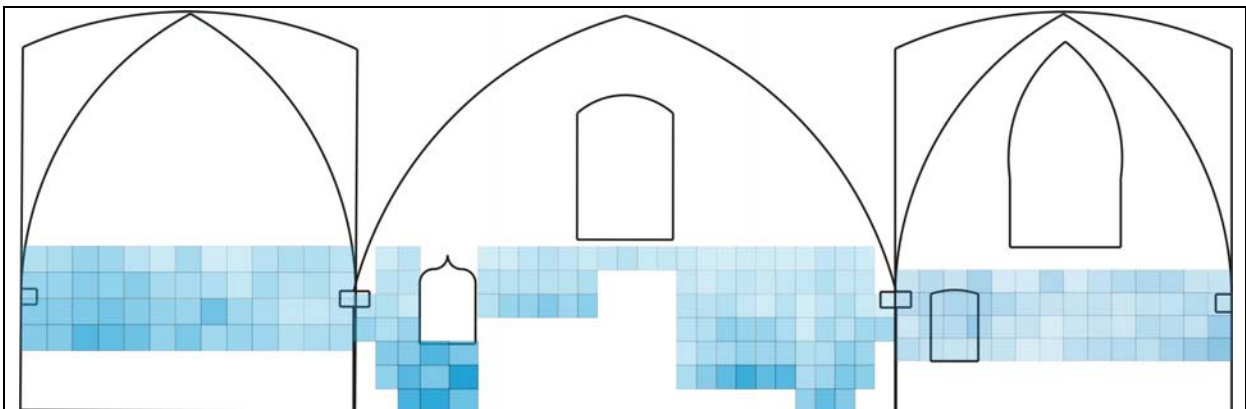


Abb. 27: Elektrische Leitfähigkeit der Sockelzonen des Chores (aufgeklappte Wandabwicklung, von Norden nach Süden). Zur farbigen Darstellung wurden die erreichten Werte negativ reziprok in der Transparenz der Farbe angegeben, d.h. je intensiver die Farbigkeit, desto höher der erreichte Wert

[Gerät: „Survey Master SM“, Firma Protimeter; Raumlufttemperatur 14°C; Raumluftfeuchte: 83%]

Die Werte der relativen Luftfeuchte lagen zwischen 68 und 92% auf Höhe des Sockels und zwischen 60 und 81% im Gewölbe.

Die Raumtemperatur im Sockelbereich lag zwischen 12 und 20°C. Die Temperaturkurve des Gewölbes folgte der des Sockelbereiches, lag aber ca. 1°C höher. (Abbildung 29)

Im Vergleich mit dem anzunehmenden Außenklima (Werte einer Wetterstation in Barntrup, wenige Kilometer entfernt) kann man deutlich erkennen, dass das Innenklima dem Außenklima in gemäßigter Form folgt. (Vergleiche Abbildung 28 und 29) Anfang September lag die Innentemperatur ca. 1°C unter, ab Mitte September 1 bis 2°C über der Außentemperatur. Ab Anfang Oktober schwankte die Innentemperatur zusätzlich ständig schwach. Mitte Oktober erhöhte sich die Innentemperatur um ca. 2°C ohne einen Anstieg der Außentemperatur. Die gegenüber der Außentemperatur erhöhte, leicht schwankende Innentemperatur ist vermutlich auf die Heizanlage der Kirche zurückzuführen. Zusätzlich ist zu sagen, dass die Kirchentür während der Sommermonate den ganzen Tag offen stehen gelassen wurde. Im Herbst blieb sie geschlossen. Auch dies hat einen Einfluss auf das Innenklima.

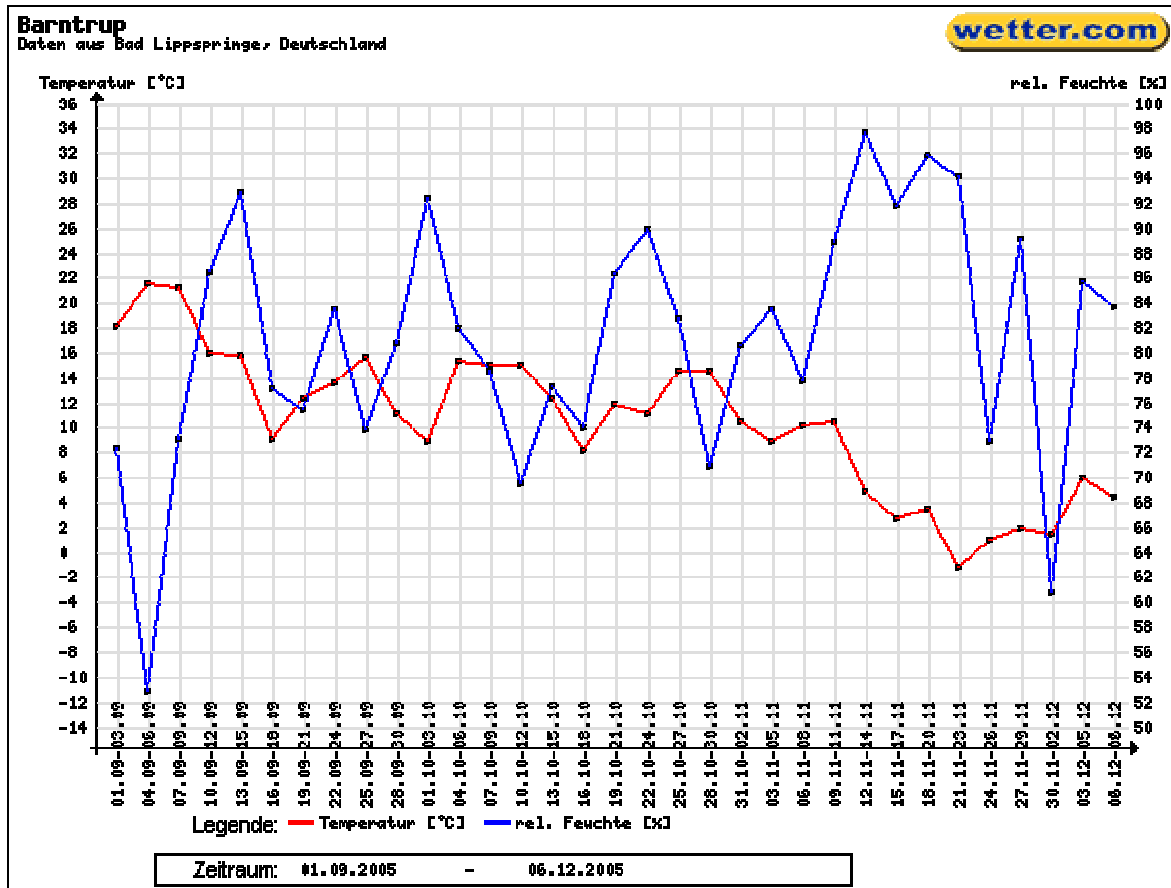


Abb. 28: Diagramm des Außenklimas in Barntrup. (Diagramm entnommen aus: www.wetter.com)

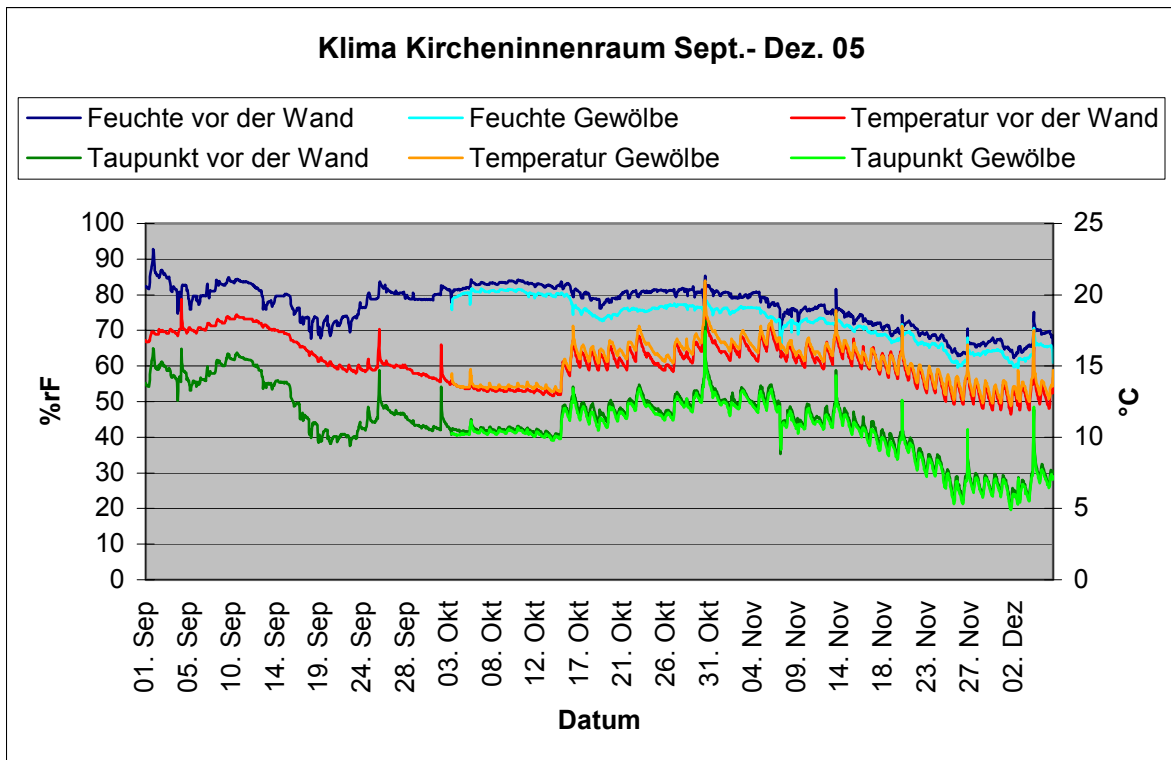


Abb. 29: Diagramm des Innenklimas.

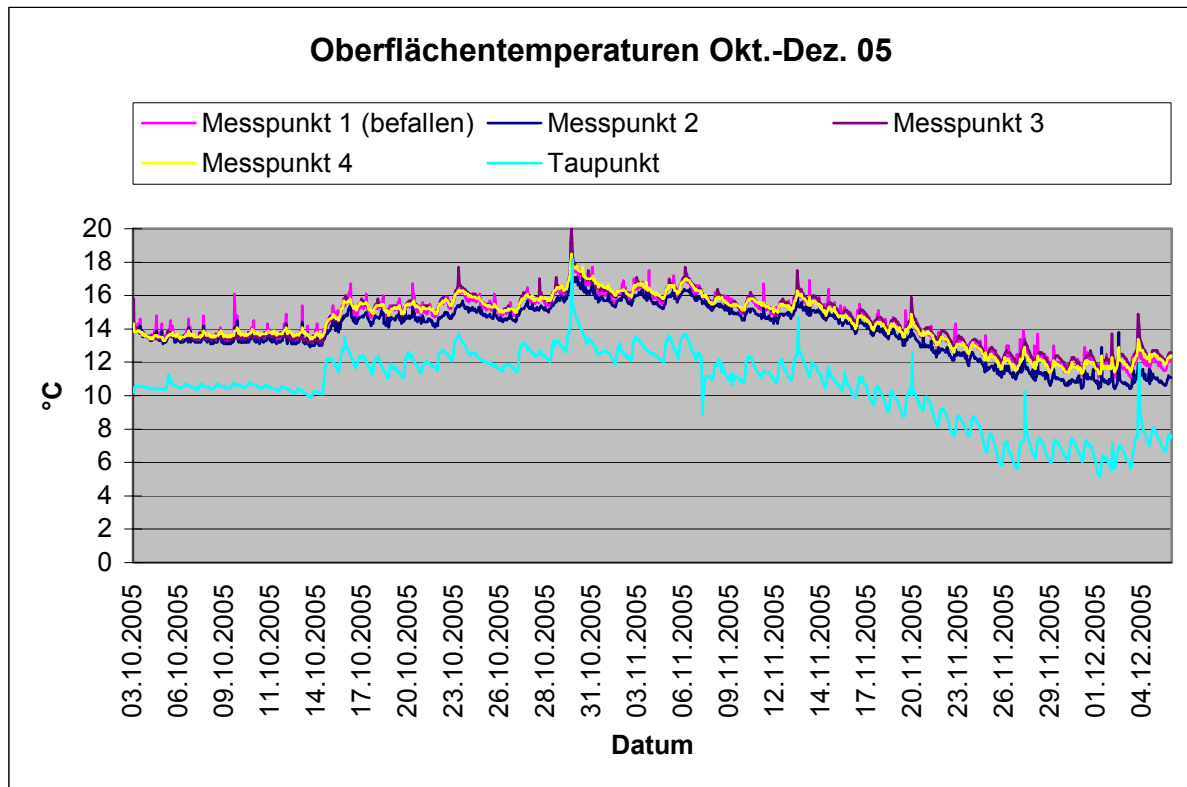


Abb. 30: Diagramm der Oberflächentemperaturen.

Die Oberflächentemperaturen lagen sehr dicht bei den Raumtemperaturen. (Vergleiche Abbildung 29 und 30) Ein Unterschied zwischen befallenem und unbefallenem Bereich gab es nicht. Alle vier Messkurven der Oberflächentemperatur lagen sehr dicht beieinander, einzig Messpunkt 2 (in der Nord-Ost-Ecke des Chores installiert) lag ständig ca. $\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ unter den anderen Messpunkten. Eine Unterschreitung des Taupunktes¹⁰³ wurde nur an einem Tag an der Nord- und der Südwand der Kirche beobachtet.

Neben dem jahreszeitlich bedingten Abfall von Temperatur und Luftfeuchte im gemessenen Zeitraum, kam es immer wieder zu Klimaschwankungen an den Sonntagen, an denen Gottesdienste in der Kirche stattfanden. Die Temperatur stieg an diesen Tagen gegen 11:00 Uhr um bis zu 5°C , die relative Luftfeuchte um bis zu 5%. Einige Stunden später erreichte das Klima wieder die vorherigen Werte. Die Temperatur der Wandoberflächen folgte diesen Klimaschwankungen zeitverzögert und abgeschwächt. An einem dieser Tage kam es zu der oben erwähnten Unterschreitung des Taupunktes an der Nordwand und der Südwand des Chores (30.10.2005, Sonntag vor dem Reformationstag).

Der Zeitraum der durchgeführten Klimamessungen war sehr kurz. Um eine genaue Aussage über die klimatischen Bedingungen in der Kirche zu machen, wäre eine weiterführende

¹⁰³ Die Taupunktwerte wurden den Aufzeichnungen des Datenloggers im Sockelbereich entnommen.

Klimamessung über mindestens ein Jahr notwendig. Die sehr hohen Werte der relativen Luftfeuchte zu Beginn der Messung (über 90%) deuten auf ein sehr viel feuchteres Raumklima in den Frühjahres und Wintermonaten hin. Gerade im Frühjahr sind durch die im Winter ausgekühlten Wände weitere Taupunktunterschreitungen denkbar.

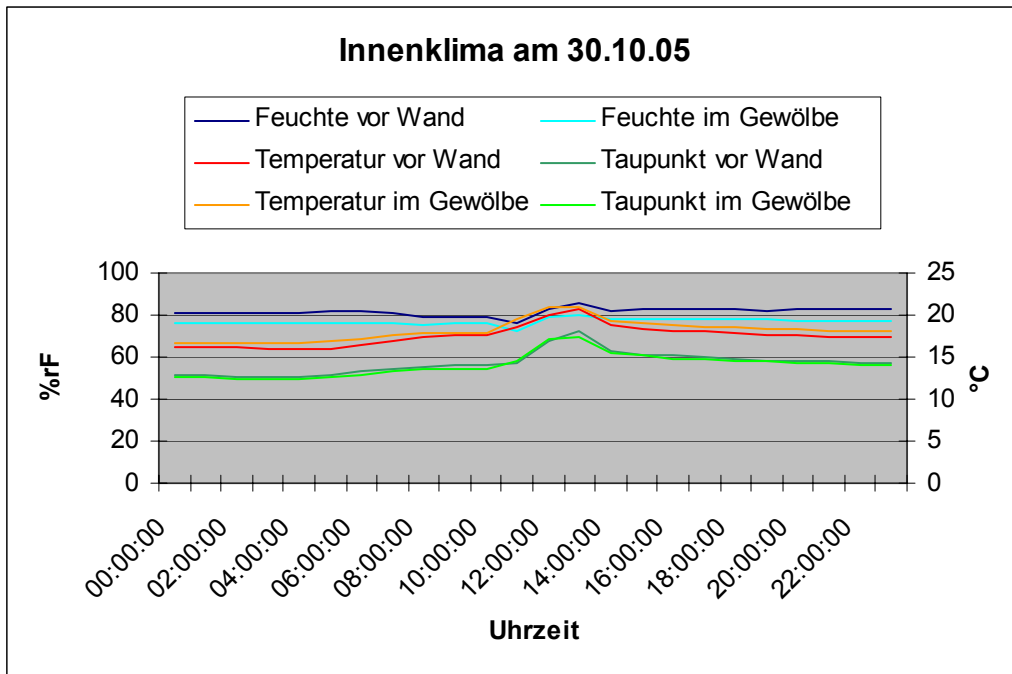


Abb. 31: Diagramm des Innenklimas am 30.10.05.

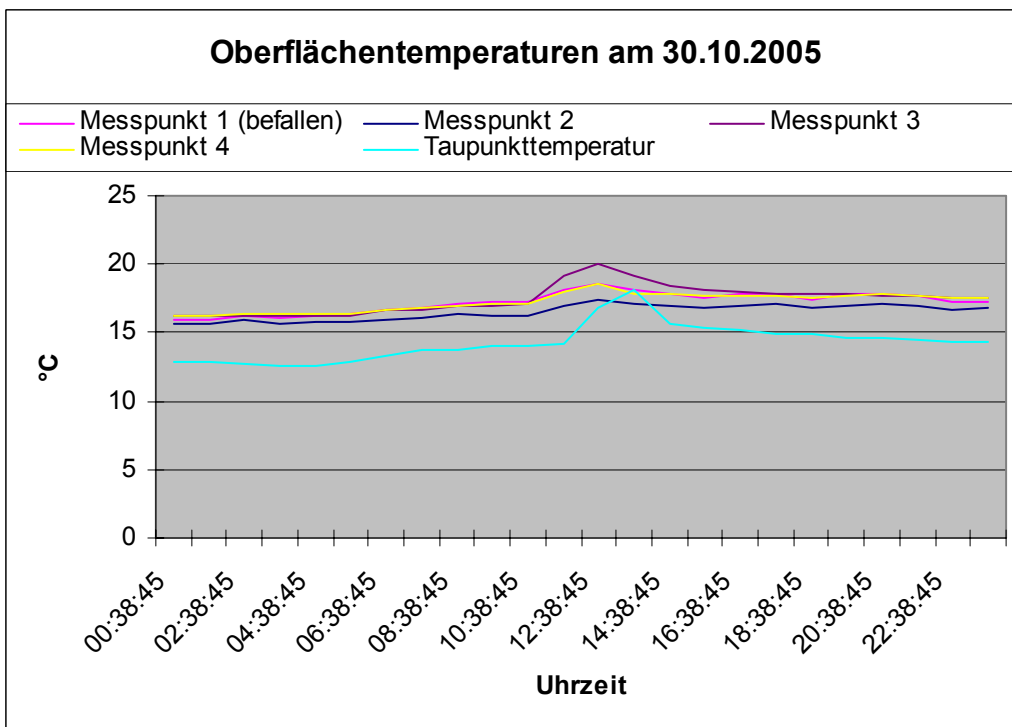


Abb. 32: Diagramm der Oberflächentemperaturen am 30.10.05.

3.3 Buxheim (Bayern-Schwaben)

Ehemaliges Kartäuserkloster

3.3.1 Objektbeschreibung¹⁰⁴

Ein Grundriss der Kirche liegt nicht vor.

Bei dem Kloster in Buxheim handelt es sich um eine ausgedehnte Anlage. Neben weltlichen Bauten gibt es eine Klosterkirche, zwei Kreuzgänge und eine kleine Pfarrkirche. Einem der beiden Kreuzgänge ist ein Bibliotheksbau angegliedert.

3.3.2 Bau- und Restaurierungsgeschichte

1234	Erstmalige Erwähnung eines Chorherrenstiftes
1402	Übergabe des Stiftes an die Kartäuser, Gründung eines Klosters
Frühes 18. Jh.	Überformung der Anlage
Unterlagen zur Restaurierungsgeschichte liegen nicht vor.	



Abb. 33: Verstärkter rosafarbener Befall auf Laufspuren von Kondenswasser. (Foto aus: Wörz 2000, S.33)

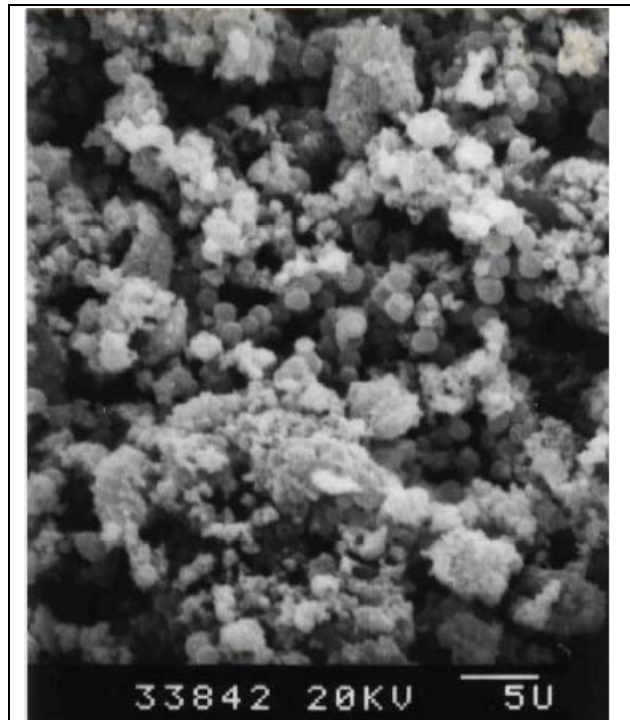


Abb. 34: REM-Aufnahme der rosafarbenen Besiedlung. (Foto Petersen, entnommen aus: Wörz 2000, S.59)

¹⁰⁴ Vgl. Dehio 1988, S.121ff.

3.3.3 Beschreibung des rosafarbenen Befalls¹⁰⁵

Auf den Wandflächen des Treppenaufganges zur Bibliothek befand sich im Jahr 2000 ein flächiger Befall von rosafarbenen Bakterien. Dieser reichte häufig vom Boden bis zur Decke. Besonders auffällig waren tropfen- und läuferförmige Beläge in den Bereichen um die Fenster. Auch auf den übrigen Wandflächen fanden sich immer wieder tropfenförmige Verstärkungen des Befalls, die auf Kondenswasserbildung hindeuteten.

3.3.4 Wachstumsbedingungen¹⁰⁶

Die Bakterien saßen auf einer weißen Kalktünche mit organischen Bestandteilen, die stratigraphisch gesehen die mittlere von drei Schichten darstellte. Weder die darunter liegende Kalkglätte, noch die darüber liegende (nur noch in Resten erhaltene) Schicht mit einem überwiegend organischen Bindemittel wiesen einen Befall auf. In der befallenen Schicht konnte als organischer Bestandteil eindeutig Glycerin nachgewiesen werden. Außerdem gab es eine schwach positive Reaktion auf Kohlenhydrate und Stickstoff. Es ist nicht auszuschließen, dass die organischen Bestandteile aus der darüberliegenden Emulsionsfarbe migriert sind.

Der pH-Wert der Wandoberfläche lag bei 9.

Die auf den Aufnahmen von Wörz erkennbaren Schäden der Oberfläche des Sockelbereiches weisen auf eine starke Belastung mit bauschädlichen Salzen hin. Die im Jahr 2000 angefertigten REM-Aufnahmen zeigten kristalline Strukturen, die ebenfalls auf Salze hindeuteten. In einer EDX-Analyse konnten die Elemente

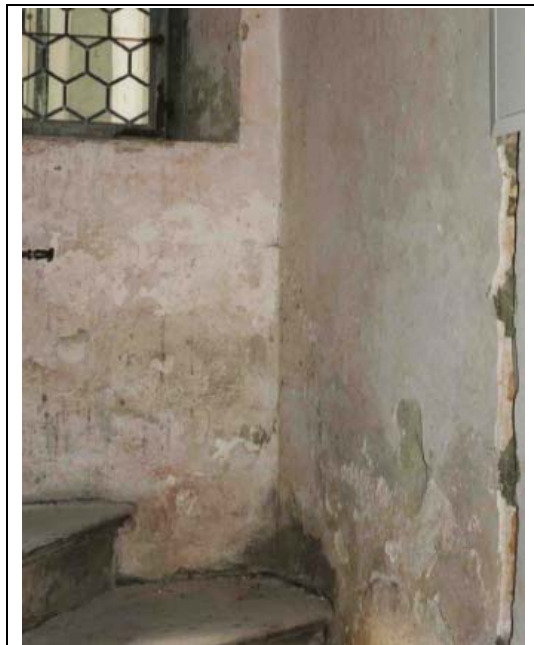


Abb. 35: Der Treppenaufgang zur Bibliothek. Deutlich erkennbar: Fehlstellen in der rezenten Schicht im fußbodennahen Bereich. (Foto aus: Wörz 2000, S.33)

Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Natrium, Magnesium, Silizium, Kalium, Calcium und Chlor nachgewiesen werden. Auf einer der drei untersuchten Proben konnte durch Überlagerung der Elemente Magnesiumphosphat nachgewiesen werden.

Das Treppenhaus war unbeheizt, die daneben liegende Bibliothek beheizt. Laut Wörz ist hier die Ursache für die häufige Kondenswasserbildung an den Wänden zu suchen.

¹⁰⁵ Vgl. Wörz 2000, S.32.

¹⁰⁶ Vgl. ebenda.

3.4 Eilsum (Niedersachsen)

Evangelisch-reformierte Kirche St. Petrus

3.4.1 Objektbeschreibung¹⁰⁷

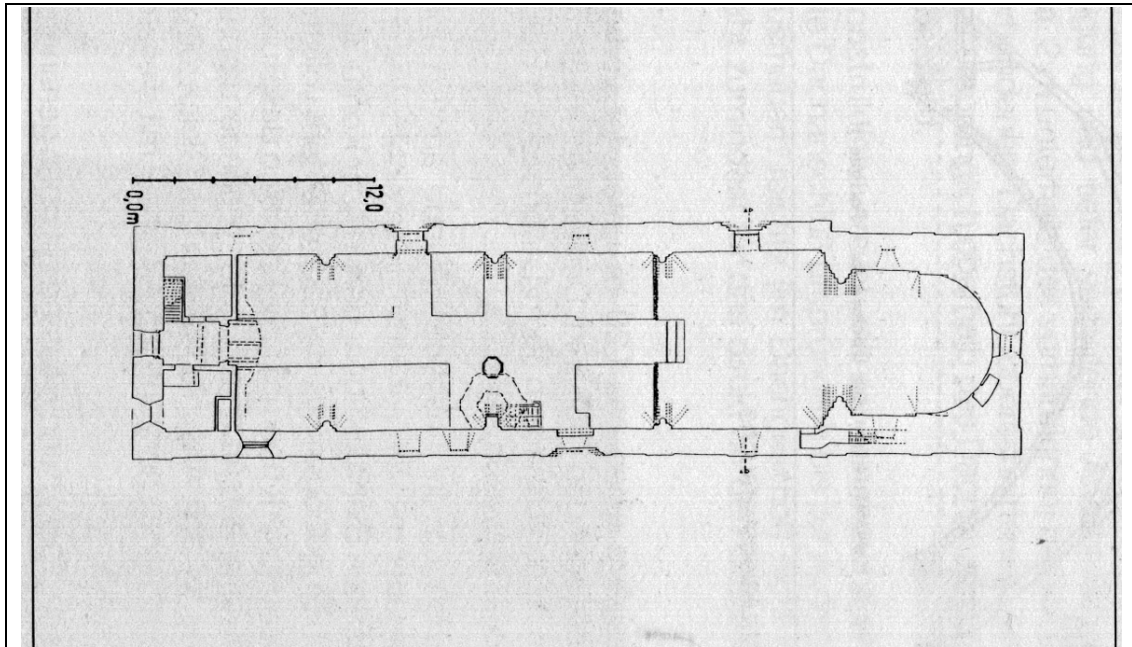


Abb. 36: Grundriss der Kirche (Zeichnung aus: Haupt et al., 1990, S.108)

Die spätromanische Saalkirche wurde von 1230 bis 1260 erbaut. Es handelt sich um einen Backsteinbau. Im Laufe des 13. Jahrhunderts wurde ein Chorturm errichtet und die vier quadratischen Joche des Langhauses eingewölbt. Ende des 13. Jahrhunderts wurde der Chor mit einer figürlichen Ausmalung versehen.

Der Bau ist heute einschließlich seiner Wandfassungen zu weiten Teilen erhalten. Die Wandmalereien des Chores und Langhauses wurden in den 1960er Jahren freigelegt.

¹⁰⁷ Vgl. Dehio 1992, S.425ff.

3.4.2 Bau- und Restaurierungsgeschichte¹⁰⁸

Anfang 13. Jahrhundert	Errichtung der Kirche
1803	Erneuerung des Westgiebels
1862/63	Brand, Erneuerung der Turmspitze
1934	Neueindeckung des Turmdaches
1956/58	Renovierung der gesamten Dächer
1960/61	Koksheizung eingebaut, Reparaturen am Außenmauerwerk, Neuanstrich des Innenraumes
1963	eine starke Durchfeuchtung der Kirche wird festgestellt
1964	Trockenlegung der Außenwände (Nordseite Walzbleifolie, Südseite Bitumenpappe.)
1965	Freilegung der Wandmalereien
1966	Tieferlegung östliches Langhausjoch, Umstellung auf Ölheizung, Einbau neuer Fenster
1967	Trockenlegung Mauerwerk Turm, neue Ziegel im Bodenbereich, Restaurierung der Wandmalereien
1970/73	Starke „Salpeterausblühungen“ an den Wänden. Abschluss der Restaurierungsmaßnahmen. Verwendete Mittel: „Vorfestigung mit Kaliwasserglas, Fixierung mit Keimfix, Festigung loser Schollen mit Mischung aus Ammoniumkasein und Acryldispersion, Injektionen mit Kieselsäureester und Leimverfüllungen aus Kasein in Marmorsumpfkalk mit Marmormehl und „Raschit“.“ ¹⁰⁹
1974	Einbau einer neuen Heizung
1976	Wassereinbruch durch das Dach. Starke Schäden an der Ausmalung des Langhauses und im Chor
1987	Weitere Schäden an den Wandmalereien
1992	Entwicklung eines Restaurierungskonzeptes für die Wandmalereien und den Kirchturm
1993	Restaurierung der Außenfassade

¹⁰⁸ Vgl. Schostak u.a. 1995, S.8ff.

¹⁰⁹ Schostak et al. 1995, S.9.

3.4.3 Beschreibung des rosafarbenen Befalls¹¹⁰

Im Bereich von Neuverputzungen einer Fensternische und Originalputzbereichen der Apsiskalotte weist die Kirche eine weitgehend geschlossene Besiedlung mit rosafarbenen Bakterien auf. Laut Schostak et al. treten die rosafarbenen Bakterien besonders stark in Bereichen auf, die einen direkten Kontakt zum Malereiträger haben und auf Bereichen die mit Kalkkasein behandelt worden sind.

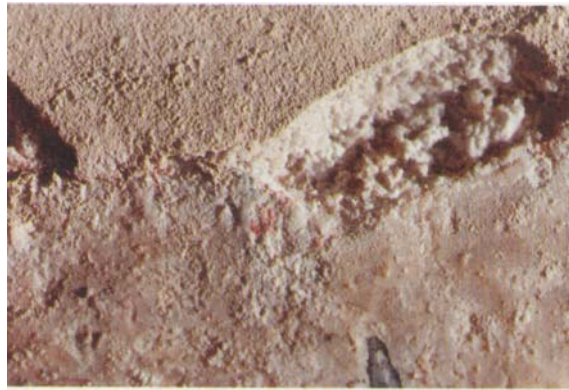


Abb. 38: Makroaufnahme des befallenen Bereiches. (Foto entnommen aus Petersen et al. 1991, S.119)

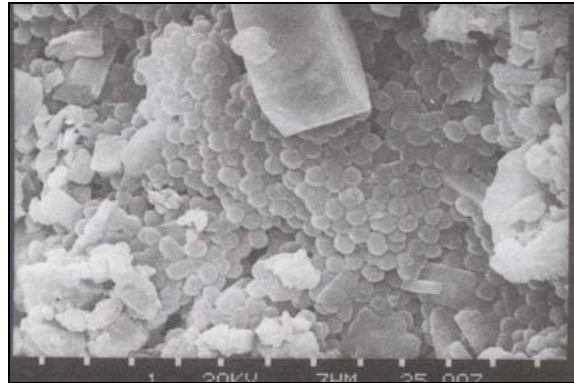


Abb. 37: REM-Aufnahme des Befalls. (Foto entnommen aus: Petersen et al. 1991, S.119)

3.4.4 Wachstumsbedingungen

Die Architekturoberfläche ist aus einem Kalkmörtel mit Kalkspatzen und Bruchstücken von Muschelkalk aufgebaut. Ob der Untergrund organischen Zusatz enthält, ist nicht bekannt. Bei Restaurierungsmaßnahmen 1967 wurde Kalkkasein und vereinzelt Kieselsäureester in die Wand eingebracht. 1973-76 wurde bei einer erneuten Restaurierung Kaliwasserglas, Keimfixierung, eine Mischung aus Ammoniak und Acryldispersion und Kieselsäureester mit Leimvorfüllung verwendet.¹¹¹ Die Neuverputzungen enthalten vermutlich Zement.¹¹²

In den rosafarbenen Bereichen gibt es zahlreiche Salzausblühungen in verschiedenen Formen. Hauptsächlich liegt hier Natriumcarbonat (als Natrit und Thermonatrit) Mirabilit, Thenardit und Gips vor.¹¹³ Als weitere Salze konnten identifiziert werden: Halit (NaCl), Nitronatrit (NaNO₃) und Synegit (K₂Ca(SO₄)₂ x H₂O).¹¹⁴

¹¹⁰ Vgl. Oltmanns, S.7, Schostak et al. 1995, S.14ff, Petersen et al. 1990, S.64.

¹¹¹ Vgl. Schostak et al. 1995, S.10 und Ohne Verfasser [b], 2005, S.3.

¹¹² Vgl. Bläuer 1990, S.114.

¹¹³ Vgl. Bläuer 1990; S.112.

¹¹⁴ Vgl. Schostak et al. 1995, S.25.

Das Klima im Innenraum war zwischen 1993 und 1995 von starken Schwankungen bestimmt. Es traten Lufttemperaturen zwischen -2°C und 18°C auf und relative Luftfeuchten zwischen 35 und 90%rF. Zurückzuführen sind diese Schwankungen auf einen starken Luftaustausch mit Außen und auf Heizphasen. Eine Unterschreitung des Taupunktes an den Wandflächen wurde im Messzeitraum nicht festgestellt. Die Temperaturen lagen teilweise jedoch so dicht am Taupunkt, dass die Gefahr von Kondenswasserbildung nicht ausgeschlossen werden kann. Die Oberflächenfeuchte lag regelmäßig sehr hoch¹¹⁵. Der hohe Feuchtegehalt des Baumaterials lässt sich auf zwei Faktoren zurückführen: bis 2 m über dem Boden auf kapillare Feuchte, ab 2m Höhe auf hygroskopische Feuchte. Die hygroskopische Feuchte ab 2m Höhe erklärt sich vermutlich durch einen nach oben steigenden Gehalt von Chlorid- und Nitrat-Ionen.¹¹⁶

Im Rahmen einer baulichen Maßnahme wurde die Apsis für einige Wochen mit einer staubdichten Wand abgetrennt. In diesen drei Wochen der unterbrochenen Luftzirkulation erhöhte sich die Feuchtigkeit der Wandoberflächen drastisch. Das Wachstum der Bakterien verstärkte sich in dieser Zeit extrem.¹¹⁷

¹¹⁵ Vgl. Schostak et al. 1995, S.20ff.

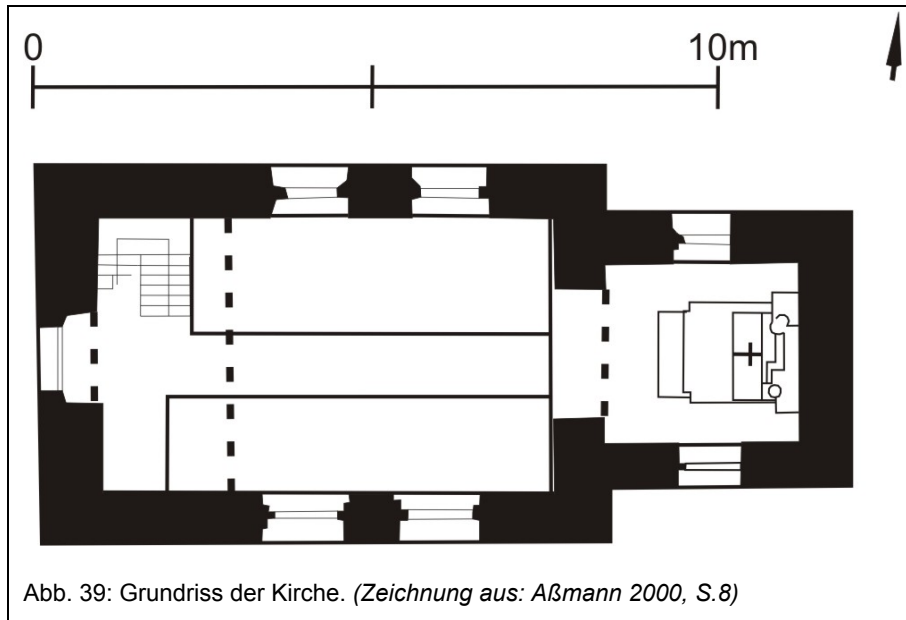
¹¹⁶ Vgl. Schostak et al. 1995, S.27ff.

¹¹⁷ Vgl. Schostak et al. 1995, S.64.

3.5 Filzingen (Bayern)

Katholische Ferialkirche St. Martin

3.5.1 Objektbeschreibung¹¹⁸



Die katholische Ferialkirche St. Martin wurde um 1200 als Chorturmkirche mit einschiffigem Langhaus und eingezogenem, fast quadratischen Chor erbaut. Die erste Ausmalung der Kirche erfolgte um 1200, die zweite im 16. Jahrhundert.

Im 18. Jahrhundert kam es zur Neugestaltung der Kirche: eine Empore und eine Stuckdecke wurden eingezogen, die Wandmalereien des 13. und 16. Jahrhunderts überputzt. Die Stuckdecke wurde in den 1950er Jahren wieder entfernt und durch eine Holzdecke ersetzt. 1907 wurden die Malereien des 16. Jahrhunderts bei baulichen Maßnahmen wieder entdeckt und freigelegt.

¹¹⁸ Vgl. Dehio 1989, S.319ff und Aßmann 2000, S.7ff.

3.5.2 Bau- und Restaurierungsgeschichte¹¹⁹

1200	Bau der Kirche, erste Ausmalung.
1594	Bauliche Umgestaltung des Turmes; Neuausmalung des Innenraumes.
17./18. Jahrhundert	Einbau der Empore und einer Stuckdecke; Überputzung der Wände.
1907/08	Wiederentdeckung und Freilegung der Malereien, dabei sehr zurückhaltende Maßnahmen, nur größere Löcher mit Kalkmörtel gekittet.
1957	Restaurierungsmaßnahmen: Entfernung des Putzes im Sockelbereich, Innen und Außen; Neuverputz des Sockelbereiches innen und außen mit Zementmörtel; Reinigung der Malereien mit Schwarzbrot; Kittung von Fehlstellen mit Kalkgipsputz; Austausch der Stuckdecke gegen eine Holzdecke, Lasierung der Hintergrundbereiche der Malerei mit einer Kalktünche. In welcher Technik der Anstrich der Sockelbereiche innen und außen durchgeführt wurde ist nicht bekannt. Es gibt jedoch einen Kostenvoranschlag für einen Anstrich in Keim-Farben-Technik.
1998	Entfernung des Zementmörtels im Außenbereich, Neuverputzung mit Kalkmörtel. Verlegung einer Drainage; Freilegung der Langhausnordwand bis in Sockelhöhe.
2000	Entfernung der zementhaltigen Putze im Sockelbereich des Kircheninnenraumes.

¹¹⁹ Vgl. Aßmann 2000, S.22ff.

3.5.3 Beschreibung des rosafarbenen Befalls¹²⁰

Sämtliche Wandflächen des Kirchenraumes sowie das Chorgewölbe wiesen bei der Untersuchung im Jahre 2000 einen flächigen rosafarbenen Befall auf. Dieser Belag gliederte sich in Bereiche von unterschiedlicher starker Farbintensität. Zwar fand sich der Befall auch auf farbigen Bereichen der Wandmalereien, besonders auffällig war er jedoch auf weißen Flächen. Hierbei handelte es sich um Übertünchungen von 1957 und jünger. Die Intensität des Befalls steigerte sich vom Winter zum Frühjahr hin. Er verstärkte sich nach Beendigung der Maßnahmen im Außenbereich (Trockenlegung der Wände durch Entfernen der zementhaltigen Putze, Freilegung der Wände vom Erdreich und Verlegung einer Drainage). Es handelte sich um einen dicken Bakterienrasen aus kokkalen Zellen mit einem Durchmesser von $\frac{1}{2}$ bis 1μ . Sie lagen nicht in einem Biofilm, sondern in Aggregaten aus mehreren Zellen locker auf.



Abb. 41: Befallener Bereich der Wandmalerei. (Foto aus: Aßmann 2000, S.37)

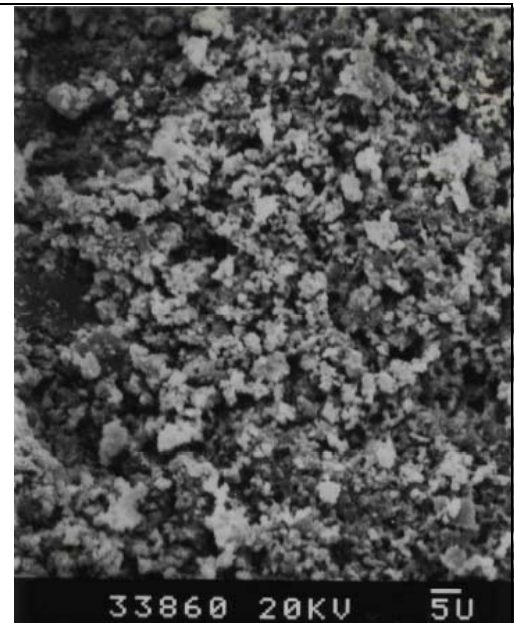


Abb. 40: REM-Aufnahme des Befalls. (Foto Petersen, entnommen aus Wörz 2000, S.62)

¹²⁰ Vgl. Wörz 2000, S.45ff und Aßmann 2000, S.54ff.

3.5.4 Wachstumsbedingungen¹²¹

Die Bakterien wuchsen auf einer Kalkmalerei von 1594 und einer Kalktünche von 1957. Die Untersuchung der Malschicht zeigte deutlich, dass neben dem Hauptbindemittel Kalk noch ein weiterer geringer Bindemittelbestandteil vorhanden war. Erste Untersuchungen deuteten auf Protein hin, für eine Identifizierung war die Materialprobe jedoch zu gering.

Auf der gesamten Malerei lag ein Schleier aus Calciumcarbonat. Ausblühungen von bauschädlichen Salzen waren nur in einem sehr begrenzten Bereich der Chornordwand zu sehen. An dieser Stelle wurde während einer früheren Maßnahme eine Ausbesserung aus Zementmörtel entfernt.

Das ausgeblühte Salz (Bereich ohne rosafarbene Bakterien) wurde als Natriumsulfat identifiziert, in der Wand fanden sich neben Natrium und Sulfat: Calcium, Magnesium, Chlorid und Nitrat. Laut Jägers sind die zu erwartenden Salze Magnesium- und Calciumsulfat.¹²² Die Carbonat-Ionen wurden in der Analyse nicht bestimmt, so dass ein gehäuftes Vorkommen nicht auszuschließen ist.

Die Kirche wies vor einer Sanierung, bzw. Restaurierung von 1998 sehr hohe relative Luftfeuchten mit Werten bis zu 98%, mit dazugehörigen Kondensationserscheinungen auf. Die Oberflächentemperaturen der Wände lagen im Winter häufig unter 0°C. In den Sommermonaten wurden große Schwankungen des Raumklimas mit Taupunktunterschreitungen nachgewiesen. Nach der Grundsanierung des Außenbereichs sank die relative Luftfeuchte des Innenbereiches von 98% auf 85%. Die Raumtemperatur blieb weitestgehend gleich. Das Klima stabilisierte sich, Taupunktunterschreitungen kamen nur noch selten vor.

¹²¹ Vgl. Aßmann 2000.

¹²² Vgl. Aßmann 2000, S. A5-3.

3.6 Idensen (Niedersachsen)

Evangelische Sigwardskirche oder Alte Kirche

3.6.1 Objektbeschreibung¹²³

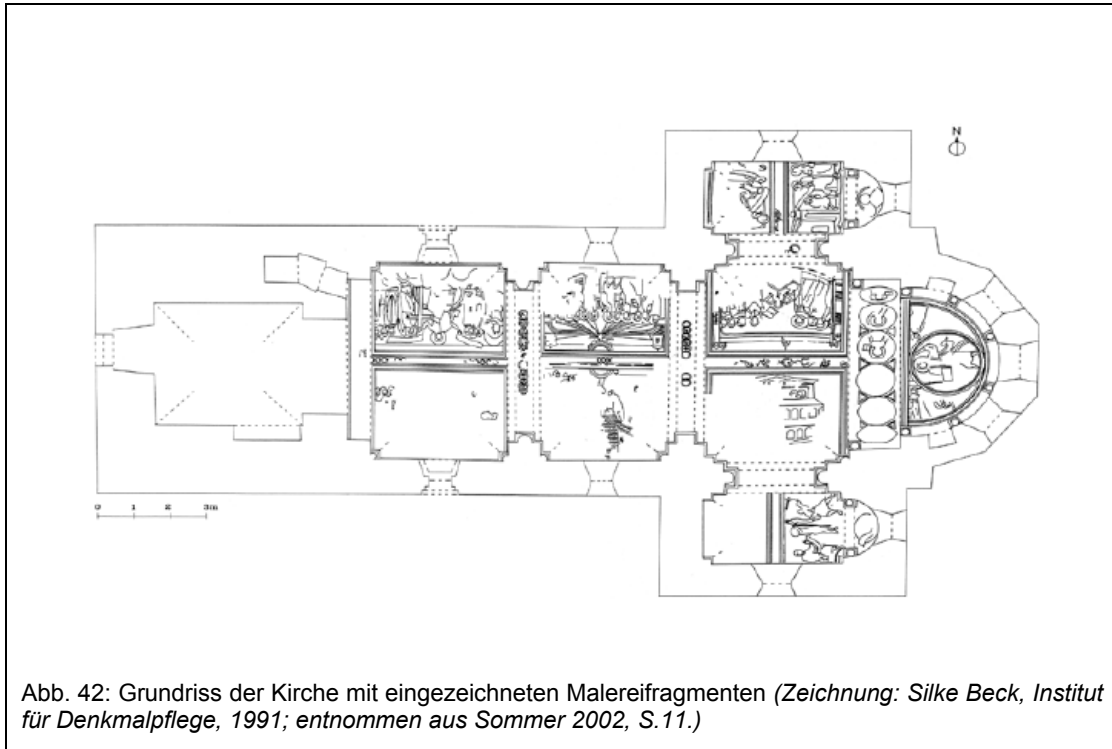


Abb. 42: Grundriss der Kirche mit eingezeichneten Malereifragmenten (Zeichnung: Silke Beck, Institut für Denkmalpflege, 1991; entnommen aus Sommer 2002, S.11.)

Die ursprünglich der heiligen Ursula und den 1100 Jungfrauen geweihte Kirche wurde zwischen 1120 und 1129 gebaut. Das Äußere der Kirche ist schlicht gehalten. Das Innere des Langhauses und der zwei Geschosse des Westturmes ist von segelartigen Gewölben überspannt, einer Mischform aus Kreuzgewölbe und böhmischer Kappe. Das Chorjoch weist ein Tonnengewölbe auf. Vom Chorjoch gehen nach Norden und Süden zwei Kapellen ab. Die nördliche dieser beiden Kapellen ist dem Apostel Petrus gewidmet, die Malereien der südlichen Kapelle deuten auf Szenen aus der Paulus–Vita hin.

Heute sind diese Malereien nur noch teilweise und in stark gedünnter Form erhalten.

¹²³ Vgl. Dehio 1992, S.772ff.

3.6.2 Bau- und Restaurierungsgeschichte¹²⁴

Zw. 1120 und 1129	Bau der Kirche
1130	Erste Ausmalung
1398	Ausstattung der Kirche mit vier Altären und Wandmalereien.
15. Jahrhundert	Erste Reparaturmaßnahmen
Anfang 16. Jahrhundert	Übertünchung der Malereien
17. Jahrhundert	größere Baumaßnahmen
19. Jahrhundert	Vergrößerung der Apsisfenster, Anbau einer Sakristei, Freilegung der Malereien im Nordquerhaus, Neuausmalung der restlichen Raumschale
1927-35	Umfassende Restaurierung, Freilegung und Festigung der Malereien
1950er Jahre	Instandsetzungsmaßnahmen (Abklopfen des alten „fauligen“ Putzes), Bau eines Drainagesystems
1960er Jahre	Restaurierung der Malereien. Dabei Hinterfüllung von Verputzhohlstellen und Blasen mit Kalkkasein, Verschließen von Rissen, Festigung von mürbem Putz mit Kaliwasserglas (Keim-Fixativ) und Acryl (Barol?). Abbürsten von Salzausblühungen und Behandlung mit Kieselfluorwasserstoffsäure (Fluate, Zerlanin, Olafirn, Kiesin?).
1976	Neuverputzung des Sockels im Innenbereich
Seit 1980er Jahre	Gründliche Untersuchungen, Notsicherungen und Dokumentationen des Bestandes
2002	Dämmung des Gewölbes
2003	Einbau einer Anlage zur Regulierung des Innenklimas

¹²⁴ Vgl. Sommer 2002, S.18ff.

3.6.3 Beschreibung des rosafarbenen Befalls

Bereits 1993, wurde in den Sockelbereichen der Petruskapelle ein massiver Befall mit rosafarbenen Bakterien festgestellt. Anhand der Rasterelektronenmikroskopie konnte der Befall als teilungsaktive Zellen identifiziert werden.¹²⁵ Heute liegt der Belag flächig auf den Neuputzbereichen auf und verstärkt sich in Form von Kondenswasserläufern unter den nördlichen Fenstern und in Tropfenform auf der westlichen Säule. In der Fläche ist er sehr regelmäßig, die verstärkten Bereiche weisen eine leicht unruhige Farbigkeit auf.¹²⁶

In einem Bereich konnte neben und um die Bakterien eine Besiedelung mit Pilzen festgestellt werden. Bei einer Inkubation einer Probe bei erhöhter Luftfeuchtigkeit kam es bereits nach 72 Stunden zu einem so starken Wachstum der Pilzhyphen, das die Bakterien nicht mehr zu erkennen waren.¹²⁷



Abb. 44: Rosafarbener Befall an der westlichen Säule der Petruskapelle. (Foto aus: Granek und Leupold 2004, S.154)

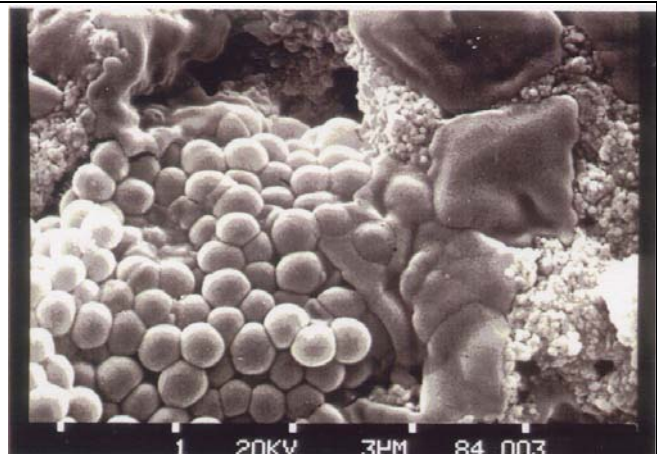


Abb. 43: REM-Aufnahme des Befalls. (Foto aus: Petersen 1993a, Tafel 1)

¹²⁵ Vgl. Petersen 1993a, S. 5.

¹²⁶ Vgl. Granek und Leupold 2004, S.154ff.

¹²⁷ Vgl. Petersen 1993a, S.5.

3.6.4 Wachstumsbedingungen

Die Sockelbereiche der Petruskapelle auf denen sich der Befall findet, weisen zum Teil zementhaltige, zum Teil reine Kalkputze auf.¹²⁸ Die Wandflächen sind mit einer weißen Tünche überzogen. Untersuchungen zur Zusammensetzung der Tünche liegen nicht vor. Die Analyse des Neuputzes ergab vor allem Quarz, Calcit und Feldspat. Im Rahmen der Untersuchungskampagne 1989 wurde aus dem Sockelbereich der Petruskapelle eine Probe des Neu- und des Altputzes entnommen und eine vergleichende Mörtel- und Salzanalyse durchgeführt. Die Zusammensetzung der Putze war im Wesentlichen gleich, der entscheidende Unterschied lag in einem sehr viel geringeren Sulfatgehalt des Neuputzes.¹²⁹ Die Beschreibung der genauen Entnahmestelle dieser Proben (Id59 und Id157) weicht in den verschiedenen Berichten voneinander ab,¹³⁰ so dass diese Ergebnisse kritisch betrachtet werden müssen.

Die Bausubstanz der Kirche weist eine starke Belastung mit bauschädlichen Salzen auf. Zu 90% wurden diese Salze als Gips identifiziert, darüber hinaus waren Chloride, Nitratverbindungen und Natriumverbindungen (Thenardit) vorhanden¹³¹. Bei Rösch et al. wurden als Ionen des Neuputzes Kalium, Natrium, Magnesium, Calcium, Sulfat, Nitrat und Chlor angegeben. Der pH-Wert des wässrigen Auszugs lag bei 9,3, Carbonat-Ionen wurden nicht bestimmt.¹³² Bei Petersen wurden in einer Probe aus einem befallenen Bereich Natrium-, Calcium-, Sulfat-, Nitrat-, und Chlor-Ionen nachgewiesen.¹³³

Das Innenklima der Kirche war lange Zeit sehr problematisch. Es schwankte in der Temperatur zwischen 23 und -6°C und in der relativen Luftfeuchte zwischen 45 und 93% rF. Die Oberflächentemperaturen der Wände lagen meist deutlich unter der Raumtemperatur, so dass es dort vermutlich zu Taupunktunterschreitungen kam¹³⁴. 2003 wurde eine Anlage zur Regulierung des Innenklimas eingebaut, die für eine Stabilisierung sorgen soll. Die Luftfeuchtigkeit soll fortan nicht mehr über 75%rF steigen¹³⁵. Welchen Einfluss diese Klimatisierung auf den rosafarbenen Befall hat, ist noch nicht endgültig geklärt. Bei einem von der HAWK durchgeführten Monitoring 2004 wurde eine stark erhöhte Aktivität in rosaverfärbten Bereichen gemessen¹³⁶.

¹²⁸ Vgl. Sommer 2002, S.36.

¹²⁹ Vgl. Petersen 1993b.

¹³⁰ Vgl. Petersen 1993b Anhang 1 und Rösch et al.1990, S.34ff.

¹³¹ Vgl. Sommer 2002, S.65.

¹³² Vgl. Rösch et al 1990, S.8.

¹³³ Vgl. Petersen 1993b, Tab. II/2.

¹³⁴ Vgl. Sommer 2002, S.67.

¹³⁵ Vgl. Berling 2003.

¹³⁶ Vgl. Granek und Leupold 2004, S.155ff.

3.7 Luckau (Brandenburg)

Nikolaikirche

3.7.1 Objektbeschreibung¹³⁷

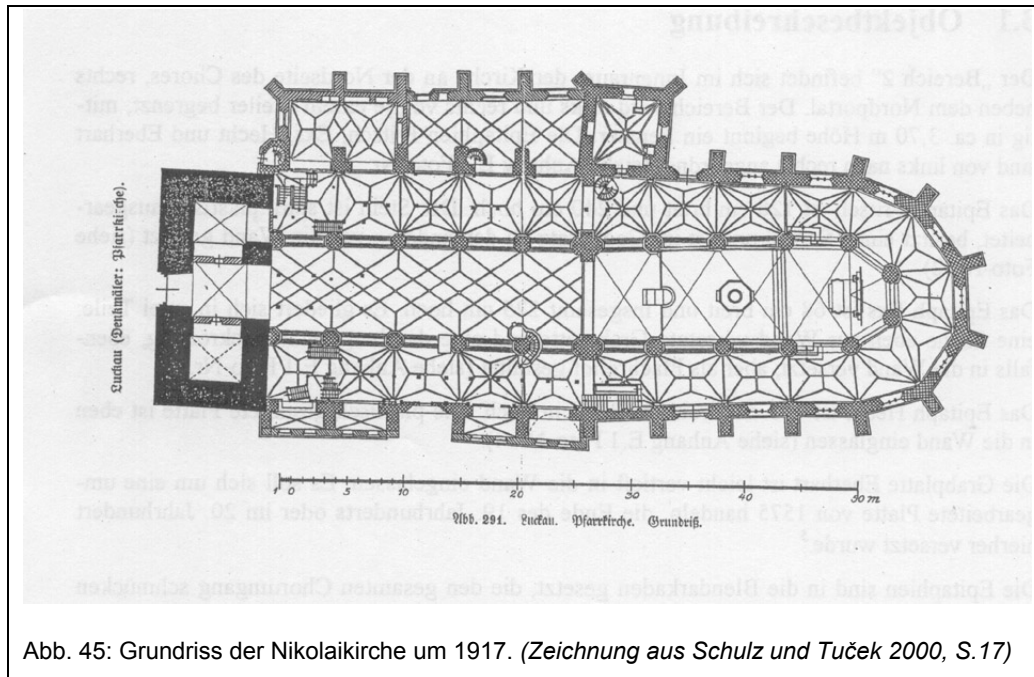


Abb. 45: Grundriss der Nikolaikirche um 1917. (Zeichnung aus Schulz und Tuček 2000, S.17)

Bei der St. Nikolaikirche in Luckau handelt es sich um eine dreischiffige Hallenkirche aus Backstein mit neun Jochen. Der Umgangschor ist fünfseitig geschlossen. Das Westwerk weist zwei Türme auf.

Das Langhaus wird gegliedert durch hohe Strebepfeiler und dreibahnige Spitzbogenfenster.

Die Längsseiten weisen hölzerne, sehr unterschiedlich gestaltete Logen und Emporen auf.

An der Nordseite der Kirche befinden sich zwei große Kapellen und die Sakristei, auf der Südseite vier kleine, sehr niedrige Kapellen mit flachbogigen Fenstern.

An den Wänden der Kirche finden sich zahlreiche Epitaphien reicher Patrizierfamilien.

Zwischen diesen Epitaphien sind immer wieder Wandmalereifragmente erkennbar.

¹³⁷ Vgl. Sievers 2002, S.80.

3.7.2 Bau- und Restaurierungsgeschichte

Um 1200 ¹³⁸	älteste Luckauer Steinkirche
2. Hälfte 13. Jh. ¹³⁹	Vergrößerung des Baus
14. Jahrhundert ¹⁴⁰	Altes Langhaus entfernt, Anbau einer dreischiffigen Kirche mit fünf Jochen an den alten Westbau
14. Jahrhundert ¹⁴¹	Dritter Bauabschnitt. Bau des Hallenchores
15. Jahrhundert ¹⁴²	Bau des Westgiebels, des Satteldaches, der Marienkapelle und der Sakristei
17. Jahrhundert ¹⁴³ :	Umfassende Zerstörung bei Großbrand. Wiederaufbau mit durchgängiger Barockisierung. In den darauf folgenden hundert Jahren erfolgte der Einbau diverser Epitaphien
Um 1777 ¹⁴⁴	Veränderungen und/oder Renovierung
Um 1895 ¹⁴⁵	Veränderungen und/oder Renovierung
1948–51 ¹⁴⁶	Verstärkung des Chorfundamentes mit Beton, Neuverputzung im Sockelbereich des Chorumganges (zementhaltige Putze?)
1955 ¹⁴⁷	Umbau der Marienkapelle zur Winterkirche
2000 ¹⁴⁸	Entfernen des befallenen und salzbelasteten Putzes im Sockelbereich. Aufbringen eines Kalkputzes als Opferputz

¹³⁸ Vgl. Schulz und Tuček 2000, S.2.

¹³⁹ Ebenda.

¹⁴⁰ Vgl. Schulz und Tuček 2000, S.3.

¹⁴¹ Vgl. Thiele und de Maizière 1998, S.1.

¹⁴² Vgl. Schulz und Tuček 2000, S.5.

¹⁴³ Vgl. Raue 1999, Kartierung und Fischer et al. 2000, S.6.

¹⁴⁴ Fischer et al. 2000, S.6.

¹⁴⁵ Ebenda.

¹⁴⁶ Ebenda.

¹⁴⁷ Vgl. Sievers 2002, S.81.

¹⁴⁸ Vgl. Arnold 2004, S.24.

3.7.3 Beschreibung des rosafarbenen Befalls

Bereits 1998 wurde in einer Untersuchung des Sockelbereichs des nördlichen Chorumgangs eine: „...leicht rosafarben schimmernde Oberfläche...“¹⁴⁹ festgestellt.

2005 waren rosa verfärbte Bereiche in der Sockelzone des nördlichen Chorumgangs, an der Wand auf ca.1,70-1,80m Höhe, links des Epitaphs Fritsch (2.1) und in Eckbereichen der Sakristei, vor allem an der Ostwand, festzustellen. Die Bakterien lagen in fußbodennahen und Eckbereichen vor. Betroffene Stellen gab es vor allem dort, wo es zwar Licht, aber keine direkte Sonneneinstrahlung gab.

Die befallenen Flächen hatten eine gleichmäßige Färbung und wiesen klare Grenzen zu den unbefallenen Bereichen auf.



Abb. 46: Die Nordwand des Chorumgangs. Der Befall findet sich vor allem im fußbodennahen Bereich unter den Epitaphien.



Abb. 47: Befallener Bereich links des Epitaphs Fritsch. Hier befindet sich der einzige höher angesiedelte Befall in knapp 2m Höhe. Auch hier gibt es keine direkte Sonneneinstrahlung.

¹⁴⁹ Thiele und de Maizière 1998, S.1.

3.7.4 Durchgeführte Analysen

Zur Untersuchung der Zusammensetzung von Putz und Tünche sowie der Belastung mit bauschädlichen Salzen wurden vier Materialproben entnommen und mit den an der HAWK gegebenen Möglichkeiten analysiert. Um denkbare Unterschiede nachweisen zu können, stammten die Proben sowohl aus befallenen als auch aus unbefallenen Putzbereichen. Zunächst wurde von allen vier Proben ein Anschliff angefertigt, um die Anzahl und Abfolge der Malschichten beurteilen zu können.

Die Proben aus den befallenen Bereichen wiesen alle einen gelblichen Putz mit einem relativ hohen Zuschlag an Quarzkörnern auf. Darauf lagen ein bis zwei Schichten einer weißen Tünche, ohne erkennbare Zuschläge. Im unbefallenen Bereich dagegen lagen auf dem Putz bis zu fünf weiße Tüncheschichten. Eine dieser Schichten wies deutlich Einlagerungen eines blauen Pigmentes auf.

Es ist zu vermuten, dass in den unbefallenen Bereichen noch die Putzschichten von vor 2004 erhalten geblieben sind, während es sich in den befallenen Flächen um Neuputz handelt.

Das Hauptbindemittel scheint in allen Proben und Schichten Kalk zu sein.

Der mikro- und histochemische Nachweis organischer Bestandteile ließ in den befallenen Bereichen trocknende Öle und Kohlenhydrate erkennen. Bei den unbefallenen Materialproben konnten mikrochemisch zwar ebenfalls Kohlenhydrate und trocknende Öle nachgewiesen werden, histochemisch ließ sich dies jedoch nicht bestätigen.

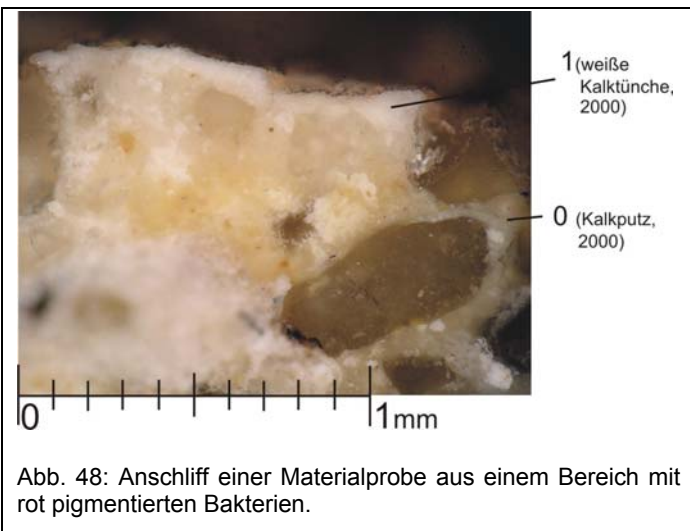


Abb. 48: Anschliff einer Materialprobe aus einem Bereich mit rot pigmentierten Bakterien.

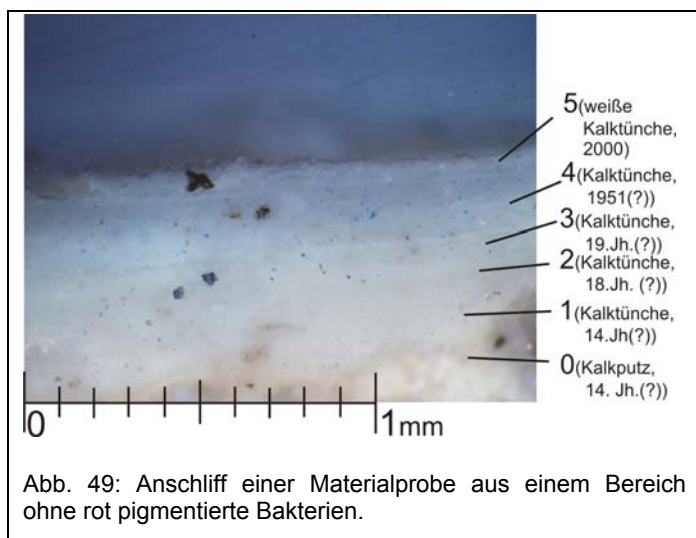


Abb. 49: Anschliff einer Materialprobe aus einem Bereich ohne rot pigmentierte Bakterien.

Zur Analyse möglicher bauschädlicher Salze, wurde zunächst von allen Proben ein wässriger Auszug erstellt. Dieser wurde anschließend am Polarisationsmikroskop und mikrochemisch untersucht.

Nach mündlicher Auskunft der zuständigen Restauratorin wurden die überall vorhandenen nadeligen Salzausblühungen kurz vor dem Ortstermin entfernt. In einem Eckbereich der Sakristei konnten dennoch lange, miteinander verfilzte Salznadeln entdeckt werden. Die Nadeln fielen auf dem Transport ins Labor völlig in sich zusammen. Übrig blieb nur ein sehr feines weißes Pulver. Es ist zu vermuten, dass durch das sehr viel trockenere Klima während des Transportes ein Phasenwechsel des Salzes stattgefunden hatte. Da eine mikroskopische Analyse des Pulvers nicht möglich war, wurde auch hier ein wässriger Auszug erstellt.

Alle Materialproben bildeten in der Rekristallisation Thermonatrit ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) und Nahcolit (NaHCO_3) sowie Thenardit ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) aus. In den Proben aus den befallenen Bereichen überwogen die Thermonatrit bzw. Nahcolit-Kristalle während in den unbefallenen Putz- und Tünchsichten vor allem Thenardit vorlag. Die Rekristallisation der Salzausblühung ließ sich eindeutig als Thenardit identifizieren. Bezieht man das feuchte Klima am Objekt und den beobachteten Phasenwechsel des Salzes mit ein, lag am Objekt vermutlich Mirabilit ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) vor.



Abb. 50: Nadeliger Salzrasen in einem Eckbereich der Sakristei.

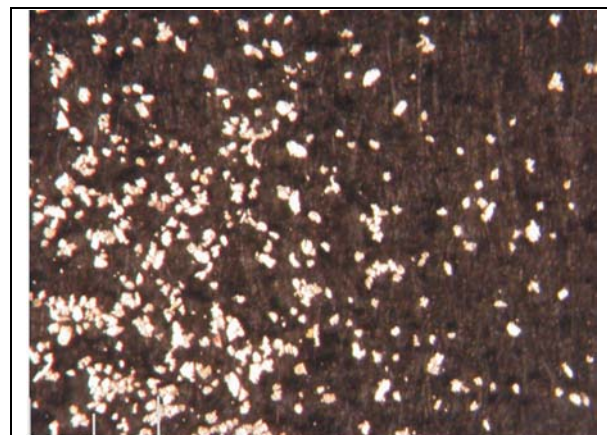


Abb. 51: Zusammengefallene Salzausblühung.

3.7.5 Wachstumsbedingungen

Der Befall mit rosafarbenen Bakterien befindet sich auf Neuputzbereichen. An diesen Stellen wurde im Jahre 2000 der damalige (ebenfalls jüngere Putz) entfernt und durch den jetzigen ersetzt. Dieser Neuputz ist mit einer weißen Kalktünche gefasst. Beim Nachweis von organischen Bestandteilen an den verschiedenen Proben ließen sich sowohl positive Reaktionen auf trocknende Öle als auch auf Kohlenhydrate beobachten. Proteinische Bestandteile konnten nur in einer Probe nachgewiesen werden. Ein organischer Bestandteil einer befallenen Tünche in Luckau konnte bereits 2000 von Fischer et al. nachgewiesen werden.¹⁵⁰ Hier wurde Kalkkasein als Bindemittel vermutet. Übereinstimmende Ergebnisse der durchgeführten Analysen, die eine klare Bestimmung der Beimengung erlaubt hätten, konnten nicht erreicht werden. An dieser Stelle wären weitere Untersuchungen wünschenswert.

Der Sockelbereich des nördlichen Chorunganges wies bereits 1998 Salzausblühungen auf. Es handelte sich hierbei um Nahcolit. Man dokumentierte an dieser Stelle zwei Putzergänzungen aus Zement.¹⁵¹ 2000 wurden als ausblühende Salze Natriumhydrogencarbonat, Natrium-Kalium-Sulfat, Kaliumnitrat und Kaliumchlorat, sowie Calciumcarbonat und Natriumsulfat nachgewiesen.¹⁵² Arnold bestätigte 2004 Natriumsulfat als ausblühendes, leicht lösliches Salz und führte außerdem noch Kaliumsulfat, Natriumnitrat, Kaliumnitrat und Calciumnitrat an.¹⁵³ Demselben Bericht ist zu entnehmen, dass sich die Salze im Chor 1998 vor allem in den oberflächennahen Bereichen konzentrierten, während sich die größte Feuchte am Kern des Mauerwerkes befand. 2003 stellte sich die Situation erheblich anders dar: In den unteren Wandbereichen (75cm Höhe) lagen die meisten Salze zwar immer noch im oberflächennahen Bereich vor, der Gehalt war insgesamt jedoch stark zurückgegangen (Siehe Abbildung 52). Die Feuchtigkeit dagegen konzentrierte sich nun stark an der Oberfläche¹⁵⁴. Der erreichte Wert lag über denen, die 1998 in der Tiefe der Mauer vorlagen.

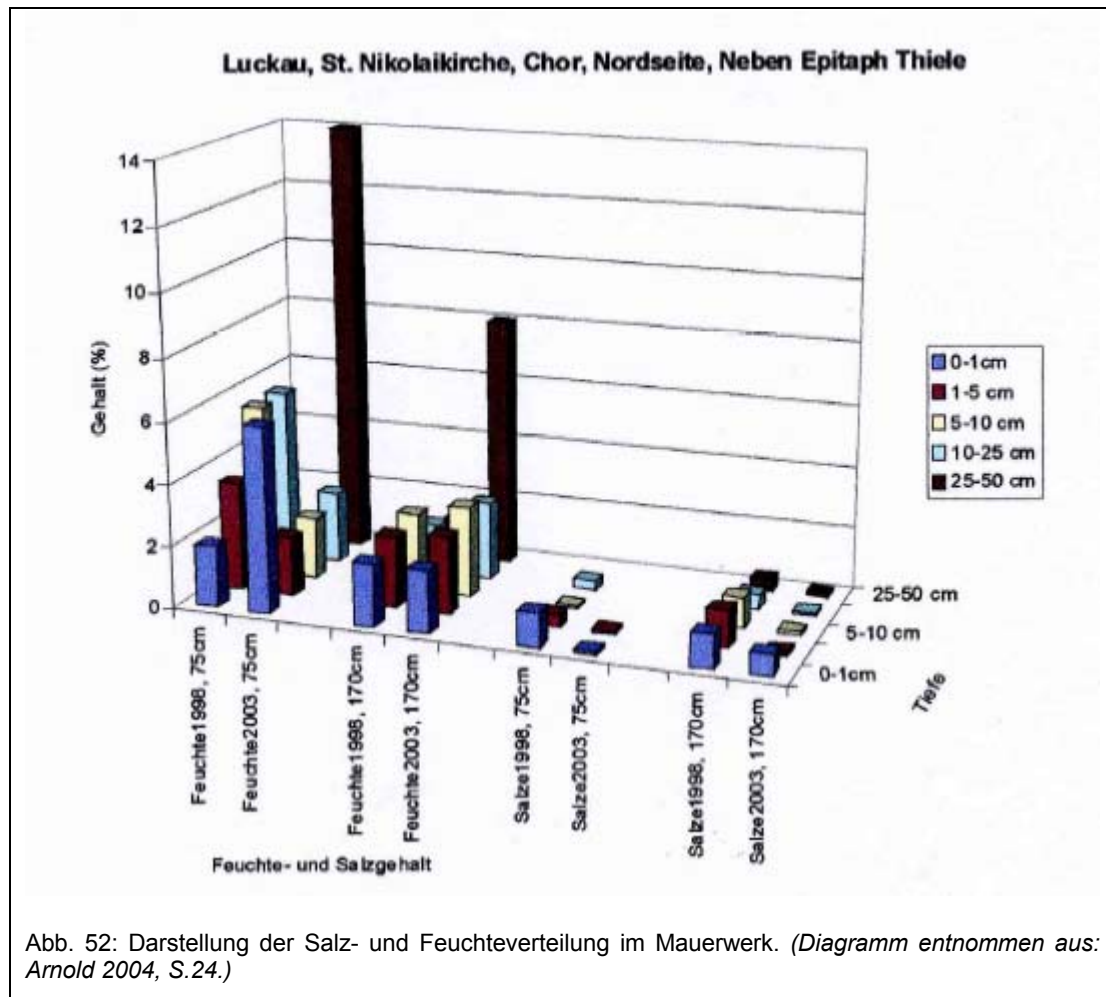
¹⁵⁰ Vgl. Fischer et al. 2000, S.47.

¹⁵¹ Vgl. Thiele und de Maizière 1998, S.2.

¹⁵² Vgl. Fischer et al. 2000, S.2ff.

¹⁵³ Vgl. Arnold 2004, S.24ff.

¹⁵⁴ Auf den sprunghaften Anstieg der Feuchtigkeit bei ca. 50cm Mauertiefe wird hier nicht eingegangen, da zum einen keine Vergleichswerte von 1998 vorliegen und zum anderen nicht ausgeschlossen werden kann, dass hier ein Materialwechsel vorliegt.

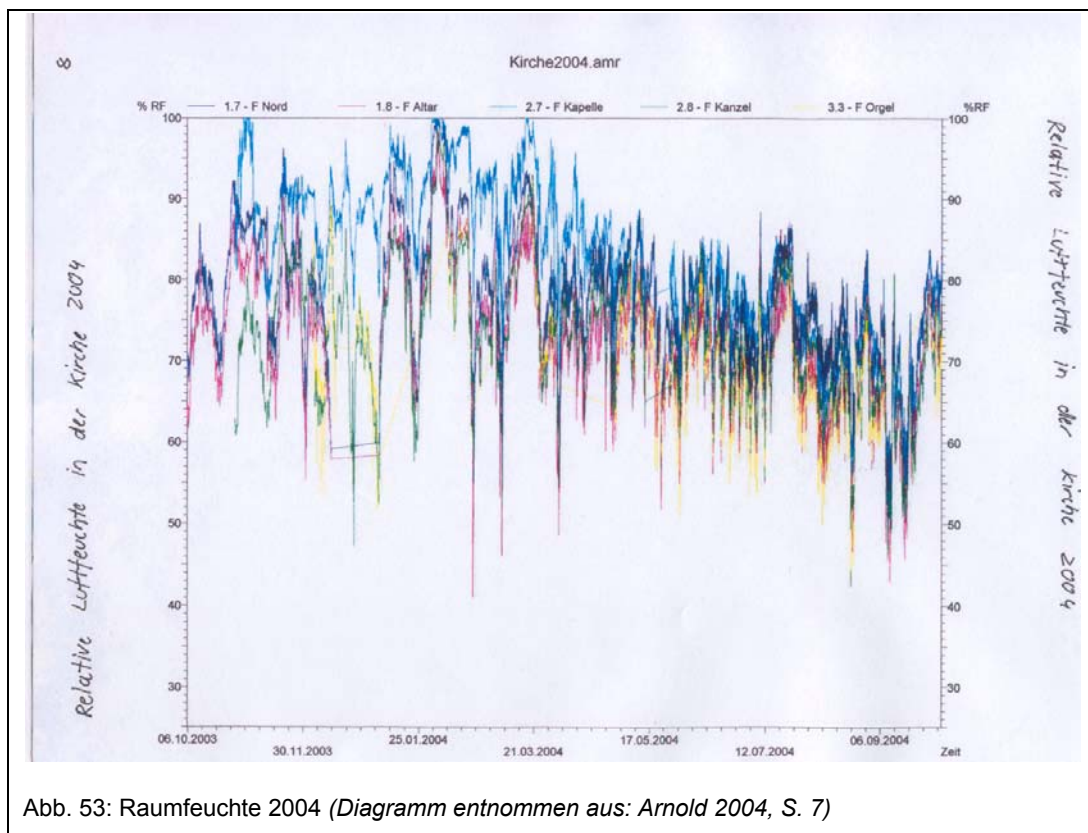
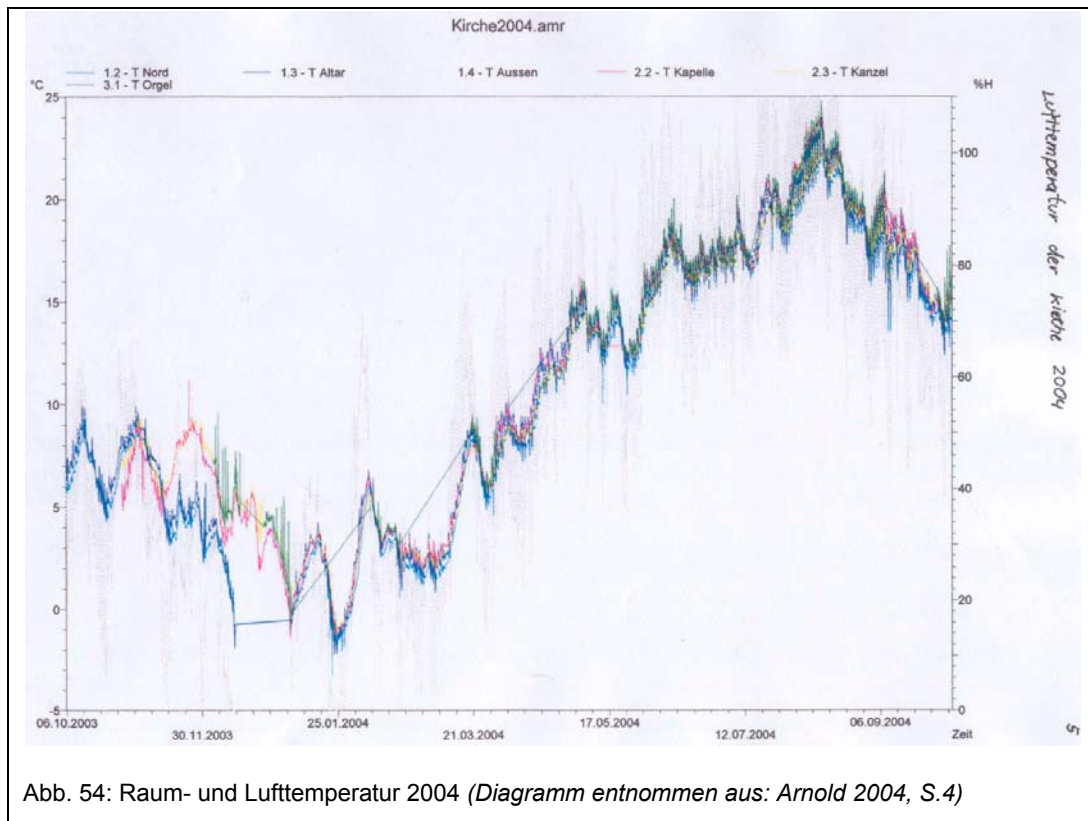


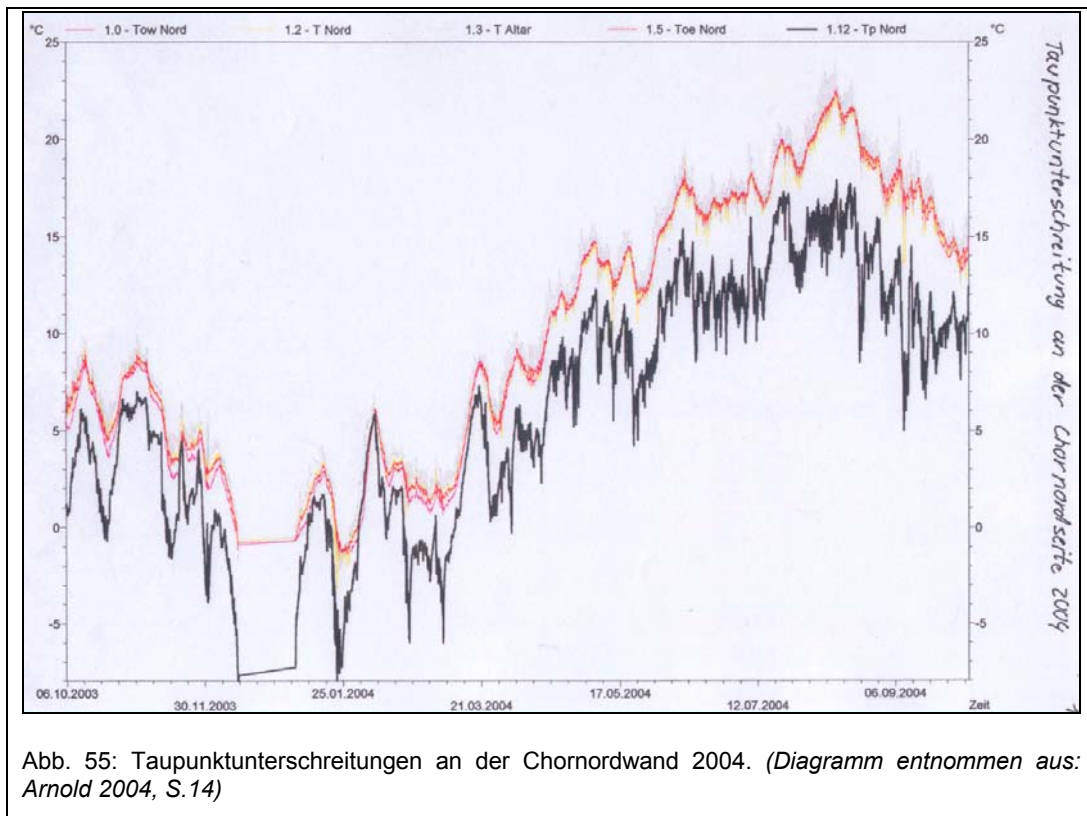
Die Bereiche unter den Fenstern zeigten deutliche Spuren von herablaufendem Kondenswasser.¹⁵⁵

Laut Arnold¹⁵⁶ schwankt die Raumtemperatur der Kirche zwischen -5°C im Winter und 25°C im Sommer. Sie folgte zeitversetzt der Außentemperatur, erreichte aber keinesfalls die Spitzenwerte. Die Temperaturen der Nordwand des Chores (auf 1,50m Höhe) lagen um $1-2^{\circ}\text{C}$ unterhalb der Temperaturen an der Kanzel (auf 3m Höhe). Die Luftfeuchte im Kircheninnenraum schwankte von $40-100\%rF$. Durchschnittlich lag die relative Luftfeuchte zwischen 60% und $90\%rF$. An der Nordwand des Chores und an einem der Epitaphe kam es in den Wintermonaten der Jahre 2003 und 2004 zu Taupunktunterschreitungen (Vergleiche Abbildung 53 bis 55).

¹⁵⁵ Vgl. Fischer et al. 2000, S.8.

¹⁵⁶ Vgl. Arnold 2004.





3.8 Lüdingworth (Niedersachsen)

St. Jacobi der Ältere

3.8.1 Objektbeschreibung¹⁵⁷

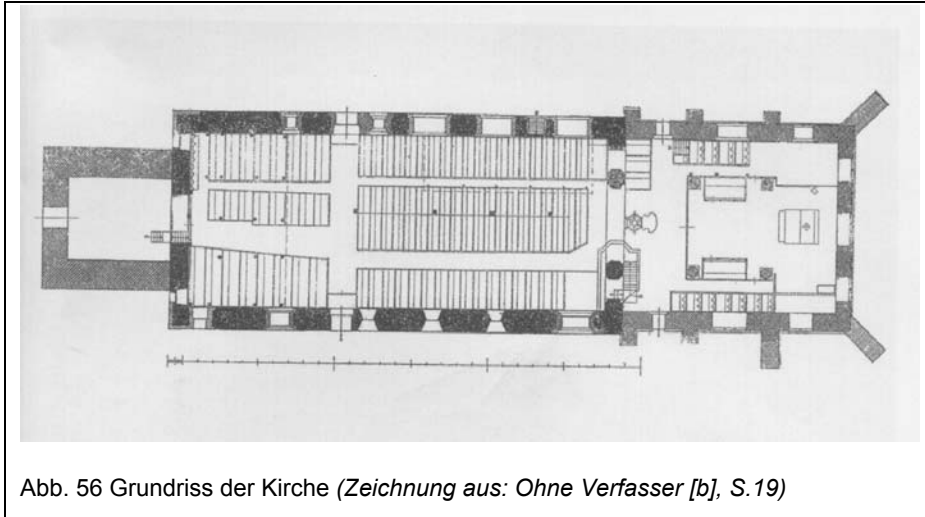


Abb. 56 Grundriss der Kirche (Zeichnung aus: Ohne Verfasser [b], S.19)

Bei der Kirche St. Jacobus maior handelt es sich um eine Saalkirche mit Hallenchor und Westturm. Das Langhaus ist aus Feldsteinen errichtet. Die Fenster und Portale sind gotisch verändert. Im 16. Jahrhundert entstand der dreischiffige Hallenchor. Der im Kern mittelalterliche Turm wurde 1662 erneuert und 1705 umfassend instand gesetzt. Das Innere der Kirche ist geprägt von farbig gestalteten Holzeinbauten, wie zum Beispiel den Emporen. Die Wände sind weiß getüncht.

3.8.2 Bau- und Restaurierungsgeschichte¹⁵⁸

Um 1200	Erbauung der Kirche
Um 1500	Veränderung der Fenster und Portale
16. Jahrhundert	Entstehung des Hallenchores
Um 1520	Erneuerung des Turmes
Ende 16. Jahrhundert	Bemalung der Holzbalkendecke
1705	Instandsetzung des Turmes
Anfang 19. Jahrhundert	Vergrößerung der Fenster
1955/63	Umfassende Restaurierung

¹⁵⁷ Vgl. Dehio 1992, S.871ff.

¹⁵⁸ Vgl. Sievers 2002, S.46.

3.8.3 Beschreibung des rosafarbenen Befalls

Die unteren Bereiche der Wände des gesamten Innenraumes weisen bis auf eine Höhe von ca. 3m einen mehr oder weniger starken flächigen rosafarbenen Befall auf. Besonders intensiv ist dieser Belag an der Chornordwand und unter den Fenstern, wo er in Form von Wasserläufern vorliegt¹⁵⁹. Der Befall hat im Laufe der letzten Jahre stetig zugenommen.

Um die rot pigmentierten Bakterien zu bekämpfen, wurde sie immer wieder mit Kalk übertüncht¹⁶⁰. Bereits nach kurzer Zeit bildete sich der rosafarbene Belag jedoch neu aus. Beim Besuch der Kirche im Herbst 2005 waren viele Wandflächen, vor allem im Chor, mit einem dicken rosafarbenen Belag versehen.



Abb. 58: Rosafarbener Befall unter der Empore der Nordwand. Hinter dem an die Wand gelehnten Gatter ist der Befall besonders stark ausgeprägt. (Foto aus: Sievers 2002, Abbildungsteil S.2)

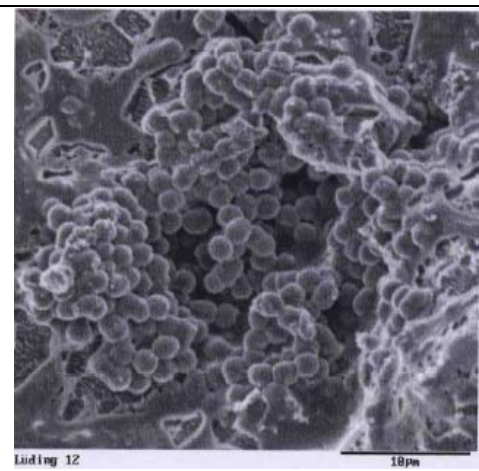


Abb. 57: REM-Aufnahme des Befalls. (Foto Kort/Sievers, entnommen aus Sievers 2002, Abbildungsteil S.26)

Besonders stark hatte sich der Belag in schattigen Bereichen, zum Beispiel unter der Empore entwickelt. Der befallene Bereich umfasst dabei nicht die gesamte Wandfläche, sondern nur einen scharf begrenzten Bereich.

Bei den Bakterien handelte sich um kokkale Zellen (\varnothing :ca. $1\mu\text{m}$) ohne Schleimhülle, die vereinzelt Ketten bildeten¹⁶¹.

¹⁵⁹ Vgl. Sievers 2002, S.47.

¹⁶⁰ Ebenda.

¹⁶¹ Ebenda.

3.8.4 Durchgeführte Analysen

Um die Beschaffenheit des befallenen und des unbefallenen Untergrundes näher zu untersuchen, wurden aus beiden Bereichen je eine Materialprobe entnommen. An diesen Schichtpaketen sollten Bindemittel, mögliche organische Beimengungen und Salzbelastung überprüft werden. Zusätzlich wurden Proben der in situ ausblühenden Salze entnommen.

Die Materialproben wurden zunächst eingebettet und angeschliffen, um den Aufbau der Architekturoberfläche nachvollziehen zu können. Ein Putz konnte in keiner der beiden Anschliffe nachgewiesen werden. Die unterste Schicht bildete in befallenen und unbefallenen Bereichen eine weiße Schlämme. Die Schlämme enthielt vereinzelte Quarzkörner und Ziegelsplitter. Auf dieser Schlämme waren in beiden Anschliffen zwei weiße Tüncheschichten zu erkennen. In allen Schichten konnte Kalk als Hauptbindemittel nachgewiesen werden. In der Schlämme konnte histochemisch in beiden Anschliffen ein

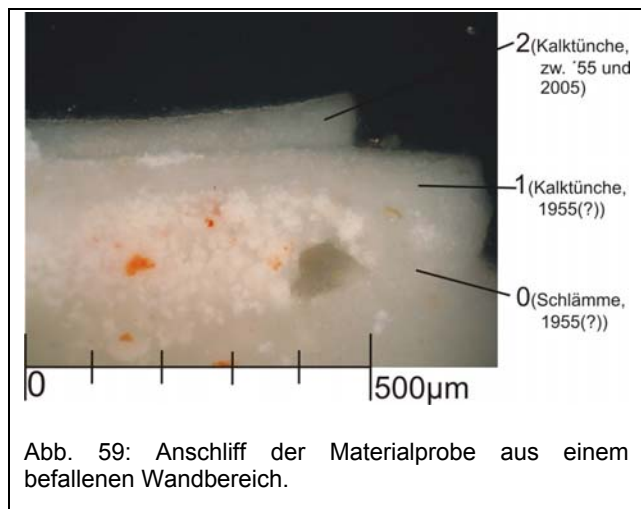


Abb. 59: Anschliff der Materialprobe aus einem befallenen Wandbereich.

proteinischer Bestandteil nachgewiesen werden. Eine mikrochemische Bestätigung dieser Beimengung konnte nicht erreicht werden. Auch die beiden Tüncheschichten schienen einen kleinen organischen Bestandteil zu enthalten. Vermutlich handelte es sich um trocknende Öle. Die Ergebnisse der durchgeführten Tests waren jedoch nicht eindeutig.¹⁶²

Die Bereiche der Architekturoberfläche, die einen Belag mit rot pigmentierten Bakterien aufwiesen, zeigten lange nadelige Salzausblühungen. Nach Entnahme und Transport ins Labor kam es teilweise zu einem Phasenwechsel: ein Teil der Nadeln fiel in ein feines weißes Pulver zusammen. Mit Hilfe der Polarisationsmikroskopie und einem anschließenden mikrochemischen Nachweis, konnte das Salz als Thermonatrit und Nahcolit identifiziert werden. Der wässrige Auszug der befallenen Materialprobe wies ebenfalls diese Ionen auf. Die unbefallenen Flächen wiesen weiße, opake Blumenkohlrusten auf. Hierbei handelte es sich um Thenardit. Bei der Rekristallisation des wässrigen Auszugs der unbefallenen Materialprobe bildete sich Thermonatrit und Gips.

¹⁶² Vermutet wird hier eine Verfälschung der histochemischen Anfärbung durch das Einbettmittel. Durch das sehr poröse System der Tünchen, war das Mittel sehr tief in den Schliff eingedrungen. Da das hier verwendete Technovit bei der Anfärbung ebenfalls positiv reagiert, ist nicht ausgeschlossen, dass die rot gefärbten Bereiche auf eben dieses zurückzuführen sind.

3.8.5 Wachstumsbedingungen

Die rosafarbenen Bakterien wachsen auf verschiedenen Schichten von weißen Kalktünchen. Bei Sievers ergab der mikrochemische Nachweis organischer Bindemittel eine eindeutig positive Reaktion auf Kohlenstoff, sowie eine schwache Reaktion auf Glycerin.¹⁶³ Dies deutet auf eine Beimengung in Form von Cellulose-Leim hin. Im Rahmen dieser Arbeit wurde je eine Probe aus befallenen und unbefallenen Bereich entnommen. Bei beiden Proben gab es eine schwach positive Reaktion auf trocknende Öle und eine positive Reaktion auf Kohlenstoff¹⁶⁴. Die histochemische Anfärbung bestätigte dieses Ergebnis.

Laut Sievers¹⁶⁵ konnte man erkennen, dass die Fugen der Fassade mit einem vermutlich zementhaltigen Mörtel neuverfugt wurden.

2002 konnte mit Hilfe der Spektralphotometrie Sulfate, Chloride, Nitrate, Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium nachgewiesen werden. Als Hauptsalz wurde Natriumsulfat identifiziert.¹⁶⁶

In den Sockelbereichen der Kirche waren im Oktober 2005 deutliche Salzausblühungen zu erkennen. Im befallenen Bereich der Nordwand des Chores lagen lange, miteinander verfilzte Nadeln vor. Die unbefallene Fläche der Ostwand des Chores wies weiße, opake Blumenkohlkrusten auf.

Die ausblühenden Salze im befallenen Bereich konnten mit Hilfe der Polarisationsmikroskopie und einem anschließenden mikrochemischen Nachweis als Natriumcarbonat in Form von Nahcolit und Thermonatrit identifiziert werden. Der wässrige Auszug der in diesem Bereich entnommenen Materialprobe bestätigte Natrium und Carbonat als Hauptionen.

Bei den Blumenkohlkrusten des unbefallenen Bereiches der Ostwand handelt es sich hauptsächlich um Natriumsulfat in Form von Thenardit. Aus dem wässrigen Auszug der Materialprobe des unbefallenen Bereiches kristallisierten vor allem Natriumcarbonat und Gips aus. Mikrochemisch ließen sich Natrium-, Calcium-, Sulfat- und Chlorid-Ionen nachweisen

Untersuchungen zum Raumklima liegen nicht vor. Zum Zeitpunkt der Probenentnahme herrschten in der Kirche 12°C bei einer relativen Luftfeuchte von 74%.

Die elektrische Leitfähigkeit der Oberfläche lag zum Zeitpunkt der Beprobung in den befallenen Bereichen höher als in den unbefallenen Bereichen.

¹⁶³ Vgl. Sievers 2002, S.49.

¹⁶⁴ Siehe Probendatenblätter im Anhang.

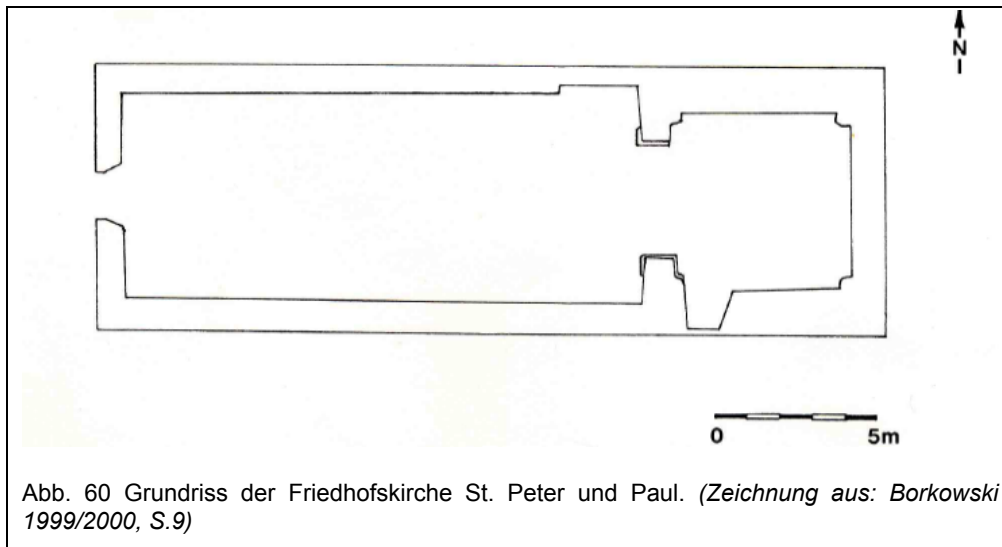
¹⁶⁵ Vgl. Sievers 2002, Abbildungsteil, S.5.

¹⁶⁶ Vgl. Sievers 2002, S.50.

3.9 Nusplingen (Baden-Württemberg)

Katholische Friedhofskirche St. Peter und Paul

3.9.1 Objektbeschreibung¹⁶⁷



Bei der Kirche St. Peter und Paul handelt es sich um einen im Kern romanisch-gotischen Bau mit Chorturm. Das Langhaus ist flachgedeckt mit einer bemalten Kassettendecke und besitzt eine bemalte Empore aus dem 18. Jahrhundert. Der Chor ist mehrfach gestaffelt auf annähernd quadratischem Grundriss. Auf den Wänden des Chores wurden in den 1970er Jahren mehrere Fassungsschichten nachgewiesen. Die älteste stammt aus dem 14. Jahrhundert. In den 1970er Jahren wurde der Chorbereich auf diese unterste Malschicht freigelegt.

¹⁶⁷ Vgl. Dehio 1997, S.487 und Borkowski 1999/2000, S.10.

3.9.2 Bau- und Restaurierungsgeschichte¹⁶⁸

1958	Anbohrung des Mauersockels am Chorturm zur Belüftung.
1961	Anlegen einer Ringdrainage; Verputzen des Sockelbereiches innen (bis ca. 1,5m Höhe) mit Zementputz.
1974	Fotos belegen den Zerfall des Außenputzes durch ständigen Feuchteintrag aufgrund fehlender Regenrinnen.
1972-75	Restaurierungsmaßnahmen, vornehmlich im Chorraum; Hinterspritzen von Hohlstellen in der Malschicht mit „Haftemulsion und Klebemörtel“; Freilegungen im Chor auf verschiedene Malereiphasen; die Anbohrung des Sockels und der Zementputz sollen entfernt werden.
1980-83	Umfangreiche Renovierung des Außenbaus; Abschlagen des alten Putzes, Aufbringen eines „Luftkalkmörtels“; teilweise Erneuerung des Fachwerks; Neueindeckung des Daches.
1984	Abschlagen des zementhaltigen Sockelputzes durch Gemeindemitglieder.
1996	Notsicherung der hölzernen Ausstattungsgegenstände durch Entfernen; Abschlagen des noch verbliebenen Zementmörtels durch die Gemeindemitglieder; Erneuerung der nicht mehr funktionsfähigen Drainage.
1998	Erneuerung des Verputzes im Außenbereich. Aufbringen eines <i>Keim-Porosan</i> Sanierputzsystems. Der Anstrich des Putzes erfolgte ebenfalls in einem Keimsystem.

¹⁶⁸ Vgl. Borkowski 1999/2000, S.23ff und Borkowski 2000, S.15ff.

3.9.3 Beschreibung des rosafarbenen Befalls¹⁶⁹

Im Langhaus der Kirche, an der Chorbogenwand und in den Turmgeschossen konnte mehrfach ein rosafarbener Belag nachgewiesen werden, der von der AG Mikrobiologie an der Uni Oldenburg als rosafarbene Bakterien identifiziert wurde. Der Belag fand sich im Langhaus auf verschiedenen Schichten der Wandfassungen, vornehmlich auf weißen Kalktünchen. Zum Beispiel auf der weißen Grundierungstünche einer polychromen Fassung jüngeren Datums (laut Borkowski erstes Drittel 17. Jahrhundert). Im Turmgeschoss lag er auf einer weiß getünchten Putzschicht.

Während der Belag im Langhaus der Kirche nur partiell und sehr fleckig war, erstreckte er sich im Kirchturm flächig auf die gesamte Wand.

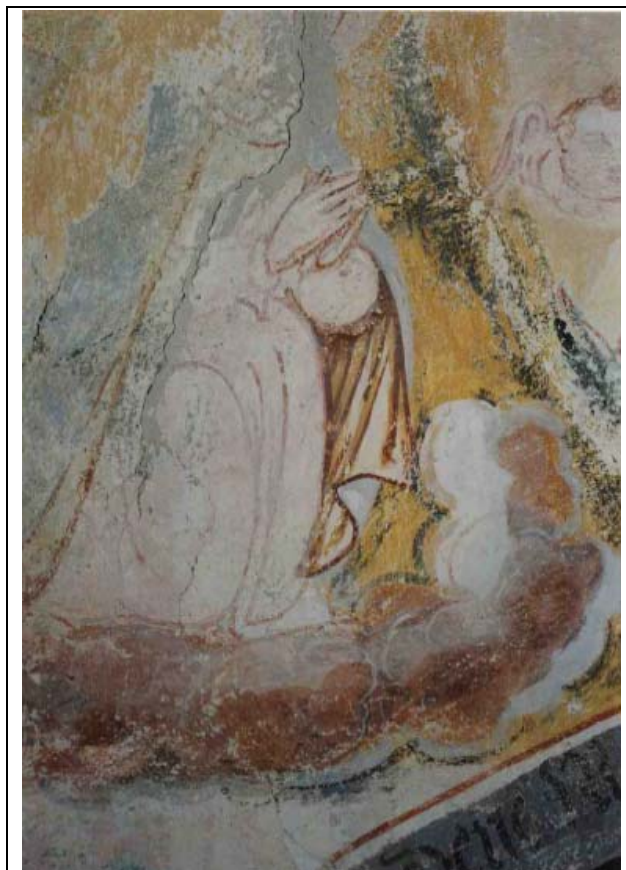


Abb. 61: Rosafarbener Befall in Weißbereichen der Malerei. (Foto aus. Wörz 2000, S.35)

¹⁶⁹ Vgl. Borkowski 1999/2000, Borkowski 2000 und Stefan Wörz, S.35ff.

3.9.4 Wachstumsbedingungen¹⁷⁰

Der rosafarbene Befall fand sich während der 1999 und 2000 durchgeführten Untersuchungen auf Fassungen verschiedener Malereiphasen, vor allem auf weißen Kalktünchen (zum Beispiel auf Grundierungsschichten). Die Analyse einer dieser befallenen Tünchen ergab neben Kalk einen wasserquellbaren Bestandteil. Aufgrund der geringen Probenmenge war eine Identifizierung nicht möglich.

Die Architekturoberfläche setzte sich aus einem kalkig gebundenen Putz und vielen Malschichten mit verschiedenen Bindemittelsystemen zusammen. Unter anderem lag auch eine Leimfarbe vor.¹⁷¹ Als weitere Bindemittel kamen im Zuge einer Restaurierung in den 1970er Jahren „Haftemulsion und Klebemörtel“ zum Einsatz. Die Zusammensetzung dieser Materialien ist unbekannt.

Der pH-Wert der Wandoberfläche lag bei 8.

Die Kirche wies deutlich salzinduzierte Schäden auf. Borkowski ließ 1999 und 2000 Salzanalysen anfertigen. Ob die hierzu verwendeten Proben aus befallenen oder unbefallenen Bereichen stammten ist nicht bekannt. Der Großteil der Analysen beschränkte sich auf die Ermittlung der Anionen Sulfat, Nitrat und Chlorid. Bei diesen Analysen wurden vor allem Nitrate nachgewiesen.

An zwei Proben wurden sowohl Anionen als auch Kationen bestimmt:¹⁷² Die eine Probe, eine Materialprobe entnommen aus einem geglätteten Verputz ohne Fassung aus dem ersten Turmobergeschoss,¹⁷³ enthielt Sulfate, Chloride, Nitrate, Calcium und Natrium. Bei der anderen, einer Salzausblühung an der Chorbogenlaibung in etwa 1,8m Höhe, handelte es sich um Kaliumnitrat.

Das Bodenniveau des Chores lag deutlich unterhalb der äußeren Umgebung.

Bei den im Frühjahr 2000 durchgeführten Untersuchungen zum Innenklima wurde festgestellt, dass an den Wänden mehrfach der Taupunkt unterschritten wurde. Die relative Luftfeuchtigkeit lag zwischen 85 und 100% (Vergleiche Abbildung 62 und 63).

¹⁷⁰ Vgl. Borkowski 1999/2000 und Borkowski 2000.

¹⁷¹ Untersuchungen zu dieser Leimfarbe liegen nicht vor.

¹⁷² Ein Carbonat-Nachweis wurde nicht durchgeführt.

¹⁷³ Die Südwand des Turmobergeschosses wies einen Befall mit rot pigmentierten Bakterien auf.

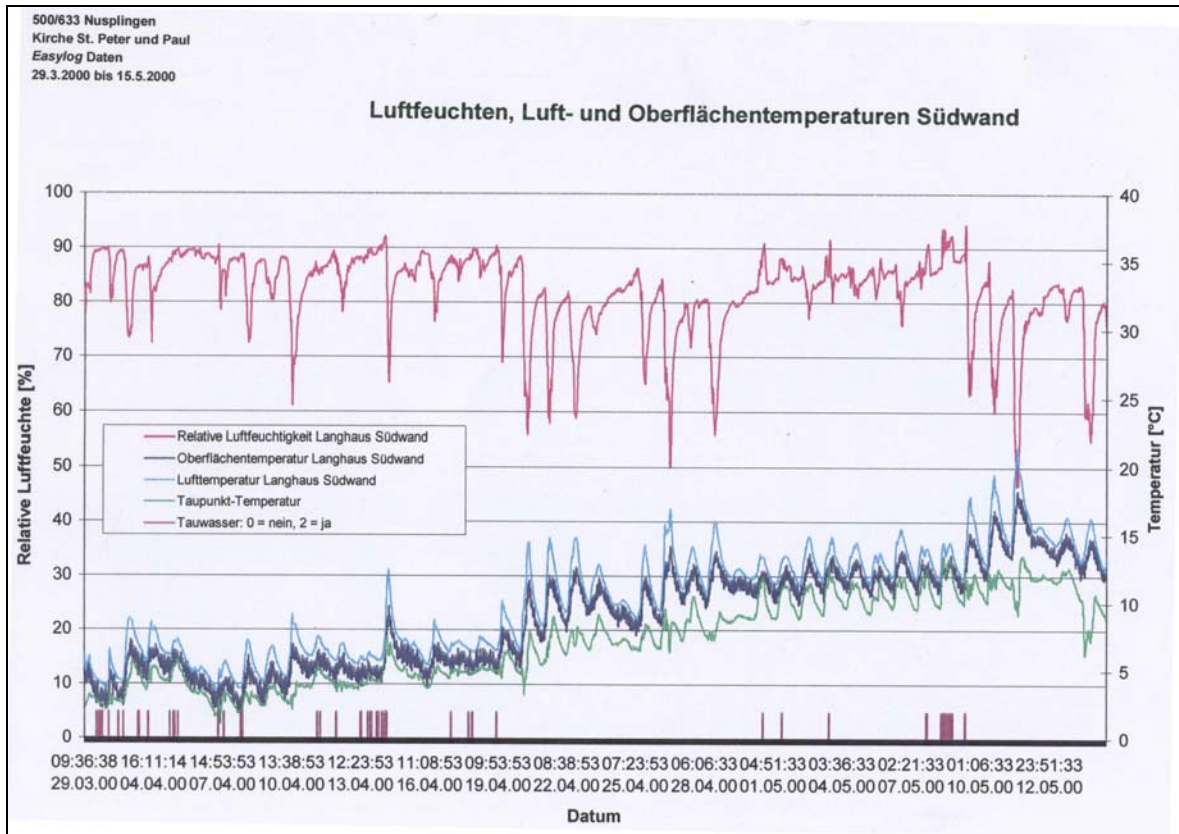


Abb. 62: Klimadiagramm der Südwand. (Diagramm aus: Borkowski 2000, Anhang)

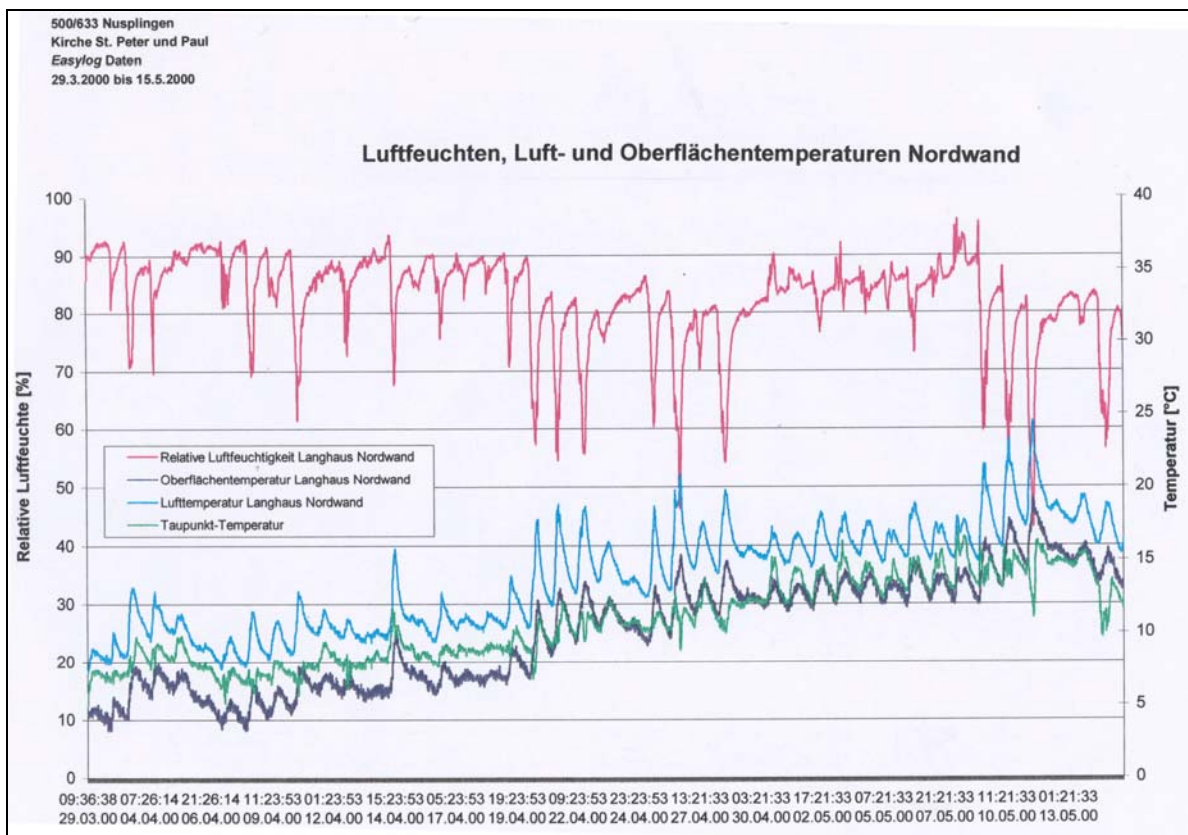


Abb. 63: Klimadiagramm der Nordwand. (Diagramm aus: Borkowski 2000, Anhang)

3.10 Regensburg (Oberpfalz)

St. Emmeran, Ringkrypta

3.10.1 Objektbeschreibung¹⁷⁴

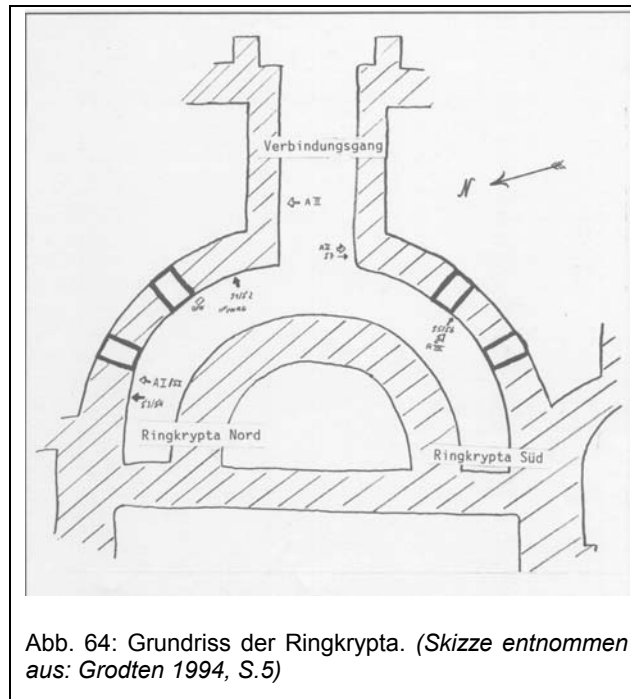


Abb. 64: Grundriss der Ringkrypta. (Skizze entnommen aus: Grodten 1994, S.5)

Die Benediktinerabtei St. Emmeran wurde um 700 gegründet. Die Fertigstellung der Basilika erfolgt jedoch erst gegen Ende des 8. Jahrhunderts. Die dreischiffige Pfeilerbasilika mit Dreiapsidenabschluss besitzt eine Ringkrypta: um die Mittelapsis führt ein tonnengewölbter Ringgang mit ehemals 3 Fenstern und einer Nische im Apsisscheitel. Der Zugang zur Krypta erfolgte ursprünglich gradlinig vom Mittelschiff aus, heute durch ein Seitenschiff. Die genaue Datierung der Krypta ist nicht bekannt, die erste Erwähnung findet sich 791. Der Ringkrypta im Osten vorgelagert wurde Ende des 10. Jahrhunderts eine zweigeschossige, annähernd quadratische Außenkrypta erbaut, die „Ramwoldkrypta“.

Auf den Wänden der Krypta finden sich Malereifragmente aus dem 10. und 12. Jahrhundert. Es handelt sich um eine rein ornamentale Bemalung, Hinweise auf eine figürliche Gestaltung sind nicht belegt.

¹⁷⁴ Vgl. Dehio 1991, S.483ff und Claussen und Exner1990, S.279ff.

3.10.2 Bau- und Restaurierungsgeschichte¹⁷⁵

Um 700	Gründung der Benediktinerabtei
Ende 8. Jahrhundert	Fertigstellung der Basilika
Ende 9. Jahrhundert	Baumaßnahmen am südlichen Nebenchor
978–980	Errichtung der „Ramwoldkrypta“
ab 1049	Anfügung des Westbaus
1020	Brandschäden
1166	Brandschäden
1642	Brandschäden
1731-33	Barockisierung der Kirche
1773–75	Umbau der „Ramwoldkrypta“
1810	Aufhebung des Klosters
1812	St. Emmeran wird Pfarrkirche
Um 1924	Renovierungsarbeiten
20. Jahrhundert	immer wieder Bauuntersuchungen und Grabungen
1952	Entdeckung der Malereien der Ringkrypta, partielle Freilegung
1960erJahre	Einbringen einer Feuchtigkeitssperre mit Zementputz
1962/64	Weitere Freilegungsmaßnahmen
1986 und 1989	Untersuchung und Dokumentation durch Pursche und Mitarbeiter
1986	Entfernen des Zementputzes an den Außenwänden. (Geplant: Anlegen einer Drainage an der Ringkrypta)

¹⁷⁵ Vgl. Claussen und Exner 1990.

3.10.3 Beschreibung des rosafarbenen Befalls¹⁷⁶

Auf der rezenten Tüncheschicht und in ungetünchten Putzbereichen der Ringkrypta und des Verbindungsganges fanden sich im Jahre 2000 kleinere und größere Bereiche, die einen Befall mit rosafarbenen Bakterien aufwiesen. Der Belag mit rot pigmentierten Mikroorganismen erstreckte sich teilweise vom Fußbodenniveau bis ins Gewölbe.



Abb. 66: Rosafarbener Befall neben Salzausblühungen. (Foto entnommen aus: Wörz 2000, S.38)

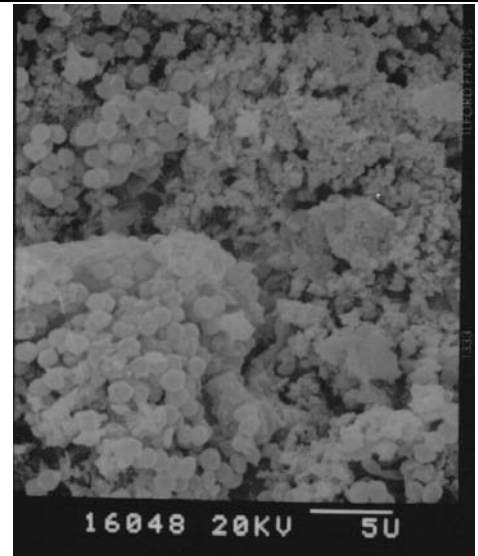


Abb. 65: REM-Aufnahme der Bakterien. (Foto Petersen)

¹⁷⁶ Vgl. Wörz 2000, S.37.

3.10.4 Wachstumsbedingungen

Über die genaue Zusammensetzung des Untergrundes ist nichts bekannt. Es handelt sich um einen getünchten, teilweise bemalten, zweischichtigen Putz (vermutlich Kalk).¹⁷⁷

Die Wandfläche hat einen pH-Wert von 8.¹⁷⁸

Laut Wörz waren die Wände der Ringkrypta durch zementhaltige Baustoffe mit Natriumsulfat belastet. Durch einen 1994 aufgetragenen Kompressenputz soll teilweise Natriumcarbonat entstanden sein.¹⁷⁹ Die Vermutung, dass die Natriumbelastung der Wände aus zementhaltigen Baustoffen stammt, konnte von Grodten nicht bestätigt werden.¹⁸⁰

In einer 1994 vom „Institut für Anorganische und Angewandte Chemie“ der Universität Hamburg durchgeführten Untersuchung zur Salzbelastung des Mauerwerks¹⁸¹ konnte eine deutliche Abnahme der Salzkonzentration vom Boden zur Decke hin festgestellt werden. Auch die Zusammensetzung der Ionen veränderte sich mit zunehmender Höhe. Lagen in den unteren Wandbereichen vor allem Natriumsulfat und –carbonat vor, gab es in den oberen Wandabschnitten hauptsächlich eine Belastung durch Calciumsulfat. Als ausblühende Salze konnten ausschließlich Natriumsulfat und –carbonat identifiziert werden. Der berechnete Delinquenzpunkt des Salzgemisches lag unter dem Delinquenzpunkt des Reinsalzes Natriumsulfat. In dem herrschenden Raumklima muss es immer wieder zu Kristallisationszyklen gekommen sein.

Der Sockelbereich der Krypta liegt unter Bodenniveau. Die Folge ist eine ständige Durchfeuchtung der Wände. Grodten vermutet in seinem Bericht eine Überlagerung der von Außen eindringenden mit kapillar aufsteigender Feuchte.¹⁸²

Die relative Raumluftfeuchte lag meistens zwischen 80-90%.

¹⁷⁷ Vgl. Wörz 2000, S.37 und Claussen und Exner 1990, S.281.

¹⁷⁸ Vgl. Wörz 2000, S.37.

¹⁷⁹ Ebenda.

¹⁸⁰ Vgl. Grodten 1994, S.14.

¹⁸¹ Vgl. Grodten 1994.

¹⁸² Vgl. Grodten 1994, S.13.

3.11 Urschalling (Oberbayern)

Katholische Ferialkirche St. Jacobus der Ältere

3.11.1 Objektbeschreibung¹⁸³

Ein Grundriss der Kirche liegt nicht vor.

Die kleine Saalkirche St. Jacobus entstand im 12./13. Jahrhundert. Die Kirche gehört zu der im 12. Jahrhundert erbauten Burg der Grafen von Falkenstein. Das zweijochige Langhaus weist ein Kreuzgratgewölbe auf. Nach Osten schließt die Kirche mit einer halbkugelförmigen Rundapsis ab, nach Westen mit einem weiß getünchten Vorraum.

Die Wände von Langhaus und Chor sind mit einem Freskenzyklus aus dem 14. Jahrhundert ausgemalt. Unter dieser Malerei befindet sich eine ältere Ausmalung aus dem 12. Jahrhundert.

3.11.2 Bau- und Restaurierungsgeschichte

Über die Bau- und Restaurierungsgeschichte liegen keine Unterlagen vor. Bekannt sind lediglich drei Daten:

12. Jahrhundert	Bau der Kirche, erste Ausmalung
14. Jahrhundert	Zweite Ausmalung
1984	Entdeckung des rosafarbenen Befalls

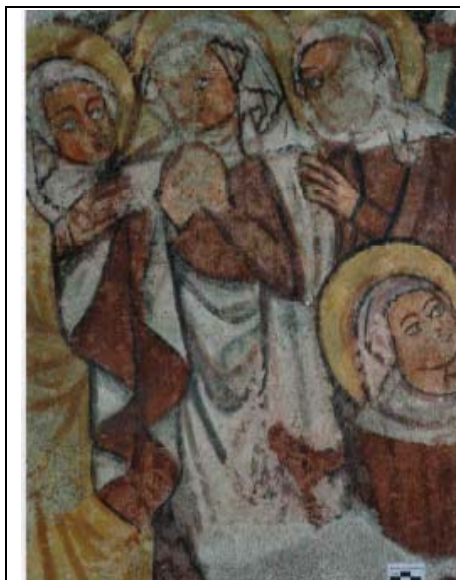


Abb. 67: Rosa Befall in Putzausbrüchen und Weißbereichen der Malerei. (Foto aus: Wörz 2000, S.42)

¹⁸³ Vgl. Dehio 1990, S.122ff und Wörz 2000, S.41.

3.11.3 Beschreibung des rosafarbenen Befalls¹⁸⁴

Laut Wörz fand sich der Befall im Jahr 2000 auf der gesamten Raumschale und reichte teilweise bis ins Gewölbe. Er lag vor allem auf den weißen Bereichen der Fresken, vereinzelt auch auf farbigen Malschichten, Malschichtausbrüchen und Putzausbrüchen. Auch auf Putzergänzungen der jüngsten Restaurierung waren rot pigmentierte Bakterien zu finden. In Fensternischen der Apsis und des Emporenfensters war der Befall besonders intensiv. Beobachtet wurde er in Urschalling bereits seit 1984.

Unter dem Binokular ließen sich deutlich einzelne Zellaggregate erkennen. Die Bakterien saßen verstärkt in Vertiefungen, die durch den Pinselduktus oder feine Haarrisse hervorgerufen wurden. In diesen Haarrissen breitete sich der Befall bis zur Rückseite der Probe aus.

Im REM ließ sich die rosafarbene Verfärbung als Bakterienrasen, aus kokkalen Zellen mit einem Durchmesser von ca. 1–1,5µm identifizieren. Zum Teil waren diese Bakterien in eine Schleimhülle eingebunden. Auf einer der Aufnahmen ließen sich Bakterien erkennen, die an einen Salzkristall angeheftet waren.



Abb. 68: Befallene Materialprobe unter dem Binokular. (Foto aus: Wörz 2000, S.52)

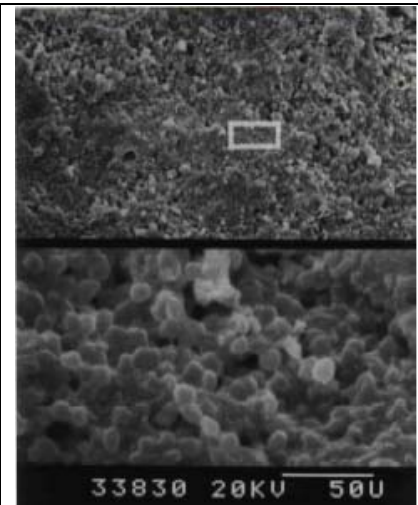


Abb. 69: REM-Aufnahme des Befalls. (Foto Petersen, entnommen aus Wörz 2000, S.57)

¹⁸⁴ Vgl. Wörz 2000, S.41ff.

3.11.4 Wachstumsbedingungen¹⁸⁵

Die rosafarbenen Bakterien saßen in Urschalling auf der stratigraphisch zweitjüngsten Schicht. Es handelt sich um eine Kalktünche mit einer geringen Beimengung. Im Bindemittelnachweis konnte sowohl eine positive Reaktion auf Glycerin als auch auf Stickstoff und auf Kohlenhydrate beobachtet werden. Wörz vermutet deshalb eine Beimengung aus tierischem Leim oder Celluloseleim. Der Nachweis auf Casein war eindeutig negativ.

Der pH-Wert der Wandoberfläche betrug 9.

Wegen einer starken Durchfeuchtung des Mauerwerks wurde Anfang der 1980er Jahre eine Drainage gelegt. Mit der Austrocknung des Mauerwerks kam es zur Bildung eines Calcitschleiers. Der Befall mit rosafarbenen Bakterien trat knapp zwei Jahre später auf.

Per EDX-Analyse konnten auf der Oberfläche zweier Materialproben Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Natrium, Magnesium, Silizium, Kalium und Calcium nachgewiesen werden. Überlagerungen dieser Elemente, die auf mögliche Salze hindeuten würden, konnten nicht nachgewiesen werden.

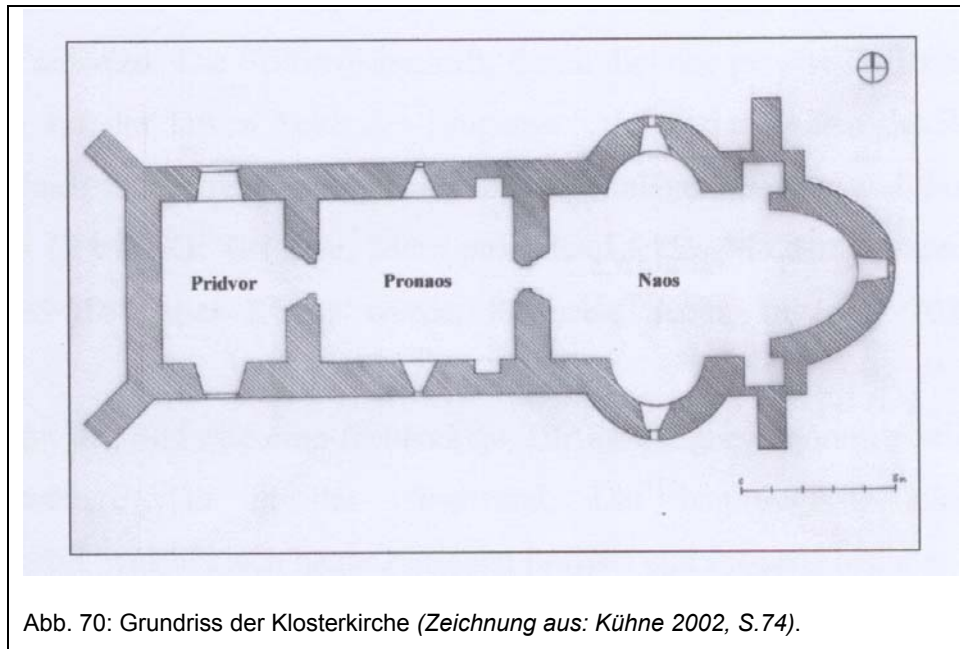
Über das Raumklima liegen keine Untersuchungen vor.

¹⁸⁵ Ebenda.

3.12 Voronet (Rumänien)

Sankt Georg Klosterkirche

3.12.1 Objektbeschreibung¹⁸⁶



Die Sankt Georg Klosterkirche in Voronet, Rumänien, ist in ihrer ursprünglichen Form eine klassische Dreikonchenanlage. Die im 15. Jahrhundert errichtete Kirche weist über dem Naos einen Kuppelturm mit „moldauischen Bögen“ auf. Im 16. Jahrhundert wurde im Westen der Pridvor (Außen-Narthex) angebaut.

Das Äußere der Kirche war ursprünglich schlicht. Die Fenster und Türen wiesen gotische Einfassungen auf. Die oberen Bereiche der Fassade waren mit glasierten Keramikscheiben verkleidet, die unteren wiesen vermutlich eine Vorhangmalerei auf. 1547 wurden die Fassaden überputzt und mit einer differenzierten Bemalung versehen, die bis heute erhalten ist.

Der Innenbereich ist vollständig mit Malereien aus der Mitte des 16. Jahrhunderts figürlich und ornamental gestaltet.

¹⁸⁶ Vgl. Kühne 2002, S.73ff.

3.12.2 Bau- und Restaurierungsgeschichte

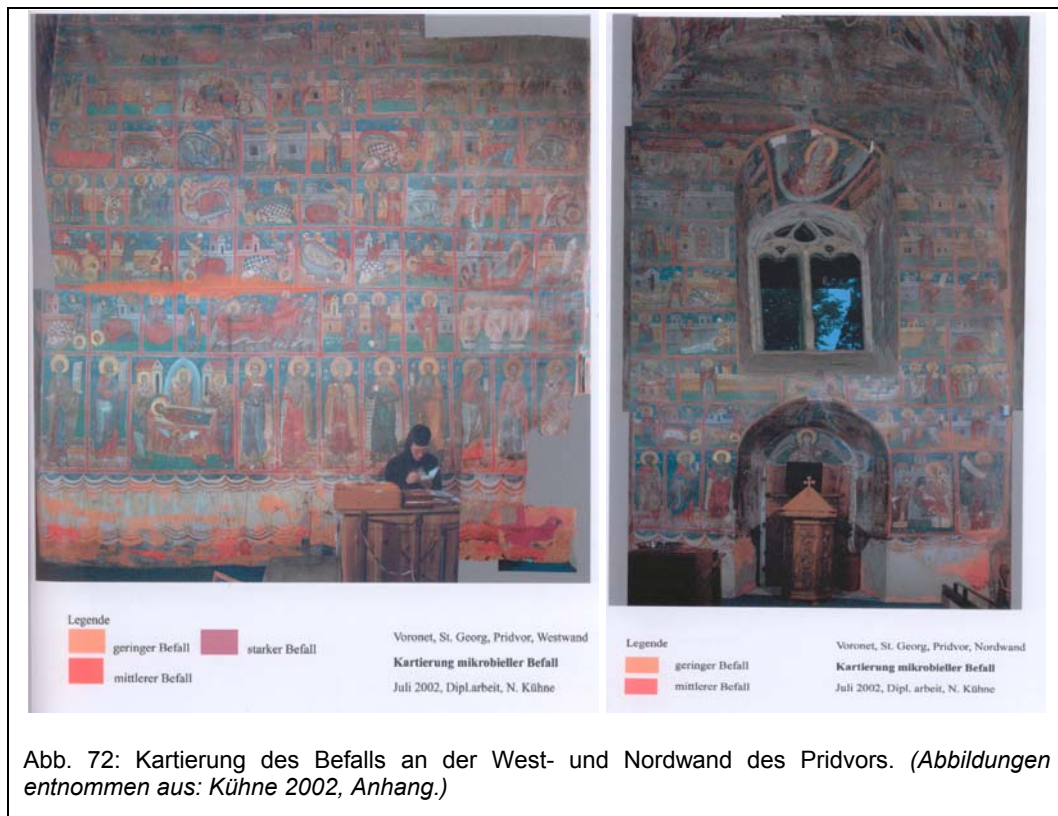
Über die Bau- und Restaurierungsgeschichte der Kirche ist nicht viel bekannt:

Zw. 1487 und 1488	Errichtung der Kirche
1547	Bau des Pridvors, Neuverputz und Bemalung der Fassaden, Ausmalung des Innenraumes.
21. Jahrhundert	Ammoniumcarbonat-Behandlung im Naos. (Ähnliche Maßnahmen im Pridvor vermutet aber nicht nachgewiesen)

3.12.3 Beschreibung des rosafarbenen Befalls

Die rot pigmentierten Bakterien fanden sich 2002 vor allem im Pridvor und Pronaos der Kirche. Sie lagen entlang von Putzergänzungen (zum Beispiel in statischen Rissen) in der gesamten Höhe des Raumes, vor allem jedoch im Sockelbereich vor. Der Befall war großflächig und bildete einen zusammenhängenden oberflächlichen Belag. Im Naos fanden sich rosafarbenen Bakterien nur in der Übergangszone zum Fußboden. Im Pridvor gab es den stärksten Befall im Bereich von Fußbodenöffnungen.





3.12.4 Wachstumsbedingungen

Auf einem 0,5-1,5cm starken Kalkputz mit einem säurelöslichen Anteil von 80–96% und einem Faserzuschlag lag ein weißer Kalkgrund mit einer dichten, fast aggregatfreien Struktur. In diesen Kalkgrund war die sehr dünne Malschicht eingebunden. Teilweise wies sie einen starken Oberflächenglanz auf. Vereinzelt wurde die freskalo ausgeführte Malerei in einer Secco-Technik (Kasein) abgeschlossen. Die Malereien waren seit ihrer Entstehung einer kontinuierlichen Belastung durch Rauchgase und Verbrennungsprodukte ausgesetzt, so dass sich verschieden ausgeprägte Beläge gebildet hatten.

Der pH-Wert der Wand lag im befallenen Bereich bei 6,5.

Der Befall fand sich vor allem entlang zementhaltiger Putzergänzungen. Hier traten zusätzlich weiße Salzscheier auf. Als hauptsächlich vorliegendes Salz in oberflächennahen Bereichen des Pridvors wurde Calciumnitrat ermittelt.

Das Tagesklima der Kirche lag in einem recht einheitlichen Spektrum. Die Raumtemperatur schwankte um 1-2°C. Die Oberflächentemperatur der Wände lag stetig etwa 1-2° unter der Raumtemperatur. Im Monatsverlauf kam es im Zeitrahmen der Messungen (Mai bis Juli 2002) zu einem Temperaturanstieg von 3-5°C. Die relative Luftfeuchte schwankte stark, der höchste Wert lag bei 98% rF, der niedrigste bei 58%rF.

4 Gegenüberstellung der Wachstumsbedingungen an den Objekten

4.1 Untergründe

Im Folgenden werden alle bekannten Bindemittelsysteme der befallenen Objekte tabellarisch miteinander verglichen. Es werden sowohl die Angaben aus der Literaturrecherche¹⁸⁷ als auch selbst ermittelte¹⁸⁸ Systeme aufgeführt.

Es gilt:

(+) =	Hinweise, dass vorhanden	– =	eindeutig nicht vorhanden
+	eindeutig vorhanden	(–) =	Hinweise, dass nicht vorhanden
		/ =	nicht untersucht

4.1.1 Tabellarische Gegenüberstellung vorhandenen Bindemittelsysteme

Objekt	Kalkputz	Kalktünche	Organische Zusätze	Zementhaltige Putze ¹⁸⁹
Aldersbach	/	+	+	/
Barntrup-Son.	+	+	+	+
Buxheim	/	+	+	/
Eilsum	/	+	/	(+)
Filzingen	/	+	+	+
Idensen	+	+	/	+
Luckau	+	+	+	+
Lüdingworth	+	+	+	/
Nusplingen	+	+	+	/
Regensburg	(+)	(+)	/	/
Urschalling	+	+	+	/
Voronet	+	+	+	+

¹⁸⁷ Die Quelle dieser Angaben ist der jeweiligen Vorstellung des Objektes, Kapitel 3 dieser Arbeit, zu entnehmen.

¹⁸⁸ Mit Hilfe der Polarisationsmikroskopie, mikrochemisch und durch histochemische Färbemethoden.

¹⁸⁹ Zumeist kleinere Ausbesserungen, teilweise auch großflächig. Es werden auch die Objekte positiv bewertet, an denen die zementhaltigen Putze inzwischen entfernt wurden.

4.1.2 Tabellarische Gegenüberstellung der organischen Zusätze

Objekt	Tr. Öle	Glycerin	Protein	Kohlenhydrate	Stärke	Stickstoff	Kasein	Acrylat
Aldersbach	–	(+)	/	(+)	–	(+)	–	/
Barntrup-Son.	+	/	(–) ¹⁹⁰	+	/	/	/	(+)
Buxheim	–	++	/	(+)	–	+	–	/
Eilsum	/	/	+	/	/	/	+	+
Filzingen	/	/	(+) ¹⁹¹	/	/	/	(+)	/
Idensen	/	/	+	/	/	/	+	+
Luckau	+	/	(+)	+	/	/	/	/
Lüdingworth	+	(+)	–	+	/	+	/	/
Nusplingen	/	/	/	/	/	/	/	/
Regensburg	/	/	/	/	/	/	/	/
Urschalling	–	+	/	+	–	–	–	/
Voronet	/	/	+	/	/	/	+	/

4.1.3 Auswertung

Der Befall mit rosafarbenen Bakterien findet sich bei allen Objekten auf einem kalkig gebundenen Untergrund. Die Systeme wiesen immer eine organische Beimengung auf. (Allerdings ist unklar, ob sich diese Beimengung exakt in der befallenen Schicht oder darüber bzw. darunter befand.) Es handelte sich bei dieser Beimengung stets um einen sehr kleinen Anteil der Matrix.

Eine genaue Bestimmung des organischen Zuschlages ist nicht möglich. Als mögliche Gemeinsamkeit kann eine positive Reaktion auf Kohlenhydrat-Nachweise bei allen untersuchten Objekten (6 von 12) angesehen werden. Allerdings sind diese Ergebnisse nicht immer eindeutig.

Der bei Schostak et al. geäußerte Verdacht eines Zusammenhanges von Befall und Kasein¹⁹² kann nicht für alle Objekte bestätigt werden. Zwar gibt es befallene Systeme die eindeutig Kasein enthalten, an anderen Architekturoberflächen konnte dagegen eindeutig belegt werden, dass kein Kasein enthalten ist.

¹⁹⁰ Trotz eindeutigen negativem mikrochemischen Proteinnachweis, kam es bei beiden Proben (Son M1 und M3) in mindestens einer Schicht zu einer positiven Anfärbung auf Proteine. Möglicherweise ist dies auf den mikrobiellen Befall oder eine ungleichmäßigen Verteilung des Bindemittels zurückzuführen.

¹⁹¹ Zwar gab es eine geringe positive Reaktion beim Nachweis von Kasein, zur eindeutigen Identifizierung wären jedoch wiederholte Tests notwendig gewesen.

¹⁹² Schostak et al. 1995, S.14ff.

4.2 Salze

In diesem Abschnitt werden die im Gefüge vorhandenen freien Ionen sowie die zu vermutenden oder ausgeblühten Salze tabellarisch gegenübergestellt. Aufgeführt werden Angaben aus der Literatur¹⁹³ und selbst ermittelte Daten. In den meisten Fällen wurden an einem Objekt mehrere Proben aus verschiedenen Bereichen untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden zusammengefasst.

Die aus der Literatur entnommenen Analysen wurden zu einem Großteil ohne die Ermittlung der Carbonat-Ionen durchgeführt. Ein Vergleich ist an dieser Stelle deshalb nur eingeschränkt möglich. Die Angaben aus der Literatur wurden auf verschiedenen Wegen (zum Beispiel durch Röntgendiffraktometrie) ermittelt. Alle im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Analysen zur Salzbestimmung beruhen auf der Polarisationsmikroskopie und dem mikrochemischen Nachweis. Untersucht wurden sowohl reine Salzausblühungen als auch wässrige Auszüge von Materialproben.

Es gilt:

- (+) = sehr wenig vorhanden – = nicht vorhanden
 + = vorhanden / = nicht untersucht
 ++ = viel vorhanden

4.2.1 Tabellarische Gegenüberstellung der im Gefüge vorhandenen freien Ionen

Objekt	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
Aldersbach	/	/	/	/	/	/	/	/
Barntrup-Sonneborn	++	–	+	+	+	+	/	++
Buxheim	+	+	+	+	–	+	+	/
Eilsum	+	+	+	–	+	+	+	+
Filzingen	+	–	+	+	+	+	+	/
Idensen	+	+	+	+	+	+	+	/
Luckau	++	+	+	–	++	+	+	++
Lüdingworth	++	+	+	–	++	+	+	++
Nusplingen	+	+	+	–	+	+	+	/
Regensburg	++	+	++	+	++	+	+	++
Urschalling	/	/	+	/	/	/	/	+
Voronet	(+)	(+)	+	(+)	+	+	++	/

¹⁹³ Die Quelle der Angaben ist der jeweiligen Vorstellung des Objektes, Kapitel 3 dieser Arbeit, zu entnehmen.

Freie Ionen in Materialproben aus befallenen Bereichen:

Objekt	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻ / HCO ₂
Barntrup-Sonneborn	++	-	+	+	+	-	/	++
Lüdingworth	++	-	+	-	-	+	(+)	++
Luckau	++	-	+	-	+	-	(+)	++

Freie Ionen in Materialproben aus unbefallenen Bereichen:

Objekt	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻ / HCO ₂
Barntrup-Sonneborn	++	-	+	+	++	+	/	+
Lüdingworth	++	-	+	-	++	+	(+)	-
Luckau	++	-	-	-	++	-	(+)	+

4.2.2 Tabellarische Gegenüberstellung der vorliegenden/zu vermutenden Salze

Objekt	Calcit	Calciumnitrat	Epsomit	Gips	Natrit Thermonatrit Nahcolit	Thenardit Mirabilit
Aldersbach	/	/	/	/	/	/
Barntrup-Son. _{unbefallen}	- ¹⁹⁴	-	+	+	-	+
Barntrup-Son. _{befallen}	-	-	-	-	+	-
Buxheim	/	/	/	/	/	/
Eilsum	+	-	-	+	+	+
Filzingen	+	-	+	+	/	+
Idensen	+	-	-	+	/ ¹⁹⁵	+
Luckau _{unbefallen}	+	+	-	-	-	+
Luckau _{befallen}	+	+	-	-	+	-
Lüdingworth _{unbefallen}	+	-	-	+	-	+
Lüdingworth _{befallen}	+	-	-	-	+	-
Nusplingen	-	+	-	-	/	+
Regensburg	-	-	-	+	+	+
Urschalling	+	/	/	/	/	/
Voronet	-	+	/	/	/	-

¹⁹⁴ Kein Schleier sichtbar, aber bekannt, dass Festigung mit Sinterwasser.

¹⁹⁵ In den durchgeführten Salzanalysen wurden die Carbonat-Ionen nicht bestimmt. Der hohe pH-Wert des wässrigen Auszugs (9,5) deutet durchaus auf Natriumcarbonat hin.

4.2.3 Auswertung

Das am häufigsten berechnete Salz an den Objekten ist Natriumsulfat in Form von Thenardit ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) oder Mirabilit ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$).

Dem folgt Calcit (CaCO_3), meist als Kalkschleier zu erkennen.

Das dritthäufigste Salz ist Natriumcarbonat in Form von Thermonatrit ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), Natrit ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) oder, als Nebenphase, Nahcolit (NaHCO_3).

Es ist nicht auszuschließen, dass die oft fehlende Bestimmung der Carbonat-Ionen (siehe oben) zu einer Verfälschung der Ergebnisse führt.

Der Vergleich von befallenen und unbefallenen Bereichen war nur an den im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Objekten möglich. Die Literaturangaben waren in bezug auf die Probeentnahmestellen nicht genau genug.

Bei den hier untersuchten Objekten handelte es sich um die Dorfkirche zu Sonnborn (Bartrup-Sonneborn), die Nikolaikirche in Luckau und die Kirche St Jacobus maior in Lüdingworth. Bei den letzten beiden Kirchen konnten die Ergebnisse mit vorangegangenen Untersuchungen an diesen Objekten abgeglichen werden. Alle drei Objekte zeigten in den befallenen Bereichen ein starkes Vorkommen von Thermonatrit, Natrit und Nahcolit. In den unbefallenen Bereichen häuften sich dagegen die Sulfatsalze Mirabilit, Thenardit und Epsomit (MgSO_4).

4.3 Klima

Zur Bewertung der Klimasituation werden sowohl der Literatur entnommene als auch selber erhobene Daten miteinander verglichen. Der Vergleich konzentriert sich hierbei auf wenige, wichtig erscheinende Punkte. Genauere Angaben zur Klimasituation sind entweder der Vorstellung der Objekte (Kapitel 3 dieser Arbeit) oder den jeweiligen Dokumentationen der Untersuchungen zu entnehmen.

4.3.1 Gegenüberstellung der Klimasituationen

Objekt	Relative Luftfeuchte häufig über 70%	Taupunkt-unterschreitungen an den Wänden	Schwankungen des Raumklimas	Durchfeuchtung des Mauerwerks ¹⁹⁶
Aldersbach	+	+	(+)	(+) ¹⁹⁷
Barntrup-Sonneborn	+	+	+	+
Buxheim	/	+	(+)	(+) ¹⁹⁸
Eilsum	+	- ¹⁹⁹	+	+
Filzingen	+	+	+	+
Idensen	+	+	+	+
Luckau	+	+	+	/
Lüdingworth	+	/	/	/
Nusplingen	+	+	+	+
Regensburg	+	/	-	+
Urschalling	/	/	/	+
Voronet	+	/	+	/

4.3.2 Auswertung

An fast allen Objekten schwankte das Raumklima stark. Die Werte der relativen Luftfeuchte liegen oder lagen²⁰⁰ häufig auch für längere Zeiträume über 70%. Eine Taupunktunterschreitung an den Wänden ist für alle Objekte wahrscheinlich oder nachgewiesen. Ein weiterer übereinstimmender Faktor an den Objekten ist eine starke Durchfeuchtung des Mauerwerkes.

¹⁹⁶ Unter diesem Punkt fallen sowohl temporäre (zum Beispiel bei einem Wasserschaden) als auch langfristige Durchfeuchtungen (Mauern unter Bodenniveau, aufsteigende Feuchte u.ä.).

¹⁹⁷ Häufig Kondensationserscheinungen.

¹⁹⁸ Siehe Fußnote 181.

¹⁹⁹ Im gemessenen Zeitraum kam es nicht zu einer Unterschreitung des Taupunktes. Die Werte lagen jedoch sehr dicht am Taupunkt, so dass eine Unterschreitung nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden kann.

²⁰⁰ Teilweise wurden im Anschluss an die hier verwendeten Untersuchungen Anlagen zur Regulierung des Innenklimas eingebaut.

5 Bewertung der Ergebnisse

5.1 Zu bedenkende mögliche Fehlerquellen

Die hier untersuchten Architekturoberflächen sind anorganisch gebundene Systeme, die aus natürlichen Rohstoffen hergestellt und wohl zum größten Teil von Hand verarbeitet wurden. Eine perfekt gleichmäßige Verteilung der verwendeten Zutaten im Gefüge ist nicht zu erwarten. Hinzu kommen weitere Faktoren wie Zersetzung durch Verwitterung oder eindringende bauschädliche Substanzen.

Zur Analyse von Aufbau, Zusammensetzung und schädigenden Substanzen werden in der Praxis stets sehr kleine Probenmengen untersucht (die zu behandelnden Objekte sind in der Regel zu wertvoll, um größere Substanzverluste in Kauf nehmen zu können). Die Wahrscheinlichkeit, dass sich an der beprobten Stelle gerade eine Anhäufung von Bindemittel oder ähnlichem befindet, ist relativ hoch. Um diese Gefahr zu minimieren, analysiert man für gewöhnlich eine zweite Probe. Trotzdem ist es durchaus möglich, dass es zu Fehleinschätzungen kommt. Die Ergebnisse von Materialanalysen sind deshalb stets kritisch zu betrachten und mit den Beobachtungen am Objekt abzugleichen.

Zusätzlich ist zu bemerken, dass die in diesem Falle vermuteten organischen Zuschläge in kalkigen Systemen sehr gering sind (teilweise unter 1%). Ein Nachweis ist bei den hier verwendeten Methoden meist nur bis zu einer gewissen Menge möglich. Kleinere Mengen können zu einer Fehlinterpretation führen.

Im Fall der durchgeführten histochemischen Färbemethoden wurden weitere Schwierigkeiten beobachtet:

Für die ersten Anschliffe wurden die Probesplitter in ein Acrylat²⁰¹ bei Raumtemperatur eingebettet. Das relativ hoch viskose Einbettmittel drang nur in Randbereichen in die Fassungsschichten der Probe ein. Beim Färbeprozess, in dem der Anschliff einige Zeit in der Färbelösung bewegt wird, kam es zu zahlreichen Auswaschungen in den Anschliffen. Das Färbemittel setzte sich in diesen Vertiefungen fest. Eine Interpretation der Anfärbungen war nur noch eingeschränkt möglich. Ob diese Auswaschungen auf ein Anlösen der Bindemittel oder auf manuelles Herauslösen von zum Beispiel Quarzkörnern zurückzuführen ist, konnte nicht festgestellt werden.

Um dieses Problem zu umgehen, wurde das Einbettmittel bei den nächsten Anschliffen vor dem Verarbeiten erwärmt. Es ist so niederviskoser und konnte besser in den Porenraum der Probe eindringen. Das Porenvolumen der Proben war jedoch so groß, dass nach dem

²⁰¹ Technovit 2000 LC, lichthärtender Kunststoff der Firma Heraeus Kulzer GmbH

Einbetten mehr Acrylat als Probenmaterial vorhanden war. Da das Einbettmittel bei der Anfärbung auf trocknende Öle ebenfalls eine positive Reaktion zeigt, konnte auch hier nur eine eingeschränkte Interpretation stattfinden. Eine Zuordnung der nachgewiesenen organischen Bestandteile in die jeweiligen Schichten war somit nicht möglich.

Versuche mit einem anderen Einbettmittel (zum Beispiel mit Epoxidharz) mussten aus Zeitgründen unterbleiben.

5.2 Untergründe

Es ist eindeutig, dass die rot pigmentierten Bakterien an Objekten zu finden sind, die ein weitgehend kalkig gebundenes System aufweisen. Ob diese Architekturoberflächen Mineralien enthalten, die von den Organismen für ihren Stoffwechsel benötigt werden oder ob sie durch andere Faktoren den geeigneten Lebensraum schaffen, ist nicht bekannt.

Alle Objekte weisen zusätzlich einen geringen organischen Bestandteil auf. Ob diese Beimengungen den Befall begünstigen, sie den Organismen als Substrat dienen, ist unklar, wird aber vermutet.

Mit den verwendeten Untersuchungsmethoden war es nicht möglich, eine eindeutige Bestimmung dieser Zusätze durchzuführen. Es kann lediglich der Verdacht geäußert werden, dass an allen Objekten Kohlenhydrat-Zusätze (vermutlich in Form von Celluloseleim) vorhanden sein könnten.

In der Praxis werden Kalktünchen oft organische Beimengungen zugefügt, um eine bessere Verarbeitbarkeit (Verhinderung der Sinterhautbildung) oder bessere Kristallbildung zu bewirken. Die Menge des Zusatzes ist hier sehr gering (teilweise unter 1%) und meist ungleichmäßig verteilt (siehe Kapitel 5.1). Geht man davon aus, dass es sich bei dem organischen Bestandteil um eine solche Zusatz handelt, wäre zur Identifizierung die Untersuchung einer großen Probenmenge an mehreren Stellen des Objektes nötig.

Ebenfalls möglich wäre, dass es sich bei dem organischen Bestandteil um ein nachträglich eingebrachtes Mittel (zum Beispiel das Festigungsmittel einer Konservierungsmaßnahme) handelt.

Im Zusammenhang mit durchgeführten Konservierungsmaßnahmen wäre auch ein Acrylat als Substrat für die Organismen denkbar. Bei mindestens zwei Objekten ist die Verwendung von Acrylaten belegt (Idensen, Eilsum), bei mindestens einem weiteren denkbar (Bartrup-Sonnborn). Nähere Untersuchungen hierzu wurden nicht durchgeführt. Weiterführende Forschungen zur Zusammensetzung der befallenen Untergründe wären wünschenswert.²⁰²

²⁰² An dieser Stelle sei auf die Masterarbeit an der HAWK von Silke Heinemann hingewiesen, die im Anschluss an diese Arbeit erfolgen soll. Im Rahmen dieser Arbeit soll u.a. die Verwertung der rosafarbenen Bakterien erforscht werden.

5.3 Salze

Bei der Bewertung der an den Objekten vorliegenden Salze bleibt durch die vielen fehlenden Carbonatbestimmungen eine gewisse Unsicherheit bestehen.

Bei allen auf Carbonate untersuchten Objekten (5 von 12) konnten unter anderem als Hauptsalze Natriumcarbonat und Natriumhydrogencarbonat ermittelt werden.

Aus den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Salzbestimmungen geht zusätzlich hervor, dass sich diese Salze vor allem in befallenen Bereichen befinden. In den unbefallenen Bereichen scheinen weniger Carbonat-Ionen vorzuliegen, die Natrium-Ionen verbinden sich hier vor allem mit Sulfaten. Da an allen Objekten Natrium-Ionen, an vielen Sulfat-Ionen und gelöstes Calcit (somit auch Carbonat-Ionen) nachgewiesen wurden, kann man wohl vermuten, dass die Situation an den übrigen Objekten ähnlich ist.

Bei Mainusch²⁰³ wird Natriumcarbonat als stark alkalisches Salz (wässrige Lösung ca. pH 12) mit einer Gleichgewichtsfeuchte von 97,9% bei 20°C (Natrit) und 83,2% bei 30°C (Natrit) beschrieben. Die Löslichkeit des Salzes ist stark temperaturabhängig. Dies kann dazu führen, dass gelöstes Natriumcarbonat bei sinkender Raumtemperatur trotz gleichbleibender Feuchte durch Übersättigung der Lösung ausfällt. Die Hygroskopizität des Salzes ist schwer zu bestimmen, da sie in Anwesenheit von Fremdionen stark schwankt. Natriumcarbonat ist dazu in der Lage, drei Hydratstufen (Deka- Hepta- und Monohydrat) auszubilden. Die stabilste Form ist das Monohydrat Thermonatrit. Am Objekt wird häufig auch das Dekahydrat Natrit nachgewiesen.

An der Luft kann Natriumcarbonat weiter reagieren zu Natriumhydrogencarbonat. Dieses weist in der wässrigen Lösung einen pH-Wert von ca. 8 und eine Gleichgewichtsfeuchte von 92% bei 19°C auf.

An vielen der untersuchten Objekte liegt ein Calcitschleier auf den Wandflächen. Zurückgeführt wird er meist auf periodische starke Durchfeuchtungen des Mauerwerks und damit verbundene Auswaschungen des Bindemittels. Schwarz²⁰⁴ beschreibt, dass die Anwesenheit von Hydrogencarbonaten in Lösungen die Löslichkeit von Calciumcarbonat erhöht. Die Calcitschleier geben also möglicherweise einen Hinweis auf Natriumhydrogencarbonat an Objekten, an denen dieses Salz bisher nicht nachgewiesen wurde.

Im Gegensatz zu Natriumcarbonat gilt das in den unbefallenen Bereichen vorliegende Natriumsulfat als Salz mit einem starken Säureteil. Der pH-Wert der wässrigen Lösung liegt

²⁰³ Vgl. Mainusch 2000, S.116ff.

²⁰⁴ Vgl. Schwarz 2000, S.47.

bei ca. 6. Auch Natriumsulfat ist dazu in der Lage, verschiedene Hydratstufen zu bilden. Die Gleichgewichtsfeuchte von Mirabilit liegt bei 93,6%rF bei 20°C und 87,9%rF bei 30°C. Die von Thenardit liegt bei 82,8%rF bei 20°C und 84,3%rF bei 25°C.

Die Verteilung der Salze am Objekt wird durch die durchgeführten pH-Wert- Untersuchungen der Oberflächen bestätigt. Die Bakterien sind in alkalischen Bereichen (pH 8 bis 11) nachweisbar, dies deutet auf Natriumcarbonat und Natriumhydrogencarbonat hin. Die unbefallenen Bereiche weisen einen pH von ca. 6 auf, dies spricht für Sulfatsalze. Der niedrige pH-Wert der Sulfatsalze scheint das Wachstum der Bakterien zu hemmen. (Vergleiche Barntrop-Sonneborn. Hier werden rosafarbene Bereiche durch dunkle Salzkrusten aus Natrium- und Magnesiumsulfat begrenzt.)

5.4 Klima

Das Innenklima der befallenen Objekte ist von starken Schwankungen und einer hohen Luftfeuchtigkeit geprägt. An den kühleren Wänden kommt es immer wieder zu Taupunktunterschreitungen.

Zusätzlich zu der hohen Luftfeuchtigkeit weisen alle Objekte eine Durchfeuchtung des Mauerwerkes aus unterschiedlichen Gründen auf.

Die hohe Luftfeuchtigkeit in Verbindung mit der Durchfeuchtung des Mauerwerkes und den hygroskopischen Salzen sorgt dafür, dass immer ausreichend Feuchtigkeit für Mikroorganismen vorhanden ist.

6 Kultivierung der Bakterien

6.1 Nährboden nach Xue et al.

Auf dem Nährboden nach Xue et al. gelang weder im flüssigen noch im festen Zustand die Kultivierung der Bakterien bei Tageslicht und Raumtemperatur. Zwar kam es auf den festen Böden zum Wachstum von rötlichen Bakterienkolonien, es handelte sich jedoch nicht um die gesuchten rot pigmentierten Bakterien. Untersucht wurde dies mit Hilfe des fluoreszenzmarkierten Antikörpers. Obwohl deutlich Organismen in den Puffer eingebracht wurden und



Abb. 73: Rötliche Bakterienkolonien.

Negativ- und Positiv-Kontrolle die fehlerfreie Durchführung des Versuches bestätigten, war der Nachweis weder mit dem Antikörper, noch mit der DAPI-Anfärbung möglich. Vermutlich kam es bereits beim Herstellen der Suspension zur Lyse der hier kultivierten Bakterien. Laut Xue et al. kommt es beim *Halalkalicoccus tibetensis* selbst in destilliertem Wasser nicht zur Lyse. Auch bei den an den Objekten vorliegenden rot pigmentierten Bakterien kann die Lyse in der Pufferlösung ausgeschlossen werden. Bei den kultivierten Bakterien kann es sich dementsprechend nicht um die gesuchten Organismen handeln.

6.2 Probenwürfel

Auf keinem der beimpften Probewürfel gelang die Kultivierung von Mikroorganismen.

6.3 Kalktünchen

Zur Herstellung eines geeigneten Nährbodens für die rot pigmentierten Bakterien wurde als erster Versuch eine Kalktünche mit Leinölzusatz hergestellt und dieser Natriumcarbonat (0,05g/100ml) und Natriumhydrogencarbonat (0,1g/100ml) zugefügt. Um zu gewährleisten, dass genügend Feuchtigkeit vorhanden war, um zumindest ein Teil der Salze in Lösung gehen zu lassen, wurde die Tünche auf eine Lage reinen Zellstoff gegossen. Da der Kalk zum Carbonatisieren ausreichend CO₂ benötigt, wurden die Schalen zunächst nicht verschlossen. Nach ca. 3 Tagen bildete sich in den Randbereichen der Kalktünche eine rosafarbene Verfärbung, die sich mit dem fortschreitenden Abbindeprozess des Kalkes mehr und mehr über den gesamten Boden ausbreitete. Der pH-Wert des carbonatisierten Bodens lag bei 11. Der Nachweis mit dem fluoreszenzmarkierten Antikörper zeigte, dass es sich bei der Verfärbung um die in Lüdingworth vorliegenden rot pigmentierten Bakterien handelte. Da



Abb. 74: In den Randbereichen und abgebinde-
Bereichen in der Fläche sind deutlich rosafarbene
Bakterienkolonien zu erkennen.

der Boden zu diesem Zeitpunkt noch nicht beimpft worden war und in keiner der verwendeten Materialien die Bakterien nachgewiesen wurden, handelt es sich hierbei wohl um eine Kontamination aus der Luft.

Der Nachweis mittels fluoreszenzmarkiertem Antikörper gestaltete sich in diesem Fall etwas schwierig, da erstens verhältnismäßig wenig Organismen vorhanden waren und diese zweitens nur schlecht von dem Kalknährboden zu trennen waren. Zur Entfernung der löslichen Salze, waren deshalb zwei Waschgänge in der Zentrifuge vonnöten.

Um zu überprüfen, ob sich die Kultivierung der Bakterien mit gezielter Beimpfung wiederholen lässt, wurde der gleiche Nährboden, so wie variierende Zusammensetzungen (siehe Kapitel 2.4.1.1) unter möglichst sterilen Bedingungen (Exsikkator mit Luftzufuhr durch einen Bakterienfilter, siehe Kapitel 2.4.1) hergestellt. Vermutlich durch die schwächere CO₂-Zufuhr, sowie die jahreszeitlich bedingten kälteren Temperaturen dauert der Vorgang des Carbonatisierens bis heute an. Zum Teil wird sicherlich auch die hohe Konzentration an hygroskopischen Salzen eine Rolle spielen. Um trotzdem eine Chance auf ein Ergebnis zu haben, wurden die Böden noch im feuchten Zustand beimpft (die Kontamination über die Luft

fand auch an nicht vollständig abgebundenen Böden statt) und wie oben beschriebenen (siehe Kapitel 2.4.1) inkubiert. Ein Wachstum konnte zum Ende des Zeitrahmens dieser Arbeit auf keinem der Böden beobachtet werden.

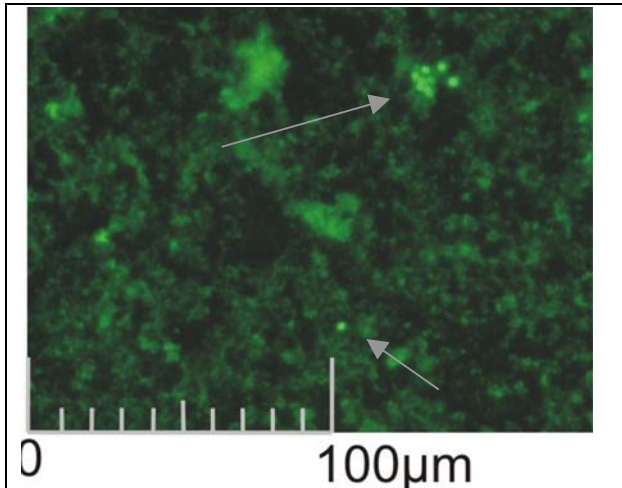


Abb. 76: Nach einmaligem Waschen, FITC-Färbung. Neben wenigen deutlich markierten Bakterien sind viele fluoreszierende Salze erkennbar.

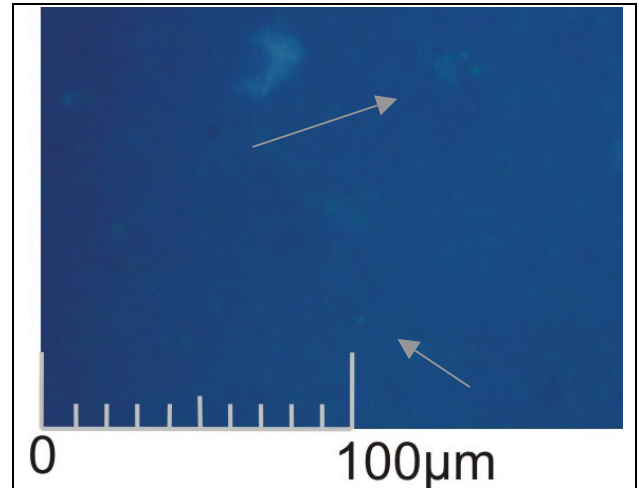


Abb. 77: Erster Durchlauf des Nachweises, DAPI-Färbung. Auch hier stört die starke Eigenfluoreszenz der Salze.

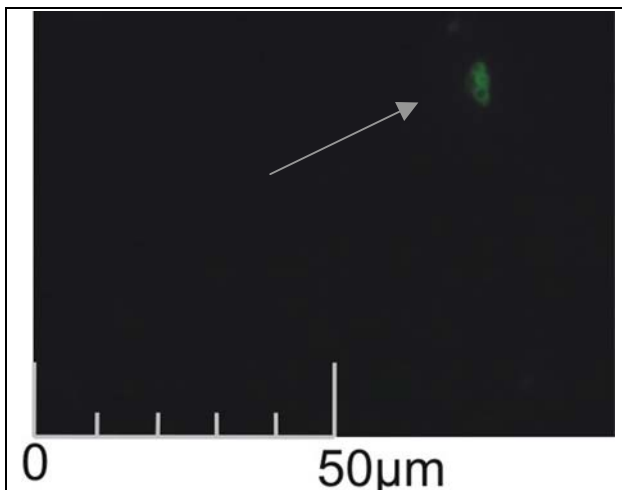


Abb. 75: Nach zweimaligem Waschen, FITC-Färbung. Gut erkennbar: der fluoreszierende Ring aus an die Bakterien angelagerten Antikörpern. Die Bakterien hängen in Ketten aneinander. Es sind kaum noch Salze vorhanden.

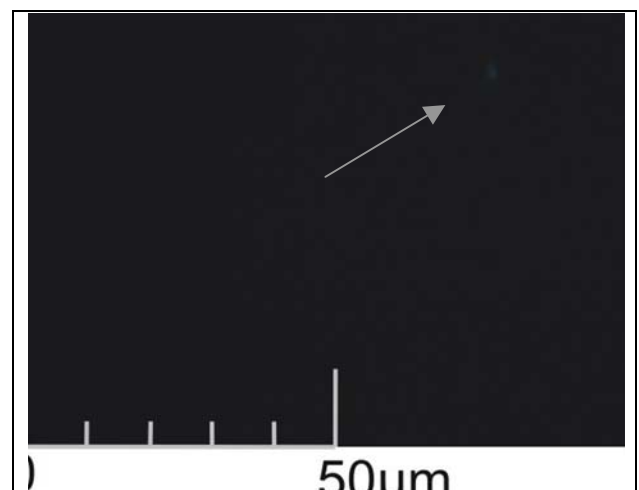


Abb. 78: Nach zweimaligem Waschen, DAPI-Färbung. Die DAPI-Fluoreszenz ist hier nur schwach zu erkennen.

7 Zusammenfassung

Der Befall mit rot pigmentierten Bakterien findet sich an allen Objekten auf Systemen mit einem überwiegend kalkigen Bindemittel. Bei allen Objekten wurde außerdem ein geringer vermutlich organischer Zuschlag vermutet oder nachgewiesen. Eine eindeutige Identifizierung dieser Zuschläge konnten nicht erreicht werden.

Alle untersuchten Denkmäler wiesen/weisen über lange Zeiträume hinweg massive Feuchteprobleme auf. Oft sind diese Probleme in der Bauart (zum Beispiel Mauern unter Bodenniveau) und schwierigen klimatischen Bedingungen begründet. In Verbindung mit Ionen aus Grundwassereintrag und Baumaterial kam es häufig zu salztypischen Schadensbildern (zum Beispiel fleckige Verfärbungen und Absprengungen der Architekturoberfläche). Feuchtigkeit und bauschädliche Salze wurden an den meisten Objekten recht früh als eine Hauptschadensursache erkannt. Zur Bekämpfung wurden überall verschiedene Maßnahmen durchgeführt. So gibt es heute an mindestens sechs der zwölf Gebäuden Drainagen zur Trockenlegung des Mauerwerks.

Eine für den Befall mit rosafarbenen Bakterien als entscheidend anzusehende durchgeführte Maßnahme an den Objekten sind in diesem Zusammenhang Ausbesserungen mit zementhaltigen Mörteln. Alle daraufhin untersuchten Objekte wiesen solche Instandsetzungen auf. Häufig wurde der gesamte Sockel mit zementhaltigen Putzen versehen. Selbst wenn diese Putze im Laufe der Jahre wieder entfernt wurden, verblieben die damit eingebrachten Alkalien (vor allem Natrium) im Mauerwerk und konnten sich hier mit den bereits vorhandenen Ionen verbinden.

Der Nachweis von Natriumcarbonaten an fünf der zwölf Denkmälern legt den Verdacht nahe, dass es desweiteren zu einem Eintrag von Carbonat-Ionen kam, möglicherweise im Zusammenhang mit einem konservatorischen Eingriff. Ein bekannter CO_3^{2-} Lieferant sind Fixiermittel auf Wasserglasbasis²⁰⁵, die im 20. Jahrhundert häufig zu Festigung von Wandmalereien genutzt wurden. Die Verwendung von (Kali-)Wasserglas ist für zwei Objekte bekannt²⁰⁶ und wird für mindestens zwei weitere vermutet.²⁰⁷ Als Zeitraum des Eintrages der Carbonat-Ionen wird hier die Mitte des 20. Jahrhunderts vermutet. An allen Objekten kam es in diesen Jahren zu konservatorischen, bzw. restauratorischen Maßnahmen.

Die mehrfach nachgewiesenen Natriumcarbonate scheinen einen entscheidenden Einfluss auf das Wachstum der Mikroorganismen zu haben: Der Vergleich dreier Gebäude brachte den Nachweis, dass die befallenen Bereiche als Anionen vor allem Carbonate, die

²⁰⁵ Vgl. Hammer 1998, S.200.

²⁰⁶ Vgl. Schostak et al. 1995, S.9 und Sommer 2002, S.18ff

²⁰⁷ Vgl. Aßmann 2000, S.22ff und Restaurierungsgeschichte Bartrup-Sonneborn.

unbefallenen dagegen Sulfate aufwiesen. Als hauptsächlich vorhandenen Kationen lag in beiden Bereichen Natrium vor. Bei den ausblühenden Salzen handelte es sich dementsprechend um Natriumcarbonate, bzw. -sulfate.

Der entscheidende Unterschied liegt hier vor allem in den entstehenden pH-Werten bei Lösung der Salze. Natriumcarbonate bilden durch einen starken Laugenteil sehr hohe pH-Werte, während Natriumsulfate durch den starken Säureteil eher niedrige pH-Werte bilden. Während sich die rot pigmentierten Bakterien in den alkalischen Bereichen nach mechanischer Entfernung immer wieder ausbreiten, scheint das saure Milieu der Sulfatsalze das Wachstum zu hemmen. Der Befall bricht hier stets sehr abrupt ab.

Der Nachweis der Vorliebe der Bakterien für ein alkalisches Milieu unterstützt die Vermutung, dass es sich bei dem Organismus um das bei Xue et al. beschriebene halalkalophile Archaeobakterium²⁰⁸ handelt. Wie bereits Oltmanns 1997²⁰⁹ vermutete, scheinen die rot pigmentierten Bakterien darauf angewiesen zu sein, dass vorliegende organische Substanzen in freie Aminosäuren aufgespalten werden.

Die gewonnenen Erkenntnisse über Untergründe und vor allem Salzbelastung an den Objekten wurden genutzt um verschiedene mögliche Nährböden für die Organismen herzustellen.

Beim Herstellen dieser Kalknährböden kam es auf einer der Varianten (Kalktünche mit Leinöl-Beimengung, Salz-Zusatz: 0,1g NaHCO₃ + 0,05g Na₂CO₃ pro 100ml, auf Zellstoff gegossen) noch während des Abbindeprozesses zum Wachstum der rot pigmentierten Bakterien. Der Nährboden war zu diesem Zeitpunkt noch nicht beimpft worden. Es handelte sich entweder um eine Kontamination über die Luft oder über die verwendeten Materialien. Ob die Mikroorganismen hier den Leinöl-Zusatz oder den Zellstoff verwerten ist unklar. Das es sich allerdings um die gesuchten rot pigmentierten Bakterien handelt konnte mittels fluoreszenzmarkiertem Antikörper nachgewiesen werden. Durch die „Eigen-Beimpfung“ kann das Wachstum hier nicht als gelungene Kultivierung bezeichnet werden, es ist jedoch eine Bestätigung der gewonnenen Erkenntnisse zur Salzbelastung.

Bei den in einer zweiten, steriler gehaltenen Versuchsreihe (siehe Kapitel 2.4.1) hergestellten Böden dauert der Abbindeprozess bis heute an. Zwar liegt die Herstellung der sehr dünnen Böden bereits einen Monat zurück, es ist aber zu vermuten, dass die geringere CO₂-Zufuhr im Exsikkator (die Zuluft erfolgt nur über eine Kanüle), sowie das jahreszeitlich bedingte kühlere Außenklima zu einem sehr langsamen Abbindeprozess führen. Zusätzlich wird der zum Teil sehr hohe Prozentsatz an hygroskopischen Salzen die Entwicklung des Carbonatisierens verlangsamen bis verhindern. Um trotzdem die Möglichkeit eines

²⁰⁸ Vgl. Xue et al. 2005.

²⁰⁹ Vgl. Oltmanns 1997, S.43ff.

Ergebnisses zu erhalten, wurden die Böden noch im feuchten Zustand beimpft (die Kontamination der ersten Böden erfolgte auch während des Abbindeprozesses), eine endgültige Auswertung kann hier jedoch nicht erfolgen. Zur Beendigung dieser Arbeit konnte auf den gezielt beimpften Böden kein Wachstum festgestellt werden.

Eine Kultivierung der gesuchten rot pigmentierten Bakterien auf den bei Xue et al. beschriebenen Nährböden²¹⁰ bei Raumtemperatur und Tageslicht konnte nicht erreicht werden. Zwar kam es zum Wachstum von Bakterienkolonien, es handelte sich dabei jedoch nicht um den Organismus der den rosafarbenen Befall an den Objekten verursacht.

Die Auswertung der Quellen und die durchgeführten Untersuchungen an den Objekten ermöglichten es im Rahmen dieser Arbeit, die Vermutung nach einem Zusammenhang zwischen Salzbelastung und mikrobiell induziertem rosafarbenen Befall zu bestätigen. Das von den Mikroorganismen benötigte Salz konnte hierbei nicht an allen Objekten eindeutig identifiziert werden, die Analysen weisen jedoch auf eine Kombination von Natriumcarbonat und Natriumhydrogencarbonat hin. Beide Salze haben einen starken basischen Teil, der die stets recht hohen pH-Werte (zwischen 8 und 11) in den befallenen Bereichen erklären würde. Weiterführende Untersuchungen zur Bestätigung dieser beiden Salze wären wünschenswert.

Bei der Auswertung der klimatischen Bedingungen konnten genügend Daten gesammelt und verglichen werden um die Relevanz eines bestimmten Klimabereiches darzulegen. Es handelt sich hierbei um ein sehr feuchtes Klima, die Luftfeuchten liegen über längere Zeiträume hinweg über 70%, es kommt häufig zu Taupunktunterschreitungen an den Wänden. Zusätzlich ist zu beobachten, dass die Bakterien vor allem in kühleren Wandbereichen wachsen. Direkte Sonneneinstrahlung auf befallenen Bereichen zum Beispiel wurde nie beobachtet. Es ist anzunehmen, dass die Feuchte über diesen Bereichen besonders hoch liegt. Dies führt zum einen zu einer ausreichenden Versorgung mit Feuchtigkeit für die Organismen und zum anderen zur (teilweisen) Lösung der vorhandenen Salze.

Die Frage nach der Zusammensetzung der Untergründe und damit der vermutlichen Kohlenstoffquelle konnte nicht erschöpfend geklärt werden. Hier sind weiterführende Untersuchungen nötig. Diese würden in Verbindung mit den hier gewonnenen Erkenntnissen über Salzbelastung (und damit pH-Wert) vermutlich die Herstellung eines geeigneten Nährbodens möglich machen.

²¹⁰ Vgl. Xue et al. 2005, S.3.

8 Literaturverzeichnis

- Arendt, Claus** Die „gesunde“ Wand als Voraussetzung einer Freskensanierung, in: Salzsäuren an Wandmalereien, Beiträge einer Fortbildungsveranstaltung der Restaurierungswerkstätten des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege am 28./29. November 1988, München 1996, S.15–28.
- Arnold, Andreas** Salze: Lästige weiße Ausblühungen oder Hauptschadensursache?, in: Jahresberichte Steinerfall–Steinkonservierung, Verlag Ernst&Sohn, Berlin 1992, S. 1–9.
- Arnold, Bärbel** Luckau, Landkreis Dahme–Spreewald, St. Nikolaikirche, Auswertung der Klimamessung vom Zeitraum Dezember 2002 bis November 2004, Einfluss der Durchfeuchtung und Salzbelastung des Mauerwerks, unveröffentlichter Bericht des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum, Referat Restaurierung, Wünsdorf 2004.
- Aßmann, Caroline** Die Wandmalereien der Kath. Filialkirche St. Martin in Filzingen, Befundsicherung und Konservierungskonzept, unveröffentlichte Diplomarbeit an der Fachhochschule Hildesheim/Holzminde/Göttingen, Studiengang Restaurierung, Hildesheim 2000.
- Berling, Helmut** Das Raumklima nach Inbetriebnahme der Temperier- und Be-/Entlüftungsanlage, Sigwardskirche Idensen, unveröffentlichter Bericht, Braunschweig 2003.
- Bläuer, Christine** Salze und Salzkrusten, in: Wandmalerei-Schäden, Arbeitshefte zur Denkmalpflege in Niedersachsen, Schäden an Wandmalereien und ihre Ursache, ein Forschungsprojekt des Bundesministers für Forschung und Technologie, Aktuelle Vorberichte zu den ersten Befunden, Hannover 1990, S.110-114.
- Bläuer-Böhm, Christine** Salzuntersuchungen an Baudenkmalern, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Jg. 8, Wernersche Verlagsgesellschaft, 1994, S.86-103.

- Borkowski, Kristina** Die Kirche St. Peter und Paul in Nusplingen, Teil I: Untersuchung und Dokumentation (Befundsicherung) der Architekturoberfläche, Teil II: Kunsthistorische Einordnung und Datierung der Wandmalereien, unveröffentlichte Facharbeit zum Diplom an der Fachhochschule Hildesheim/Holzminden/Göttingen, Studiengang Restaurierung, Hildesheim 1999/2000.
- Borkowski, Kristina** Befundsicherung im Innenraum der Kirche St. Peter und Paul in Nusplingen, Bestand-Zustand-Bauphysik, unveröffentlichte Diplomarbeit an der Fachhochschule Hildesheim/Holzminden/Göttingen, Studiengang Restaurierung, Hildesheim 2000.
- Claussen, Hilde** Wandmalereien aus lutherischer Zeit in der Pfarrkirche zu Sonneborn, in: Westfalen, Hefte für Geschichte Kunst und Volkskunde, 41. Band, Heft 1-4, Aschendorffsche Verlagsbuchhandlung, Münster Westfalen 1963.
- Claussen, Hilde**
- Exner, Matthias** Abschlußbericht der Arbeitsgemeinschaft für frühmittelalterliche Wandmalerei, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung 4/1990, Heft 2, 1990, S. 261–282.
- Dehio, Georg** Handbuch der Deutschen Kunstdenkmäler Mecklenburg, die Bezirke Neubrandenburg, Rostock, Schwerin, überarbeitet von der Abteilung Forschung des Instituts für Denkmalpflege, Deutscher Kunstverlag, München Berlin 1980.
- Dehio, Georg** Handbuch der Deutschen Kunstdenkmäler Nordrhein-Westfalen, II. Westfalen, neubearbeitet von Dorothea Kluge und Wilfried Hansmann, unveränderte Neuauflage mit Nachträgen, Deutscher Kunstverlag, München, Berlin 1986.
- Dehio, Georg** Handbuch der Deutschen Kunstdenkmäler Niederbayern, neubearbeitet von Michael Brix, München Berlin 1988.
- Dehio, Georg** Handbuch der Deutschen Kunstdenkmäler Bayern III: Schwaben, bearbeitet von Bruno Bushart und Georg Paula, Deutscher Kunstverlag, München Berlin 1989.

- Dehio, Georg** Handbuch der Deutschen Kunstdenkmäler Bayern V., Regensburg und die Oberpfalz, Deutscher Kunstverlag, Berlin 1991.
- Dehio, Georg** Handbuch der Deutschen Kunstdenkmäler Bremen, Niedersachsen, neubearbeitet und stark erweitert von Gerd Weiß u.a., Deutscher Kunstverlag, München Berlin 1992.
- Dehio, Georg** Handbuch der Deutschen Kunstdenkmäler Baden-Württemberg II, Die Regierungsbezirke Freiburg und Tübingen, neubearbeitet von Dagmar Ziemdars u.a., Deutscher Kunstverlag, München Berlin 1997.
- Fischer, Ekkehardt**
Kreidel, Juliane
Maske, Barbara
Tauber, Julia
Weinberg, Dana Wandfassungen im Bereich der Epitaphien Fritsch, Exs, Hecht und Passarini, Stadtkirche St. Nikolai in Luckau, Land Brandenburg, unveröffentlichter Untersuchungsbericht der Fachhochschule Potsdam, Fachbereich Architektur und Städtebau, Studiengang Restaurierung, Potsdam 2000.
- Fölster, Heike** Untersuchungen zur Erkennung von Bakterien in natürlichen Proben mineralischer Zusammensetzung, unveröffentlichte Diplomarbeit an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Studiengang Diplom-Biologie, Oldenburg 2000.
- Giacobini, Clelia** Chronicle of a Biodeterioration Problems in the Field of Fine Arts, in: Biodeterioration of Cultur Property 2, Proceeding of the 2nd International Conference on Biodeterioration of Culturale Property, October 5-8, 1992, Tokyo 1993, S.49-66.
- Granek, Judith M.**
Leupold, Carla Monitoring der romanischen Wandmalereien der Sigwardskirche in Idensen nach Einbau einer Anlage zur Regulierung des Innenklimas, unveröffentlichte Facharbeit zum Diplom an der HAWK, Fachbereich Konservierung und Restaurierung, Hildesheim 2004.

- Grodten, T.** Untersuchungsbericht Pfarrkirche St. Emmeran in Regensburg, unveröffentlichter Bericht des Institutes für Anorganische und Angewandte Chemie der Universität Hamburg, Hamburg 1994.
- Hammer, Ivo** Sinn und Methodik der restauratorischen Befundsicherung zur Untersuchung und Dokumentation von Wandmalerei und Architekturoberfläche, in: Restauratorenblätter Band 9, zum Thema Wandmalerei, Sgraffito, Stuck, Wien 1987/88, S.34-59.
- Hammer, Ivo** Salze und Salzbehandlung in der Konservierung von Wandmalerei und Architekturoberfläche, in: Salzschäden an Wandmalereien, Beiträge einer Fortbildungsveranstaltung der Restaurierungswerkstätten des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege am 28./29. November 1988, München 1996, S.81–101.
- Hammer, Ivo** Zur Nachhaltigkeit mineralischer Beschichtung von Architekturoberflächen, Erfahrungen mit Kaliwasserglas und Kalk in Österreich, in: Mineralfarben, Beiträge zur Geschichte und Restaurierung von Fassadenmalereien und Anstrichen, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich 1998, S. 191-203.
- Haupt, Dieter,
Schuhmacher, Martin** Baugeschichtliche Anmerkungen, in: Schäden an Wandmalereien und ihre Ursachen, ein Forschungsprojekt des Bundesministers für Forschung und Technologie, Aktuelle Vorberichte zu den ersten interdisziplinären Befunden, Wandmalerei-Schäden, Arbeitshefte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 8, Niedersächsisches Landesverwaltungsamt, Hannover 1990, S.104-109.
- Knoepfli, Albert
Emmenegger, Oskar** Wandmalerei bis zum Ende des Mittelalters, in: Reclams Handbuch der künstlerischen Techniken 2, Wandmalerei, Mosaik, Philipp Reclam jun. GmbH & Co, Stuttgart 1990, S.7-212.
- Koch, Wilfried** Baustilkunde, Das große Standardwerk zur europäischen Baukunst von der Antike bis zur Gegenwart, 11. erweiterte

- und völlig neubearbeitete Auflage, Mosaik Verlag GmbH, München 1991.
- Kühne, Nadja** Untersuchung rosafarbener Bakterien an den Wandmalereien der Sankt Georg Klosterkirche in Voronet in Rumänien, Bakterien im Wechselspiel zu Weihrauch, Bienenwachs, Ruß und Salzen, Entwicklung eines restauratorischen Konzeptes zum Umgang mit den Bakterienkulturen, unveröffentlichte Diplomarbeit an der Fachhochschule Potsdam, Studiengang Restaurierung, Potsdam 2002.
- Laue, Steffen** Salze und Raumklima in historischen Gebäuden, in: Mauersalze und Architekturoberfläche, Tagungsbeiträge, Hochschule für Bildende Künste Dresden, 1. bis 3. Februar 2002, HfBK Dresden, Dresden 2002, S.65–71.
- Madigan, Michael**
- Martinko, John**
- Parker, Jack** Brock Mikrobiologie, begründet von Brock, Thomas D., 1. Nachdruck, Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg, Berlin 2002.
- Mainusch, Niels** Erstellung einer Materialsammlung zur qualitativen Bestimmung von bauschädlichen Salzen für Fachleute der Restaurierung, Untersuchungsverfahren-Bildatlas-Datenbank, unveröffentlichte Diplomarbeit an der Fachhochschule Hildesheim/Holzminden/Göttingen, Studiengang Restaurierung, Hildesheim 2001.
- Mainusch, Niels** Verfahren zur qualitativen Salzbestimmung durch die Kombination chemischer Tests und polarisationsmikroskopischer Untersuchungen sowie datenverarbeitender Auswertungshilfen, in: Mauersalze und Architekturoberfläche, Tagungsbeiträge, Hochschule für Bildende Künste Dresden, 1. bis 3. Februar 2002, HfBK Dresden, Dresden 2002, S.41–50.
- Möhlenhoff, Petra** Untersuchungen zum Gefahrenpotential von Mikroorganismen (Mikromyceten) in Museen, -Materialschädigung und Gesundheitsgefährdung-, unveröffentlichte Dissertation, vorgelegt dem Fachbereich Biologie, Geo-

- und Umweltwissenschaften der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Oldenburg 2002.
- Oltmanns, Thorsten** Charakterisierung rotpigmentierter Mikroorganismen von Wandmalereien, unveröffentlichte Diplomarbeit an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Studiengang Diplom-Biologie, Oldenburg 1997.
- Ohne Verfasser** **[a]** St. Jacobi, Cuxhafen–Lüdingworth, Schnell, Kunstführer Nr. 869, Erstausgabe 1967, 8. neu bearbeitete Auflage, Verlag Schnell&Steiner GmbH Regensburg, Regensburg 2004.
- Ohne Verfasser** **[b]** Wartung und Pflege der substanzgefährdeten Malereien im Chor der Ref. Kirche in Krummhörn-Eilsum/LDKR. Aurich, Arbeitsplan 2005-2007, unveröffentlichter Bericht, Hannover 2005.
- Ohne Verfasser** **[c]** dtv-Lexikon der Physik in 10 Bänden, Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München 1971.
- Petersen, Karin**
Krumbein, W. E. Mikroorganismen beschleunigen den Zerfall mittelalterlicher Wandgemälde in der Krummhörn am Beispiel der Wandmalereien in der ev.-ref. Kirche in Eilsum, in: Jahresberichte Steinerfall–Steinkonservierung, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1991, S.57–65.
- Petersen, Karin** **[a]** Bericht zu den Schadensbildern der Wandmalereien Sigwardskirche Idensen unter mikrobiellen Aspekten (Teil I), unveröffentlichter Bericht der AG Geomikrobiologie, ICBM, Universität Oldenburg, Oldenburg 1993.
- Petersen, Karin** **[b]** Bericht zu den Schadensbildern der Wandmalereien Sigwardskirche Idensen unter mikrobiellen Aspekten Teil II, unveröffentlichter Bericht der AG Geomikrobiologie, ICBM, Universität Oldenburg, Oldenburg 1993.
- Petersen, Karin**
Hammer, Ivo Biodeterioration of Romanesque Wall Paintings under Salt Stress in the Nonnberg Abbey, Salzburg, Austria, in: Biodeterioration of Cultural Property 2, Proceeding of the 2nd International Conference on Biodeterioration of

Culturale Property, October 5-8, 1992, Tokyo 1993, S. 263–277.

Petersen, Karin

Krumbein, W. E.

Untersuchungen mikrobieller Schädigung von Wandmalereien, in: Jahresberichte Steinzerfall-Steinkonservierung, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1994, S.49–64.

Raue, Jan

Nikolaikirche Luckau, Bericht zur Untersuchung der Wandflächen im Chorumgang, unveröffentlicher Untersuchungsbericht, Berlin 1999.

Rölleke, Sabine

Muyzer, Gerard

Wawer, Cathrin

Wanner, Gerhard

Lubitz Werner

Identification of Bacteria in a Biodegraded Wall Painting by Denaturing Gradient Gel Electrophoresis of PCR-Amplified Gene Fragments Coding for 16S rRNA, in: Applied and Environmental Microbiology, Vol. 62, No. 6, 1996, S.2059-2065.

Rölleke, Sabine

Lubitz, Werner

Genetische Verfahren für die Untersuchung von Mikroorganismen, Wandmalereien der Katharinenkapelle, Schloß Hebertstein/Steiermark, in: Restauero 4/98, S.254-259.

Rösch, H.

Schwarz, Hans-Jürgen

Meyer, I.

Projekt „Ursachen von Wandmalereischäden“, 1. Arbeitsbericht zum Objekt Sigwardskirche in Idensen, unveröffentlicher Bericht der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Referat B 4.21, Hannover 1990.

Sawdy, Alison

The role of environmental control for reducing the rate of salt damage in wall paintings, in: Conserving the Painting Past, Developing Approaches to Wall Painting Conservation, post-prints of a conference organised by

- English Heritage, London 2-4 December 1999, James & James (Science Publishers), 2003, S.95–109.
- Schramm, Hans-Peter**
- Hering, Bernd** Historische Malmaterialien und ihre Identifizierung, Reprint der 1988 im VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin/DDR erschienenen Ausgabe, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1995.
- Schostak, Volker**
- Tennikat, Manuela**
- Juling, Herbert** Pilotprojekt Eilsum, Entwicklung und Durchführung eines Untersuchungskonzeptes zum langfristigen Erhalt einer Wandmalerei, 1992-1995, unveröffentlichter Bericht der MPA Bremen, Bremen 1995.
- Schulz, Rudolf**
- Tuček, Helga** Nikolaikirche Luckau, Kirchenführer der Evangelischen Kirchengemeinde Luckau, 4. verbesserte Auflage, Druckhaus Terno, Luckau 2000.
- Schwarz, Hans-Jürgen** **[a]** Salzbildende Ionen – Salze – Salzschäden, Eine Einführung in die Problematik der Schadensbildung durch Salze Teil I, unveröffentlichtes Skript zur Vorlesung, an der HAWK, Fachbereich Konservierung und Restaurierung, Hannover 2000.
- Schwarz, Hans-Jürgen** **[b]** Salzbildende Ionen – Salze – Salzschäden, Eine Einführung in die Problematik der Schadensbildung durch Salze Teil II, unveröffentlichtes Skript zur Vorlesung, an der HAWK Fachbereich Konservierung und Restaurierung, Hannover 2000.
- Sievers, Annette** Pigmenttoleranz ausgewählter rosafarbener Bakterien auf Architekturoberflächen, unveröffentlichte Facharbeit zum Diplom an der Fachhochschule Hildesheim/Holzminde/Göttingen, Fachbereich Konservierung und Restaurierung, Meppen/Hildesheim 2001.
- Sievers, Annette** Rosafarbene Bakterien auf Architekturoberfläche, die Bedeutung der Zellwandbeschaffenheit im Hinblick auf Hemmbarkeit und mögliche Gesundheitsgefährdung, unveröffentlichte Diplomarbeit an der Fachhochschule

-
- Hildesheim/Holzminden/Göttingen, Fachbereich Konservierung und Restaurierung, Meppen 2002.
- Sommer, Roland** Die Petruskapelle der Alten Kirche in Idensen. Beiträge zur Restaurierungsgeschichte und zu einem Konservierungskonzept der Malereien des 12. Jahrhunderts mit dem Schwerpunkt der Gipsbehandlung im Kontext früherer Ergebnisse einschließlich mikro-biologischer Aspekte, unveröffentlichte Facharbeit der Fachhochschule Hildesheim, Institut für Restaurierung, Hildesheim 2002.
- Stadermann, Anette** Evangelisch-reformierte Kirche zu Sonneborn, DKV-Kunstführer Nr. 540/9, erste Auflage, Deutscher Kunstverlag GmbH München Berlin, Sonneborn o.J.
- Steiger, Michael** Thermodynamische Eigenschaften von Salzgemischen, in: Mauersalze und Architekturoberfläche, Tagungsbeiträge, Hochschule für Bildende Künste Dresden, 1. bis 3. Februar 2002, HfBK Dresden, Dresden 2002, S.25–35.
- Thiele, Mike**
- de Maizière, Uwe** Dokumentation der naturwissenschaftlichen Untersuchungen in der Nikolaikirche Luckau, unveröffentlichte Semesterarbeit an der Fachhochschule Potsdam, Potsdam 1998.
- Wehlte, Kurt** Werkstoffe und Techniken der Malerei, überarbeitete Auflage, 1.Auflage 1967, Ravensburger Buchverlag, Ravensburg 1992.
- Wiechmann, Friedrich** Kirchen um den Sternberg, Aus der Geschichte des Bega- und Exertales, Verlag F.L. Wagener, Lemgo 1965.
- Wörz, Stefan** Mikrobiologischer rosafarbener Befall auf Wandmalereien und Wandanstrichen, Untersuchung unter konservatorisch relevanten Gesichtspunkten, unveröffentlichte Diplomarbeit an der Fachhochschule Hildesheim/Holzminden/Göttingen, Fachbereich Konservierung und Restaurierung, Hildesheim 2000.
- Wulfert, Stefan** Der Blick ins Bild, Lichtmikroskopische Methoden zur Untersuchung von Bildaufbau, Fasern und Pigmenten, Ravensburger Buchverlag Otto Maier GmbH, Ravensburg 1999.

-
- Zehnder, Konrad** Beobachtung von Salzverwitterungsprozessen am Objekt, in: Mauersalze und Architekturoberfläche, Tagungsbeiträge, Hochschule für Bildende Künste Dresden, 1. bis 3. Februar 2002, HfBK Dresden, Dresden 2002, S. 13–18.
- Xue, Yanfen**
Fan, Huapeng
Ventosa, Antonio
Grant, William D.
Jones, Brian E.
Cowan, Don A.
Ma, Yanhe *Halalkalicoccus tibetensis* gen. Nov., sp. Nov. a novel genus of haloalkaliphilic archaeon, Vorveröffentlichung aus: IJSEM Papers in Press—Published online 29 July 2005 as:<http://dx.doi.org/10.1099/ijls.0.63916-0>.

9 Quellenverzeichnis

9.1 Archivquellen

- Objektakten des Westfälischen Amtes für Denkmalpflege
 - Landschaftsverband Westfalen–Lippe C76 N.522 (1952 – 1975)
 - Objektakten (1975 – Heute).
- Bildarchiv des Westfälischen Amtes für Denkmalpflege.

9.2 Internetquellen

- <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/w/wasseraktivitaet.htm>
- <http://www.sgm.ac.uk/IJSEM/PIp/ijsem63916.pdf>

9.3 Mündliche Auskünfte

- Hammer, Ivo** [a] Inhalt des Gespräches: Der mögliche Aufbau der Architekturoberfläche des Innenraumes der Dorfkirche zu Sonneborn; verwendete Materialien, Auftragstechniken und zeitliche Abfolge, HAWK, Sonneborn 7.11.2005.
- Hammer, Ivo** [b] Inhalt des Gespräches: Korrekturen und Ergänzungen zu einer Leseprobe der vorliegenden Diplomarbeit: die als eingesetztes „chemisches Mittel“ in Sonneborn zeitlich in Frage kommenden Materialien, Vorschläge zu weiteren noch fehlenden wichtigen Informationen zur Vorstellung der Objekte, HAWK, Telefongespräch Wien-Hildesheim, 28.12.2005.
- Möhlenhoff, Petra:** Inhalt des Gespräches: Das zur Zeit laufenden ESF–/EFRE–Projekt über die Gesundheitsgefährdung beim Umgang mit verkeimten Objekten, an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg; die durchgeführten Untersuchungen und ihre Ergebnisse (Herstellung Antikörper, Testung verschiedener Nährmedien, Testung der Toxizität an Zellkulturen, LAL-Test, LPS–Nachweis), Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, AG Geomikrobiologie, Oldenburg, 12.10.05.
- Kardenas, n.b.** Inhalt des Gesprächs: Kurze Zusammenfassung der bisher in der Nikolaikirche Luckau durchgeführten Untersuchungen und Konservierung–, bzw. Restaurierungsmaßnahmen (Klimamessung, Abkehren von Salzausblühungen, Austausch rosa befallener Putze), Restauratorin, Luckau 19.08.05.

-
- Petersen, Karin** Inhalt des Gespraches: Der Forschungsstand zu den rosafarbenen Bakterien, die Untersuchungen der letzten Jahre, laufende Projekte, HAWK, Hildesheim Oktober 2005.

10 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Testsystem LuciPac™ II von Hyserve (Zeichnung aus: LuciPac™ II, Operating Manual)	8
Abb. 2: Photomultiplier (Zeichnung aus: Lumitester C-100, Operating Manual).....	8
Abb. 3: Schematische Darstellung (Zeichnung aus: Madigan et al. 2002, S.975).....	10
Abb. 4: Das Gerät Surveymaster SM der Firma Protimeter.....	13
Abb. 5: Schematische Darstellung des Messprinzips. (Zeichnung aus: Schwarz 2000, S.24.).....	14
Abb. 6: Schematische Darstellung (Zeichnung aus: Wülfert 1999, S. 109)	15
Abb. 7: Mikrochemischer Nachweis von Magnesium.....	16
Abb. 8: Auf Proteine angefärbter Anschliff einer Materialprobe aus Barntrup-Sonneborn	17
Abb. 9: Schematische Darstellung des Inkubationsbehältnisses.....	19
Abb. 10: Die Salzverteilung im Mauerwerk. (Zeichnung aus: Zehnder 2002, S. 16.)	22
Abb. 11: Deutschlandkarte mit Angabe der Standorte der Objekte	24
Abb. 12: Grundriss der Abteikirche. (Zeichnung aus: Dehio 1988, S. 21.)	25
Abb. 13: REM-Aufnahme des Befalls (Foto Petersen, entnommen aus Wörz 2000)	26
Abb. 14: Rosafarbener Befall der Südwand der Grabeskapelle. (Foto aus: Wörz 2000, S.30).....	26
Abb. 15: Grundriss der Kirche (Skizze nicht maßgetreu).....	28
Abb. 16: Kartierung des rosafarbenen Befalls an der Nordwand des Langhauses.	31
Abb. 17: Kartierung des rosafarbenen Befalls im Chor.....	32
Abb. 18: Kartierung des rosafarbenen Befalls im Turm	33
Abb. 19: Anschliff der Materialprobe aus dem Bereich mit ursprünglicher Architekturoberfläche	34
Abb. 20: Anschliff der Materialprobe aus dem neuverputzten Bereich.....	34
Abb. 21: Salznadeln eines befallenen Bereiches.....	35
Abb. 22: Rekrystallisierte Salze nach wässriger Lösung der Salznadeln.....	35
Abb. 23: Dunkle Verfärbung als Begrenzung des rosafarbenen Befalls	36
Abb. 24: Dunkle Verfärbungen rund um die verschlossenen Belüftungsröhrchen.	36
Abb. 25: Rekrystallisierte Salze unter gekreuzten Polarisatoren	36
Abb. 26: Kapazität der Sockelzone des Chores.....	38
Abb. 27: Elektrische Leitfähigkeit der Sockelzonen des Chores.....	38
Abb. 28: Diagramm des Außenklimas in Barntrup. (Diagramm aus: www.wetter.com)	40
Abb. 29: Diagramm des Innenklimas.	40
Abb. 30: Diagramm der Oberflächentemperaturen.....	41
Abb. 31: Diagramm des Innenklimas am 30.10.05.	42
Abb. 32: Diagramm der Oberflächentemperaturen am 30.10.05.....	42
Abb. 33: Verstärkter rosafarbener Befall auf Laufspuren (Foto aus: Wörz 2000, S.33)	43
Abb. 34: REM-Aufnahme der rosafarbenen Besiedlung. (Foto Petersen, aus: Wörz 2000, S.59)	43
Abb. 35: Der Treppenaufgang zur Bibliothek (Foto aus: Wörz 2000, S.33).....	44
Abb. 36: Grundriss der Kirche (Zeichnung aus: Haupt et al.. 1990, S.108).....	45
Abb. 37: REM-Aufnahme des Befalls. (Foto entnommen aus: Petersen et al. 1991, S.119)	47
Abb. 38: Makroaufnahme des befallenen Bereiches. (Foto aus Petersen et al. 1991, S.119)	47
Abb. 39: Grundriss der Kirche. (Zeichnung aus: Aßmann 2000, S.8).....	49
Abb. 40: REM-Aufnahme des Befalls. (Foto Petersen, aus: Wörz 2000, S.62).....	51
Abb. 41: Befallener Bereich der Wandmalerei. (Foto aus: Aßmann 2000, S.37)	51
Abb. 42: Grundriss mit eingezeichneten Malereifragmenten (Zeichnung aus: Sommer 2002, S.11.) ..	53
Abb. 43: REM-Aufnahme des Befalls. (Foto aus: Petersen 1993a, Tafel 1).....	55
Abb. 44: Rosafarbener Befall (Foto aus Granek und Leupold 2004, S.154)	55
Abb. 45: Grundriss der Nikolaikirche um 1917. (Zeichnung aus Schulz und Tuček 2000, S.17)	57
Abb. 46: Die Nordwand des Chorumganges.....	59
Abb. 47: Befallener Bereich links des Epitaphs Fritsch.....	59
Abb. 48: Anschliff einer Materialprobe aus einem Bereich mit rot pigmentierten Bakterien.	60
Abb. 49: Anschliff einer Materialprobe aus einem Bereich ohne rot pigmentierte Bakterien.....	60
Abb. 50: Nadeliger Salzrasen in einem Eckbereich der Sakristei.....	61
Abb. 51: Zusammengefallene Salzausblüfung.....	61
Abb. 52: Darstellung der Salz- und Feuchteverteilung. (Diagramm aus: Arnold 2004, S.24.).....	63
Abb. 53: Raumfeuchte 2004 (Diagramm entnommen aus: Arnold 2004, S. 7).....	64
Abb. 54: Raum- und Lufttemperatur 2004 (Diagramm entnommen aus: Arnold 2004, S.4).....	64
Abb. 55: Taupunktunterschreitungen an der Chornordwand. (Diagramm aus: Arnold 2004, S.14)	65
Abb. 56 Grundriss der Kirche (Zeichnung aus: Ohne Verfasser [b], S.19)	66
Abb. 57: REM-Aufnahme des Befalls. (Foto aus Sievers 2002, Abbildungsteil S.26)	67

Abb. 58: Rosafarbener Befall (<i>Foto aus: Sievers 2002, Abbildungsteil S.2</i>).....	67
Abb. 59: Anschliff der Materialprobe aus einem befallenen Wandbereich.	68
Abb. 60 Grundriss St. Peter und Paul. (<i>Zeichnung aus: Borkowski 1999/2000, S.9</i>)	70
Abb. 61: Rosafarbener Befall in Weißbereichen der Malerei. (<i>Foto aus. Wörz 2000, S.35</i>)	72
Abb. 62: Klimadiagramm der Südwand. (<i>Diagramm aus: Borkowski 2000, Anhang</i>).....	74
Abb. 63: Klimadiagramm der Nordwand. (<i>Diagramm aus: Borkowski 2000, Anhang</i>)	74
Abb. 64: Grundriss der Ringkrypta. (<i>Skizze entnommen aus: Grodten 1994, S.5</i>)	75
Abb. 65: Rosafarbener Befall neben Salzausblühungen. (<i>Foto entnommen aus: Wörz 2000, S.38</i>)...	77
Abb. 66: REM-Aufnahme der Bakterien. (<i>Foto Petersen</i>).....	77
Abb. 67: Rosa Befall. (<i>Foto aus: Wörz 2000, S.42</i>)	79
Abb. 68: Befallene Materialprobe unter dem Binokular. (<i>Foto aus: Wörz 2000, S.52</i>).....	80
Abb. 69: REM-Aufnahme des Befalls. (<i>Foto Petersen, entnommen aus Wörz 2000, S.57</i>).....	80
Abb. 70: Grundriss der Klosterkirche (<i>Zeichnung aus: Kühne 2002, S.74</i>).	82
Abb. 71: Kartierung. (<i>Abbildungen aus: Kühne 2002, Anhang</i>)	83
Abb. 72: Kartierung des Befalls (<i>Abbildungen aus: Kühne 2002, Anhang.</i>)	84
Abb. 73: Rötliche Bakterienkolonien.	95
Abb. 74: Rosafarbene Bakterienkolonien.....	96
Abb. 75: FITC-Färbung.....	97
Abb. 76: FITC-Färbung.....	97
Abb. 77: DAPI-Färbung.	97
Abb. 78: DAPI-Färbung.	97

11 Glossar

Analysator²¹¹

In der Polarisationsmikroskopie: Filter (heute meist Spezialfolien aus Kunststoff) der nur Lichtwellen einer Schwingungsebene, wie 90° zur Schwingungsebene des →Polarisators, durchlässt. Wird in den Strahlengang oberhalb der Probe eingebracht.

Archaea

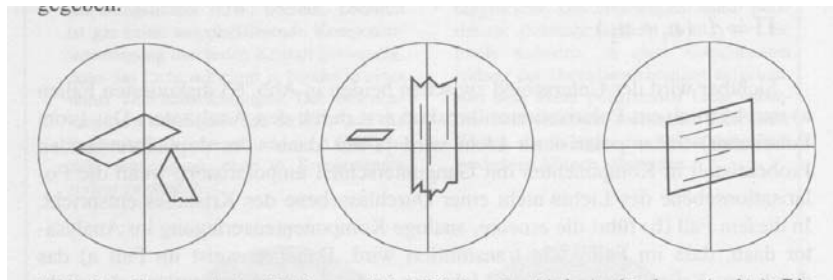
an extremen Standorten (z.B. Salzseen) vorkommende Mikroorganismen. „Gruppe phylogenetisch verwandter Prokaryoten, die sich von den Bacteria unterscheiden“²¹²

ATP²¹³

Adenosintriphosphat, eine energiereiche Phosphatverbindung, der wichtigste Energieträger lebender Organismen.

Auslöschung²¹⁴

In der Polarisationsmikroskopie: ein Kristall befindet sich in Auslöschung, wenn seine Durchlassrichtungen und das Kreuz aus Polarisator und Analysator deckungsgleich sind. Er befindet sich dann in der Dunkel- oder Normalstellung. Diese Stellung kommt alle 90° Drehwinkel wieder vor. Man kann unterscheiden zwischen paralleler resp. symmetrischer Auslöschung (die Normalstellungen liegen symmetrisch zur äußeren Form und den Spaltflächen) und schiefer Auslöschung (es ist keine Symmetriebeziehung zwischen Kreuz und Kristall erkennbar).



symmetrische Auslöschung; parallele Auslöschung; schiefe Auslöschung

(Zeichnung: Wülfert 1999, S.112)

Die Auslöschung kann vollständig oder unvollständig sein.

Es gibt auch Objekte, die lediglich eine unzulässige Auslöschung aufweisen, d.h. beim Verdrehen auf dem Drehtisch wandern dunkle Streifen durch das Objekt.

²¹¹ Vgl. Wülfert 1999, S.102.

²¹² Madigan et al. 2002, S.2.

²¹³ Vgl. Madigan et al. 2002, S.131.

Aw-Wert²¹⁵,**Wasseraktivität**

(*activity of water*) „Verhältnis des Dampfdruckes der Luft im Gleichgewicht mit einer Substanz oder einer Lösung zum Dampfdruck von reinem Wasser.“²¹⁶ = Maß an ungebundenem und locker gebundenem Wasser. Eine für die Haltbarkeit von Lebensmitteln sehr wichtige Größe. Sie ist ein Maß für das frei verfügbare Wasser, das für viele von Enzymen katalysierte Reaktionen und vor allem für das Wachstum von Mikroorganismen von entscheidender Bedeutung ist.

Die Wasseraktivität wird im Bereich zwischen 0 (kein Wasser verfügbar) und 1 (Kondenswasserbildung) angegeben und gibt den Anteil des für biochemische Reaktionen verfügbaren Wassers im betrachteten System an. Die Wasseraktivität ist geringer als der absolute Wassergehalt. Die Wasseraktivität wird zum Beispiel als Kennzahl für die Verderblichkeit von Lebensmitteln verwendet. Bakterien benötigen i.d.R. eine Wasseraktivität von über 0,98, aber auch deutlich niedrigere Wasseraktivität von bis zu 0,6 können zum Beispiel von extrem halophilen Bakterien toleriert werden.

DAPI²¹⁷

4',6-Diamido-2-phenylindol; in der Biologie eingesetzter Fluoreszenzmarker (Farbstoff) der sich an die DNA bindet. Der Fluoreszenzmarker kann durch intakte Zellen wandern, deshalb kommt es sowohl bei toten als auch bei lebendigen Zellen zur Anfärbung. Absorptionsmaximum bei 358nm, Emissionsmaximum bei 461nm.

Delinquenzpunkt²¹⁸

beschreibt den Punkt, an dem kristallisierte Salze bei steigender relativer Feuchte zerfließt. →Gleichgewichtsfeuchte

Denaturing Gradient**Gel Electrophoresis**

[DGGE]~ Klassifizierung präparierter Stoffe über die Bewegung ihrer Teilchen in einem nicht leitenden Gel unter Einflussnahme

²¹⁴ Vgl. Wülfert 1999, S.111ff.

²¹⁵ Vgl. <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/w/wasseraktivitaet.htm> und Madigan et al. 2002, S.174

²¹⁶ Madigan et al. 2002, S.174.

²¹⁷ Vgl. Madigan et al. 2002, S.728.

²¹⁸ Vgl. Mainusch 2001, S.18.

	elektrischer Spannung.
Doppelbrechung	Jeder anisotrope Kristall besitzt die Eigenschaft, linear einfallendes Licht in zwei Komponenten aufzuspalten, die dann entlang zweier, senkrecht zueinander stehender Hauptschwingungsebenen durch den Kristall laufen. Diese beiden Ebenen stehen im 90° Winkel zueinander. Durch die spezifische Dichte des Materials, läuft das so unpolarisierte Licht schneller oder langsamer durch den Kristall. Die hierbei entstehenden optischen Effekte, wie Reliefwechsel und Interferenzfarben, werden zu analytischen Zwecken genutzt. Das Phänomen der Umpolarisierung des Lichtes bezeichnet man als Doppelbrechung.
ELISA ²¹⁹	Enzym–linked immunosorbent assay, enzymatischer Immuntest.
FDA	Fluoreszindiacetat, eine Reaktionslösung zum Nachweis aktiver Zelle. Sind in der Zelle Esterasen aktiv, wird das Acetat–Molekül vom Gesamtmolekül der Lösung abgespalten. Es entsteht Fluoreszin, die Lösung wird grünlich.
FITC ²²⁰	Fluoreszinisothiocyanat, Fluoreszenzfarbstoff (gelbgrün) der an das Enzym des Antikörpers angehängt wird.
Gleichgewichtsfeuchte, relative	beschreibt die relative Luftfeuchte, die sich in einem geschlossenen System über einer gesättigten wässrigen Salzlösung bildet. ²²¹ Die relative Gleichgewichtsfeuchte ist gleichzusetzen mit dem →Delinquenzpunkt. <i>Aus Schwarz 2000, S.14:</i> <ol style="list-style-type: none"> 1.Unterhalb der Gleichgewichtsfeuchte findet Adsorption von Wasser und eventuell die Bildung von Hydraten statt. 2.Bei der Gleichgewichtsfeuchte entsteht eine gesättigte Lösung unter Feuchteaufnahme bis zum Gleichgewicht. 3.Oberhalb der Gleichgewichtsfeuchte verdünnt sich die Salzlösung bis zum Gleichgewicht mit der jeweiligen umgebenden relativen Luftfeuchtigkeit.

²¹⁹ Vgl. Madigan et al. 2002, S.956.

²²⁰ Vgl. Madigan et al. 2002, S.974.

²²¹ Vgl. Mainusch 2001, S.18.

LPS ²²²	Lipopolysaccharid, toxischer Zellwandbestandteil gram-negativer Bakterien, auch Endotoxin genannt.
Lyse ²²³	der Verlust der zellulären Integrität unter Freisetzung cytoplasmatischer Bestandteile.
Moldauische Bögen ²²⁴	Der Turmquerschnitt wird mittels schräg übereinander gestaffelter Bögen reduziert. „Dabei setzen sich die vier Rundbögen zusammen aus zwei schmalen Längsbögen über den Apsiden und zwei breiten Querbögen zusammen und tragen mittels der Pendentifs den Tambour des Turms, der auf vier weiteren Bögen ruht.“ ²²⁵
Narthex ²²⁶	auch Galiläa oder Paradies. Schmale Binnenvorhalle der altchristlichen und mittelalterlichen Basilika.
Photomultiplier ²²⁷	Kombination einer Photokathode mit einem Elektronenvervielfältiger, mit deren Hilfe ein schwaches Lichtsignal (bis hin zu einem einzelnen Photon) verstärkt und in ein elektrisches Signal umgewandelt wird.
Polarisator ²²⁸	In der Polarisationsmikroskopie: Filter (heute meist Spezialfolie aus Kunststoff) der nur Lichtwellen einer Schwingungsebene durchlässt. Wird unter der zu analysierenden Probe in den Strahlengang eingebracht →Analysator
RLU	Relative Light Units, eine geräteinterne Messeinheit des Photomultipliers Lumitester C-100, der Firma Kikkoman Corporation und Hyserve.
Taupunkt	Die Temperatur, bei der eine Gasmenge (Luft) bestimmter absoluter Feuchtigkeit ihre Sättigung erreicht.
Transmissionsebene	In der Polarisationsmikroskopie: Durchlassebene für Lichtwellen einer definierten Richtung.

²²² Vgl. Madigan et al. 2002, S.56.

²²³ Vgl. Madigan 2002, S. 82

²²⁴ Vgl. Kühne 2002, S.74ff.

²²⁵ Vgl.Kühne 2002, S.74.

²²⁶ Vgl. Koch 1991, S.470.

²²⁷ Vgl. Ohne Verfasser [c] 1971, Band 7, S.78.

²²⁸ Vgl. Wulfert 1999, S.101.

12 Anhang

Anhangsverzeichnis

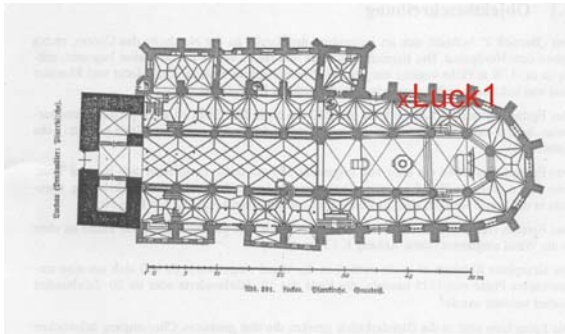
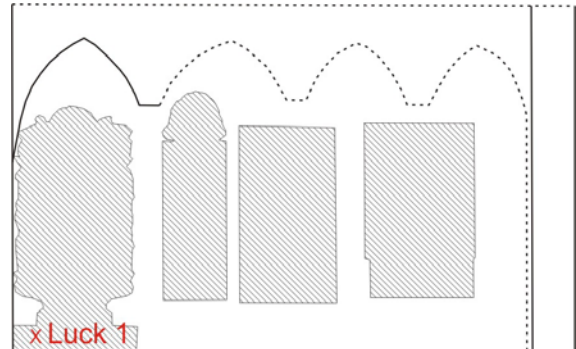
I	Befunddatenblätter.....	iii
I.I	Luckau.....	iii
I.II	Lüdingworth.....	xxvi
I.III	Bartrup-Sonneborn.....	xli
II	Kartierung Bartrup-Sonneborn.....	lxxxi
III	Klimamessung Bartrup-Sonneborn.....	ci
IV	Internetseiten.....	cix

I Befunddatenblätter

I.I Luckau

Befund: Luck 1

Blatt 1

Grundriss¹**Aufriss²:****Entnahmestelle im Auflicht:****Beschreibung der Probeentnahmestelle:**

Die Probeentnahme erfolgte im Sockelbereich des Epitaphs Fritsch (2.1)³

In diesem Bereich gab es eine Fehlstelle in der rezenten Schicht. Diese Fehlstelle, sowie die Randbereiche der rezenten Schicht wiesen einen rosafarbenen kroidenden Belag auf.

Art der Probenentnahme:

- mechanischer Abrieb der Oberfläche mit einem feuchten Wattestäbchen

Grund der Probenentnahme:

- Identifizierung des rosafarbenen Belags

Aktivitätsnachweis mittels ATP⁴:

- Hohe Aktivität (131.875 RLU auf 25cm²)

Auswertung der Identifizierung:

Mittels fluoreszenzmarkiertem Antikörper⁵ wurde von der AG Geomikrobiologie der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg nachgewiesen, dass es sich bei dem rosafarbenen Belag, um dieselben Bakterien handelt, die auch in Lüdingworth vorliegen.

¹ Zeichnung aus: Schulz und Tuček 2000, S.17.

² Skizze nach Raue 1999.

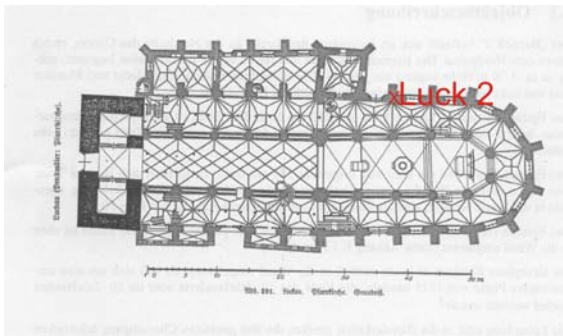
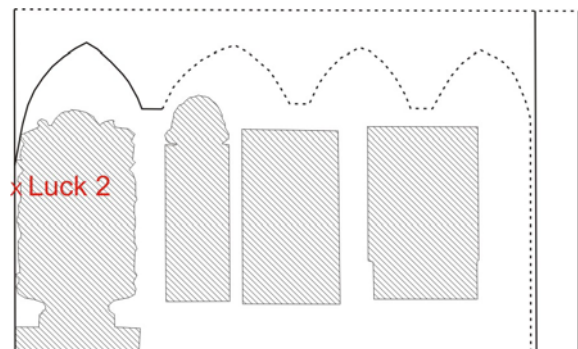
³ Bezeichnung nach Raue 1999.

⁴ Siehe Kapitel 2.1.

⁵ Siehe Kapitel 2.2.

Befund: Luck 2

Blatt 1

Grundriss:⁶**Aufriss:**⁷**Entnahmestelle im Aufricht:****Beschreibung der Probeentnahmestelle:**

Die Probeentnahme erfolgte an der Wand links neben Epitaphs Fritsch (2.1).⁸

An der Laibung wies die Oberfläche neben einer Fehlstelle einen rosa verfärbten Bereich auf.

Art der Probenentnahme:

- mechanischer Abrieb der Oberfläche mit einem feuchten Wattestäbchen

Grund der Probenentnahme:

- Identifizierung des rosafarbenen Belags.

Aktivitätsnachweis mittels ATP:⁹

- Hohe Aktivität (112.894 RLU auf 25cm²)

Auswertung der Identifizierung:

Mittels fluoreszenzmarkiertem Antikörper¹⁰ wurde von der AG Geomikrobiologie der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg nachgewiesen, dass es sich bei dem rosafarbenen Belag, um dieselben Bakterien handelt, die auch in Lüdingworth vorliegen.

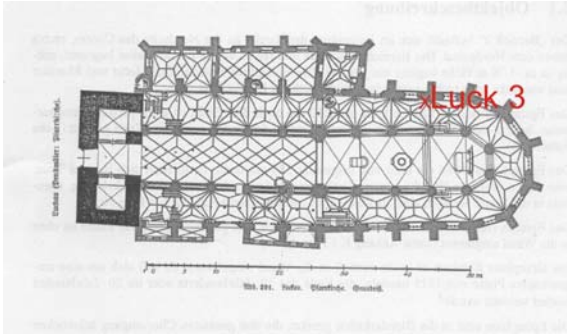
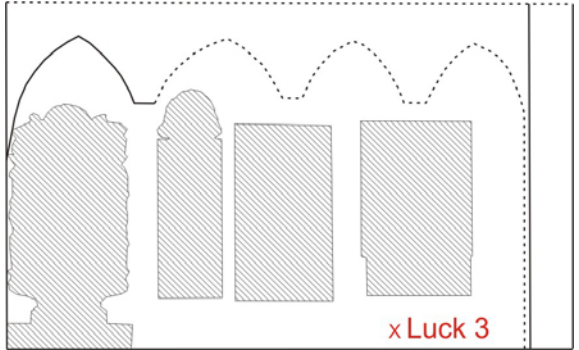

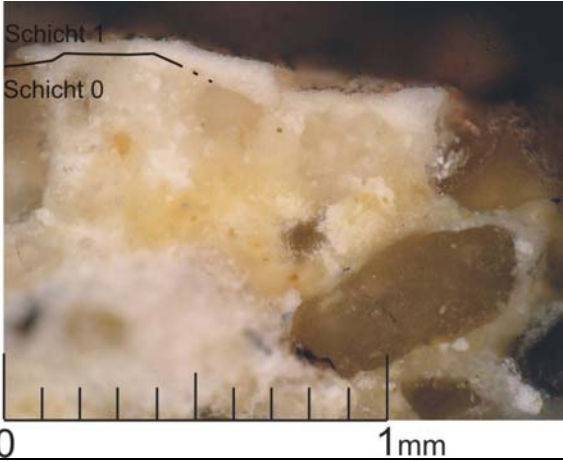
⁶ Zeichnung aus: Schulz und Tuček 2000, S.17.

⁷ Skizze nach Raue 1999.

⁸ Bezeichnung nach Raue 1999.

⁹ Siehe Kapitel 2.1.

¹⁰ Siehe Kapitel 2.2.

Befund: Luck 3		Blatt 1
<p>Grundriss¹¹</p> 	<p>Aufriss¹²:</p> 	
<p>Befund im Aufricht:</p> 	<p>Beschreibung des Befundbereiches:</p> <p>In diesem Bereich gab es eine große, bis auf den Putz reichende Fehlstelle in der rezenten Schicht. Diese Fehlstelle, sowie die Randbereiche der rezenten Schicht wiesen einen rosafarbenen kreidenden Belag auf.</p> <p>Laut Kardenas, blühten an dieser Stelle starke, nadelige Salze aus, diese wurden mechanisch entfernt¹³.</p> <p>Im Sockelbereich des Chorumgang-Bereiches unterhalb des Epitaphs Eberhard (2.4) wurde eine Materialprobe entnommen.¹⁴</p>	
<p>Art der Probenentnahme:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • mechanisch mit Skalpell 	
<p>Grund der Probenentnahme:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bindemittelanalyse • Salzanalyse 	
<p>Anschliff im Aufricht:</p> 	<p>Beschreibung der Probe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schicht 0: Putz. Erkennbarer primärer Zuschlag: Quarzkörner, braun bis gelbocker, opak bis durchsichtig; sekundäre Zuschläge: vereinzelt Holzkohle und Ziegelsplitt. • Schicht 1: Weiße, opake Schicht ohne erkennbare Zuschläge. 	
<p>Aktivitätsnachweis mittels ATP¹⁵:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sehr hohe Aktivität (300.933 RLU auf 25cm²) 		

¹¹ Zeichnung aus: Schulz und Tuček 2000, S.17.

¹² Skizze nach Raue 1999.

¹³ Mündliche Auskunft Kardenas.

¹⁴ Bezeichnung nach Raue 1999.

¹⁵ Siehe Kapitel 2.1.

Befund: Luck 3

Blatt 2

Bindemittelbestimmung:

Die Ergebnisse der Tests werden tabellarisch dargestellt. Dabei gilt:
 – =negativ; (+)=schwach positiv; + =positiv; ++ =signifikant.

Mikrochemischer Nachweis von Gips und Kalk:

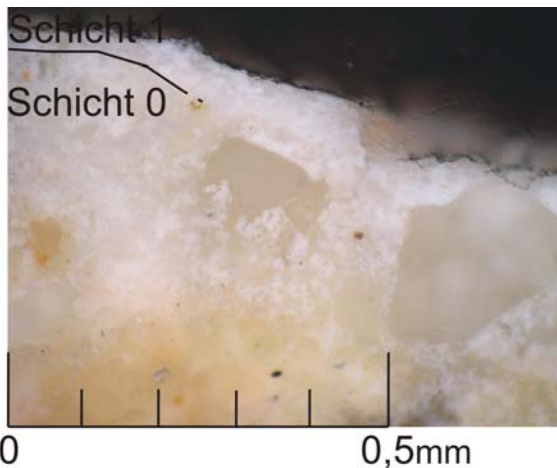
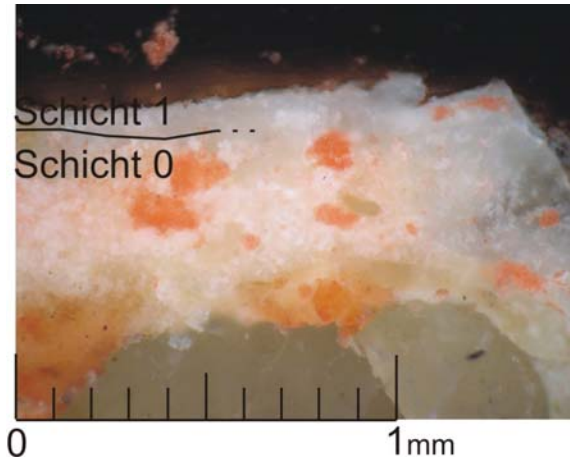
Der Nachweis der anorganischen Bindemittel erfolgte mittels Ionen-Nachweis nach Schramm/Hering¹⁶ und Bläuer-Böhm¹⁷. Die Nachweise wurden am Anschliff ausgeführt um gezielt die einzelnen Schichten beproben zu können. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass vorliegende Salze das Ergebnis verfälschen.

Schicht	Calcium	Carbonat	Sulfat
0	+	+	(+)
1	+	+	+

Mikrochemischer Nachweis organischer Beimengungen:

Der Nachweis der natürlichen organischen Bestandteile erfolgte nach Schramm und Hering¹⁸. Hierfür wurde jeweils das gesamte Schichtenpaket der Probe verwendet. Eine Zuordnung der Inhaltsstoffe auf die einzelnen Schichten erfolgte mittels histochemischer Färbemethoden (s.u.).¹⁹

Kohlenhydrate	Trocknende Öle; Casein, Eigelb, Gumen	Proteine
+	(+)	+

Histochemische Anfärbungen:Anfärbung auf Proteine:Anfärbung auf Öle:Ergebnis der Anfärbungen:

- Die Anfärbung auf Proteine zeigte im Anschliff trotz positiven Spotttest kein Resultat. Die auf dem Foto zu erkennende leichte Rotfärbung ist auf Einlagerungen des Färbemittels in Vertiefungen des Anschliffes zurückzuführen.
- Die Anfärbung auf Öle zeigt in Schicht 1 keine Reaktion. Der Putz zeigt eine rote Färbung. (die stark roten Bereiche sind auf eingelagertes Färbemittel in Vertiefungen des Anschliffes zu erklären.)

Auswertung der Bindemittelbestimmung:

Alle Schichten sind überwiegend kalkgebunden. Der Putz enthält einen geringen öligen Bestandteil. Proteine und Kohlenhydrate konnten zwar mikrochemisch nachgewiesen, allerdings nicht zugeordnet werden.

¹⁶ Vgl. Schramm und Hering 1998, S.168ff.

¹⁷ Vgl. Bläuer-Böhm 1994 S.100.

¹⁸ Vgl. Schramm und Hering 1998, S.198ff.

¹⁹ Bei diesen Tests ist zu beachten, dass der mikrobielle Befall ebenfalls ein organischer Bestandteil der Probe ist und somit zu einem positiven Ergebnis bei Stickstoff und Kohlenhydraten führen kann, vgl. Wörz 2000, S.65.

Befund: Luck 3

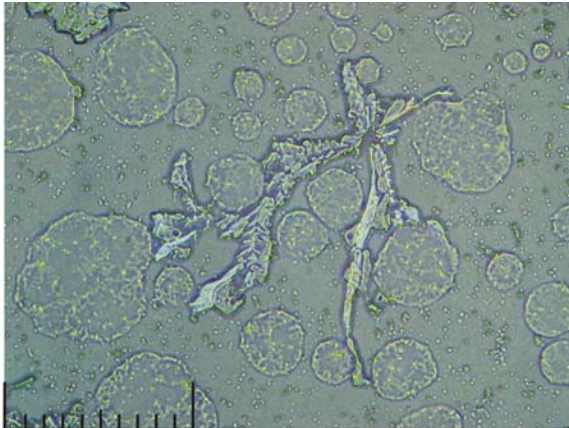
Blatt 3

Salzbestimmung:

Im Bereich des Befundes Luck 3 gibt es Fehlstellen, die vermutlich von Salzsprengungen herrühren. Laut Kardenas gab es in diesem Bereich nadelige Salzausblühungen, die mechanisch entfernt wurden (s.o.). Um den Gehalt an bauschädlichen Salzen im Putz überprüfen zu können, wurde ein wässriger Auszug erstellt, die Ionen der Lösung mit mikrochemischen Nachweisen bestimmt und die bei der Rekrystallisation entstehenden Salze mit Hilfe der Polarmikroskopie bestimmt.

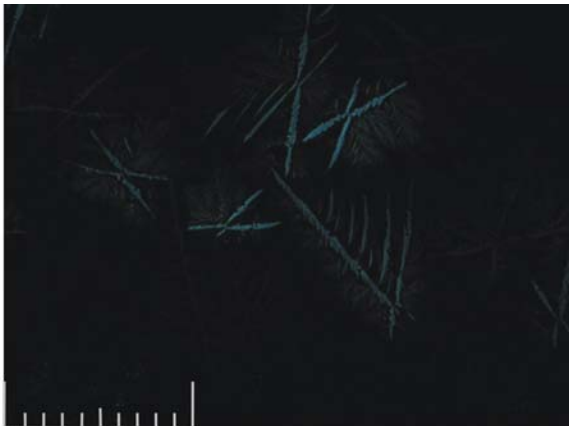
Betrachtung der Salze des wässrigen Auszugs unter dem Polarisationsmikroskop:

Dendritische und rundliche Kristalle in linear polarisiertem Licht: Beschreibung der Rekrystallisation:



0 100µm

Elongierte Kristalle unter gekreuzten Polarisatoren:



0 100µm

- Bei der Rekrystallisation bildeten sich dendritische Kristallaggregate, elongierte, z.T. kreuzförmig angeordnete, rundliche und sehr viele kleine Partikel.
- Dendritische Kristalle:
 - Graue Interferenzfarben
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: <1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: <1,518
 - Lösen sich beim Anhauchen
- Elongierte Kristalle:
 - Interferenzfarben erster Ordnung, vor allem Grau
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - In Hellstellung kaum Relief im Immersionsöl
 - In Dunkelstellung gutes Relief im Immersionsöl
 - Brechungsindex Dunkelstellung: <1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: <1,518
 - Lösen sich beim Anhauchen
- Rundliche Kristalle:
 - In Immersionsöl kaum noch Relief zu erkennen
 - Unter gekreuzten Polarisatoren waren die rundlichen Kristalle nicht mehr zu erkennen. Ob es sich hierbei um isotrope Kristalle handelt oder ob die Doppelbrechung zu gering war um sie noch wahrzunehmen, ließ sich nicht eindeutig klären.
- Sehr kleine Partikel:
 - Anfärbung mit BacLight zeigt Stäbchen und Kokken.

Auswertung der mikroskopischen Salzanalyse:

- Dendritische Kristalle: Nahcolit.
- Elongierte Kristalle: Doppelsalz (?), nicht bestimmbar.
- Rundliche Kristalle: nicht bestimmbar.
- Sehr kleine Partikel: Bakterien.

Befund: Luck 3

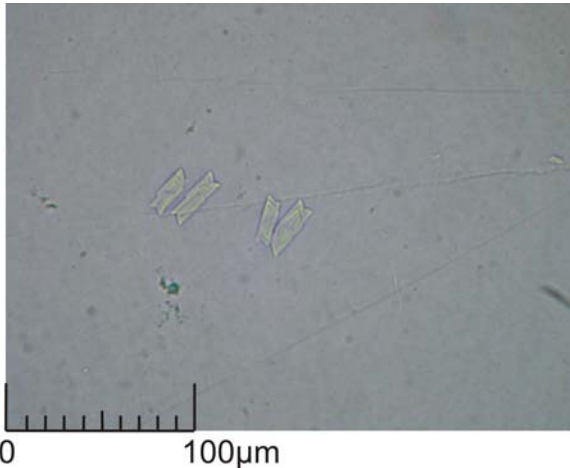
Blatt 4

Mikrochemische Bestimmung der Ionen:

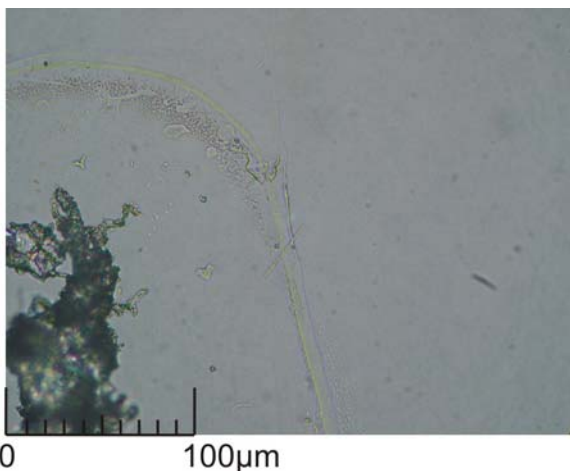
pH-Wert des wässrigen Auszugs (0,5g Material in 5ml Aqua dest. mit einem pH von ~6 und einer Temperatur von 22°C) • pH 9,5

Leitfähigkeit des wässrigen Auszugs (0,5g Material in 50ml Aqua dest. mit einer Leitfähigkeit von 2,8µS/cm und einer Temperatur von 22°C) • 239 µS/cm

Schwalbenschwanzförmige Gipskristalle in linear polarisiertem Licht:



Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle in linear polarisiertem Licht:

*Nachweis von Carbonationen:*

- Dem Lösungstropfen wird ein Tropfen Salpetersäure zugesetzt. Unter Blasenbildung entweicht CO_2
- Beim Zusammenmischen einer wässrigen Calciumchlorid-Lösung mit dem wässrigen Auszug von Luck 3, kommt es vereinzelt zu einem Niederschlag. Bei Zugabe von Salzsäure löst sich der Niederschlag unter Gasbildung auf.

Nachweis von Sulfat- und Natriumionen:

- Bei der Rekristallisation des Gemisches Salzlösung und Calciumchloridlösung bildeten sich schwalbenschwanzförmige Kristalle und vereinzelt sehr kleine, eckige Kristalle mit hohen Interferenzfarben

Nachweis von Natrium- und Kaliumionen

- Der aufgetrocknete Tropfen des wässrigen Auszugs wurde mit Schwefelsäure aufgenommen. Neben den Tropfen wurde ein Tropfen wässrige Wismutnitratlösung gesetzt. Die beiden Tropfen wurden mit einem Glasstab ineinander gezogen. Nach einer kurzen Reaktionszeit entstanden neben nicht näher spezifizierten Kristallen vereinzelt charakteristische Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle.

Nachweis von Magnesium

- Es konnte kein Magnesium nachgewiesen werden.

Nachweis von Chlorid

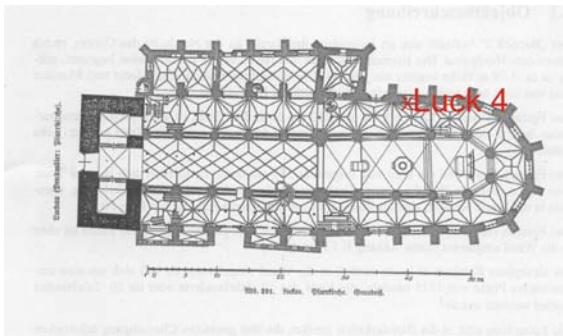
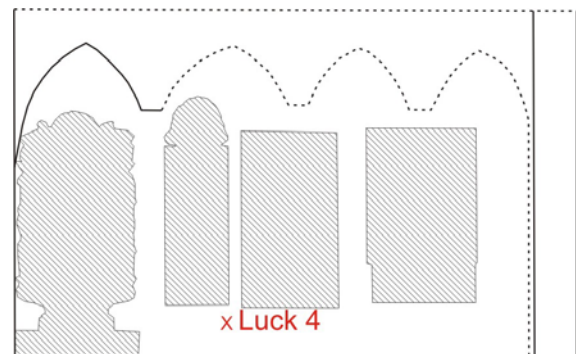
- Es konnte kein Chlorid nachgewiesen werden.

Nachgewiesene Ionen:

- Carbonate
- Sulfate
- Natrium

Befund: Luck 4

Blatt 1

Grundriss²⁰**Aufriss²¹:****Entnahmestelle im Auflicht:****Beschreibung der Probeentnahmestelle:**

Die Probeentnahme erfolgte im Sockelbereich des Chorumgang-Bereiches unterhalb des Epitaphs Exs (2.2).²²

In diesem Bereich war der rosafarbene Befall eher schwach rosa.

Art der Probenentnahme:

- mechanischer Abrieb der Oberfläche mit feuchtem Wattestäbchen

Grund der Probenentnahme:

- Identifizierung der Mikroorganismen

Aktivitätsnachweis mittels ATP²³:

- Mäßig hohe Aktivität (58.032 RLU auf 25cm²)

Auswertung der Identifizierung:

Mittels fluoreszenzmarkiertem Antikörper²⁴ wurde von der AG Geomikrobiologie der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg nachgewiesen, dass es sich bei dem rosafarbenen Belag, um dieselben Bakterien handelt, die auch in Lüdingworth vorliegen.

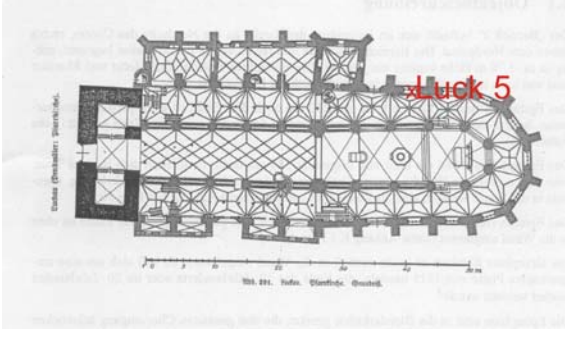
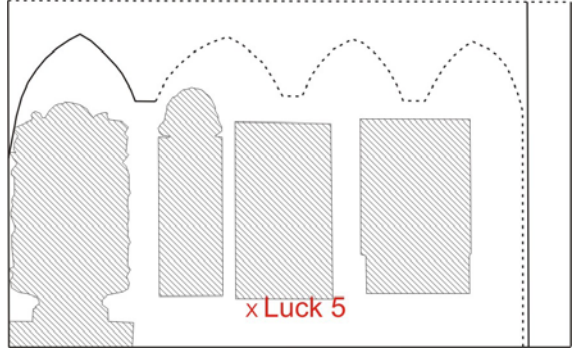

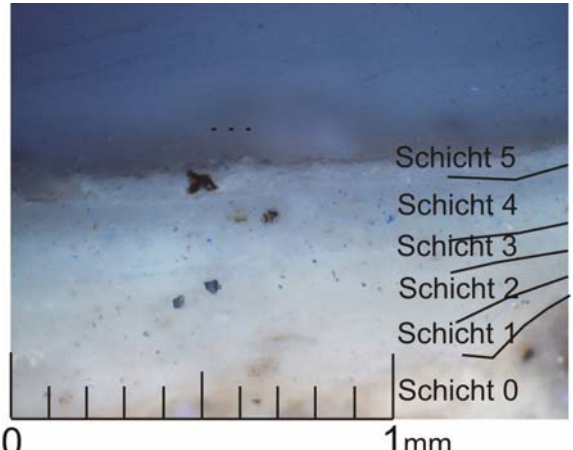
²⁰ Zeichnung aus: Schulz und Tuček 2000, S.17.

²¹ Skizze nach Raue 1999.

²² Bezeichnung nach Raue 1999.

²³ Siehe Kapitel 2.1.

²⁴ Siehe Kapitel 2.2.

Befund: Luck 5		Blatt 1
<p>Grundriss²⁵</p> 	<p>Aufriss²⁶:</p> 	
<p>Entnahmestelle im Aufricht:</p> 	<p><u>Beschreibung der Probeentnahmestelle:</u></p> <p>Die Probeentnahme erfolgte im Sockelbereich des Chorumgang-Bereiches unterhalb des Epitaphs Hecht (2.3).²⁷</p> <p>In diesem Bereich gab es kleinere Fehlstellen in der rezenten Schicht, aber keinen rosafarbenen Belag.</p>	
<p>Art der Probenentnahme:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • mechanisch mit Skalpell 	
<p>Grund der Probenentnahme:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bindemittelanalyse • Salzanalyse 	
<p>Anschliff im Aufricht:</p> 	<p><u>Beschreibung der Probe:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Schicht 0: Putz. Primärer Zuschlag: Quarz, braun bis gelb-ocker, opak bis durchsichtig; sekundärer Zuschlag: Holzkohle und Ziegelsplitt. • Schicht 1: weiße opake Tünche. • Schicht 2: weiße opake Tünche. • Schicht 3: weiße opake Tünche. • Schicht 4: weiße Tünche mit vereinzelt eingelagerten blauen Partikeln. • Schicht 5: weiße Tünche. 	
<p>Aktivitätsnachweis mittels ATP²⁸:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mäßige Aktivität (3.552 RLU auf 25cm²) 	

²⁵ Zeichnung aus: Schulz und Tuček 2000, S.17.

²⁶ Skizze nach Raue 1999.

²⁷ Bezeichnung nach Raue 1999.

²⁸ Siehe Kapitel 2.1.

Befund: Luck 5

Blatt 2

Bindemittelbestimmung:

Die Ergebnisse der Tests werden tabellarisch dargestellt. Dabei gilt:
 – =negativ; (+)=schwach positiv; + =positiv; ++ =signifikant.

Mikrochemischer Nachweis von Gips und Kalk:

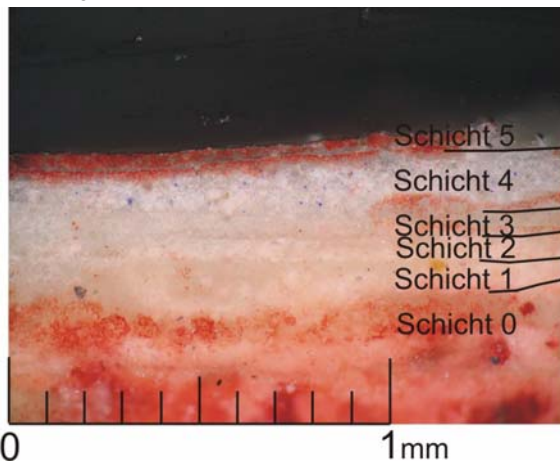
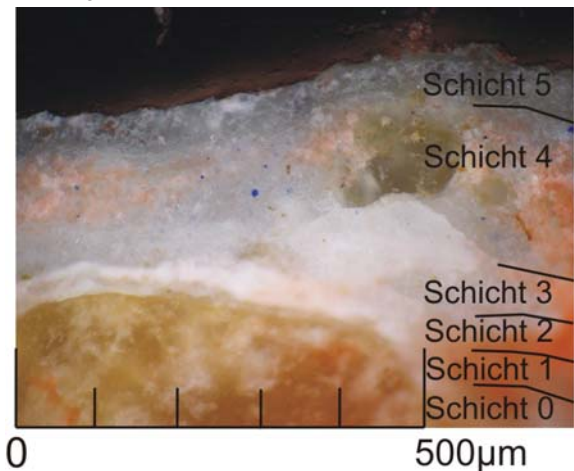
Der Nachweis der anorganischen Bindemittel erfolgte mittels Ionen-Nachweis nach Schramm/Hering²⁹ und Bläuer-Böhm³⁰. Die Nachweise wurden am Anschliff ausgeführt um gezielt die einzelnen Schichten beproben zu können.

Schichten	Calcium	Carbonat	Gips
0	+	+	(+)
1	+	+	(+)
2	+	+	(+)
3	+	+	(+)
4	+	+	(+)
5	+	+	(+)

Mikrochemischer Nachweis organischer Bestandteile:

Der Nachweis der natürlichen organischen Bestandteile erfolgte nach Schramm und Hering³¹. Hierfür wurde jeweils das gesamte Schichtenpaket der Probe verwendet. Eine Zuordnung der Inhaltsstoffe auf die einzelnen Schichten erfolgte mittels histochemischer Färbemethoden (s.u.).³²

Kohlenhydrate	Trocknende Öle; Casein, Eigelb, Gummien	Proteine
+	+	–

Histochemische Anfärbungen:Anfärbung auf Proteine:Anfärbung auf Öle:Ergebnis der Anfärbungen:

- Die Anfärbung auf Proteine zeigte im Anschliff keine Reaktion. Die auf dem Foto erkennbare rote Färbung des Putzes und von Schicht 5 sind auf Ausbrüche im Schliff zurückzuführen.
- Die Anfärbung auf Öle zeigt keine Anfärbung. Die auf dem Foto erkennbare Rotfärbung ist auf Einlagerung des Färbemittels in Vertiefungen des Schliffes zurückzuführen.

Auswertung der Bindemittelbestimmung:

Alle Schichten sind kalkgebunden. Ein organischer Bestandteil konnte zwar mikrochemisch nachgewiesen, aber nicht zugeordnet werden.

²⁹ Vgl. Schramm und Hering 1998, S.168ff.

³⁰ Vgl. Bläuer-Böhm 1994, S.100.

³¹ Vgl. Schramm und Hering 1998, S.198ff.

³² Bei diesen Tests ist zu beachten, dass der mikrobielle Befall ebenfalls ein organischer Bestandteil der Probe ist und somit zu einem positiven Ergebnis bei Stickstoff und Kohlenhydraten führen kann, vgl. Wörz 2000, S.65.

Befund: Luck 5

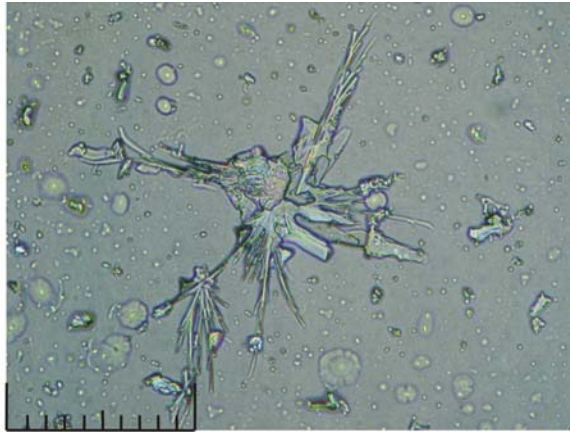
Blatt 3

Salzbestimmung:

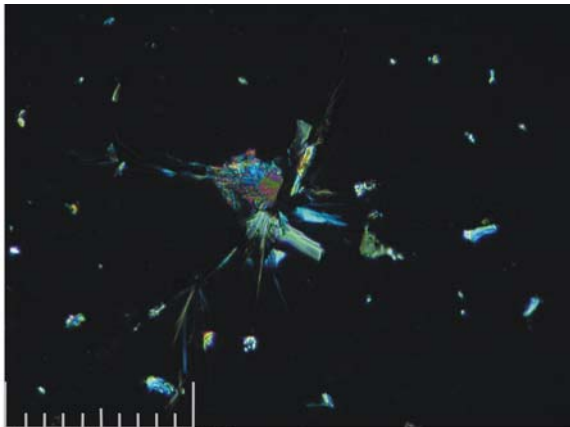
Im Bereich des Befundes Luck 5 gibt es Fehlstellen, die vermutlich von Salzsprengungen herrühren. Einen rosafarbenen Belag gab es an dieser Stelle nicht. Um den Gehalt und die Art an bauschädlichen Salzen im Putz überprüfen zu können, wurde ein wässriger Auszug erstellt, die Ionen der Lösung mit mikrochemischen Nachweisen bestimmt und die bei der Rekrystallisation entstehenden Salze mit Hilfe der Polarmikroskopie bestimmt.

Betrachtung der Salze des wässrigen Auszugs unter dem Polarisationsmikroskop:

Nadelige, elongierte, rundliche und kleine eckige Kristalle in linear polarisiertem Licht:



Nadelige, elongierte, rundliche und kleine eckige Kristalle unter gekreuzten Polarisatoren:

Beschreibung der Rekrystallisation:

- Bei der Rekrystallisation bildeten sich Aggregate aus elongierten und nadeligen Kristallen, rundliche und sehr kleine Partikel.
- Nadelige Kristalle:
 - Interferenzfarben erster Ordnung
 - Auslöschung: vollständig, parallel
 - Brechungsindex Dunkelstellung: <1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: <1,518
- Elongierte Kristalle:
 - Interferenzfarben erster Ordnung
 - Auslöschung: unvollständig, parallel
 - In Dunkelstellung kaum Relief in Immersionsöl
 - In Hellstellung starkes Relief in Immersionsöl
 - Brechungsindex Dunkelstellung: <1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: <1,518
- Rundliche Kristalle:
 - Unter gekreuzten Polarisatoren nicht zu erkennen.
- Sehr kleine Partikel:
 - In linear polarisiertem Licht leicht grünlich
 - Nach der Anfärbung mit BacLight waren Stäbchen und Kokken erkennbar.

Auswertung der Salzanalyse:

- Nadelige Kristalle: Thermonatrit.
- Elongierte Kristalle: Doppelsalz (?), nicht bestimmbar
- Rundliche Kristalle: nicht bestimmbar.
- Sehr kleine Partikel: Bakterien.

Befund: Luck 5

Blatt 4

Mikrochemische Bestimmung der Ionen:

pH-Wert des wässrigen Auszugs (0,5g Material in 5ml Aqua dest. mit einem pH von ~6 und einer Temperatur von 22°C) • pH 8,4

Leitfähigkeit des wässrigen Auszugs (0,5g Material in 50ml Aqua dest. mit einer Leitfähigkeit von 2,8µS/cm und einer Temperatur von 22°C) • 297 µS/cm

Schwalbenschwanzförmige und nadelige Gipskristalle in linear polarisiertem Licht:



0 100µm

Nachweis von Carbonationen:

- Bei der Zugabe von wässriger Calciumchlorid-Lösung zum wässrigen Auszug von Luck 5 kommt es vereinzelt zu einem weißen Niederschlag.
- Bei Zugabe von Salzsäure löst sich der weiße Niederschlag unter Gasbildung auf.

Nachweis von Sulfat- und Natriumionen:

- Bei der Rekristallisation bildeten sich schwalbenschwanzförmige und nadelige Gipskristalle und vereinzelt kleine, stark doppelbrechende Calcitkristalle

Nachweis von Natrium- und Kaliumionen

- Es konnten weder Natrium- noch Kaliumkristalle nachgewiesen werden. Es ist nicht auszuschließen, dass die an einer zu geringen Menge an Salz in der Lösung lag. Der aufgetrocknete Tropfen zeigte nur eine geringe Menge an Salzen.

Nachweis von Magnesium

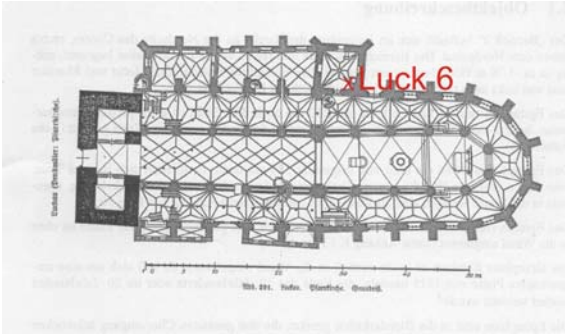
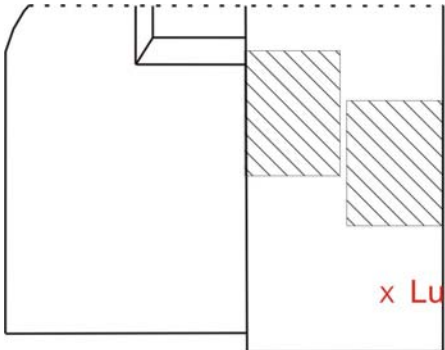

- Es konnte kein Magnesium nachgewiesen werden.

Nachweis von Chlorid

- Es konnte kein Chlorid nachgewiesen werden.

Nachgewiesene Ionen:

- Sulfate
- Carbonate

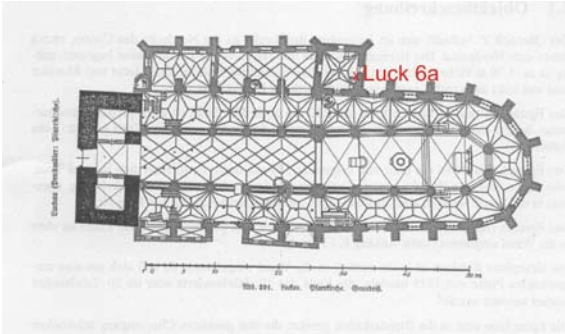
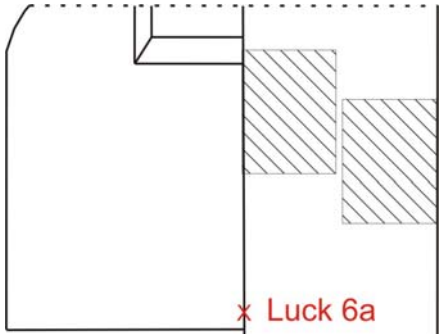

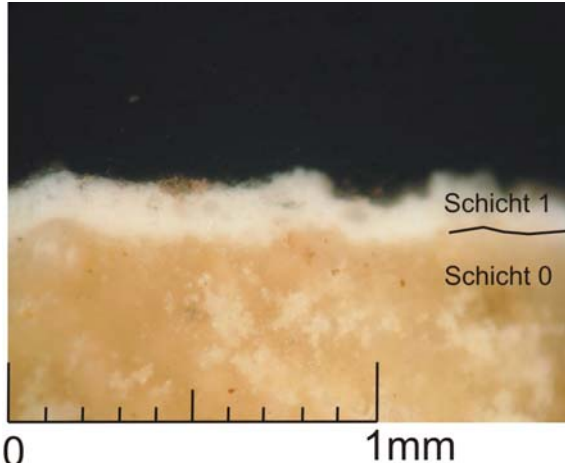
Befund: Luck 6		Blatt 1
<p>Grundriss³³</p> 	<p>Aufriss³⁴:</p> 	
<p>Entnahmestelle im Auflicht:</p> 	<p><u>Beschreibung der Probeentnahmestelle:</u> Die Probeentnahme erfolgte im Sockelbereich der Ostwand der Sakristei. An dieser Stelle gab es einen rosafarbenen kroidenden Belag auf der Oberfläche.</p>	
<p>Art der Probenentnahme:</p>	<ul style="list-style-type: none"> mechanischer Abrieb der Oberfläche mit einem feuchten Wattestäbchen 	
<p>Grund der Probenentnahme:</p>	<ul style="list-style-type: none"> Identifizierung des rosafarbenen Belags. 	
<p>Aktivitätsnachweis mittels ATP³⁵:</p>	<ul style="list-style-type: none"> Mäßig hohe Aktivität (94.612 RLU auf 25cm²) 	
<p><u>Auswertung der Identifizierung:</u> Mittels fluoreszenzmarkiertem Antikörper³⁶ wurde von der AG Geomikrobiologie der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg nachgewiesen, dass es sich bei dem rosafarbenen Belag, um dieselben Bakterien handelt, die auch in Lüdingworth vorliegen.</p>		

³³ Zeichnung aus: Schulz und Tuček 2000, S.17.

³⁴ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

³⁵ Siehe Kapitel 21.

³⁶ Siehe Kapitel 2.2.

Befund: Luck 6a		Blatt 1
<p>Grundriss³⁷</p> 	<p>Aufriss³⁸:</p> 	
<p>Entnahmestelle im Aufricht:</p> 	<p>Beschreibung der Probeentnahmestelle:</p> <p>Die Probeentnahme erfolgte im fußbodennahen Eckbereich der Ostwand der Sakristei.</p> <p>Neben starken nadeligen Salzausblühungen und Fehlstellen in der rezenten Schicht, wies die Oberfläche einen rosafarbenen kreidenden Belag auf.</p>	
<p>Art der Probenentnahme:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanisch mit Skalpell und Pinsel 	
<p>Grund der Probenentnahme:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bindemittelanalyse • Salzanalyse 	
<p>Anschluss im Aufricht:</p> 	<p>Beschreibung der Probe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schicht 0: gelb ockerfarbener Putz mit hohem Anteil an Zuschlägen. • Schicht 1: weiße, leicht glasige Schicht mit vereinzelt gelb ockerfarbenen Partikeln. Löscht im UV-Licht leicht aus (01 Filter). 	
<p>Aktivitätsnachweis mittels ATP³⁹:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr hohe Aktivität (429.531 RLU auf 25cm²) 	

³⁷ Zeichnung aus: Schulz und Tuček 2000, S.17.

³⁸ Nicht maßstabgetreue Skizze.

³⁹ Siehe Kapitel 2.1.

Befund: Luck 6a

Blatt 2

Bindemittelbestimmung:

Die Ergebnisse der Tests werden tabellarisch dargestellt. Dabei gilt:
 – =negativ; (+)=schwach positiv; + =positiv; ++ =signifikant.

Mikrochemischer Nachweis von Gips und Kalk:

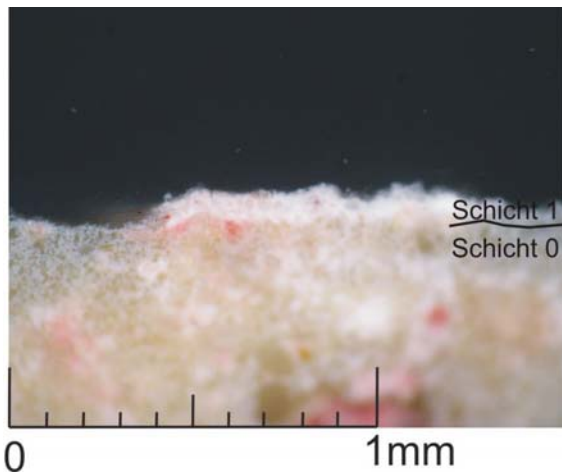
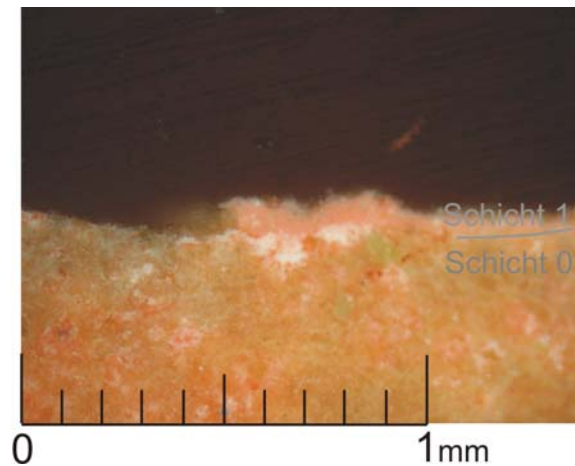
Der Nachweis der anorganischen Bindemittel erfolgte mittels Ionen-Nachweis nach Schramm/Hering⁴⁰ und Bläuer-Böhm⁴¹. Die Nachweise wurden am Anschliff ausgeführt um gezielt die einzelnen Schichten beproben zu können.

Schicht	Calcium	Carbonat	Gips
0	+	+	(+)
1	+	+	(+)

Mikrochemischer Nachweis organischer Bestandteile:

Der Nachweis der natürlichen organischen Bestandteile erfolgte nach Schramm und Hering⁴². Hierfür wurde jeweils das gesamte Schichtenpaket der Probe verwendet. Eine Zuordnung der Inhaltsstoffe auf die einzelnen Schichten erfolgte mittels histochemischer Färbemethoden (s.u.).⁴³

Kohlenhydrate	Trocknende Öle; Casein, Eigelb, Gummien	Proteine
+	(+)	–

Histochemische Anfärbungen:Anfärbung auf Proteine:Anfärbung auf Öle:Ergebnis der Anfärbungen:

- Die Anfärbung auf Proteine zeigte im Anschliff eine leichte Anfärbung einzelner Partikel im Putz.
- Die Anfärbung auf Öle zeigt eine deutliche Anfärbung von Schicht 1. Der Putz ist ebenfalls angefärbt, allerdings sehr unregelmäßig.

Auswertung der Bindemittelbestimmung:

Alle Schichten sind kalkgebunden.

Sowohl der Putz als auch Schicht 1 enthalten einen öligen Bestandteil.

⁴⁰ Vgl. Schramm und Hering 1968, S.168ff.

⁴¹ Vgl. Bläuer-Böhm 1994, S.100.

⁴² Vgl. Schramm und Hering 1998, S.198ff.

⁴³ Bei diesen Tests ist zu beachten, dass der mikrobielle Befall ebenfalls ein organischer Bestandteil der Probe ist und somit zu einem positiven Ergebnis bei Stickstoff und Kohlenhydraten führen kann, vgl. Wörz 2000, S.65.

Befund: Luck 6a

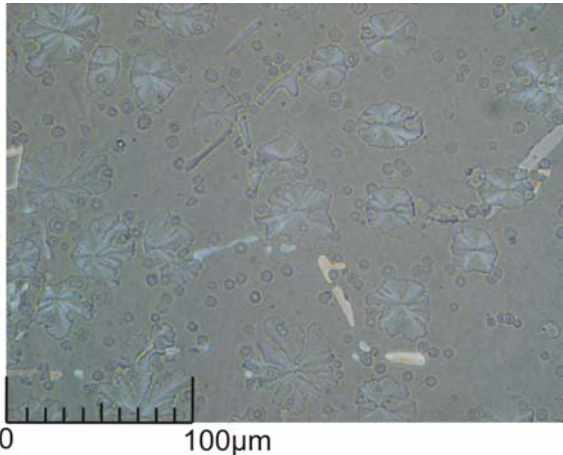
Blatt 3

Salzbestimmung:

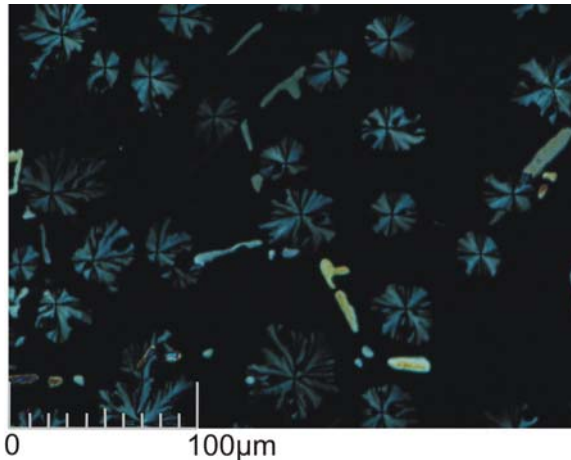
Von dem an Befund 6a entnommenen Material wurde ein wässriger Auszug erstellt um die vorhandenen Ionen zu bestimmen. Die Bestimmung erfolgte zum Einen mikrochemisch nach Christiane Bläuer-Böhm⁴⁴ und zum Anderen mit Hilfe der Polarisationsmikroskopie.

Betrachtung der Salze des wässrigen Auszugs unter dem Polarisationsmikroskop:

Rekristallisierte Salze des wässrigen Auszugs unter linear polarisiertem Licht:



Rekristallisierte Salze des wässrigen Auszugs unter gekreuzten Polarisatoren:

Beschreibung der Rekristallisation:

- Bei der Rekristallisation bildeten sich dendritische Kristallaggregate, elongierte zum Teil kreuzförmig angeordnete Kristalle, welche vereinzelt ins nadelige übergehen, eckige Kristalle von nicht näher bestimmbarer Morphologie und vereinzelt sehr kleine Partikel.
- Dendritische Kristalle:
 - Graue, bis blaue Interferenzfarben
 - Auslöschung: Nicht bestimmbar
 - Brechungsindex Dunkelstellung: nicht bestimmbar
 - Brechungsindex Hellstellung: nicht bestimmbar
- Elongierte Kristalle:
 - Interferenzfarben erster Ordnung
 - Auslöschung: vollständig, parallel oder symmetrisch
 - In Dunkelstellung kaum Relief im Immersionsöl
 - In Hellstellung deutliches Relief im Immersionsöl
 - Brechungsindex Dunkelstellung: <1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: <1,518
- Rundliche Kristalle:
 - unter gekreuzten Polarisatoren nicht erkennbar.
- Eckige Kristalle:
 - Interferenzfarben erster Ordnung
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - Reliefwechsel im Immersionsöl
 - Brechungsindex Dunkelstellung: <1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: <1,518
- Sehr kleine Partikel
 - Leicht grünlich in linear polarisiertem Licht.
 - Nach Anfärbung mit BacLight zeigen sich Stäbchen und Kokken.

Auswertung der Salzanalyse:

- Dendritische Kristalle: Nahcolit
- Elongierte Kristalle: Doppelsalz (?), nicht bestimmbar.
- Rundliche Kristalle: nicht bestimmbar
- Sehr kleine Kristalle: Bakterien.

⁴⁴ Vgl. Bläuer-Böhm 1994, S.100.

Befund: Luck 6a

Blatt 4

Mikrochemische Bestimmung der Ionen:

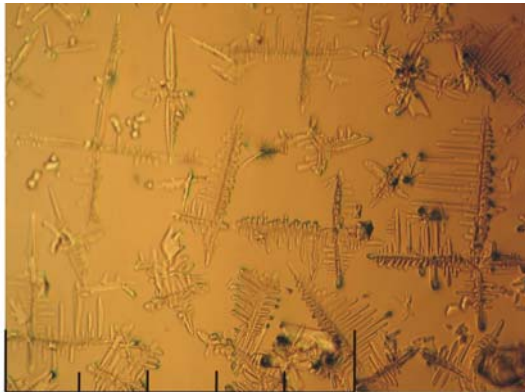
pH-Wert des wässrigen Auszugs (0,5g Material in 5ml Aqua dest. mit einem pH von ~6 und einer Temperatur von 22°C)

- pH 9,86

Leitfähigkeit des wässrigen Auszugs (0,5g Material in 50ml Aqua dest. mit einer Leitfähigkeit von 2,8µS/cm und einer Temperatur von 22°C)

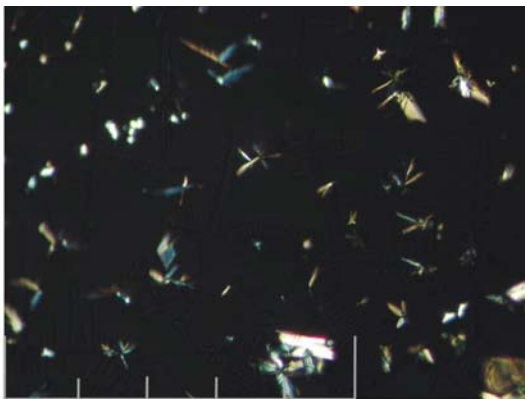
- 356 µS/cm

Gips-, Calcit- und Halitkristalle des Sulfatnachweises in linear polarisiertem Licht:



0 500µm

Gips-, Calcit- und Halitkristalle des Sulfatnachweises unter gekreuzten Polarisatoren:



0 500µm

Nachweis von Carbonationen:

- Bei der Zugabe einer wässrigen Calciumchlorid-Lösung zum wässrigen Auszug von Luck 6a, kommt es vereinzelt zu einem weißen Niederschlag
- Der weiße Niederschlag löst sich bei Zugabe von Salzsäure unter Schaumbildung auf.

Nachweis von Sulfat- und Natriumionen:

- Bei der Rekristallisation bildeten sich vereinzelt nadelige Gipskristalle, viele kleine eckige Calcitkristalle mit einer hohen Interferenz und isotrope, im rechten Winkel zueinander wachsende elongierte Halitkristalle.

Nachweis von Magnesium

- Es konnte kein Magnesium nachgewiesen werden.

Nachweis von Chlorid

- Es konnte kein Chlorid nachgewiesen werden.

Nachgewiesene Ionen:

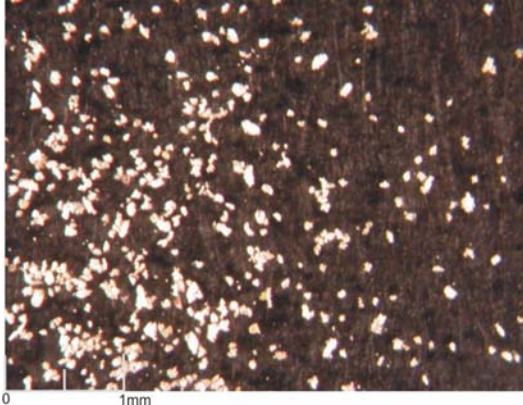
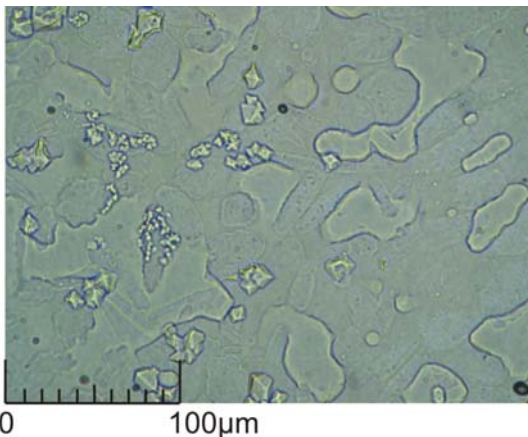
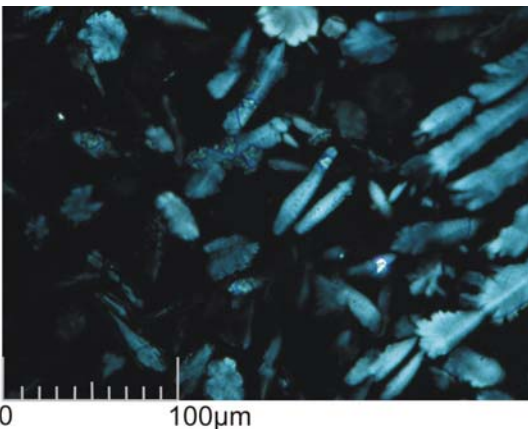
- Sulfat
- Carbonat
- Natrium

Befund: Luck 6a/S1

Blatt 5

Salzbestimmung:

Im Bereich des Befundes Luck 6a gibt es neben, vermutlich durch Kristallisationsdrücken von Salzen verursachten, Fehlstellen einen extremen Salzrasen aus langen, teilweise miteinander verfilzten Nadeln. Neben der Salzbestimmung am wässrigen Auszug der Materialprobe wurde deshalb zusätzlich eine Bestimmung des in situ ausblühenden Salzes durchgeführt.

Salzpulver im Auflicht:Rekristallisierte Salze des wässrigen Auszugs in linear polarisiertem Licht:Rekristallisierte Salze des wässrigen Auszugs unter gekreuzten Polarisatoren:Beschreibung des am Objekt ausblühenden Salzes:

Die am Objekt ausgeblühten Whisker, waren nach Abnahme und Transport in das Labor völlig zusammengefallen. Übrig geblieben war nur ein weiß-graues Pulver. Unter dem Mikroskop waren keine Kristallstrukturen mehr zu erkennen. Dieses Verhalten der Kristalle deutet auf einen Phasenwechsel hin.

Beschreibung der Rekristallisation:

- Bei der Rekristallisation bildeten sich Kristalle mit unspezifischer Morphologie die teilweise in ein federförmiges Äußeres übergingen, kubische Kristalle und sehr kleine Partikel. Außerdem lag ein Salz bei Raumtemperatur in Lösung vor. Nach Erwärmen auf der Heizplatte bildeten sich flächige Kristallstrukturen die sich bei Raumtemperatur sofort wieder auflösten.
- Kristalle mit unspezifischer Morphologie:
 - Anormale Interferenzfarben
 - Im Immersionsöl kaum Relief
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: $>1,518$
 - Brechungsindex Hellstellung: $<1,518$
- Kubische Kristalle:
 - Isotrop
- Sehr kleine Partikel:
 - Nach der Anfärbung mit BacLight waren Stäbchen und Kokken erkennbar,

Auswertung der Salzanalyse:

- Kristalle mit unspezifischer Morphologie: Thenardit
- Kubische Kristalle: Halit
- Sehr kleine Partikel: Bakterien.
- Stark hygroskopisches Salz: nicht bestimmbar

Befund: Luck 6a/S1

Blatt 6

Mikrochemische Bestimmung der Ionen:

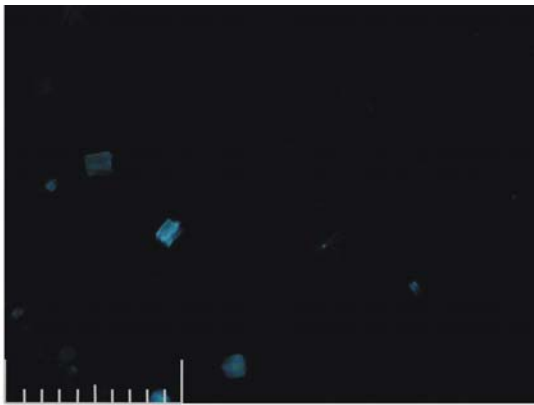
pH-Wert des wässrigen Auszugs (0,5g Material in 5ml Aqua dest. mit einem pH von ~6 und einer Temperatur von 22°C) • pH 9,86

Leitfähigkeit des wässrigen Auszugs (0,5g Material in 50ml Aqua dest. mit einer Leitfähigkeit von 2,8µS/cm und einer Temperatur von 22°C) • 356 µS/cm

Gips- und Halitkristalle des Sulfatnachweises in linear polarisiertem Licht:



Gips- und Halitkristalle des Sulfatnachweises unter gekreuzten Polarisatoren:



Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle:



Nachweis von Carbonationen:

- Bei der Zugabe von wässriger Calciumchlorid-Lösung zum ebenfalls wässrig gelösten Salz, bildet sich kein weißer Niederschlag.

Nachweis von Sulfat- und Natriumionen:

- Bei der Rekrystallisation bildeten sich nadelige Gipskristalle, eckige, elongierte, im rechten Winkel zueinander wachsende, isotrope Halitkristalle und kubische, isotrope Halitkristalle.

Nachweis von Natrium- und Kaliumionen:

- Der aufgetrocknete Tropfen des wässrigen Auszugs wurde mit Schwefelsäure aufgenommen. Neben den Tropfen wurde ein Tropfen wässrige Wismutnitratlösung gesetzt. Die beiden Tropfen wurden mit einem Glasstab ineinander gezogen. Nach einer kurzen Reaktionszeit entstanden charakteristische Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle.

Nachweis von Magnesium

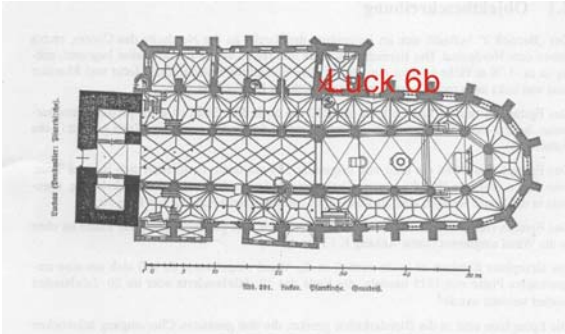


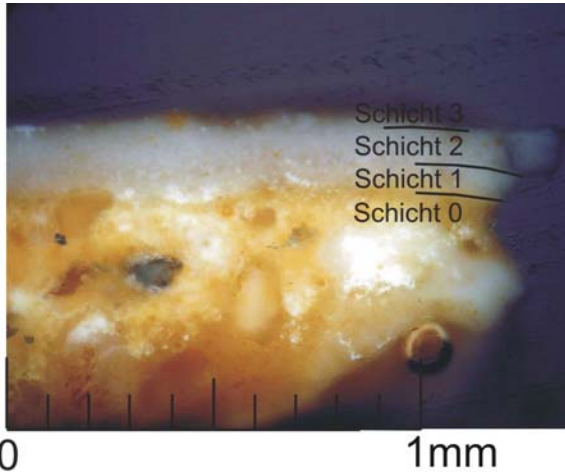
- Es konnten keine Magnesium-Ionen nachgewiesen werden.

Nachweis von Chlorid

- Es konnte kein Chlorid nachgewiesen werden.

Nachgewiesene Ionen:

- Sulfat
- Natrium

Befund: Luck 6b		Blatt 1
<p>Grundriss⁴⁵</p> 	<p>Aufriss⁴⁶:</p> 	
<p>Entnahmestelle im Auflicht:</p> 	<p><u>Beschreibung der Probeentnahmestelle:</u></p> <p>Die Süd-West-Ecke der Sakristei weist einen leichten rosafarbenen Belag auf der Wandoberfläche auf. Weitere Auffälligkeiten, wie z.B. Fehlstellen oder Salzausblühungen sind nicht zu beobachten.</p>	
<p>Art der Probenentnahme:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • mechanisch mit Skalpell 	
<p>Grund der Probenentnahme:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bindemittelanalyse • Salzanalyse 	
<p>Aktivitätsnachweis mittels ATP⁴⁷:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mäßig hohe Aktivität (56.327 RLU auf 25cm²) 	
<p>Anschliff im Auflicht:</p> 	<p><u>Beschreibung der Probe:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Schicht 0: homogener Putz mit einem hohen Zuschlaganteil. Dieser besteht hauptsächlich aus gut gerundete Quarzkörner. • Schicht 1: opake weiße Schicht mit vereinzelt blauen Partikeln • Schicht 2: homogene weiße Schicht mit vereinzelt gelb-ockerfarbenen Einlagerungen. • Schicht 3: sehr dünne, opake weiße Schicht ohne erkennbare Einlagerungen. 	

⁴⁵ Zeichnung aus: Schulz und Tuček 2000, S.17.

⁴⁶ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

⁴⁷ Siehe Kapitel 2.1.

Befund: Luck 6b

Blatt 2

Bindemittelbestimmung:

Die Ergebnisse der Tests werden tabellarisch dargestellt. Dabei gilt:

– =negativ; (+)=schwach positiv; + =positiv; ++ =signifikant.

Mikrochemischer Nachweis von Gips und Kalk:

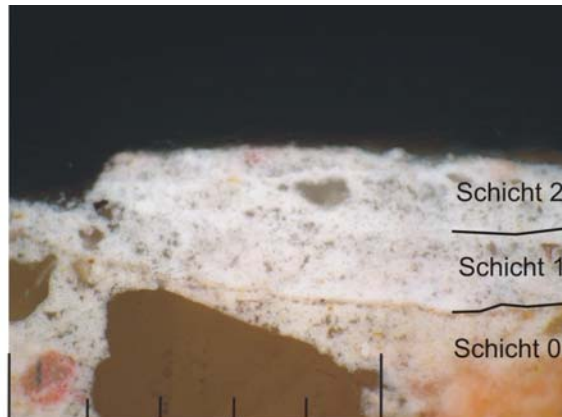
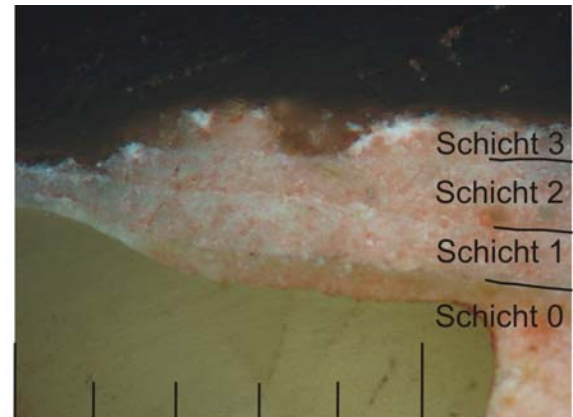
Der Nachweis der anorganischen Bindemittel erfolgte mittels Ionen-Nachweis nach Schramm/Hering⁴⁸ und Bläuer-Böhm⁴⁹. Die Nachweise wurden am Anschliff ausgeführt um gezielt die einzelnen Schichten beproben zu können.

Schicht	Calcium	Carbonat	Gips
0	+	+	(+)
1	+	+	(+)
2	+	+	(+)
3	+	+	(+)

Mikrochemischer Nachweis organischer Bestandteile:

Der Nachweis der natürlichen organischen Bestandteile erfolgte nach Schramm und Hering⁵⁰. Hierfür wurde jeweils das gesamte Schichtenpaket der Probe verwendet. Eine Zuordnung der Inhaltsstoffe auf die einzelnen Schichten erfolgte mittels histochemischer Färbemethoden (s.u.).⁵¹

Kohlenhydrate	Trocknende Öle; Casein, Eigelb, Gummien	Proteine
(+)	+	–

Histochemische Anfärbungen:Anfärbung auf Proteine:Anfärbung auf Öle:Ergebnis der Anfärbungen:

- Die Anfärbung auf Proteine zeigt eine leichte Anfärbung des Putzes, Schicht 1, 2 und 3 sind nicht angefärbt.
- Die Anfärbung auf trocknende Öle zeigt keine Anfärbung im Putz und Schicht 1 (rote Bereiche sind hier auf Vertiefungen im Anschliff zurückzuführen). Schicht 2 ist leicht angefärbt und Schicht 3 ist deutlich angefärbt.

Auswertung der Bindemittelbestimmung:

Alle Schichten sind kalkgebunden. Der Putz enthält einen geringen proteinischen Bestandteil, Schicht 2 und 3 einen öligen.

⁴⁸ Vgl. Schramm und Hering 1998, S.168ff.

⁴⁹ Vgl. Bläuer-Böhm 1994, S.100.

⁵⁰ Schramm und Hering 1998, S.198ff.

⁵¹ Bei diesen Tests ist zu beachten, dass der mikrobielle Befall ebenfalls ein organischer Bestandteil der Probe ist und somit zu einem positiven Ergebnis bei Stickstoff und Kohlenhydraten führen kann, vgl. Wörz 2000, S.65.

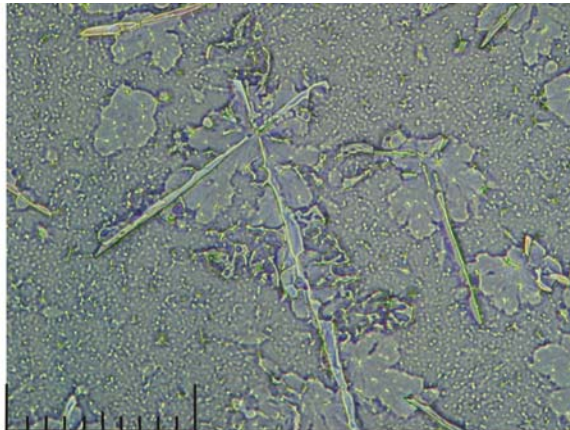
Befund: Luck 6b

Blatt 3

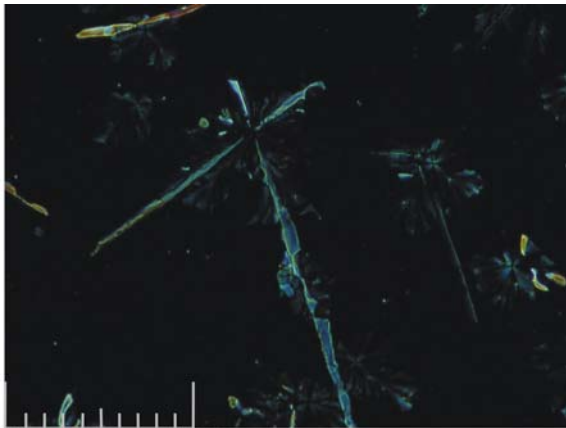
Salzbestimmung:

Im Bereich des Befundes Luck 6b gibt es keine Fehlstellen die auf eine Belastung des Mauerwerkes mit bauschädlichen Salzen hindeutet. Da es jedoch an dieser Stelle ebenfalls einen rosafarbenen Belag gab, wurde das Vorhandensein von Ionen im Putzgefüge überprüft. Hierzu wurde ein wässriger Auszug erstellt, die Ionen der Lösung mittels mikrochemischen Nachweisen bestimmt und die bei der Rekristallisation entstehenden Salze mit Hilfe der Polarmikroskopie identifiziert.

Rekristallisierte Salze des wässrigen Auszugs unter linear polarisiertem Licht:



Rekristallisierte Salze des wässrigen Auszugs unter gekreuzten Polarisatoren:

Beschreibung der Rekristallisation:

- Bei der Rekristallisation bildeten sich dendritische Kristalle, elongierte, zum Teil kreuzförmig angeordnete Kristalle, sehr kleine, grünliche Partikel, vereinzelt kubische Kristalle, und Kristalle von unspezifischer Morphologie.
- Dendritische Kristalle:
 - Graue Interferenzfarben
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - Reliefwechsel (Hellstellung starkes, Dunkelstellung schwaches Relief)
 - Brechungsindex Dunkelstellung: <1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: <1,518
 - Bei längerer Betrachtungsdauer unter dem Mikroskop, löste sich das Salz.
- Elongierte Kristalle
 - Interferenzfarben erster Ordnung
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: <1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: <1,518
- Kleine rundliche Kristalle:
 - Interferenzfarben: erster Ordnung, vor allem gelb
 - Auslöschung: nicht bestimmbar
 - Brechungsindex Dunkelstellung: nicht bestimmbar
 - Brechungsindex Hellstellung: nicht bestimmbar
- Kristalle mit unspezifischer Morphologie:
 - Anormale Interferenzfarben (Blau bis Braun)
 - Im Immersionsöl kaum Relief
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: >1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: <1,518
- Sehr kleine Partikel
 - Nach Anfärbung mit BacLight waren Stäbchen und Kokken zu erkennen.
- Kubische Kristalle:
 - Isotrop

Auswertung der Salzanalyse:

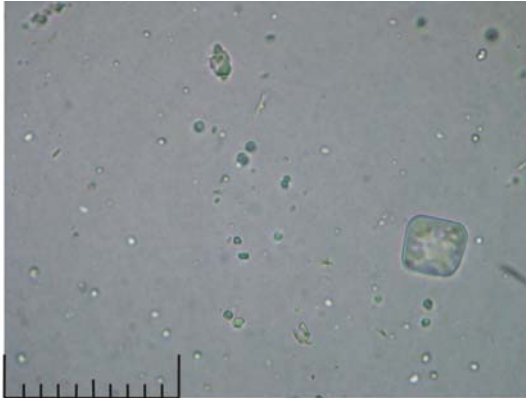
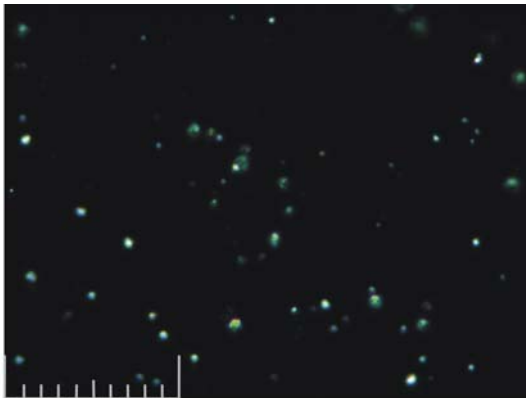
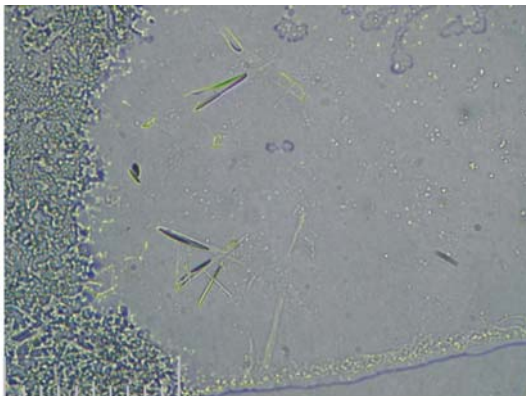
- Elongierte Kristalle: Doppelsalz (?), nicht bestimmbar.
- Dendritische Kristalle: Nahcolit.
- Kubische Kristalle: Halit.
- Kristalle mit unspezifischer Morphologie: Thenardit.

Befund: Luck 6b

Blatt 4

*Mikrochemische Bestimmung der Ionen:**pH-Wert des wässrigen Auszugs:*

- pH 6

Calcit- und Halitkristalle in linear polarisiertem Licht:*Calcit- und Halitkristalle unter gekreuzten Polarisatoren:**Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle in linear polarisiertem Licht:**Nachweis von Carbonationen:*

- Nach Zugabe einer wässrigen Calciumchloridlösung zum wässrigen Auszug der Materialprobe bildete sich ein weißer Niederschlag.
- Der weiße Niederschlag löst sich bei Zugabe von Salzsäure unter Gasbildung auf.

Nachweis von Sulfat- und Natriumionen:

- Bei der Rekristallisation bildeten sich kubische isotrope Halitkristalle und kleine stark doppelbrechende Calcitkristalle

Nachweis von Natrium- und Kaliumionen:

- Der aufgetrocknete Tropfen des wässrigen Auszugs wurde mit Schwefelsäure aufgenommen. Neben den Tropfen wurde ein Tropfen wässrige Wismutnitratlösung gesetzt. Die beiden Tropfen wurden mit einem Glasstab ineinander gezogen. Nach einer kurzen Reaktionszeit entstanden neben Nahcolit-Kristallen charakteristische Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle.
- Es ist anzunehmen, dass die Konzentration der Wismutnitratlösung hier nicht hoch genug war.

Nachweis von Magnesium

- Es konnte kein Magnesium nachgewiesen werden.

Nachweis von Chlorid

- Es konnte kein Chlorid nachgewiesen werden.

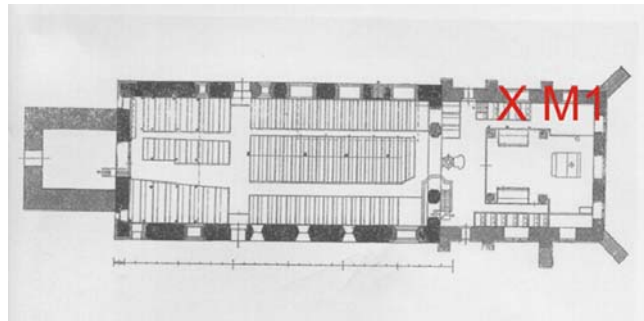
Nachgewiesene Ionen:

- Carbonat
- Natrium

I.II Lüdingworth

Befund: Lüd M1

Blatt 1

Grundriss⁵²Entnahmestelle im Auflicht:Beschreibung der Probeentnahmestelle:

An der Nordwand des Chores findet sich unter dem Fenster, im Schatten einer Empore ein Bereich, der einen starken Befall mit rosafarbenen Bakterien aufweist.

Die Bakterien in diesem Bereich wurden in den letzten Monaten zu Analysezwecken mehrfach oberflächlich abgewischt. Hinter einem an die Wand gelehnten Gatter fanden sich jedoch auch noch unberührte Bereiche, in denen die Wand deckend rosafarben war. Am Rande einer bereits vorhandenen Fehlstelle, wurde hier Probenmaterial entnommen.

Art der Probenentnahme:

- mechanischer Abrieb der Oberfläche mit feuchtem Wattestäbchen
- mechanisch mit Skalpell

Grund der Probenentnahme:

- Identifizierung der Mikroorganismen
- Bindemittelanalyse
- Salzanalyse

Raumklima zum Zeitpunkt der Beprobung:

- 12°C
- 74% rF

Elektrische Leitfähigkeit der Oberfläche:

- 25-29 (Gemessen mit dem Gerät Surveymaster SM der Firma Protimeter)

Aktivitätsnachweis mittels ATP⁵³, in einem Bereich mit rosa Befall, der in den letzten Monaten wiederholt abgewischt wurde:

- Sehr hohe Aktivität (484.561 RLU auf 25cm²)

Aktivitätsnachweis mittels ATP in einem unberührten Bereich mit rosa Befall:

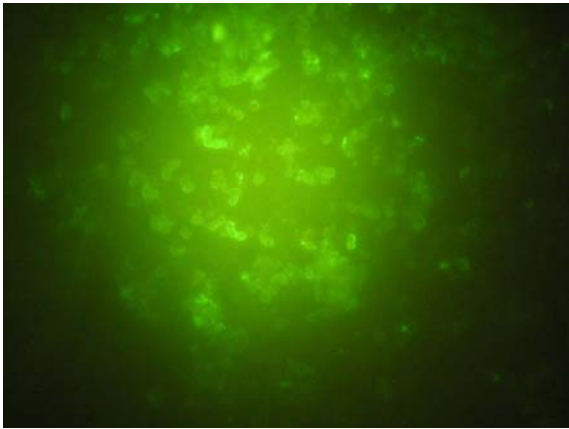
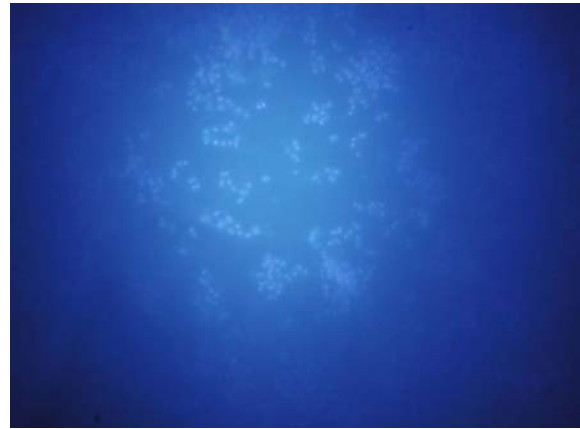
- Extrem hohe Aktivität (952.662 RLU auf 25cm²)

⁵² Zeichnung aus: Weckwerth/Witt, S.19.

⁵³ Vgl. Kapitel 2.1.

Befund: Lüd M1

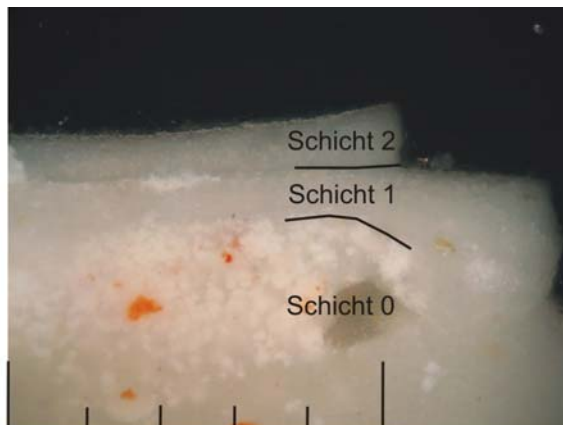
Blatt 2

Identifizierung der Bakterien mittels fluoreszenzmarkiertem Antikörper:*Anfärbung des Antikörpers (Foto: Silke Ammermann)**Anfärbung aller Organismen (Foto: Silke Ammermann)*Beschreibung des Testergebnisses:

Gegen die rosafarbenen Bakterien dieses Objektes wurde ein Antikörper entwickelt, der zusammen mit einem zweiten, fluoreszenzmarkiertem Antikörper verwendet werden kann, um aufzudecken ob es sich bei den rosafarbenen Bakterien auf anderen Objekten um die gleiche Art handelt, wie in Lüdingworth. Die Abbildung rechts zeigt die spezifische Anfärbung des, den Mikroorganismen angelagerten, Antikörpers.⁵⁴

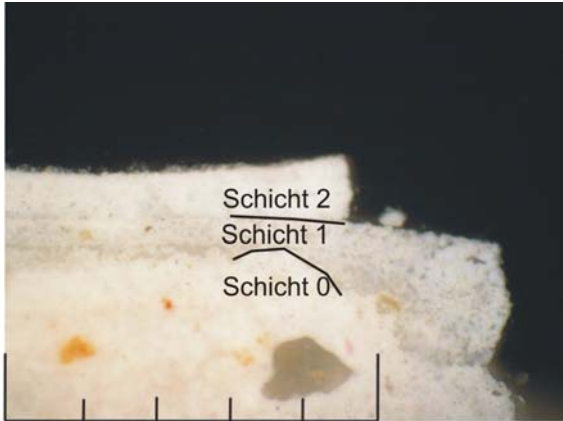
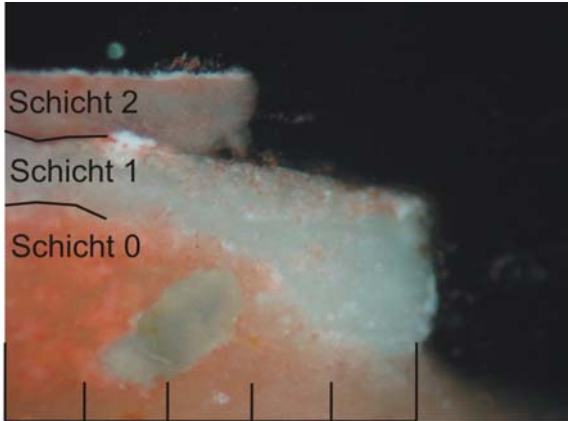
Parallel zu der Anfärbung der spezifischen Organismen wurde eine Anfärbung aller in der Probe enthaltenen Mikroorganismen durchgeführt.

Das Ergebnis zeigte deutlich, dass die rosafarbenen Bakterien nahezu in Reinkultur am Objekt vorliegen.

Anschliff der entnommenen Probe:Beschreibung der Probe:

- Schicht 0 ist ein homogener Putz mit Sand- und Ziegelzuschlägen
- Bei Schicht 1 handelt es sich um eine homogene weiße Schicht ohne erkennbare Zuschläge.
- Schicht 2 ist eine mehrschichtig aufgetragene Tünche ohne erkennbare Zuschläge.

⁵⁴ Vgl. Kapitel 2.1.

Befund Lüd M1		Blatt 3	
<u>Bindemittelbestimmung:</u>			
Die Ergebnisse der Tests werden tabellarisch dargestellt. Dabei gilt: – =negativ; (+)=schwach positiv; + =positiv; ++ =signifikant.			
<u>Mikrochemischer Nachweis von Gips und Kalk:</u>			
Der Nachweis der anorganischen Bindemittel erfolgte mittels Ionen-Nachweis nach Schramm/Hering ⁵⁵ und Bläuer-Böhm ⁵⁶ . Die Nachweise wurden am Anschliff ausgeführt um gezielt die einzelnen Schichten beproben zu können.			
Schicht	Calcium	Carbonat	Sulfat
0	+	+	(+)
1	+	+	(+)
2	+	+	(+)
<u>Mikrochemischer Nachweis organischer Bestandteile:</u>			
Der Nachweis der natürlichen organischen Bestandteile erfolgte nach Schramm und Hering ⁵⁷ . Hierfür wurde jeweils das gesamte Schichtenpaket der Probe verwendet. Eine Zuordnung der Inhaltsstoffe auf die einzelnen Schichten erfolgte mittels histochemischer Färbemethoden (s.u.). ⁵⁸			
Kohlenhydrate	Trocknende Öle; Casein, Eigelb, Gummien	Proteine	
+	+	–	
<u>Histochemische Anfärbungen:</u>			
<u>Anfärbung auf Proteine:</u>		<u>Anfärbung auf Öle:</u>	
			
<u>Ergebnis der Anfärbungen:</u>			
<ul style="list-style-type: none"> Die Anfärbung auf Proteine zeigt eine leichte Anfärbung des Putzes, Schicht 1 und Schicht 2 sind nicht angefärbt. Die Anfärbung auf Öle zeigt eine deutliche Anfärbung des Putzes und Schicht 2. Schicht 1 ist nicht angefärbt. Auffällig ist, dass der obere Abschluss von Schicht 2 keinen Ölanteil mehr zu besitzen scheint. 			
<u>Auswertung der Bindemittelbestimmung:</u>			
Alle Schichten sind kalkgebunden. Der Putz und Schicht 2 weisen einen deutlichen Ölanteil auf.			

⁵⁵ Vgl. Schramm und Hering 1998, S.168ff.

⁵⁶ Vgl. Bläuer-Böhm 1994, S.100.

⁵⁷ Vgl. Schramm und Hering 1998, S.198ff.

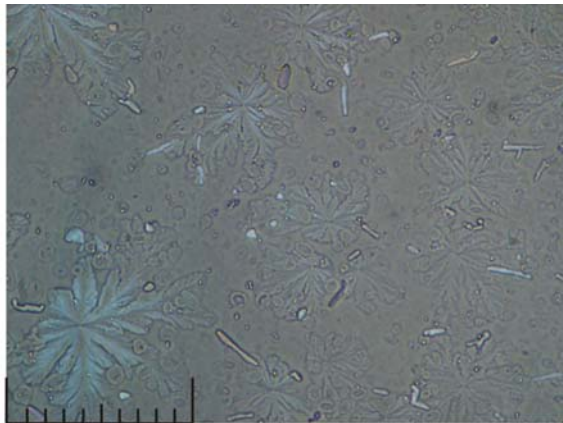
⁵⁸ Bei diesen Tests ist zu beachten, dass der mikrobielle Befall ebenfalls ein organischer Bestandteil der Probe ist und somit zu einem positiven Ergebnis bei Stickstoff und Kohlenhydraten führen kann, vgl. Wörz 2000, S.65.

Befund: Lüd M1

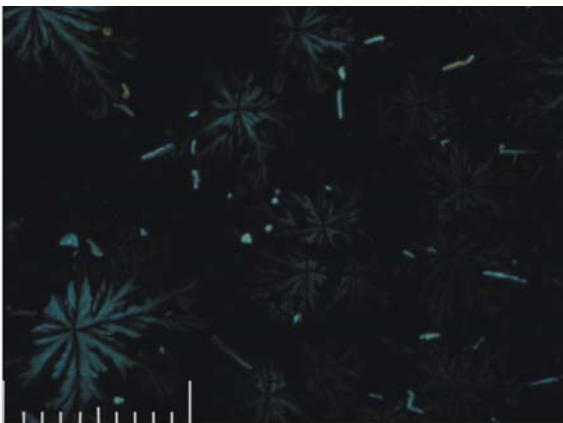
Blatt 4

Salzbestimmung:

Um zu überprüfen ob im Gefüge Ionen vorliegen die zur Bildung von bauschädlichen Salzen führen können wurde aus der entnommenen Materialprobe ein wässriger Auszug erstellt. Die Ionen in der wässrigen Lösung wurden mit Hilfe mikrochemischer Nachweise nach Bläuer-Böhm identifiziert. Zusätzlich wurden die bei der Rekristallisation entstehenden Salze mit Hilfe der Polarmikroskopie bestimmt.

Nadelige Kristalle unter linear polarisiertem Licht:

0 100µm

Nadelige und lanzenförmige Kristalle unter gekreuzten Polarisatoren:

0 100µm

Beschreibung der Rekristallisation:

- Das Salz ist gut löslich in Wasser und unlöslich in Ethanol
- Bei der Rekristallisation bildeten sich dendritische Kristallaggregate, elongierte Kristalle, kubische Kristalle, kleine eckige Kristalle und sehr kleine Partikel.
- Dendritische Kristalle:
 - Graue bis blaue Interferenzfarben
 - Im Immersionsöl kaum Relief
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: $>1,518$
 - Brechungsindex Hellstellung: $<1,518$
- Elongierte Kristalle:
 - Interferenzfarben zweiter Ordnung
 - Auslöschung: vollständig, parallel
 - Brechungsindex Dunkelstellung: $<1,518$
 - Brechungsindex Hellstellung: $<1,518$
- Kubische Kristalle:
 - isotrop
- Kleine, eckige Kristalle
 - Interferenzfarben erster Ordnung
 - Im Immersionsöl starkes Relief
 - Auslöschung vollständig symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung $>1,518$
 - Brechungsindex Hellstellung: $>1,518$
- Sehr kleine Partikel:
 - Im linear polarisiertem Licht leicht grünlich
 - Nach Anfärbung mit BacLight waren Stäbchen und Kokken zu erkennen.

Auswertung der Salzanalyse:

- Dendritische Kristalle: Nahcolit
- Elongierte Kristalle: Doppelsalz (?), nicht bestimmbar
- Kubische Kristalle: Halit
- Kleine eckige Kristalle: Calcit
- Sehr kleine Partikel: Bakterien

Befund: Lüd M1

Blatt 5

Mikrochemische Bestimmung der Ionen:

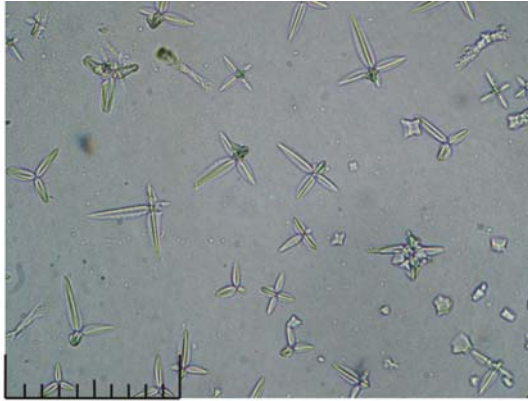
pH-Wert des wässrigen Auszugs (0,5g Material in 5ml Aqua dest. mit einem pH von ~6 und einer Temperatur von 22°C)

- pH 10,35

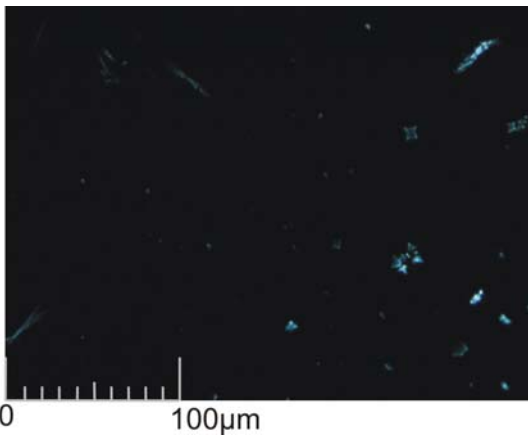
Löslichkeit:

- in Wasser gut
- in Ethanol schlecht

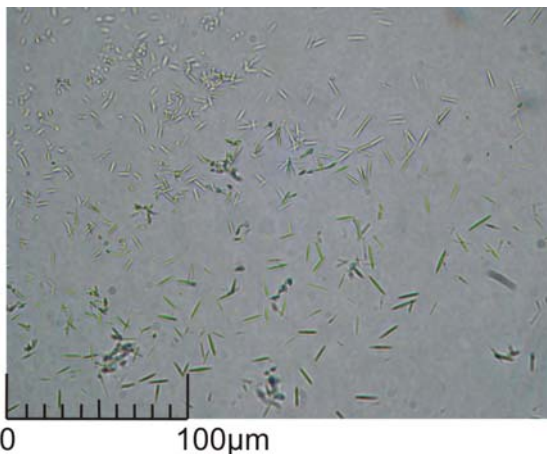
Halit- und Calcitkristalle in linear polarisiertem Licht:



Halit und Calcitkristalle unter gekreuzten Polarisatoren:



Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle in linear polarisiertem Licht:



Nachweis von Carbonationen:

- Beim Zusammenmischen des wässrigen Auszugs mit Calciumchlorid-Lösung, kommt es zu einem weißen Niederschlag.
- Bei Zugabe von Salzsäure löst sich der weiße Niederschlag unter Schaumentwicklung auf.

Nachweis von Sulfat- und Natriumionen:

- Bei der Rekristallisation bilden sich vereinzelt kleine, stark doppelbrechende Calcitkristalle, elongierte, im rechten Winkel zueinander wachsende, isotrope Halitkristalle und kubische isotrope Halitkristalle

Nachweis von Natrium- und Kaliumionen:

- Der aufgetrocknete Tropfen des wässrigen Auszugs wurde mit Schwefelsäure aufgenommen. Neben den Tropfen wurde ein Tropfen wässrige Wismutnitratlösung gesetzt. Die beiden Tropfen wurden mit einem Glasstab ineinander gezogen. Nach einer kurzen Reaktionszeit entstanden charakteristische Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle.

Nachweis von Magnesium

- Es konnte kein Magnesium nachgewiesen werden.

Nachweis von Chlorid

- Ein Lösungstropfen des wässrigen Auszugs wurde mit Salpetersäure angesäuert. Anschließend wurde dem Tropfen ein Tropfen wässrig gelöstes Silbernitrat zugegeben. Es bildete sich ein weißer, sehr feiner Niederschlag, der am Licht nach einiger Zeit braun wurde.

Nachgewiesene Ionen:

- Carbonat
- Natrium
- Chlorid

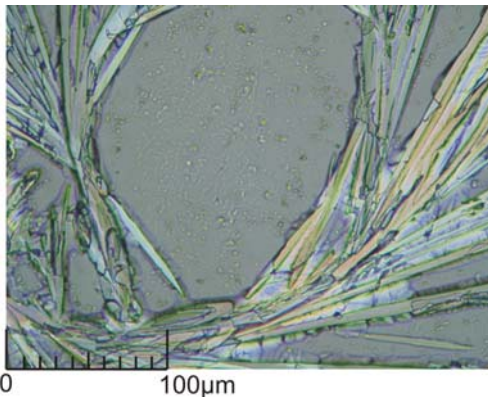
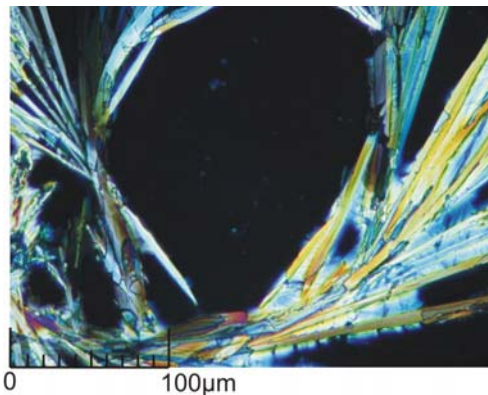
Befund: Lüd M1/S2

Blatt 6

Salzbestimmung:

Im Bereich des Befundes Lüd M1 gab es, neben dem Befall mit rosafarbenen Bakterien, Fehlstellen und Salzausblühungen in Form von langen, teilweise miteinander verfilzten Nadeln.

Zur Identifizierung der in situ ausblühenden Salze wurde eine Ausblühprobe entnommen. Um zu überprüfen ob im Gefüge weitere Ionen vorliegen, wurde aus der entnommenen Materialprobe ein wässriger Auszug erstellt. Sowohl bei der Ausblüh- als auch bei Materialprobe wurden die Ionen in der wässrigen Lösung mit Hilfe mikrochemischer Nachweise nach Bläuer-Böhm identifiziert. Zusätzlich wurden die bei der Rekristallisation entstehenden Salze mit Hilfe der Polarmikroskopie bestimmt.

Salznadeln im Auflicht:Rekristallisierte nadelige Kristalle unter linear polarisiertem Licht:Rekristallisierte nadelige und elongierte Kristalle unter gekreuzten Polarisatoren:Beschreibung des am Objekt ausblühenden Salzes:

Die am Objekt ausgeblühten Whisker, waren nach Abnahme und Transport in das Labor völlig zusammengefallen. Übrig geblieben war nur ein weiß-graues Pulver. Unter dem Mikroskop waren keine Kristallstrukturen mehr zu erkennen. Dieses Verhalten der Kristalle deutet auf einen Phasenwechsel hin.

Beschreibung der Rekristallisation:

- Das Salz ist gut löslich in Wasser und unlöslich in Ethanol
- Bei der Rekristallisation bildeten sich dendritische Kristallaggregate, Aggregate aus langen, nadeligen Kristallen, vereinzelt kubische Kristalle und vereinzelt sehr kleine, nicht näher bestimmbare Kristalle.
- Dendritische Kristalle:
 - Graue Interferenzfarben
 - Gutes Relief im Immersionsöl
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: >1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: <1,518
- Nadelige Kristalle:
 - Interferenzfarben erster Ordnung
 - Gutes Relief im Immersionsöl
 - Auslöschung vollständig, parallel
 - Brechungsindex Dunkelstellung: >1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: <1,518
- Kubische Kristalle:
 - Isotrop
 - Sehr kleine Partikel:
 - In linear polarisiertem Licht grünlich
 - Nach Anfärbung mit Baclight waren Stäbchen und Kokken erkennbar.

Auswertung der Salzbestimmung:

- Dendritische Kristalle: Nahcolit
- Nadelförmige Kristalle: Thermonatrit
- Kubische Kristalle: Halit
- Sehr kleine Partikel: Bakterien

Befund: Lüd M1/S2

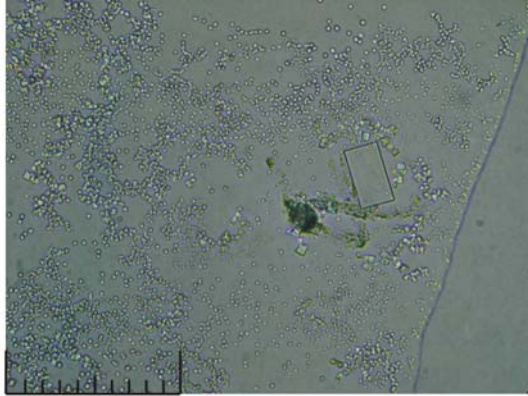
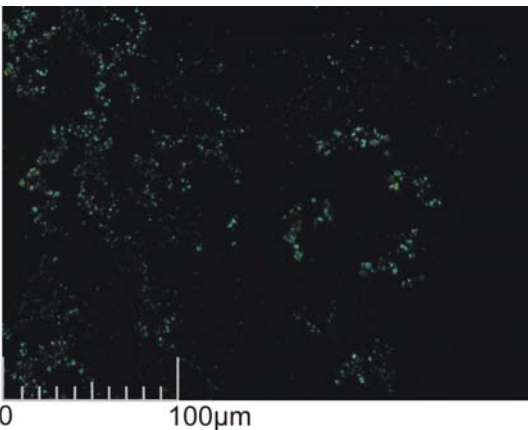
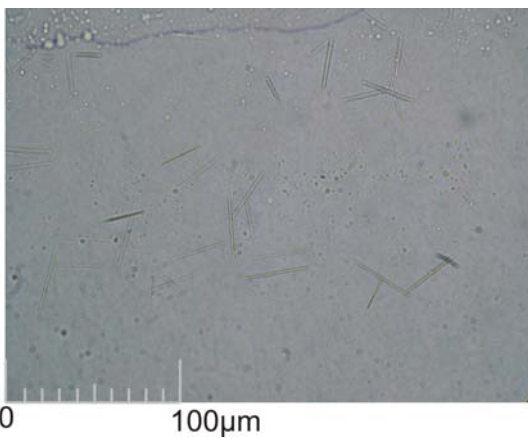
Blatt 7

*Mikrochemische Bestimmung der Ionen:**pH-Wert des wässrigen Auszugs bei ca. 20°C*

- pH 10

Löslichkeit:

- in Wasser gut
- in Ethanol schlecht

Halit- und Calcitkristalle in linear polarisiertem Licht:*Halit- und Calcitkristalle unter gekreuzten Polarisatoren:**Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle in linear polarisiertem Licht:**Nachweis von Carbonationen:*

- Beim Zusammenmischen des wässrigen Auszugs mit Calciumchlorid-Lösung, kommt es zu einem weißen Niederschlag (Calcit).
- Bei Zugabe von Salzsäure löst sich der weiße Niederschlag unter Schaumentwicklung auf.

Nachweis von Sulfat- und Natriumionen:

- Bei der Rekristallisation des Gemisches von S2 und Calciumchlorid entstehen kleine, stark doppelbrechende Calcitkristalle und kubische, isotrope Halitkristalle

Nachweis von Natrium- und Kaliumionen:

- Der aufgetrocknete Tropfen des wässrigen Auszugs wird mit Schwefelsäure aufgenommen. Neben den Tropfen wird ein Tropfen wässrige Wismutnitratlösung gesetzt. Die beiden Tropfen werden mit einem Glasstab ineinander gezogen. Nach einer kurzen Reaktionszeit entstehen charakteristische Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle.

Nachweis von Magnesium

- Es konnte kein Magnesium nachgewiesen werden.

Nachweis von Chlorid

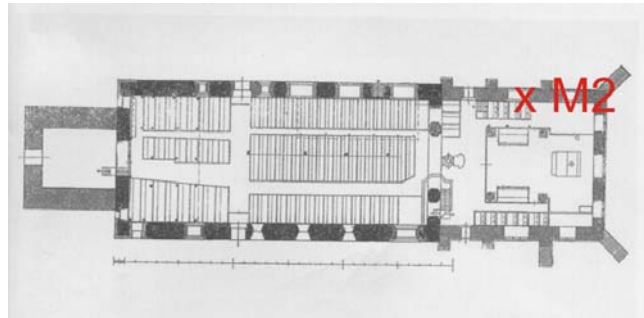
- Es konnte kein Chlorid nachgewiesen werden.

Nachgewiesene Ionen:

- Carbonat
- Natrium

Befund: Lüd M2

Blatt 1

*Grundriss*⁵⁹*Entnahmestelle im Auflicht:*Beschreibung der Probeentnahmestelle:

Direkt über/neben Oberflächen, die einen Befall mit rosafarbenen Bakterien aufweisen, gibt es Oberflächen, die keinerlei Spuren eines Befalls aufweisen.

Um zu überprüfen, ob und welche Unterschiede es in Materialzusammensetzung und Salzbelastung zwischen befallenem und unbefallenem Bereich gibt, wurde eine Materialprobe aus beiden Bereichen entnommen.

Art der Probenentnahme:

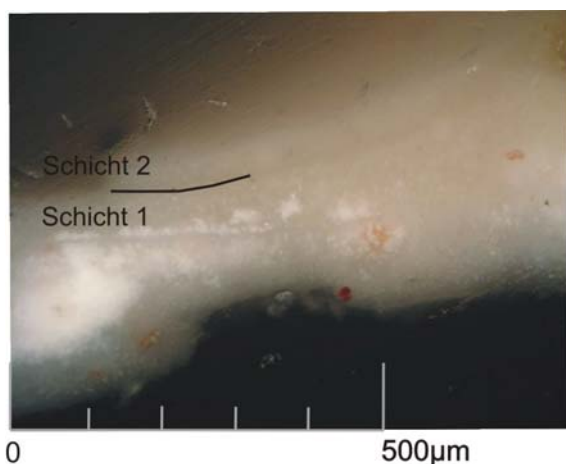
- mechanisch mit Skalpell

Grund der Probenentnahme:

- Bindemittelanalyse
- Salzanalyse

*Aktivitätsnachweis mittels ATP*⁶⁰:

- Mäßige Aktivität (4.892 RLU auf 25cm²)

Anschliff im Auflicht:Beschreibung der Probe:

- Bei Schicht 1 handelt es sich um eine Schlämme mit vereinzelt Sand- und Ziegelzuschlägen.
- Schicht 2 ist eine mehrschichtig aufgetragene Tünche ohne erkennbare Zuschläge.

⁵⁹ Zeichnung aus: Weckwerth/Witt, S.19.

⁶⁰ Vgl. Kapitel 2.1.

Befund: Lüd M2

Blatt 2

Bindemittelbestimmung:

Die Ergebnisse der Tests werden tabellarisch dargestellt. Dabei gilt:

– =negativ; (+)=schwach positiv; + =positiv; ++ =signifikant.

Mikrochemischer Nachweis von Gips und Kalk:

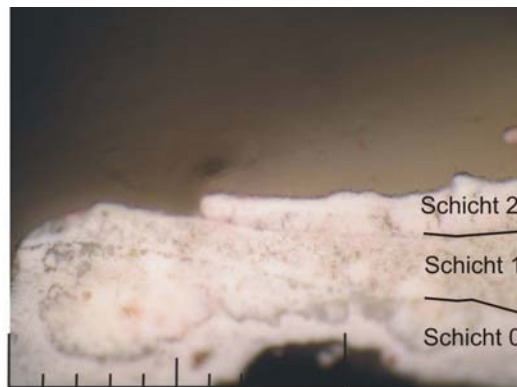
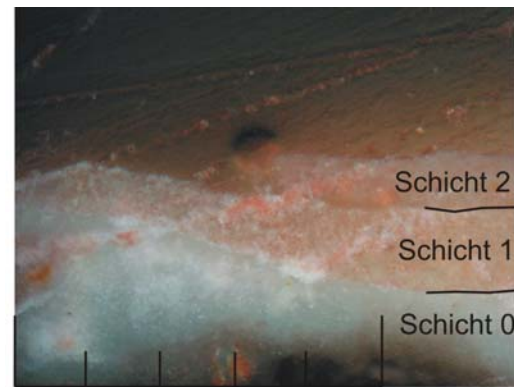
Der Nachweis der anorganischen Bindemittel erfolgte mittels Ionen-Nachweis nach Schramm/Hering⁶¹ und Bläuer-Böhm⁶². Die Nachweise wurden am Anschliff ausgeführt um gezielt die einzelnen Schichten beproben zu können.

Schicht	Calcium	Carbonat	Gips
0	+	+	(+)
1	+	+	(+)
2	+	+	(+)

Mikrochemischer Bindemittelnachweis:

Der Nachweis der natürlichen organischen Bestandteile erfolgte nach Schramm und Hering⁶³. Hierfür wurde jeweils das gesamte Schichtenpaket der Probe verwendet. Eine Zuordnung der Inhaltsstoffe auf die einzelnen Schichten erfolgte mittels histochemischer Färbemethoden (s.u.).⁶⁴

Kohlenhydrate	Trocknende Öle; Casein, Eigelb, Gummien	Proteine
+	+	–

Histochemische Anfärbungen:Anfärbung auf Proteine:Anfärbung auf Öle:Ergebnis der Anfärbungen:

- Die Anfärbung auf Proteine zeigt eine leichte Anfärbung des Putzes und von Schicht 2. Schicht 1 ist nicht angefärbt.
- Die Anfärbung auf Öle zeigt eine deutliche Anfärbung von Schicht 1 und Schicht 2. Der Putz ist nicht angefärbt.

Auswertung der Bindemittelbestimmung:

Alle Schichten sind kalkgebunden. Der Putz und Schicht 2 weisen trotz negativen mikrochemischen Nachweises in der Anfärbung einen proteinischen Bestandteil auf. Schicht 1 und Schicht 2 scheinen mit einer öligen Beimengung versehen zu sein.

⁶¹ Vgl. Schramm und Hering 1998, S.168ff.

⁶² Vgl. Bläuer-Böhm 1994, S.100.

⁶³ Vgl. Schramm und Hering 1998, S.198ff.

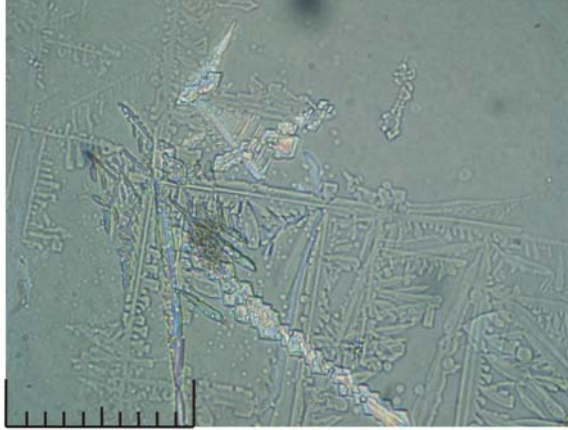
⁶⁴ Bei diesen Tests ist zu beachten, dass der mikrobielle Befall ebenfalls ein organischer Bestandteil der Probe ist und somit zu einem positiven Ergebnis bei Stickstoff und Kohlenhydraten führen kann Vgl. Wörz 2000, S.65.

Befund: Lüd M2

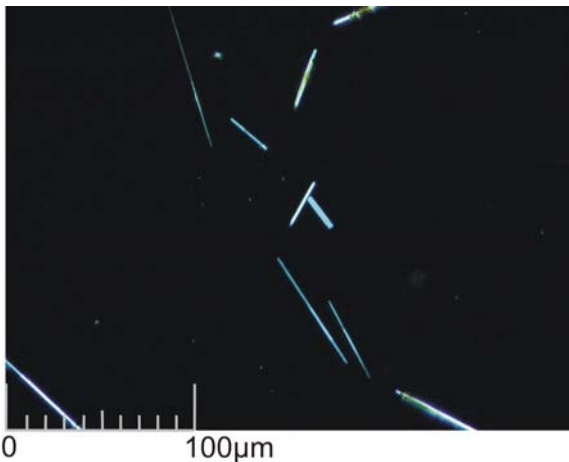
Blatt 3

Salzbestimmung:

Um den Gehalt an bauschädlichen Salzen im Putz überprüfen zu können wurde ein wässriger Auszug erstellt, die Ionen der Lösung mit mikrochemischen Nachweisen bestimmt und die bei der Rekristallisation entstehenden Salze mit Hilfe der Polarmikroskopie bestimmt.

Sternförmige Aggregate in linear polarisiertem Licht:

Kurze nadelige Kristalle unter gekreuzten Polarisatoren:

Beschreibung der Rekristallisation:

- Bei der Rekristallisation bildeten sich sternförmige Kristallaggregate, aus elongierten Kristallen, nadelförmige Kristalle von sehr unterschiedlicher Länge, kleine eckige Kristalle, kubische Kristalle und sehr kleine Partikel.
- Elongierte Kristalle:
 - Interferenzfarben erster Ordnung, vor allem Grau
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: $<1,518$
 - Brechungsindex Hellstellung: $<1,518$
- Kurze, nadelige Kristalle:
 - Interferenzfarben erster Ordnung
 - Sehr schwaches Relief im Immersionsöl
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: $<1,518$
 - Brechungsindex Hellstellung: $<1,518$
- Kleine eckige Kristalle
 - Interferenzfarben erster Ordnung
 - Sehr hohe Relief im Immersionsöl
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: $>1,518$
 - Brechungsindex Hellstellung: $>1,518$
- Kubische Kristalle
 - isotrop
- Sehr kleine Partikel:
 - In linear polarisiertem Licht leicht grünlich
 - Nach Anfärbung mit BacLight waren Stäbchen und Kokken zu erkennen.

Mikroskopische bestimmte Salze:

- Elongierte Kristalle: Doppelsalz (?), nicht bestimmbar
- Nadelige Kristalle: Gips
- Kubische Kristalle: Halit
- Kleine eckige Kristalle: Calcit
- Sehr kleine Kristalle: Bakterien

Befund: Lüd M2

Blatt 7

Mikrochemische Bestimmung der Ionen:

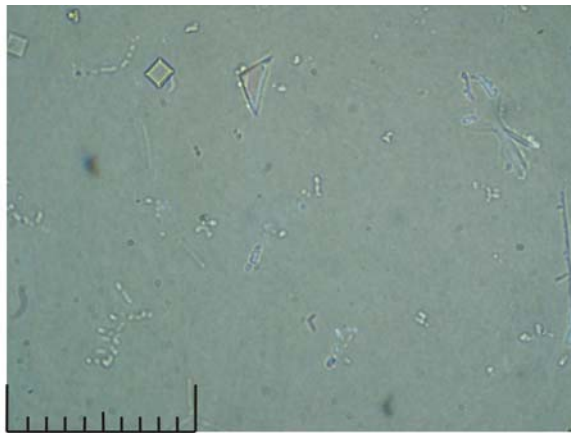
pH-Wert des wässrigen Auszugs(0,5g Material in 5ml Aqua dest. mit einem pH von ~6 und einer Temperatur von 22°C)

- PH 8,05

Löslichkeit:

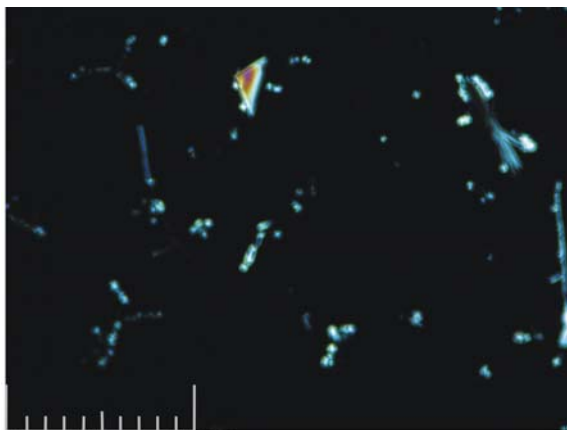
- in Wasser gut
- in Ethanol schlecht

Kristallisation des Gemisches wässrige Lösung S2 und Calciumchlorid in linear polarisiertem Licht:



0 100µm

Kristallisierte Salze unter gekreuzten Polarisatoren:



0 100µm

Nachweis von Carbonat:

- Es konnte kein Carbonat nachgewiesen werden.

Nachweis von Sulfat- und Natriumionen:

- Bei der Rekristallisation des wässrigen Gemisches von Lüd M2 und Calciumchlorid entstehen kubische isotrope Halitkristalle und kurze nadelige Gipskristalle

Nachweis von Natrium- und Kaliumionen

- Es konnten weder Natrium- noch Kaliumionen nachgewiesen werden.
- Dies widerspricht der Halitbildung des Sulfatnachweises.

Nachweis von Magnesium

- Es konnte kein Magnesium nachgewiesen werden.

Nachweis von Chlorid

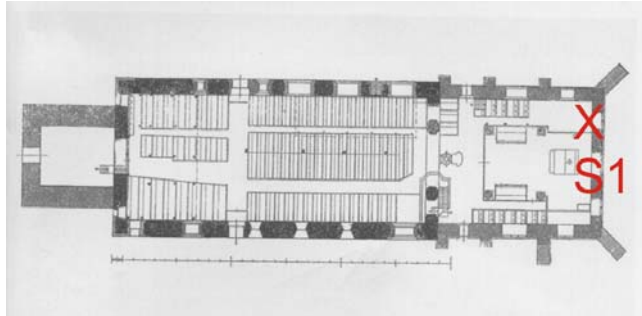
- Ein Lösungstropfen des wässrigen Auszugs wurde mit Salpetersäure angesäuert. Anschließend wurde dem Tropfen ein Tropfen wässrig gelöstes Silbernitrat zugegeben. Es bildete sich ein weißer, sehr feiner Niederschlag, der am Licht nach einiger Zeit braun wurde.

Nachgewiesene Ionen:

- Sulfat
- Natrium (nicht eindeutig)
- Chlorid

Befund: Lüd S1

Blatt 1

*Grundriss.*⁶⁵*Probeentnahmestelle im Auflicht:**Beschreibung der Probeentnahmestelle:*

An der Ostwand der Kirche finden sich im nördlichen Bereich gelbliche Verfärbungen und starke Salzausblühungen. Die Salzausblühungen liegen in Form von weißen, opaken Blumenkohlkrusten vor.

Einen Befall mit rosafarbenen Bakterien findet man hier nur auf ehemaligen Kondenswasserläufern unter dem Fenster.

Um zu überprüfen, welches Salz hier ausblüht,

Beschreibung des vor Ort ausblühenden Salzes:

Im Mikroskop lassen sich keine Kristallformen erkennen. Die Salzkruste besteht aus kleinen, weißen opaken Krümeln.

⁶⁵ Zeichnung aus: Weckwerth/Witt, S.19.

Befund: Lüd S1

Blatt 2

Salzbestimmung:

Um den Gehalt an bauschädlichen Salzen im Putz überprüfen zu können, wurde ein wässriger Auszug erstellt, die Ionen der Lösung mit mikrochemischen Nachweisen bestimmt und die bei der Rekristallisation entstehenden Salze mit Hilfe der Polarmikroskopie bestimmt.

pH-Wert des wässrigen Auszugs (0,5g Material in 5ml Aqua dest. mit einem pH von ~6 und einer Temperatur von 22°C)

• PH 8,05

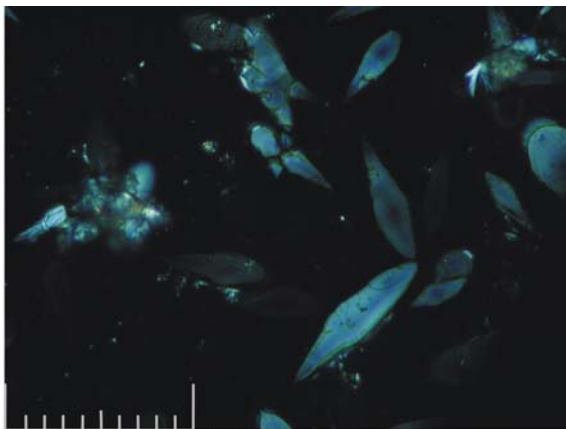
Leitfähigkeit des wässrigen Auszugs (0,5g Material in 50ml Aqua dest. mit einer Leitfähigkeit von 2,8µS/cm und einer Temperatur von 22°C)

• 239 µS/cm

Rekristallisierte Salze des wässrigen Auszugs unter linear polarisiertem Licht:



Rekristallisiertes Salz unter gekreuzten Polarisatoren:

*Beschreibung der Rekristallisation:*

- Löslich in Wasser, unlöslich in Ethanol
- Bei der Rekristallisation bildeten sich Kristalle mit einer unspezifischen Morphologie und linsenförmige Kristalle. Zusätzlich gibt es sehr kleine Partikel, die sich nicht näher bestimmen lassen.
- Kristalle mit unspezifischer Morphologie:
 - Anormale Interferenzfarben (Blau und Braun)
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: >1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: <1,518
- Linsenförmige Kristalle:
 - Anormale Interferenzfarben (Blau und Braun)
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: >1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: <1,518
- Sehr kleine Partikel:
 - Im linear polarisiertem Licht leicht grünlich
 - Nach Anfärbung mit BacLight waren Stäbchen und Kokken zu erkennen.

Mikroskopische bestimmte Salze:

- Kristalle mit unspezifischer Morphologie: Thenardit
- Linsenförmige Kristalle: Thenardit
- Sehr kleine Partikel: Bakterien

Befund: Lüd S1

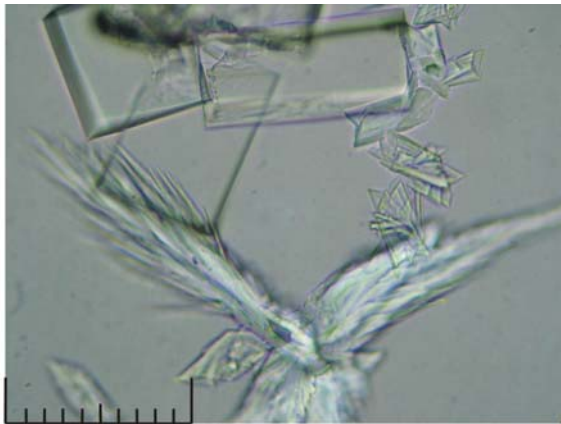
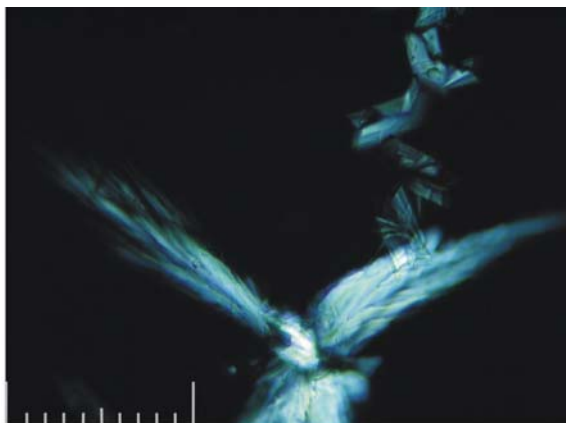
Blatt 3

*Mikrochemische Bestimmung der Ionen:**pH-Wert des wässrigen gelösten Salzes bei ca. 20°C*

- pH 6

Löslichkeit:

- in Wasser gut
- in Ethanol schlecht

Gips- und Halitkristalle in linear polarisiertem Licht:*Gips- und Halitkristalle unter gekreuzten Polarisatoren:**Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle in linear polarisiertem Licht:**Nachweis von Carbonat:*

- Es konnte kein Carbonat nachgewiesen werden.

Nachweis von Sulfat- und Natriumionen:

- Bei der Rekristallisation des wässrigen Gemisches von Lüd S1 und Calciumchlorid entstehen kurze nadelige, und schwalbenschwanzförmige Gipskristalle sowie kubische isotrope Halitkristalle

Nachweis von Natrium- und Kaliumionen:

- Der aufgetrocknete Tropfen des wässrigen Auszugs wurde mit Schwefelsäure aufgenommen. Neben den Tropfen wurde ein Tropfen wässrige Wismutnitratlösung gesetzt. Die beiden Tropfen wurden mit einem Glasstab ineinander gezogen. Nach einer kurzen Reaktionszeit entstanden charakteristische Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle.

Nachweis von Magnesium

- Es konnten keine Magnesium-Ionen nachgewiesen werden.

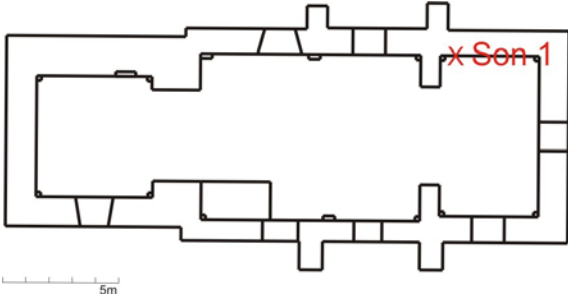
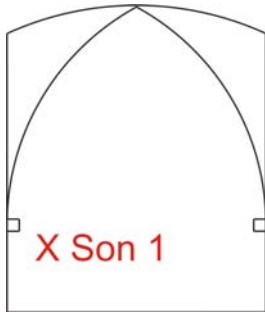


Nachweis von Chlorid

- Ein Lösungstropfen des wässrigen Auszugs wurde mit Salpetersäure angesäuert. Anschließend wurde dem Tropfen ein Tropfen wässrig gelöstes Silbernitrat zugegeben. Es bildete sich ein weißer, sehr feiner Niederschlag der am Licht nach einiger Zeit braun wurde.

Nachgewiesene Ionen:

- Natrium
- Sulfat
- Chlorid

I.III Bartrup-Sonneborn

Befund: Son 1		Blatt 1
<p>Grundriss⁶⁶</p> 	<p>Aufriss⁶⁷:</p> 	
<p>Befundbereich im Aufricht:</p> 	<p><u>Beschreibung des Befundes:</u> Der Befund befindet sich an der Nordwand des Chores. Hier weist die Wand den größten sichtbaren befallenen Bereich auf. Die Oberfläche der Wand hatte im befallenen Bereich einen pH-Wert von pH 11, im nicht befallenen Bereich einen Wert von pH 7. In diesem Bereich wurde eine Monitoringfläche angelegt. Die Aktivität der Mikroorganismen und die Oberflächentemperatur wurde regelmäßig erfasst um die gegeneinander abgleichen zu können.</p>	
<p>Monitoringbereich im Aufricht:</p> 	<p><u>Beschreibung der Monitoringfläche:</u> Am 31.08.2005 wurden im Randbereich des Befalls ein definierter Bereich von 2*2 cm² angelegt, in denen die Aktivität der Mikroorganismen beobachtet werden soll. Der Befall war an dieser Stelle sehr gleichmäßig. Direkt neben diesem Bereich (Testfläche T1) wurde mit Hilfe eines Datenloggers von Testo die Oberflächentemperatur gemessen. Zu beachten ist, dass die Messwerte bei der ersten Messung sehr viel höher ausfallen als bei den folgenden, da jede Messung einen Abrieb der Bakterien bedeutet.</p>	
<p>Aktivitätsnachweis mittels ATP am 31.08.2005:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • T1:Niedrige Aktivität (1.312 RLU) 	
<p>Aktivitätsnachweis mittels ATP am 05.10.2005:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • T1: Sehr hohe Aktivität (21.474 RLU) 	
<p>Aktivitätsnachweis mittels ATP am 07.11.2005:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • T1: Niedrige Aktivität (3.825 RLU) 	
<p>Aktivitätsnachweis mittels ATP am 06.12.2005</p>	<ul style="list-style-type: none"> • T1: Niedrige Aktivität (4.605 RLU) 	

⁶⁶ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

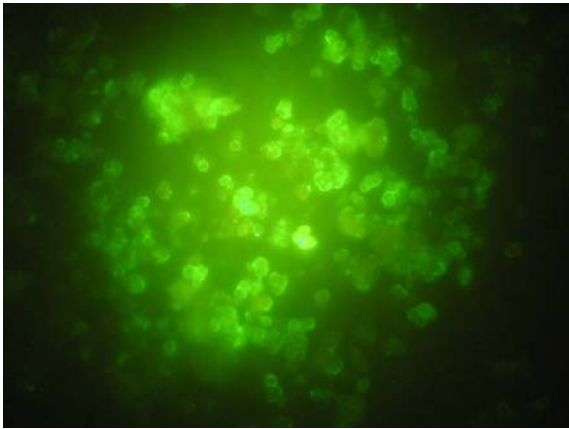
⁶⁷ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

Befund: Son 1

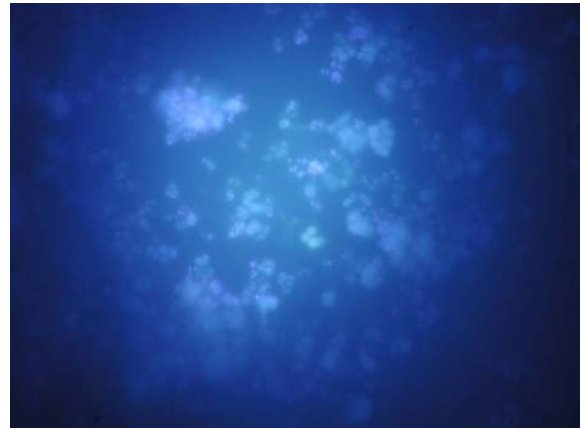
Blatt 2

Identifizierung der Bakterien mittels fluoreszenzmarkiertem Antikörper:

Anfärbung des Antikörpers (Foto: Silke Ammermann)



Anfärbung aller Organismen (Foto: Silke Ammermann)

Bewertung des Testergebnisses:

An einem Abstrich des rosafarbenen Belages wurde ein Antikörpertest durchgeführt. Eine Anlagerung des Antikörpers an die Organismen war deutlich zu erkennen. Es handelt sich bei den an diesem Objekt vorliegenden rot pigmentierten Bakterien also eindeutig um dieselben Organismen wie in Lüdingworth.

Die Abbildung rechts zeigt die spezifische Anfärbung des, den Mikroorganismen angelagerten, Antikörpers.⁶⁸

Parallel zu der Anfärbung der spezifischen Organismen wurde eine Anfärbung aller in der Probe enthaltenen Mikroorganismen durchgeführt.

Das Ergebnis zeigte deutlich, dass die rosafarbenen Bakterien nahezu in Reinkultur am Objekt vorliegen.

⁶⁸ Vgl. Kapitel 2.1.

Befund: Son 1/S5

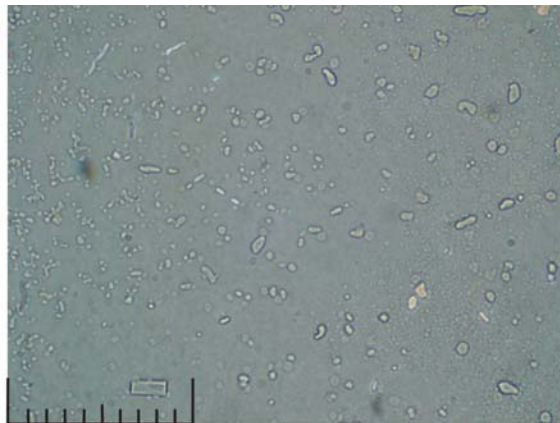
Blatt 3

Mikroskopische Salzbestimmung:

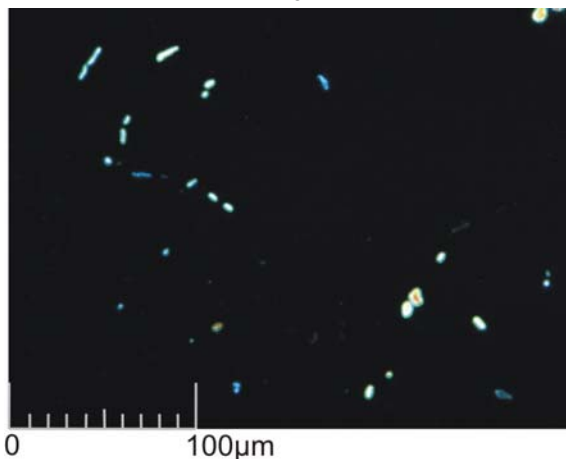
Salzausblüfung im Auflicht:



Rekristallisierte Ausblühprobe unter linear polarisiertem Licht:



Rekristallisiertes Salz unter gekreuzten Polarisatoren:

Beschreibung der Probeentnahmestelle:

Inmitten des rosafarbenen Bereiches, gibt es einen Bereich der keinen Befall aufweist. Um zu überprüfen, ob dies mit der Verteilung der im Material befindlichen Ionen zusammenhängt, wurde aus diesem Bereich eine kleine Materialprobe entnommen und anhand eines wässrigen Auszuges die beim Rekristallisieren entstehenden Salze mikroskopisch bestimmt. Die Ergebnisse wurden anschließend mikrochemisch verifiziert.

Beschreibung der Rekristallisation:

- Bei der Rekristallisation bildeten sich elongierte, morphologisch nicht näher zu spezifizierende Kristalle, rautenförmige Kristalle, kubische Kristalle vereinzelt nadelige Kristallaggregate und sehr kleine Partikel.
- Dendritische Kristalle:
 - Interferenzfarben erster Ordnung, vor allem Grau
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: $>1,518$
 - Brechungsindex Hellstellung: $<1,518$
- Rautenförmige Kristalle
 - Interferenzfarben erster und zweiter Ordnung.
 - Auslöschung: vollständig, parallel
 - Brechungsindex Dunkelstellung: $<1,518$
 - Brechungsindex Hellstellung: $>1,518$
- Elongierte Kristalle
 - Interferenzfarben erster Ordnung
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: $<1,518$
 - Brechungsindex Hellstellung: $<1,518$
- Kubische Kristalle
 - isotrop
- Sehr kleine Partikel
 - Im linear polarisiertem Licht leicht grünlich
 - Nach Anfärbung mit BacLight waren Stäbchen und Kokken erkennbar.

Auswertung der Salzanalyse:

- Rautenförmige Kristalle: Epsomit
- Nadelige Kristallaggregate: Thermonatrium
- Elongierte Kristalle: Doppelsalz (?), nicht bestimmbar.
- Kubische Kristalle: Halit
- Sehr kleine Partikel: Bakterien

Befund: Son 1/S5

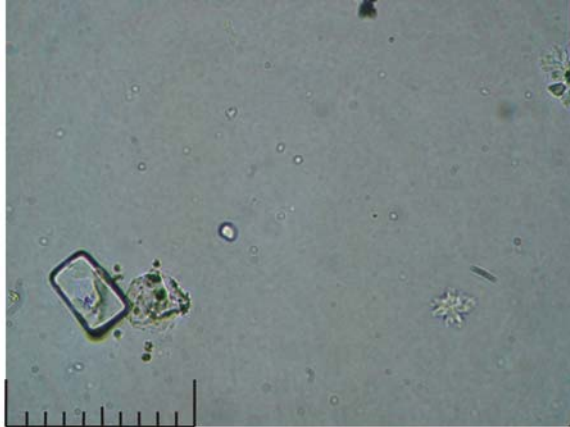
Blatt 4

Mikrochemische Bestimmung der Ionen:

pH-Wert des wässrigen Auszugs:

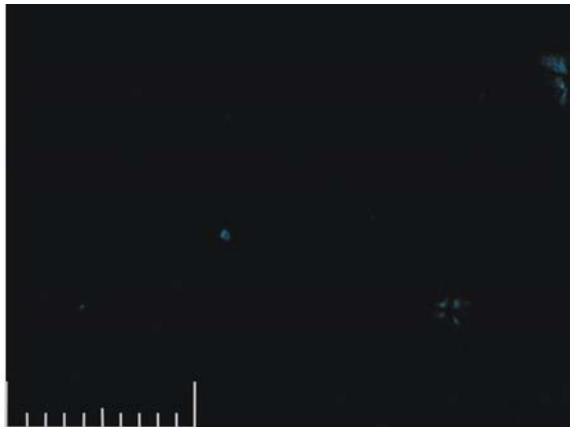
- PH 5

Gips- und Halitkristalle in linear polarisiertem Licht:



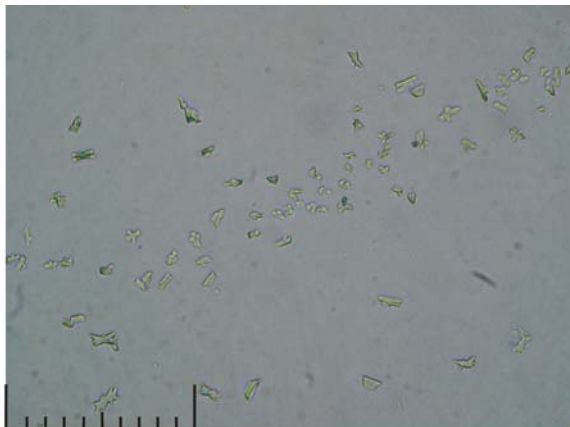
0 100µm

Gips- und Halitkristalle unter gekreuzten Polarisatoren:



0 100µm

Magnesiumammoniumphosphat-Kristalle in linear polarisiertem Licht:



0 100µm

Nachweis von Carbonat:

- Es konnte kein Carbonat nachgewiesen werden.

Nachweis von Sulfat- und Natriumionen:

- Bei der Rekristallisation des Gemisches von wässrigem Auszug und Calciumchlorid entstehen kubische, isotrope Halitkristalle, und nadelige Gipskristalle

Nachweis von Natrium- und Kaliumionen:

- Es konnten weder Natrium-, noch Kaliumionen nachgewiesen werden.

Nachweis von Magnesium

- Ein Tropfen wässriger Salzlösung wurde mit etwas 2 molarer Salzsäure angesäuert. Anschließend wurde ein Tropfen wässriger Ammoniumhydrogenphosphat-Lösung hinzugefügt und das so entstandene Salzgemisch über die Dämpfe von konzentriertem Ammoniak gehalten. Es entstanden neben nicht weiter spezifizierten Kristallen, charakteristische Magnesiumammoniumphosphat-Kristalle.

Nachweis von Chlorid

- Es konnte kein Chlorid nachgewiesen werden

Nachgewiesene Ionen:

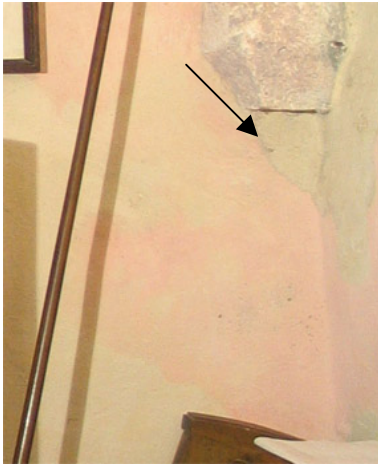
- Natrium (nicht eindeutig)
- Sulfat
- Magnesium

Befund: Son 1/S6

Blatt 5

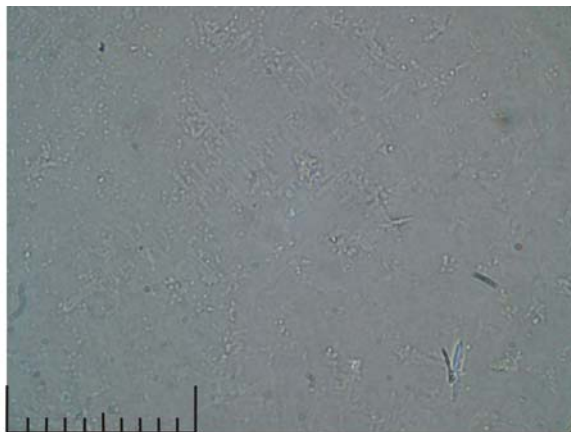
Mikroskopische Salzbestimmung:

Salzausblühung im Auflicht:

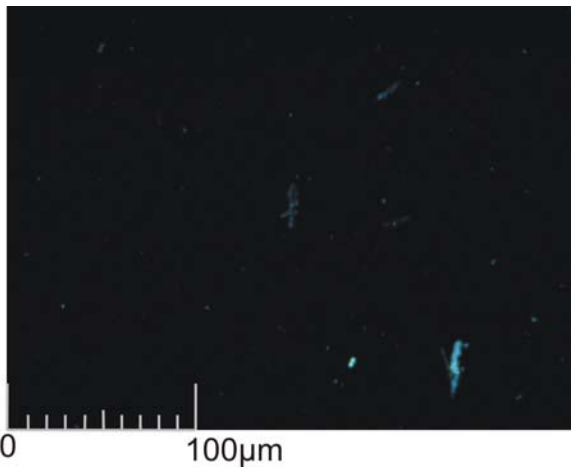
Beschreibung der Probeentnahmestelle:

Die Probe wurde aus dem Übergangsbereich von unbefallener zu befallener Wandfläche entnommen.

Rekristallisierte Ausblühprobe unter linear polarisiertem Licht:



Rekristallisiertes Salz unter gekreuzten Polarisatoren:

Beschreibung der Rekristallisation:

- Bei der Rekristallisation bildeten ringförmige Ränder.
- Es bildeten sich Aggregate aus morphologisch unspezifischen Kristallen, diese wurden teilweise überlagert von dendritischen Kristallaggregaten, außerdem gab es im rechten Winkel zueinander wachsende länglich-eckige Kristalle und viel sehr kleine Partikel.
- Morphologisch unspezifische Kristalle:
 - Anormale Interferenzfarben (Blau und Braun)
 - Auslöschung vollständig, symmetrisch
 - Im Immersionsöl kaum Relief
 - Brechungsindex Dunkelstellung: <math><1,518</math>
 - Brechungsindex Hellstellung: <math><1,518</math>
- Dendritische Kristalle:
 - Interferenzfarben erster und zweiter Ordnung
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - Im Immersionsöl gutes Relief in Hellstellung, schwaches in Dunkelstellung
 - Brechungsindex Dunkelstellung: <math><1,518</math>
 - Brechungsindex Hellstellung: <math><1,518</math>
- Länglich-eckige Kristalle
 - isotrop
- Sehr kleine Partikel
 - Im linear polarisiertem Licht leicht grünlich

Auswertung der Salzanalyse:

- Rechtwinklig wachsende Kristallaggregate: Halit
- Dendritische Kristalle: Thermonatrit
- Morphologisch unspezifische Kristalle: Thenardit
- Sehr kleine Partikel:

Befund: Son 1/S6

Blatt 6

Mikrochemische Bestimmung der Ionen:

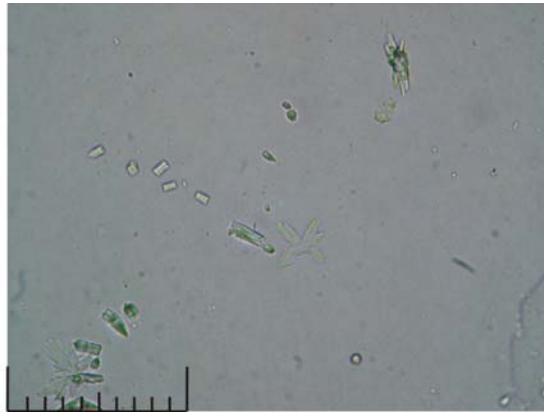
pH-Wert des wässrigen Auszugs:

- PH >10

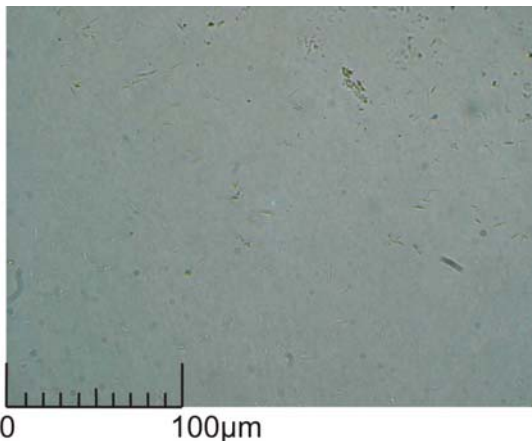
Löslichkeit:

- in Wasser gut
- in Ethanol schlecht

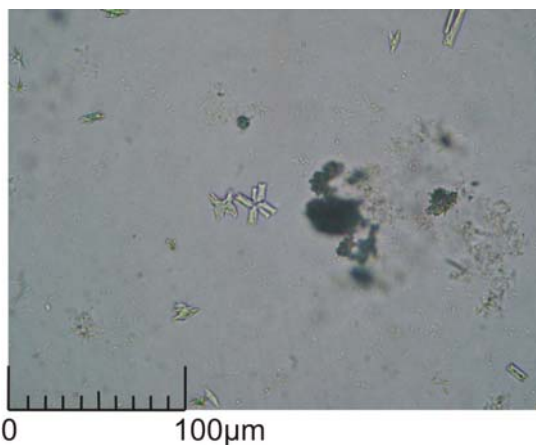
Gipskristalle in linear polarisiertem Licht:



Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle in linear polarisiertem Licht:



Magnesiumammoniumphosphat-Kristalle in linear polarisiertem Licht:



Nachweis von Carbonationen:

- Es konnte kein Carbonat nachgewiesen werden.

Nachweis von Sulfat- und Natriumionen:

- Bei der Rekristallisation des Gemisches von wässrigem Auszug und Calciumchlorid entstehen charakteristische Zwillings-Gips-Kristalle. Isotrope Halitkristalle konnten nicht nachgewiesen werden.

Nachweis von Natrium- und Kaliumionen:

- Der aufgetrocknete Tropfen des wässrigen Auszugs wurde mit Schwefelsäure aufgenommen. Neben den Tropfen wurde ein Tropfen wässrige Wismutnitratlösung gesetzt. Die beiden Tropfen wurden mit einem Glasstab ineinander gezogen. Nach einer kurzen Reaktionszeit entstanden neben weiteren, nicht näher identifizierten Kristallen, charakteristische Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle.

Nachweis von Magnesium

- Ein Tropfen wässriger Salzlösung wurde mit etwas 2 molarer Salzsäure angesäuert. Anschließend wurde ein Tropfen wässriger Ammoniumhydrogenphosphat-Lösung hinzugefügt und das so entstandene Salzgemisch über die Dämpfe von konzentriertem Ammoniak gehalten. Es entstanden neben nicht weiter spezifizierten Kristallen, charakteristische Magnesium-ammoniumphosphat-Kristalle.

Nachweis von Chlorid

- Es konnte kein Chlorid nachgewiesen werden.

Nachgewiesene Ionen:

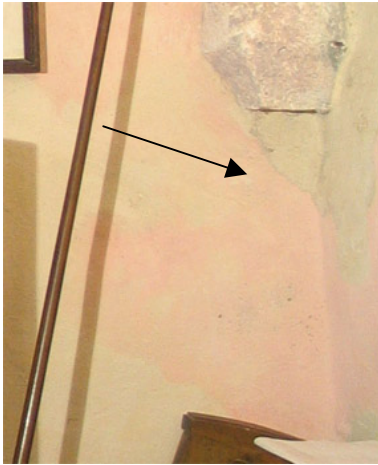
- Natrium
- Sulfat
- Magnesium

Befund: Son 1/S7

Blatt 7

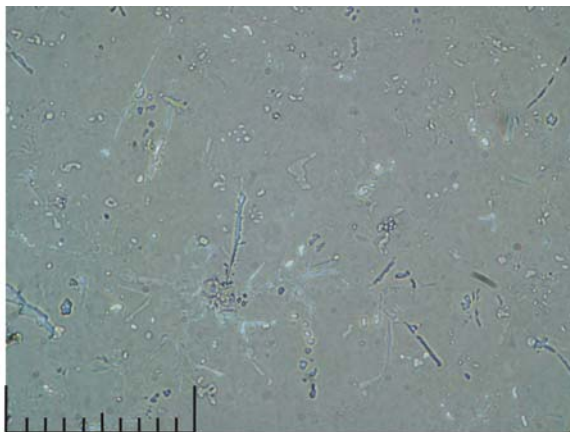
Mikroskopische Salzbestimmung:

Salzausblüfung im Auflicht:

Beschreibung des Entnahmebereiches:

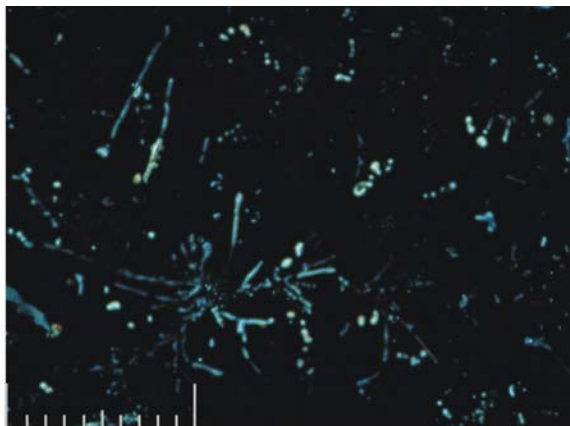
Aus dem befallenen Bereich direkt neben der dunklen Verfärbung wurde eine Materialprobe entnommen. Anhand eines wässrigen Auszuges wurden die darin befindlichen freien Ionen ermittelt.

Rekristallisierte Ausblühprobe unter linear polarisiertem Licht:



0 100µm

Rekristallisiertes Salz unter gekreuzten Polarisatoren:



0 100µm

Beschreibung der Rekristallisation:

- Bei der Rekristallisation bildeten sich ringförmige Ränder.
- Es bildeten sich viele elongierte, teilweise kreuzförmig angeordnete Kristalle und sehr kleine Partikel. Außerdem gab es an den Randbereichen des Tropfens linsenförmige Kristalle und vereinzelt dendritische Aggregate
- Elongierte Kristalle:
 - Interferenzfarben erster und zweiter Ordnung
 - Auslöschung vollständig, parallel
 - Im Immersionsöl sehr gutes Relief in Dunkelstellung, gutes Relief in Hellstellung
 - Brechungsindizes: <1,518
- Linsenförmige Kristalle:
 - Anormale Interferenzfarben (Blau und Braun)
 - Auslöschung vollständig, symmetrisch
 - Im Immersionsöl kaum Relief
 - Brechungsindizes. <1,518.
- Dendritische Kristallaggregate:
 - Interferenzfarben erster Ordnung, Grau.
 - Nicht näher bestimmbar.
- Sehr kleine Partikel
 - Im linear polarisiertem Licht leicht grünlich
 - Nach Anfärbung mit BacLight sind Stäbchen und Kokken erkennbar.

Auswertung der Salzanalyse:

- Dendritische Kristalle: Nahcolit
- Nadelige Kristallaggregate: Thermonatrit
- Sehr kleine Partikel: Bakterien

Befund: Son 1/S7

Blatt 8

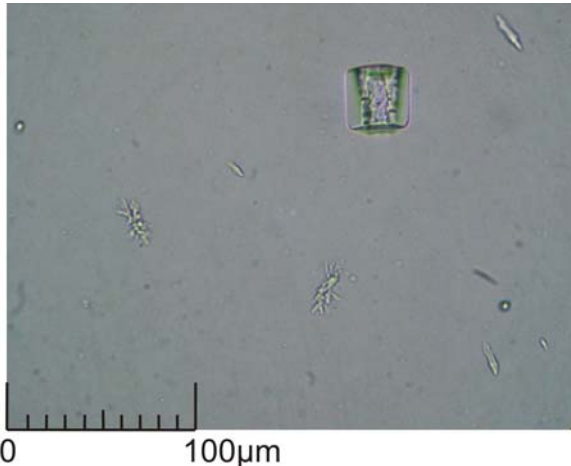
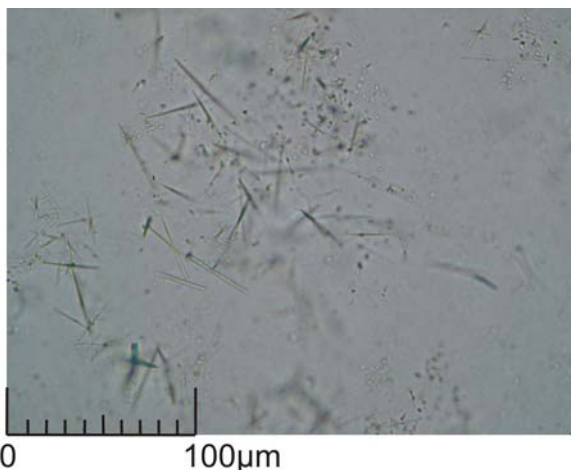
Mikrochemische Bestimmung der Ionen:

pH-Wert des wässrigen Auszugs:

- pH >10

Löslichkeit:

- in Wasser gut
- in Ethanol schlecht

Calcit- und Halitkristalle in linear polarisiertem Licht:*Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle in linear polarisiertem Licht:**Nachweis von Carbonationen:*

- Beim Zusammenmischen des wässrigen Auszugs mit Calciumchlorid-Lösung, kommt es zu einem weißen Niederschlag. (Calcit)
- Nach Zugabe von Salzsäure löst sich der weiße Niederschlag unter Schaumbildung auf.

Nachweis von Sulfat- und Natriumionen:

- Bei der Rekristallisation des Gemisches von wässrigem Auszug und Calciumchlorid entstehen kleine, stark doppelbrechende, Calcitkristalle und kubische bis elongierte, isotrope Halitkristalle.

Nachweis von Natrium- und Kaliumionen:

- Der aufgetrocknete Tropfen des wässrigen Auszugs wurde mit Schwefelsäure aufgenommen. Neben den Tropfen wurde ein Tropfen wässrige Wismutnitratlösung gesetzt. Die beiden Tropfen wurden mit einem Glasstab ineinander gezogen. Nach einer kurzen Reaktionszeit entstanden neben nicht näher spezifizierbaren, sehr kleinen Kristallen, charakteristische Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle.

Nachweis von Magnesium

- Es konnte kein Magnesium nachgewiesen werden.

Nachweis von Chlorid

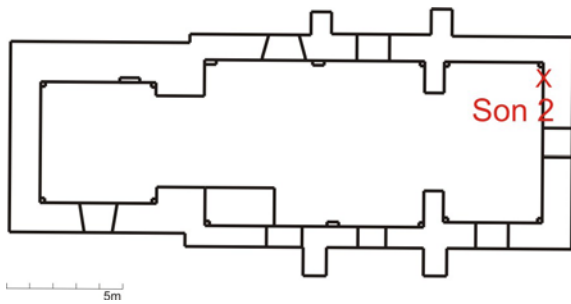
- Es konnte kein Chlorid nachgewiesen werden.

Nachgewiesene Ionen:

- Natrium
- Carbonat
- Magnesium

Befund: Son 2

Blatt 1

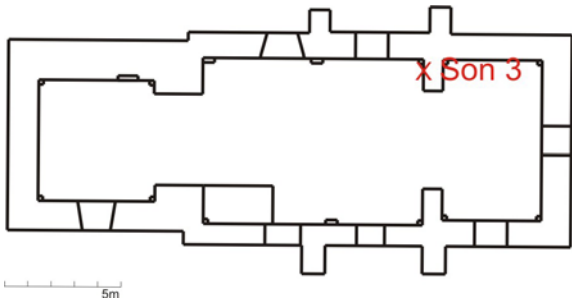
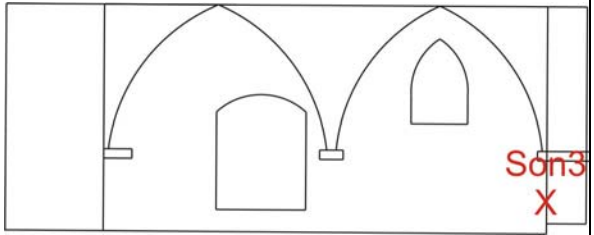


Grundriss⁶⁹Aufriss⁷⁰:*Befundbereich im Auflicht:*Beschreibung des Befundes:

Der Befund befindet sich an der Ostwand des Chores. Hier weist die Wand einen größeren befallenen Bereich auf.

Der Befall ist sehr gleichmäßig.


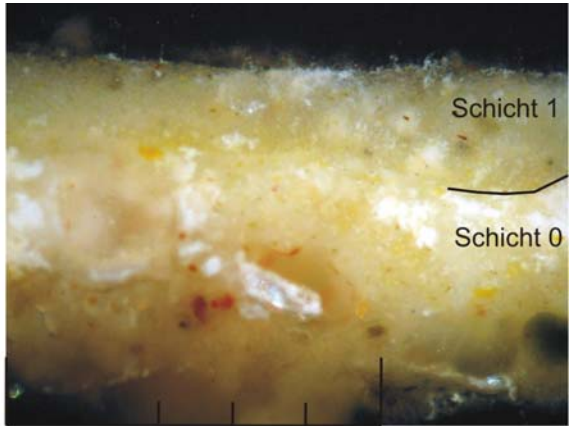
⁶⁹ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

⁷⁰ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

Befund: Son 3		Blatt 1
<p>Grundriss⁷¹</p> 	<p>Aufriss⁷²:</p> 	
<p>Befundbereich im Aufricht:</p> 	<p><u>Beschreibung des Befundes:</u></p> <p>Der Befund befindet sich an der Nord-Ostecke des Kirchenschiffes. Hier weist die Wand einen rosafarbenen Befall neben Salzausblühungen, dunklen Verfärbungen und Fehlstellen in der rezenten Schicht auf.</p> <p>Zur genauen Erforschung der Wachstumsbedingungen wurde an dieser Stelle eine Probe des auskristallisierten Salzes (S4), der dunklen Verfärbung (S3) und des Materials entnommen. Zusätzlich wurde eine Monitoringfläche angelegt, um die Aktivität der Mikroorganismen zu beobachten.</p>	
<p>Monitoringfläche im Aufricht:</p> 	<p><u>Beschreibung der Monitoringfläche:</u></p> <p>In der Nord-Ostecke des Kirchenschiffes wurde ein definierter Bereich (2*2cm²) festgelegt, in dem die Aktivität der Mikroorganismen mittels ATP-Messung in regelmäßigen Abständen gemessen wurde.</p> <p>Der Befall war im Bereich der Testfläche (T2) sehr gleichmäßig.</p> <p>Auch hier ist zu beachten, dass durch den Abrieb der Mikroorganismen von der Oberfläche bei der Messung, der erste Messwert sehr viel höher ausfällt als die Folgenden.</p>	
<p>Aktivitätsnachweis mittels ATP am 31.08.2005:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • T2: Sehr hohe Aktivität (26.351 RLU) 	
<p>Aktivitätsnachweis mittels ATP am 05.10.2005:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • T2: Sehr hohe Aktivität (25.048 RLU) 	
<p>Aktivitätsnachweis mittels ATP am 07.11.2005:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • T2: Sehr hohe Aktivität (24.534 RLU) 	
<p>Aktivitätsnachweis mittels ATP am 06.12.2005</p>	<ul style="list-style-type: none"> • T2: Hohe Aktivität (14.859 RLU) 	

⁷¹ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

⁷² Nicht maßstabsgetreue Skizze.

Befund: Son 3/M3		Blatt 2													
<i>Probeentnahmestelle im Aufricht:</i>		<i>Beschreibung der Probeentnahmestelle:</i>													
		Die Probeentnahmestelle befindet sich direkt unter dem Befundbereich Son 3. Es handelt sich hier vermutlich um einen Bereich der 1953/54 und 1969 neu verputzt wurde. Es liegen massive Salzausblühungen und ein Befall mit rosafarbenen Bakterien vor. Durch die Salze ist es zu Fehlstellen im Putz und der Tünche gekommen.													
<i>Art der Probenentnahme:</i>		<ul style="list-style-type: none"> • mechanisch mit Skalpell 													
<i>Grund der Probenentnahme:</i>		<ul style="list-style-type: none"> • Bindemittelanalyse • Salzanalyse 													
<i>Wasserverfügbarkeit der Probe, Aw-Wert:</i>		<ul style="list-style-type: none"> • 0,852 													
<i>Anschliff im Aufricht:</i>		<i>Beschreibung des stratigraphischen Aufbaus:</i>													
		<ul style="list-style-type: none"> • Der Putz ist homogen verteilt mit Zuschlägen von Ziegel und gelb-ockerfarbenen Partikeln. • Schicht 1 ist eine weiße Kalktünche mit vereinzelt eingelagerten gelb-ockerfarbenen Partikeln. 													
<i>Bindemittelbestimmung:</i>		Die Ergebnisse der Tests werden tabellarisch dargestellt. Dabei gilt: – =negativ; (+)=schwach positiv; + =positiv; ++ =signifikant.													
<i>Mikrochemischer Nachweis von Gips und Kalk:</i>															
Der Nachweis der anorganischen Bindmittel erfolgte mittels Ionen-Nachweis nach Schramm/Hering ⁷³ und Bläuer-Böhm ⁷⁴ . Die Nachweise wurden am Anschliff ausgeführt um gezielt die einzelnen Schichten beproben zu können.															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schicht</th> <th>Calcium</th> <th>Carbonat</th> <th>Gips</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>+</td> <td>+</td> <td>(+)</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>+</td> <td>+</td> <td>+</td> </tr> </tbody> </table>	Schicht	Calcium	Carbonat	Gips	0	+	+	(+)	1	+	+	+			
Schicht	Calcium	Carbonat	Gips												
0	+	+	(+)												
1	+	+	+												

⁷³ Vgl. Schramm und Hering 1998, S.168ff.

⁷⁴ Vgl. Bläuer-Böhm 1994, S.100.

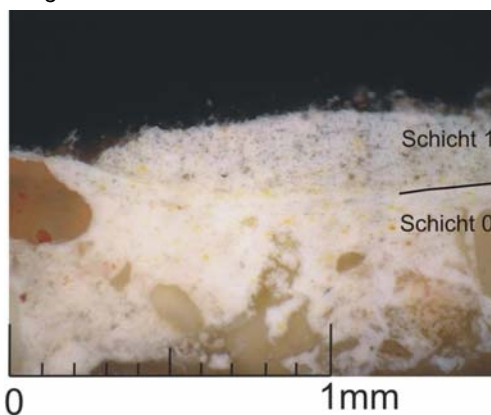
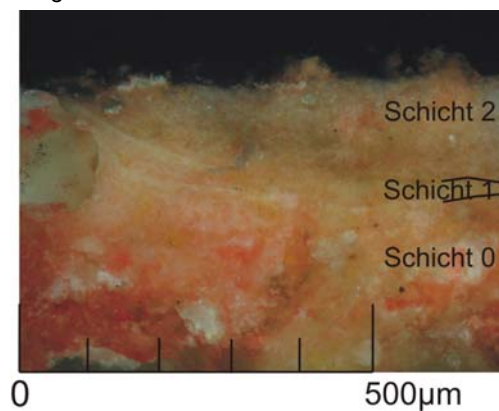
Befund: Son 3/M3

Blatt 2

Mikrochemischer Bindemittelnachweis:

Der Nachweis der natürlichen organischen Bestandteile erfolgte nach Schramm und Hering⁷⁵. Hierfür wurde jeweils das gesamte Schichtenpaket der Probe verwendet. Eine Zuordnung der Inhaltsstoffe auf die einzelnen Schichten erfolgte mittels histochemischer Färbemethoden (s.u.).⁷⁶

Kohlenhydrate	Trocknende Öle; Casein, Eigelb, Gumen	Proteine
–	+	–

*Histochemische Anfärbungen:**Anfärbung auf Proteine:**Anfärbung auf Öle:**Ergebnis der Anfärbungen:*

- Die Anfärbung auf Proteine zeigt im Anschliff eine leichte Anfärbung des Putzes.
- Die Anfärbung auf Öle zeigt eine Anfärbung aller Schichten. Der obere Abschluss ist ölfrei.

Auswertung der Bindemittelbestimmung:

Alle Schichten sind kalkgebunden.

Der Putz weist zusätzlich einen proteinischen und einen öligen Bestandteil auf. Schicht 1 enthält ebenfalls eine ölige Beimengung.

⁷⁵ Schramm und Hering 1998, S.198ff.

⁷⁶ Bei diesen Tests ist zu beachten, dass der mikrobielle Befall ebenfalls ein organischer Bestandteil der Probe ist und somit zu einem positiven Ergebnis bei Stickstoff und Kohlenhydraten führen kann, vgl. Wörz 2000, S.65.

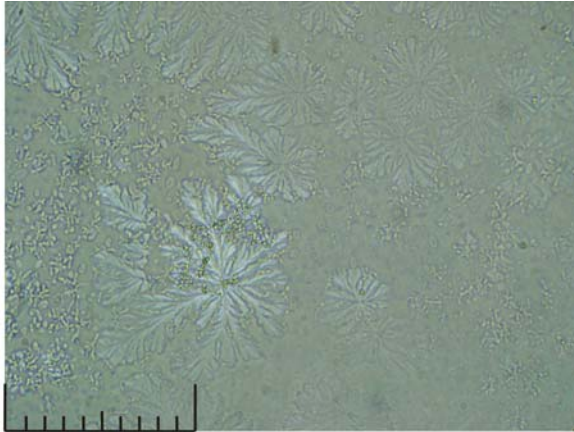
Befund: Son 3/M3

Blatt 3

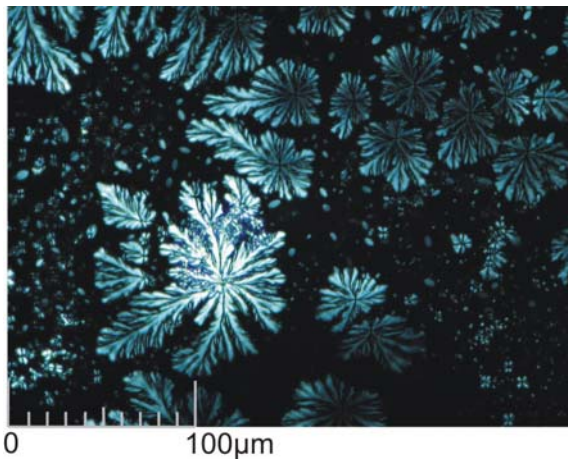
Salzbestimmung:*Mikroskopische Bestimmung der im Probenmaterial enthaltenen Salze:*

Da es sich bei dem entnommenen Probenmaterial um Putz und Tünche aus den Randbereichen einer durch bauschädliche Salze verursachten Fehlstelle handelt, wurde ein wässriger Auszug hergestellt und die enthaltenen Salze identifiziert.

Rekristallisierter wässriger Auszug in linear polarisiertem Licht.



Rekristallisierter wässriger Auszug unter gekreuzten Polarisatoren:

Beschreibung der rekristallisierten Probe:

- Beim Auftrocknen des wässrigen Auszuges entstehen dendritische Kristallaggregate, linsenförmige Kristalle und sehr kleine Partikel.
- Linsenförmige Kristalle:
 - Graue, bis blaue und braune Interferenzfarben
 - Im Immersionsöl kaum Relief
 - Auslöschung vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: $>1,518$
 - Brechungsindex Hellstellung: $> 1,518$
- Sehr kleine Partikel:
 - Leicht grünlich, Fluoreszieren im UV-Licht
 - Nach Anfärbung mit BacLight waren Stäbchen und Kokken erkennbar.
- Dendritische Kristalle:
 - Anormale Interferenzfarben (Blau und Braun)
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: $>1,518$
 - Brechungsindex Hellstellung: $<1,518$

Auswertung der Salzbestimmung:

- Dendritische Kristalle: Nahcolit
- Linsenförmige Kristalle: Thenardit
- Sehr kleine Partikel: Bakterien

Befund: Son 3/M3

Blatt 4

Mikrochemische Bestimmung der Ionen:

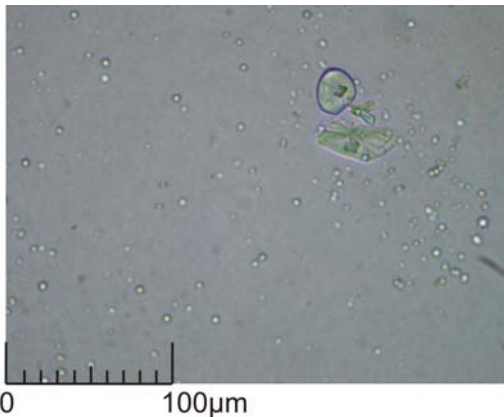
pH-Wert des wässrigen Auszugs (0,5g Material in 5ml Aqua dest. mit einem pH von ~6 und einer Temperatur von 22°C)

- PH >10

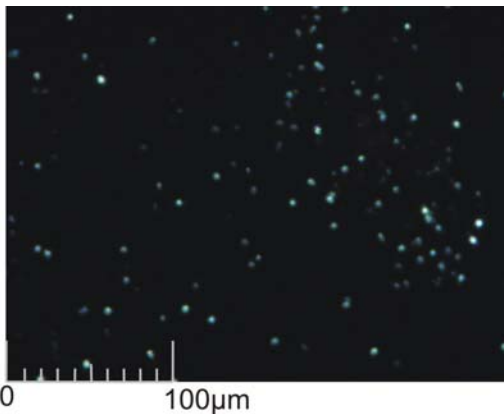
Löslichkeit:

- in Wasser gut
- in Ethanol schlecht

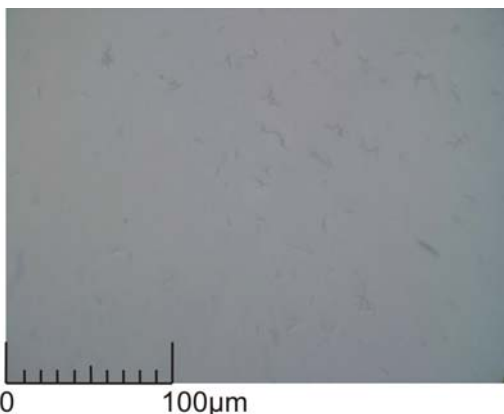
Kristallisation des Gemisches wässriger Auszug und Calciumchlorid in linear polarisiertem Licht:



Kristallisierte Salze unter gekreuzten Polarisatoren:



Natriumwismutsulfat-Kristalle in linear polarisiertem Licht:



Nachweis von Carbonationen:

- Beim Zusammenmischen des wässrigen Auszugs mit Calciumchlorid-Lösung, kommt es vereinzelt zu einem weißen Niederschlag.
- Nach Zugabe von Salzsäure löst sich der weiße Niederschlag unter Schaumbildung auf.

Nachweis von Sulfat- und Natriumionen:

- Bei der Rekristallisation des Gemisches von wässrigem Auszug und Calciumchlorid entstehen kleine, stark doppelbrechende Calcitkristalle, und kubische isotrope Halitkristalle.

Nachweis von Natrium- und Kaliumionen:

- Der aufgetrocknete Tropfen des wässrigen Auszugs wurde mit Schwefelsäure aufgenommen. Neben den Tropfen wurde ein Tropfen wässrige Wismutnitratlösung gesetzt. Die beiden Tropfen wurden mit einem Glasstab ineinander gezogen. Nach einer kurzen Reaktionszeit entstanden charakteristische Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle.

Nachweis von Magnesium

- Es konnte kein Magnesium nachgewiesen werden.

Nachweis von Chlorid

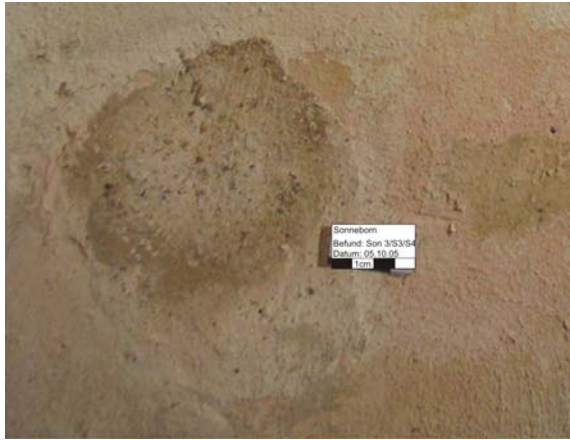
- Es konnte kein Chlorid nachgewiesen werden.

Nachgewiesene Ionen:

- Natrium
- Carbonat

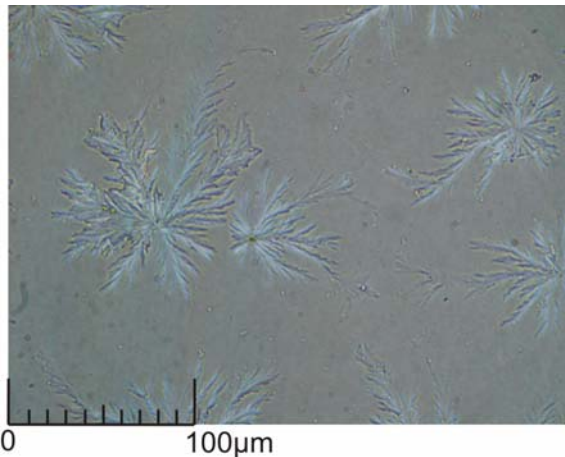
Befund: Son 3/S3

Blatt 5

*Mikroskopische Salzbestimmung:**Salzausblüfung im Auflicht:**Beschreibung der Salzausblühungen:*

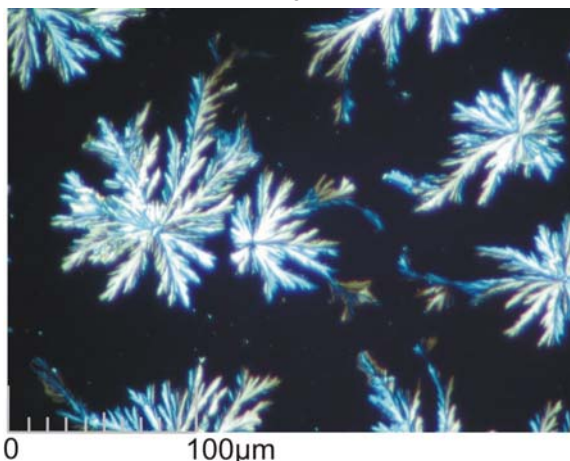
Umgeben von einer ringförmigen Verfärbung finden sich hier weiße Salzausblühungen, in Form von sehr kurzen, miteinander verfilzten Nadeln. Zur Identifizierung des Salzes wurde eine Probe entnommen.

Rekristallisierte Ausblühprobe unter linear polarisiertem Licht:

*Beschreibung der Rekristallisation:*

- Das Salz ist gut löslich in Wasser und unlöslich in Ethanol
- Bei der Rekristallisation bildeten sich dendritische und nadelige Kristallaggregate und vereinzelt sehr kleine Partikel.
- Dendritische Kristalle:
 - Interferenzfarben erster Ordnung, vor allem Grau
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: $>1,518$
 - Brechungsindex Hellstellung: $<1,518$
- Nadelige Kristallaggregate:
 - Interferenzfarben erster Ordnung
 - Auslöschung. Vollständig, parallel
 - Brechungsindex Dunkelstellung: $>1,518$
 - Brechungsindex Hellstellung: $>1,518$.
- Sehr kleine Partikel:
 - Im linear polarisiertem Licht leicht grünlich
 - Nach Anfärbung mit BacLight waren Stäbchen und Kokken erkennbar.

Rekristallisiertes Salz unter gekreuzten Polarisatoren:

*Auswertung der Salzanalyse:*

- Dendritische Kristalle: Nahcolit
- Nadelige Kristallaggregate: Thermonatrit
- Sehr kleine Partikel: Bakterien

Befund: Son 3/S3

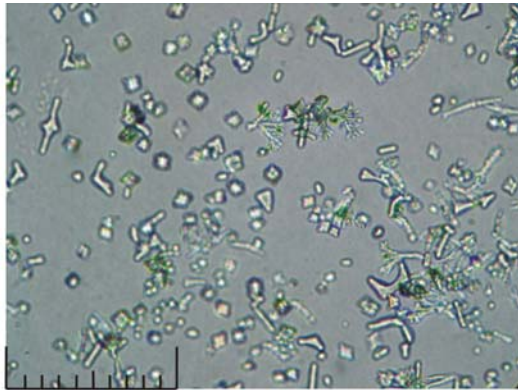
Blatt 4

*Mikrochemische Bestimmung der Ionen:**pH-Wert des wässrigen Auszugs:*

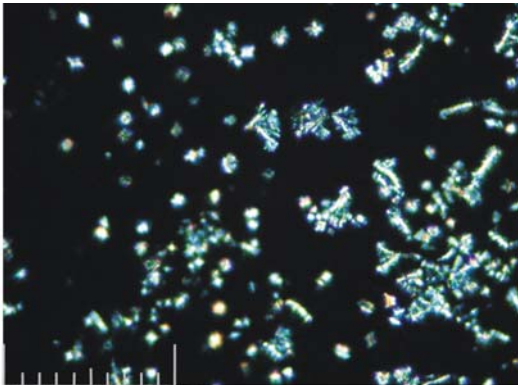
- PH >10

Löslichkeit:

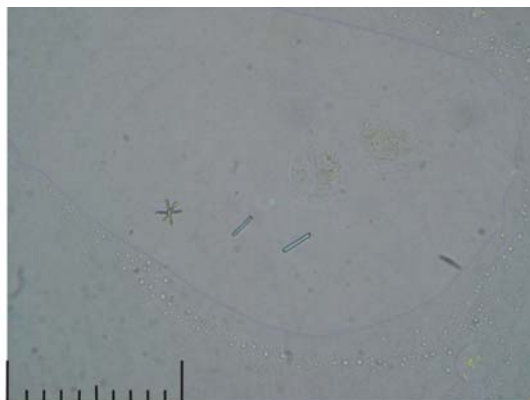
- in Wasser gut
- in Ethanol schlecht

Calcit- und Halitkristalle in linear polarisiertem Licht:

0 100µm

Calcit- und Halitkristalle unter gekreuzten Polarisatoren:

0 100µm

Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle in linear polarisiertem Licht:

0 100µm

Nachweis von Carbonationen:

- Beim Zusammenmischen des wässrigen Auszugs mit Calciumchlorid-Lösung, kommt es zu einem weißen Niederschlag. (Calcit)
- Nach Zugabe von Salzsäure löst sich der weiße Niederschlag unter Schaumbildung auf.

Nachweis von Sulfat- und Natriumionen:

- Bei der Rekristallisation des Gemisches von wässrigem Auszug und Calciumchlorid entstehen kleine, stark doppelbrechende Calcitkristalle und kubische bis elongierte, isotrope Halitkristalle.

Nachweis von Natrium- und Kaliumionen

- Der aufgetrocknete Tropfen des wässrigen Auszugs wurde mit Schwefelsäure aufgenommen. Neben den Tropfen wurde ein Tropfen wässrige Wismutnitratlösung gesetzt. Die beiden Tropfen wurden mit einem Glasstab ineinander gezogen. Nach einer kurzen Reaktionszeit entstanden neben weiteren, nicht näher spezifizierten, sehr kleinen Kristallen, charakteristische Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle.

Nachweis von Magnesium

- Es konnten keine Magnesium-Ionen nachgewiesen werden.

Nachweis von Chlorid

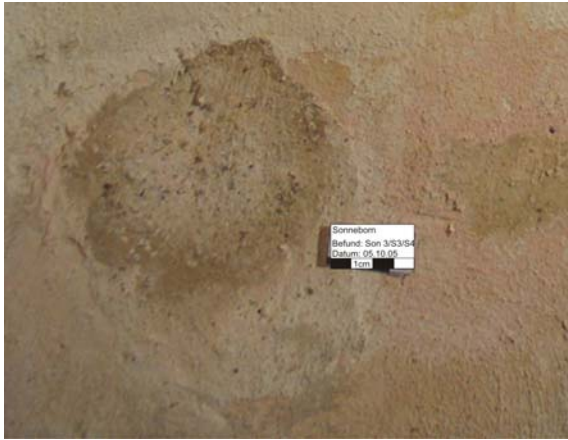
- Es konnte kein Chlorid nachgewiesen werden.

Nachgewiesene Ionen:

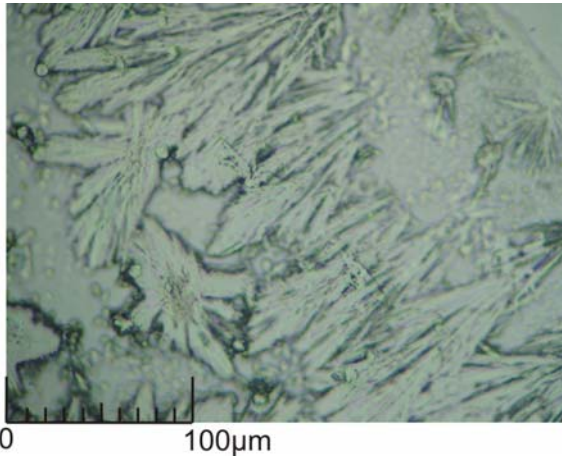
- Natrium
- Carbonat

Befund: Son 3/S4

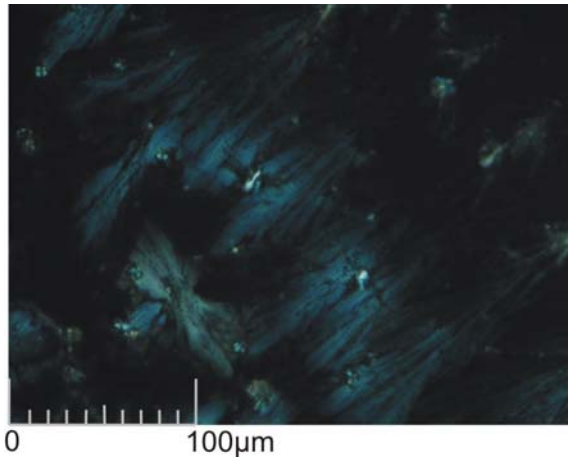
Blatt 6

*Mikroskopische Salzbestimmung:**Dunkle Verfärbung im Auflicht:**Beschreibung der Verfärbung:*

Direkt neben rosafarbenen Bereichen finden sich nahezu runde, dunkle Verfärbungen. Da an dieser Stelle einmal Röhren zur Belüftung des Mauerwerkes saßen, liegt die Vermutung nahe, dass die Verfärbung durch den zum Verschließen eingebrachten Putz zustande kommt. Es könnte sich dabei entweder um eine Salzkruste oder um eine durch starke Hygroskopizität des Materials bedingte, vermehrte Schmutzanlagerung handeln. Zur Überprüfung wurde eine Probe entnommen.

Rekristallisiertes Salz in linear polarisiertem Licht:*Beschreibung der Rekristallisation:*

- Bei der Rekristallisation bildeten sich Kristalle von unspezifischer Morphologie, vereinzelt kubische Kristalle, vereinzelt kurze Nadeln ohne feste Anordnung und Agglomerate aus sehr kleinen Partikeln von unspezifischer Morphologie.
- Kristalle mit unspezifischer Morphologie:
 - Anormale Interferenzfarben (Blau und Braun)
 - Im Immersionsöl schwaches Relief.
 - Auslöschung vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: <1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: <1,518
- Kubische Kristalle
 - isotrop
- Kurze Nadeln:
 - Graue Interferenz
 - Auslöschung vollständig parallel
 - Brechungsindex Dunkelstellung: <1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: <1,518
- Sehr kleine Partikel
 - Nicht näher bestimmbar
 - Nach Anfärbung mit BacLight waren Stäbchen und Kokken erkennbar.

Rekristallisiertes Salz unter gekreuzten Polarisatoren:*Auswertung der Salzbestimmung:*

- Kristalle mit unspezifischer Morphologie: Thenardit
- Kubische Kristalle: Halit
- Kurze Nadeln: Gips
- Sehr kleine Partikel: Bakterien

Befund: Son 3/S4

Blatt 4

*Mikrochemische Bestimmung der Ionen:**pH-Wert des wässrigen Auszugs*

- pH 8

Löslichkeit:

- in Wasser gut
- in Ethanol schlecht

Kristallisation des Gemisches wässrige Lösung S4 und Calciumchlorid in linear polarisiertem Licht:

0 100µm

Nachweis von Carbonationen:

- Beim Zusammenmischen des wässrigen Auszugs mit Calciumchlorid-Lösung, kommt es nicht zu einem weißen Niederschlag.

Nachweis von Sulfat- und Natriumionen:

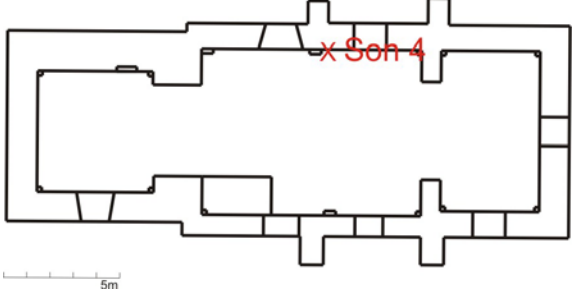
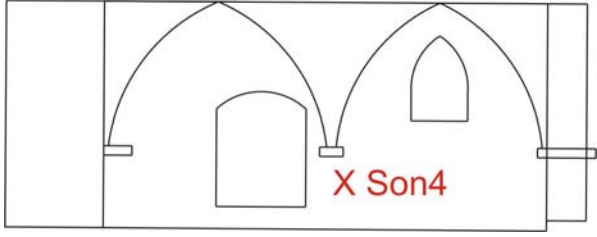
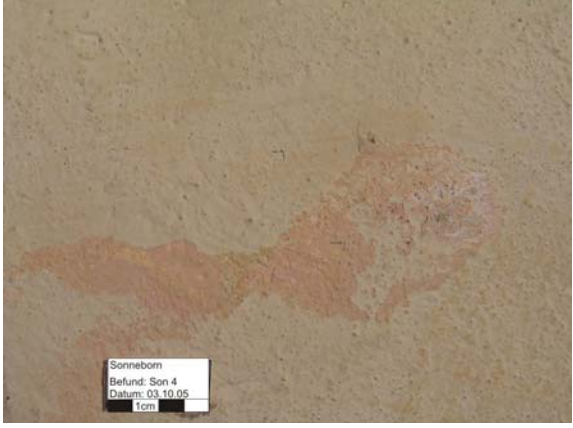
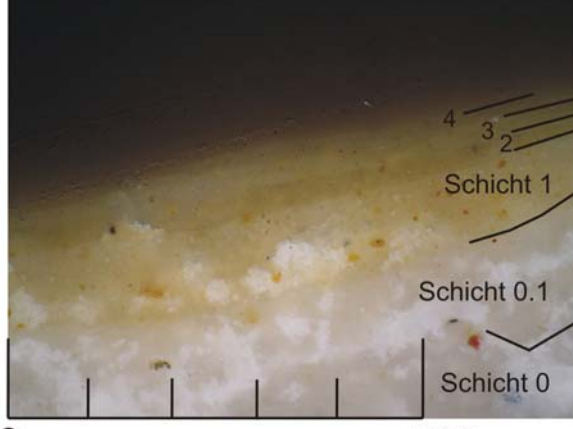
- Bei der Rekristallisation des Gemisches von wässrigem Auszug und Calciumchlorid entstehen kubische isotrope Halitkristalle und kurze nadelige, sowie schwalbenschwanzförmige Gipskristalle.

Nachweis von Chlorid

- Es konnte kein Chlorid nachgewiesen werden.

Nachgewiesene Ionen:

- Natrium
- Sulfat

Befund: Son 4/M1		Blatt 1			
<p>Grundriss⁷⁷</p> 	<p>Aufriss⁷⁸:</p> 	<p>Befundbereich im Aufricht:</p> 		<p>Beschreibung des Befundes:</p> <p>An dieser Stelle löst sich die rezente Schicht von der Wand ab. Darunter kommt eine Wandfassung mit einem flächigen rosafarbenen Belag zum Vorschein.</p> <p>Es wurden an dieser Stelle zwei Monitoringflächen für die Beobachtung der Aktivität der Mikroorganismen angelegt. T3 befindet sich im befallenen Bereich, T3a auf der unbefallenen Tüncheschicht direkt daneben. Beide Flächen sind 2*2 cm² groß.</p> <p>Außerdem wurde im Randbereich der Fehlstelle eine alle Schichten umfassende Probe genommen. Es ist anzunehmen, dass hier der ursprüngliche Putz vorliegt.</p>	
<p>Art der Probenentnahme:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanisch mit einem feuchten Wattestäbchen • mechanisch mit Skalpell 				
<p>Grund der Probenentnahme:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identifizierung des rosafarbenen Befalls • Bindemittelanalyse 				
<p>Anschliff im Aufricht:</p> 	<p>Beschreibung der Probe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schicht 0: Putz mit wenigen Zuschlägen. • Schicht 0.1: Feinputz. • Schicht 1: Weiß-gelbliche Tünche mit deutlichen ockerfarbenen Partikeln. • Schicht 2: Etwas dunklere, sehr einheitliche, gelbliche Schicht (Hohlstelle?, Isoliermittel?). • Schicht 3: Helle weiße Tünche mit Einlagerungen von gelb-ockerfarbenen Partikeln. • Schicht 4: vereinzelt aufliegende weiße Tünche 				

⁷⁷ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

⁷⁸ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

Befund: Son 4/M1		Blatt 2																									
Aktivitätsnachweis mittels ATP am 31.08.05:	<ul style="list-style-type: none"> T3: Sehr hohe Aktivität (20.875 RLU) T3a: Mäßig hohe Aktivität (2.751 RLU) 																										
Aktivitätsnachweis mittels ATP am 05.10.05:	<ul style="list-style-type: none"> T3: Sehr hohe Aktivität (36.354 RLU) T3a: Niedrige Aktivität (452 RLU) 																										
Aktivitätsnachweis mittels ATP am 07.11.05:	<ul style="list-style-type: none"> T3: Sehr hohe Aktivität (26.655 RLU) T3a: Mäßig hohe Aktivität (1.557 RLU) 																										
Aktivitätsnachweis mittels ATP am 06.12.05:	<ul style="list-style-type: none"> T3: Sehr hohe Aktivität (24.101 RLU) T3a: Niedrige Aktivität (248 RLU) 																										
Bindemittelbestimmung:																											
Die Ergebnisse der Tests werden tabellarisch dargestellt. Dabei gilt: – =negativ; (+)=schwach positiv; + =positiv; ++ =signifikant.																											
Mikrochemischer Nachweis von Gips und Kalk:																											
Der Nachweis der anorganischen Bindmittel erfolgte mittels Ionen-Nachweis nach Schramm/Hering ⁷⁹ und Bläuer-Böhm ⁸⁰ . Die Nachweise wurden am Anschliff ausgeführt um gezielt die einzelnen Schichten beproben zu können.																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schicht</th> <th>Calcium</th> <th>Carbonat</th> <th>Gips</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>+</td> <td>+</td> <td>(+)</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>+</td> <td>+</td> <td>(+)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>–</td> <td>–</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>+</td> <td>+</td> <td>(+)</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>+</td> <td>+</td> <td>(+)</td> </tr> </tbody> </table>	Schicht	Calcium	Carbonat	Gips	0	+	+	(+)	1	+	+	(+)	2	–	–	–	3	+	+	(+)	4	+	+	(+)			
Schicht	Calcium	Carbonat	Gips																								
0	+	+	(+)																								
1	+	+	(+)																								
2	–	–	–																								
3	+	+	(+)																								
4	+	+	(+)																								
Mikrochemischer Nachweis organischer Bestandteile:																											
Der Nachweis der natürlichen organischen Bestandteile erfolgte nach Schramm und Hering ⁸¹ . Hierfür wurde jeweils das gesamte Schichtenpaket der Probe verwendet. Eine Zuordnung der Inhaltsstoffe auf die einzelnen Schichten erfolgte mittels histochemischer Färbemethoden (s.u.). ⁸²																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kohlenhydrate</th> <th>Trocknende Öle; Casein, Eigelb, Gumen</th> <th>Proteine</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>+</td> <td>+</td> <td>–</td> </tr> </tbody> </table>	Kohlenhydrate	Trocknende Öle; Casein, Eigelb, Gumen	Proteine	+	+	–																					
Kohlenhydrate	Trocknende Öle; Casein, Eigelb, Gumen	Proteine																									
+	+	–																									

⁷⁹ Vgl. Schramm und Hering 1998, S.168ff.

⁸⁰ Vgl. Bläuer-Böhm 1994, S.100.

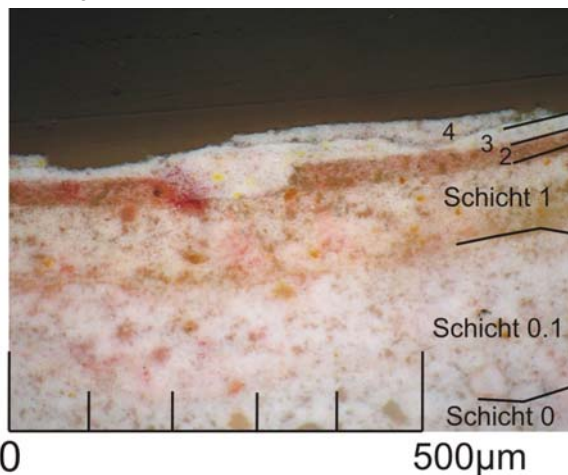
⁸¹ Vgl. Schramm und Hering 1998, S.198ff.

Befund: Son 4/M1

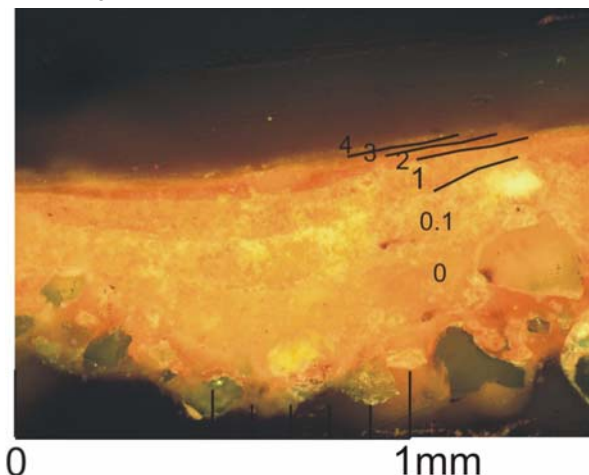
Blatt 1

Histochemische Anfärbungen:

Anfärbung auf Proteine:



Anfärbung auf Öle:

Ergebnis der Anfärbungen:

- Die Anfärbung auf Proteine zeigt im Anschliff eine positive Reaktion in Schicht 3. Es handelt sich hierbei um die Schicht, auf die der mikrobielle Befall sitzt. Auch Schicht 1 und Schicht 0.1 weisen eine rötliche Farbigekeit auf. Da die Anfärbung von Schicht 0.1 nur die halbe Schicht betrifft, ist es sehr wahrscheinlich, dass es sich hier um eine Migration des Bindemittels aus der darüber liegenden Schicht handelt.
- Die Anfärbung auf Öle zeigt eine positive Reaktion von Schicht 2 und Schicht 0.1.

Auswertung der Bindemittelbestimmung:

Alle Schichten sind kalkgebunden.

Der Feinputz scheint zusätzlich eine geringe ölige Beimengung zu enthalten, Schicht 1 eine proteinische. „Schicht“ 2 zeigt sowohl eine Anfärbung auf Öle, als auch auf Proteine. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass es sich bei dem proteinischen Bestandteil um den mikrobiellen Befall handelt.

⁸² Bei diesen Tests ist zu beachten, dass der mikrobielle Befall ebenfalls ein organischer Bestandteil der Probe ist und somit zu einem positiven Ergebnis bei Stickstoff und Kohlenhydraten führen kann, vgl. Wörz 2000, S.65.

Befund: Son 4/M1

Blatt 3

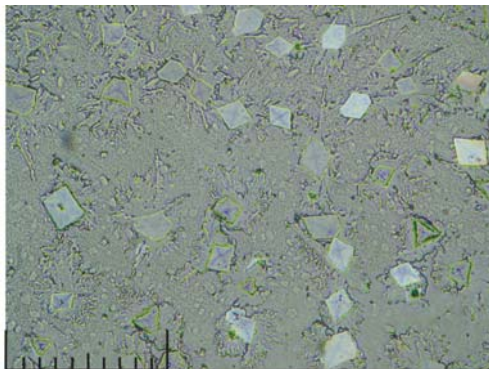
Salzbestimmung:

Um zu überprüfen ob im Gefüge Ionen vorliegen, die zur Bildung von bauschädlichen Salzen führen können, wurde aus der entnommenen Materialprobe ein wässriger Auszug erstellt. Die Ionen in der wässrigen Lösung wurden mit Hilfe mikrochemischer Nachweise nach Bläuer-Böhm identifiziert. Zusätzlich wurden die bei der Rekristallisation entstehenden Salze mit Hilfe der Polarmikroskopie bestimmt.

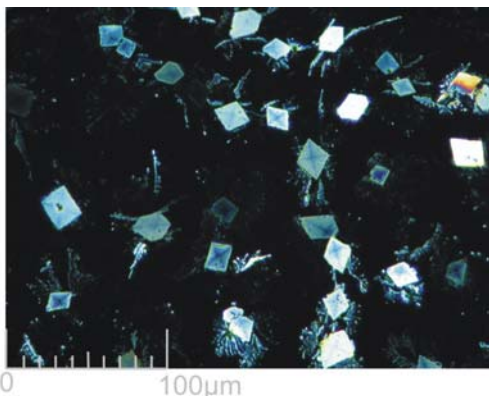
pH-Wert des wässrigen Auszugs der Materialprobe:

- pH 5

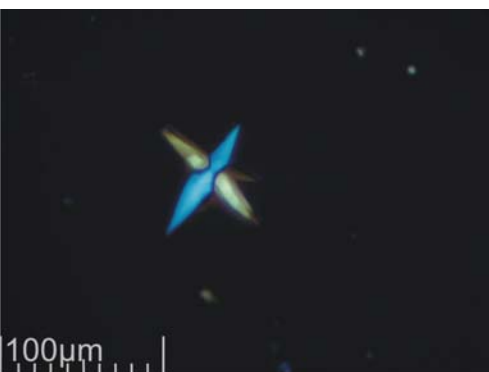
Rekristallisierter wässriger Auszug in linear polarisiertem Licht:



Rekristallisierter wässriger Auszug unter gekreuzten Polarisatoren:



Rekristallisierter wässriger Auszug unter gekreuzten Polarisatoren:



Beschreibung der Rekristallisation:

- Bei der Rekristallisation bildeten sich sternförmige Kristallaggregate aus reiskornförmigen Kristallen, dendritische Kristallaggregate, rautenförmige Kristalle und sehr kleine Partikel.
- Sternförmige Kristallaggregate:
 - Anormale Interferenzfarben (Blau und Braun)
 - Auslöschung: vollständig, schief
 - Brechungsindex Dunkelstellung: >1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: >1,518
- Dendritische Kristalle:
 - Interferenzfarben erster Ordnung, vor allem Grau
 - Auslöschung: vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: >1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: <1,518
- Rautenförmige Kristalle:
 - Interferenzfarben erster Ordnung
 - Auslöschung vollständig, schief
 - Brechungsindex Dunkelstellung: <1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: <1,518
- Sehr kleine Partikel:
 - Im linear polarisiertem Licht leicht grünlich
 - Nach Anfärbung mit BacLight waren Stäbchen und Kokken erkennbar.

Auswertung der Salzanalyse:

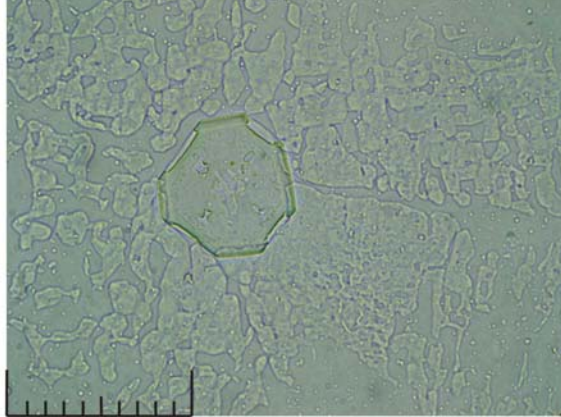
- Sternförmige Kristallaggregate: Thenardit
- Dendritische Kristalle: Nahcolit
- Rautenförmige Kristalle: Epsomit
- Sehr kleine Partikel: Bakterien

Befund: Son 4/M1

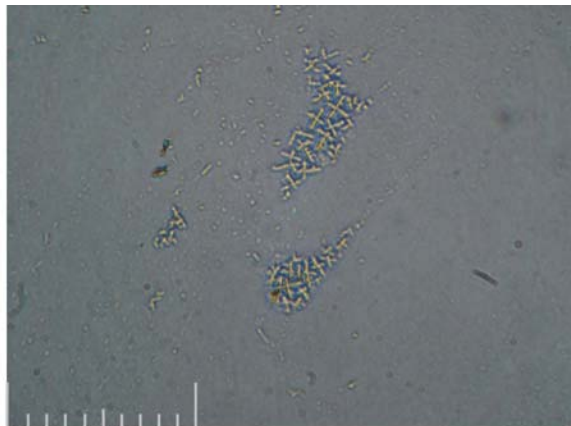
Blatt 4

Mikrochemische Bestimmung der Ionen:pH-Wert des wässrigen Auszugs:

- PH 6

Halit- und Calcitkristalle in linear polarisiertem Licht:

0 100µm

Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle in linear polarisiertem Licht:

0 100µm

Magnesiumammoniumphosphat-Kristalle in linear polarisiertem Licht:Nachweis von Carbonationen:

- Es konnte kein Carbonat nachgewiesen werden.

Nachweis von Sulfat- und Natriumionen:

- Bei der Rekristallisation des Gemisches von wässrigem Auszug und Calciumchlorid entstehen kubische und kreuzförmige, isotrope Halitkristalle und kurze nadelige, sowie Schwalbenschwanzförmige Gipskristalle.

Nachweis von Natrium- und Kaliumionen:

- Der aufgetrocknete Tropfen des wässrigen Auszugs wurde mit Schwefelsäure aufgenommen. Neben den Tropfen wurde ein Tropfen wässrige Wismutnitratlösung gesetzt. Die beiden Tropfen wurden mit einem Glasstab ineinander gezogen. Nach einer kurzen Reaktionszeit entstanden charakteristische Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle.

Nachweis von Magnesium

- Ein Tropfen wässriger Salzlösung wurde mit etwas 2 molarer Salzsäure angesäuert. Anschließend wurde ein Tropfen wässriger Ammoniumhydrogenphosphat-Lösung hinzugefügt und das so entstandene Salzgemisch über die Dämpfe von konzentriertem Ammoniak gehalten. Es entstanden neben nicht weiter spezifizierten Kristallen, charakteristische Magnesium-ammoniumphosphat-Kristalle.

Nachweis von Chlorid

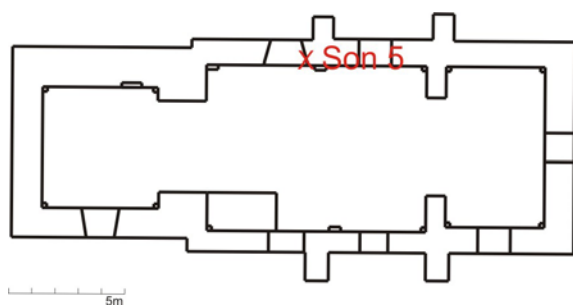
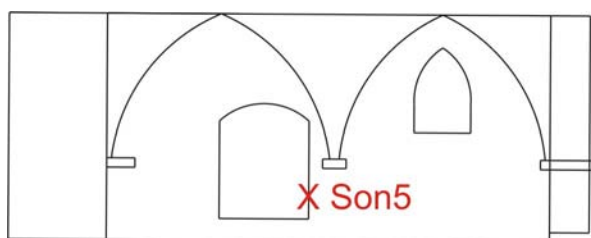
- Ein Lösungstropfen des wässrigen Auszugs wurde mit Salpetersäure angesäuert. Anschließend wurde dem Tropfen ein Tropfen wässrig gelöstes Silbernitrat zugegeben. Es bildete sich ein weißer, sehr feiner Niederschlag, der am Licht nach einiger Zeit braun wurde.

Nachgewiesene Ionen:

- Natrium
- Sulfat
- Chlorid
- Magnesium

Befund: Son 5

Blatt 1

*Grundriss*⁸³*Aufriss*⁸⁴:*Befundbereich im Aufricht:**Beschreibung des Befundes:*

In der Laibung des nördlichen Fensters findet sich in Randbereichen von Putzausbesserungen ein deutlicher rosafarbener Befall. Dieser liegt hauptsächlich auf einer unteren Tüncheschicht, vereinzelt aber auch auf der rezenten Schicht.

Neben dem Befall weist die Architekturoberfläche krustige, opake weiße Salzausblühungen auf.

Art der Probenentnahme:

- mechanisch mit Skalpell

Grund der Probenentnahme:

- Salzanalyse

⁸³ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

⁸⁴ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

Befund: Son 5/S1

Blatt 2

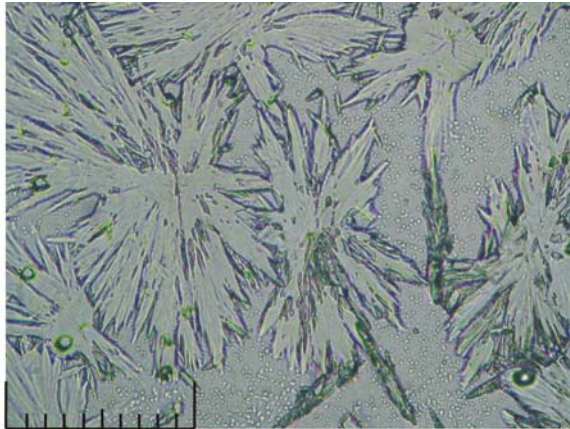
Mikroskopische Salzbestimmung:

Salzausblühung:

Beschreibung der Salzausblühungen:

Bei der Salzausblühung handelt es um eine opake, weiße, leicht knollige Kruste. Das Salz ist sehr gut wasserlöslich.

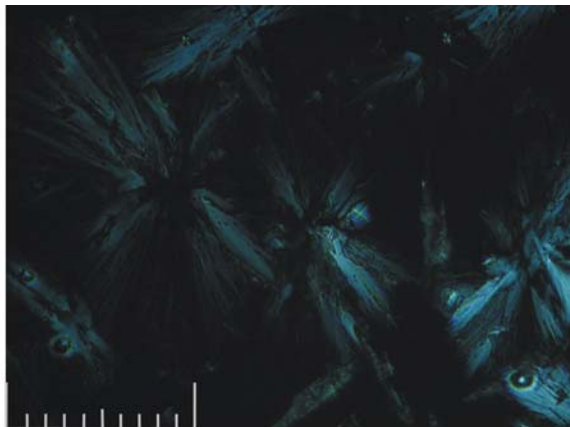
Rekristallisierte Ausblühprobe in linear polarisiertem Licht:

Beschreibung der Rekristallisation:

- In der Rekristallisation bildeten sich bündelförmige elongierte Kristalle.
- Kristalle mit unspezifischer Morphologie:
- Anormale Interferenzfarben (Blau und Braun)
- Im Immersionsöl schwaches Relief.
- Auslöschung vollständig, symmetrisch
- Brechungsindex Dunkelstellung: $<1,518$
- Brechungsindex Hellstellung: $<1,518$

0 100μm

Rekristallisierte Ausblühprobe unter gekreuzten Polarisatoren:



0 100μm

Auswertung der Salzbestimmung:

- Kristalle mit unspezifischer Morphologie: Thenardit

Befund: Son 5/S1

Blatt 4

Mikrochemische Bestimmung der Ionen:

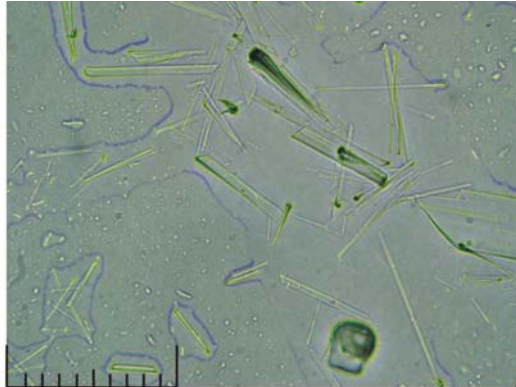
pH-Wert des wässrigen Auszugs(0,5g Material in 5ml Aqua dest. mit einem pH von ~6 und einer Temperatur von 22°C)

- PH 6

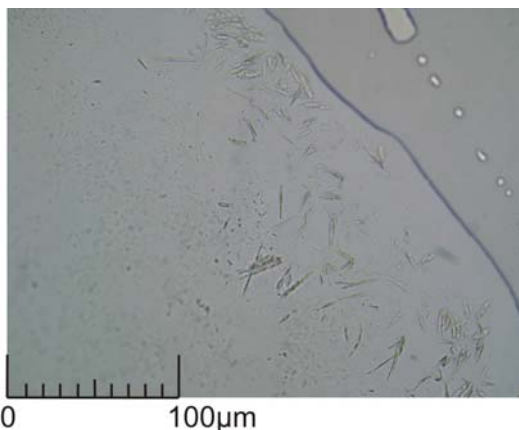
Löslichkeit:

- in Wasser gut
- in Ethanol schlecht

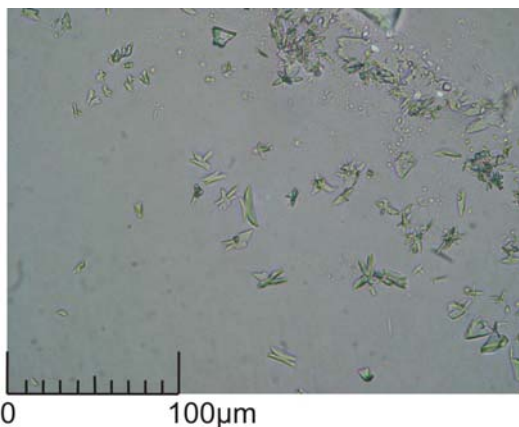
Gips- und Halitkristalle in linear polarisiertem Licht:



Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle in linear polarisiertem Licht:



Magnesiumammoniumphosphat-Kristalle in linear polarisiertem Licht:

Nachweis von Carbonationen:

- Beim Zusammenmischen des wässrigen Auszugs mit Calciumchlorid-Lösung, kommt es nicht zu einem weißen Niederschlag.

Nachweis von Sulfat- und Natriumionen:

- Bei der Rekristallisation des Gemisches von wässrigem Auszug und Calciumchlorid entstehen kubische, isotrope Halitkristalle, und kurze nadelige, sowie schwalbenschwanzförmige Gipskristalle.

Nachweis von Natrium- und Kaliumionen

- Der aufgetrocknete Tropfen des wässrigen Auszugs wurde mit Schwefelsäure aufgenommen. Neben den Tropfen wurde ein Tropfen wässrige Wismutnitratlösung gesetzt. Die beiden Tropfen wurden mit einem Glasstab ineinander gezogen. Nach einer kurzen Reaktionszeit entstanden neben weiteren, nicht näher spezifizierten Kristallen, charakteristische Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle.

Nachweis von Magnesium

- Ein Tropfen wässriger Salzlösung wurde mit etwas 2 molarer Salzsäure angesäuert. Anschließend wurde ein Tropfen wässriger Ammoniumhydrogenphosphat-Lösung hinzugefügt und das so entstandene Salzgemisch über die Dämpfe von konzentriertem Ammoniak gehalten. Es entstanden neben nicht weiter spezifizierten Kristallen, charakteristische Magnesiumammoniumphosphat-Kristalle.

Nachweis von Chlorid

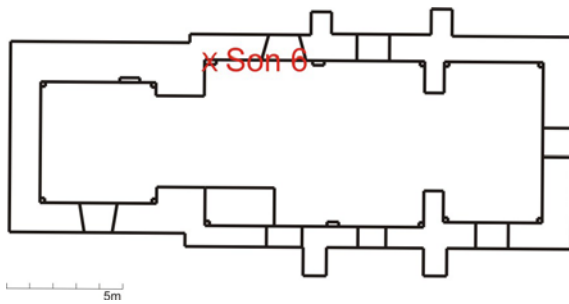
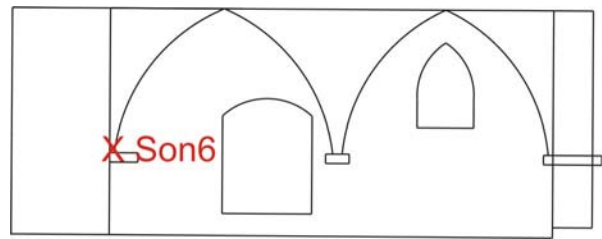
- Es konnte kein Chlorid nachgewiesen werden.

Nachgewiesene Ionen:

- Natrium
- Sulfat
- Magnesium

Befund: Son 6

Blatt 1

Grundriss⁸⁵Aufriss⁸⁶:

Entnahmestelle im Auflicht:

Beschreibung des Befundbereiches:

An dieser Stelle liegt die ursprüngliche Malschicht, bzw. die Übermalung (?) frei. Direkt über dem Konsolstein gibt es einen Befall mit rosafarbenen Bakterien.

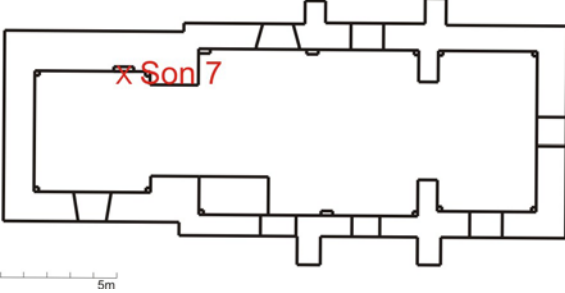
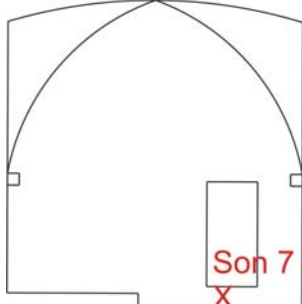


An dieser Stelle sollte ein Monitoring der Aktivität der Mikroorganismen mittels ATP-Messung im befallenen und daran angrenzenden Bereich durchgeführt werden. Bei der zweiten Messung fiel jedoch auf, dass dies nicht ohne Verluste in der Malschicht durchgeführt werden könnte, so dass auf ein Monitoring in diesem Bereich verzichtet wurde.

Aktivitätsnachweis mittels ATP:

- Sehr hohe Aktivität (41.070 RLU auf 4cm²)

⁸⁵ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

⁸⁶ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

Befund: Son 7		Blatt 1
<p>Grundriss⁸⁷</p> 	<p>Aufriss⁸⁸:</p> 	
<p>Befundbereich im Aufricht:</p> 	<p><u>Beschreibung des Befundes:</u></p> <p>An dieser Stelle wies die Architekturoberfläche ein sehr gestörtes Bild auf. Neben dunklen Verfärbungen, nadeligen Salzausblühungen und Fehlstellen in der rezenten Schicht, gab es hier einen extrem farbigen rosa Befall. Direkt über/hinter dem Befundbereich befindet sich der Ausgang zum Turm. Die schmale Treppe wurde offensichtlich 1968 mit Beton überarbeitet⁸⁹. Die Türeinfassung ist nach optischer Beurteilung mit einem Kalk-Zement-Mörtel eingeputzt.</p>	
<p>Art der Probenentnahme:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • mechanisch mit Skalpell 	
<p>Grund der Probenentnahme:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Salzanalyse 	
<p>Monitoringfläche im Aufricht:</p> 	<p><u>Beschreibung der Monitoringfläche:</u></p> <p>Um die Aktivität der Mikroorganismen zu beobachten, wurde eine Monitoringfläche (2*2cm²) angelegt und die Aktivität mittels ATP-Messungen in regelmäßigen Abständen gemessen.</p> <p>Die Monitoringfläche wurde direkt auf der rosafarbenen Fläche angelegt. Der Befall war an dieser Stelle sehr gleichmäßig.</p>	
<p>Aktivitätsnachweis mittels ATP am 31.08.05:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr hohe Aktivität (RLU) 	
<p>Aktivitätsnachweis mittels ATP am 05.10.05:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr hohe Aktivität (60.387 RLU) 	
<p>Aktivitätsnachweis mittels ATP am 07.11.05:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr hohe Aktivität (24.712 RLU) 	

⁸⁷ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

⁸⁸ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

⁸⁹ Siehe hierzu Befund Son 7a.

Befund: Son 7/S2

Blatt 2

Mikroskopische Salzbestimmung:

Salzausblühung in Form von Nadeln:



Salzausblühungen in Form von opaken Krusten:

Beschreibung der Salzausblühungen:

Bei den Salzausblühungen handelte es sich um lange miteinander verfilzte Nadeln (Whisker) und knollige, opake, weiße Krusten.

Das Salz ist sehr gut wasserlöslich

Befund: Son 7/S2

Blatt 3

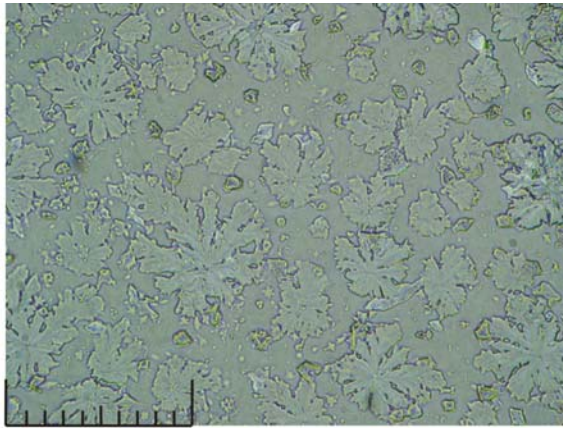
Salzbestimmung:

Um zu überprüfen ob im Gefüge Ionen vorliegen, die zur Bildung von bauschädlichen Salzen führen können, wurde aus der entnommenen Materialprobe ein wässriger Auszug erstellt. Die Ionen in der wässrigen Lösung wurden mit Hilfe mikrochemischer Nachweise nach Bläuer-Böhm identifiziert. Zusätzlich wurden die bei der Rekristallisation entstehenden Salze mit Hilfe der Polarmikroskopie bestimmt.

pH-Wert des wässrigen Auszugs der Materialprobe:

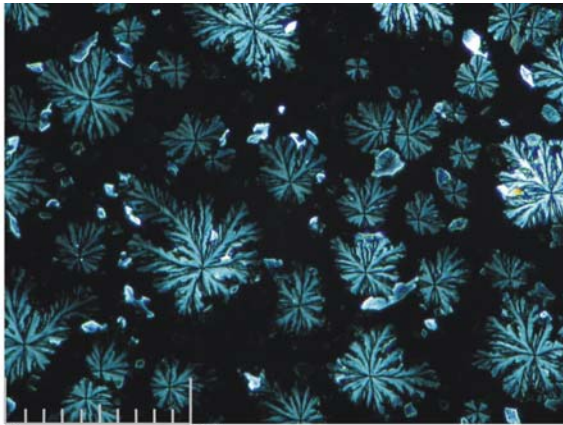
- pH 9,5

Rekristallisierter wässriger Auszug unter linear polarisiertem Licht:



0 100µm

Rekristallisierter wässriger Auszug unter gekreuzten Polarisatoren:



0 100µm

Beschreibung der Rekristallisation:

- Bei der Rekristallisation bildet sich ein weißer Saum rings um den Probentropfen. Unter dem Mikroskop lassen sich dendritische Kristallaggregate, linsenförmige Kristalle, rautenförmige und Kristalle mit einer unspezifischen Morphologie erkennen.
- Dendritische Kristallaggregate:
 - Graue Interferenzfarben
 - Auslöschung: vollständig, schief
 - Brechungsindex Dunkelstellung: n.b.
 - Brechungsindex Hellstellung: n.b.
- Kubische Kristalle:
 - Isotrop
- Kristalle mit unspezifischer Morphologie:
 - Interferenzfarben erster Ordnung
 - Auslöschung vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: >1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: >1,518
- Rautenförmige Kristalle:
 - Interferenzfarben erster Ordnung
 - Auslöschung vollständig, symmetrisch
 - Brechungsindex Dunkelstellung: >1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: >1,518
- Linsenförmige Kristalle:
 - Graue, teilweise anormale Interferenzfarben
 - Auslöschung:
 - Brechungsindex Dunkelstellung: <1,518
 - Brechungsindex Hellstellung: <1,518

Auswertung der Salzanalyse:

- Dendritische Kristallaggregate: Nahcolit
- Kubische Kristalle: Halit
- Rautenförmige Kristalle: Epsomit
- Linsenförmige Kristalle: Thenardit

Befund: Son 7/S2

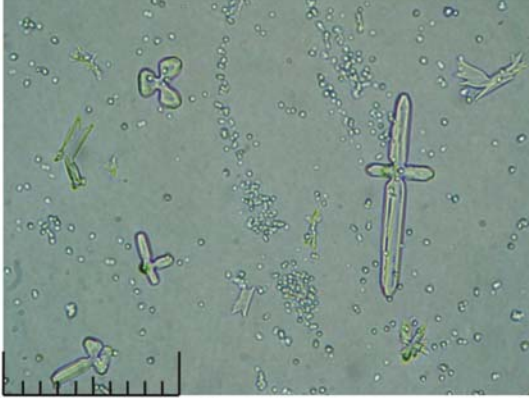
Blatt 4

Mikrochemische Bestimmung der Ionen:

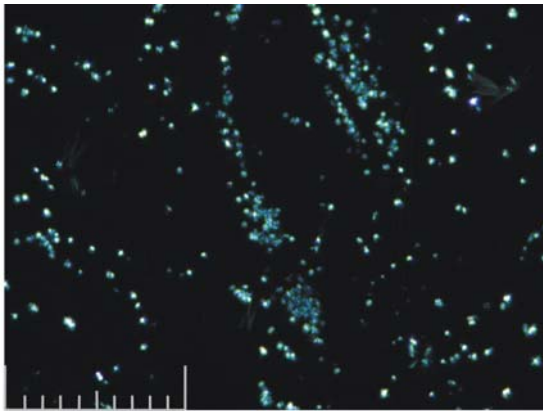
pH-Wert des wässrigen Auszugs:

- PH 6

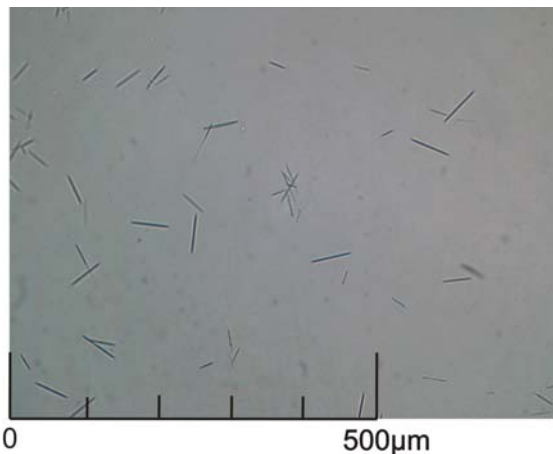
Halit- und Calcitkristalle in linear polarisiertem Licht:



Halit- und Calcitkristalle unter gekreuzten Polarisatoren:



Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle:

*Nachweis von Carbonationen:*

- Beim Zusammenmischen des wässrigen Auszugs mit Calciumchlorid-Lösung kommt es nicht zu einem weißen Niederschlag.

Nachweis von Sulfat- und Natriumionen:

- Bei der Rekristallisation des Gemisches von wässrigem Auszug und Calciumchlorid entstehen kubische, gekreuzt angeordnete isotrope Kristalle, kleine eckige Kristalle mit einer hohen Doppelbrechung und vereinzelt kurze nadelige und schwalbenschwanzförmige Kristalle.

Nachweis von Natrium- und Kaliumionen:

- Der aufgetrocknete Tropfen des wässrigen Auszugs wurde mit Schwefelsäure aufgenommen. Neben den Tropfen wurde ein Tropfen wässrige Wismutnitratlösung gesetzt. Die beiden Tropfen wurden mit einem Glasstab ineinander gezogen. Nach einer kurzen Reaktionszeit entstanden charakteristische Natrium-Wismut-Sulfat-Kristalle.

Nachweis von Magnesium

- Es konnten keine Magnesium-Ionen nachgewiesen werden.

Nachweis von Chlorid

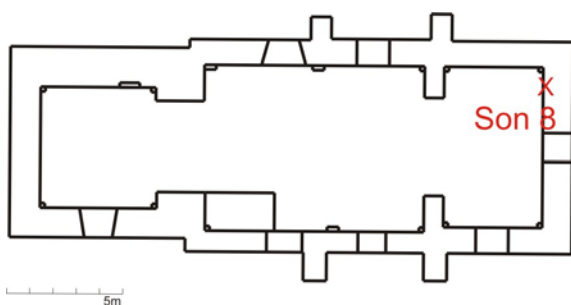
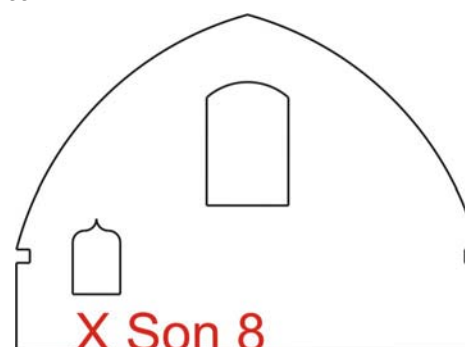
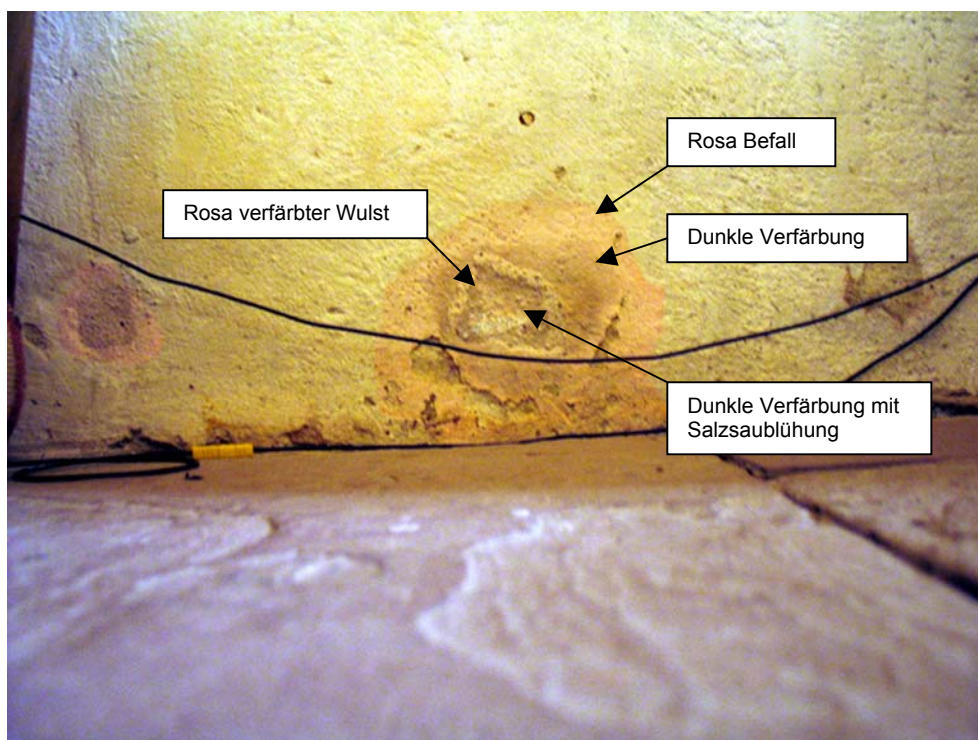
- Es konnte kein Chlorid nachgewiesen werden.

Nachgewiesene Ionen:

- Natrium
- Carbonat
- Sulfate

Befund: Son 8

Blatt 1

Grundriss⁹⁰Aufriss⁹¹:*Befundbereich im Aufricht:**Beschreibung des Befundes:*

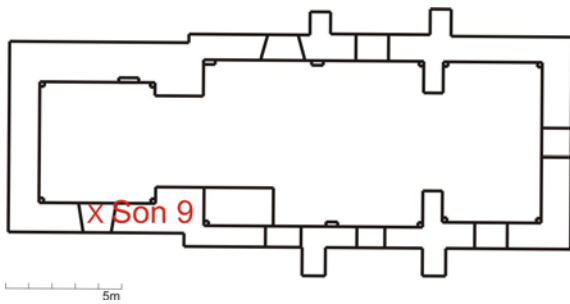
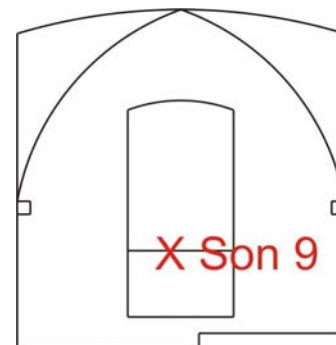
Der Befund zeigt den fußbodennahen Bereich der Ostwand des Chores. An dieser Stelle gibt es einen fast kreisförmigen Befall mit rosafarbenen Bakterien, der eine dunkle Verfärbung umschließt. Ein etwas wulstig aufgeworfener Ring in der Mitte dieser Verfärbung ist wiederum rosafarben verfärbt. Den Mittelpunkt des Befundes bildet eine dunkle Verfärbung mit aufliegenden weißen Salzausblühungen. Die dunkle Verfärbung konnte als Salzkruste (Thenardit) identifiziert werden (siehe Analyse Son S4).

⁹⁰ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

⁹¹ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

Befund: Son 9

Blatt 1

*Grundriss*⁹²*Aufriss*⁹³:*Befundbereich im Aufricht:**Beschreibung des Befundes:*

In den Eckbereichen der Fensternische der Südwand ist unter abblätternder Tünche ein Befall mit rosafarbenen Bakterien erkennbar.

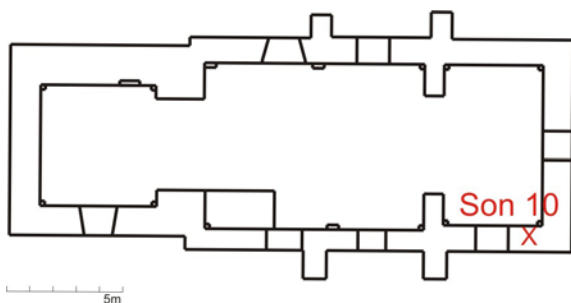
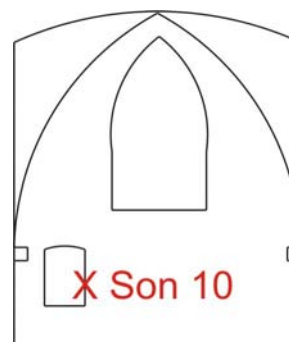
Das auf dem linken Foto erkennbare Gitter, gehört zur Fußbodenheizung der Kirche.

⁹² Nicht maßstabsgetreue Skizze.

⁹³ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

Befund: Son 10

Blatt 1

*Grundriss*⁹⁴*Aufriss*⁹⁵:*Befundbereich im Aufricht:**Beschreibung des Befundes:*

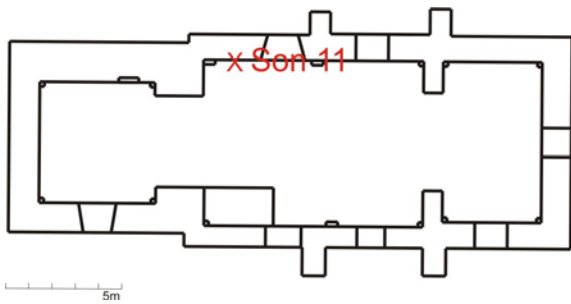
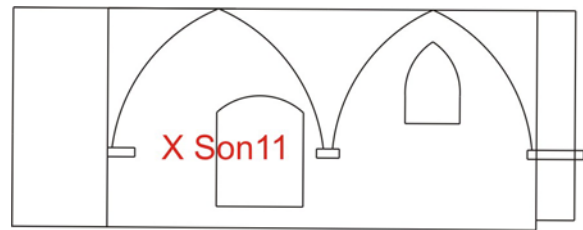
In der Nische an der Südwand des Chores findet sich ein Befall mit rosafarbenen Bakterien.

⁹⁴ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

⁹⁵ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

Befund: Son 11

Blatt 1

Grundriss⁹⁶*Aufriss⁹⁷**Befundbereich im Auflicht:**Beschreibung des Befundes:*

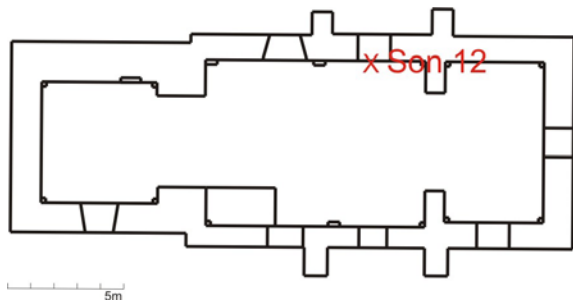
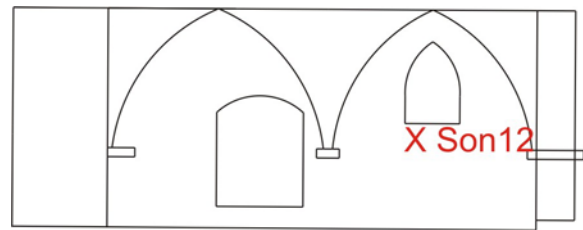
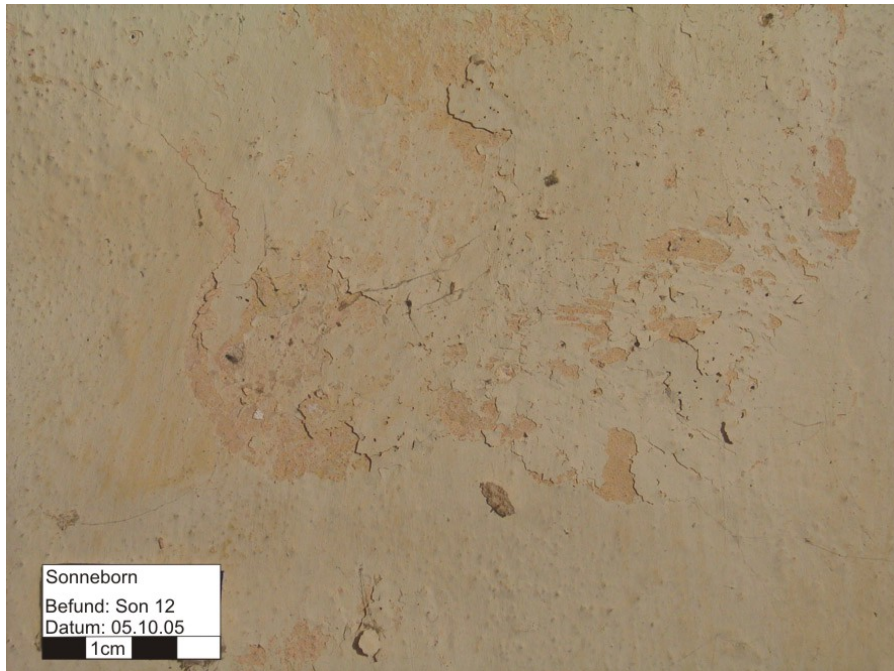
Die rezente Tünche wurde lediglich auf die monochromen Hintergrundbereiche aufgebracht. Malereien, wie z.B. die Apostelkreuze wurden ausgelassen. Hier wird deutlich, dass sich der Befall mit rosafarbenen Bakterien auf der darunter liegenden Tüncheschicht befindet.

⁹⁶ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

⁹⁷ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

Befund: Son 12

Blatt 1

Grundriss⁹⁸Aufriss⁹⁹:*Befundbereich im Aufricht:**Beschreibung des Befundes:*

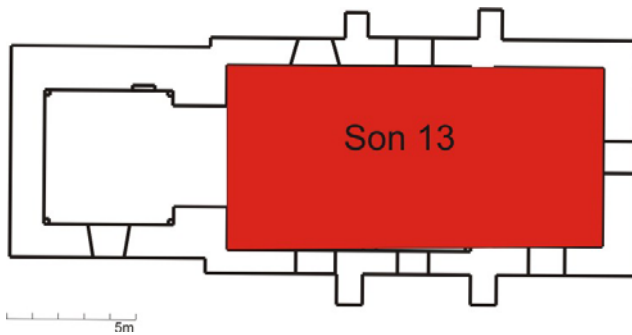
An der Nordwand des Kirchenschiffes blättert die rezente Tünche ab. Darunter wird ein Befall mit rosafarbenen Bakterien sichtbar.

⁹⁸ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

⁹⁹ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

Befund: Son 13

Blatt 1

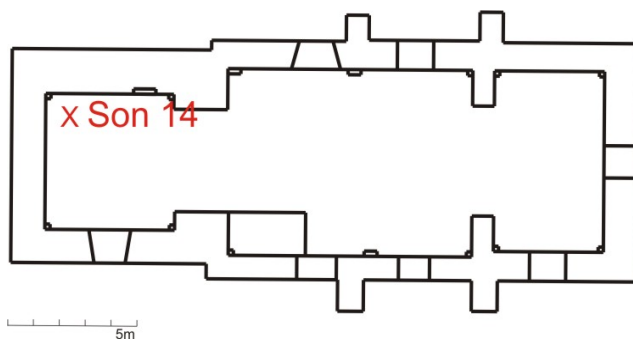
*Grundriss*¹⁰⁰*Aufriss:**Befundbereich im Aufricht:**Beschreibung des Befundes:*

Dachboden über dem Gewölbe. Das bauzeitliche Gewölbe ist sehr gut zu erkennen. Im vorderen Bereich des Fotos erkennt man Tierkot. Es handelt sich hierbei vermutlich um Fledermauskot.

¹⁰⁰ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

Befund: Son 14

Blatt 1

Grundriss¹⁰¹

Aufriss

Befundbereich im Aufricht:Beschreibung des Befundes:

Datierung in den Putz des Turmobergeschosses geritzt, nicht einwandfrei zu entziffern:

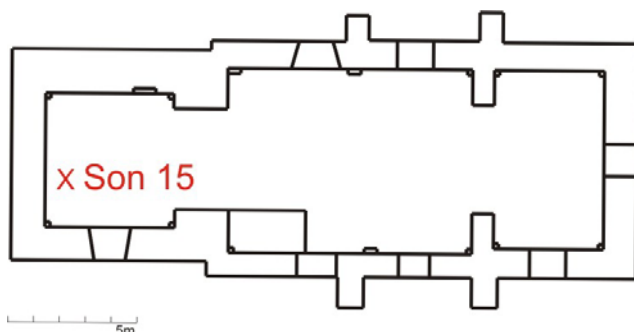
1810

?19??

~~22??~~¹⁰¹ Nicht maßstabsgetreue Skizze.

Befund: Son 15

Blatt 1

Grundriss¹⁰²

Aufriss:

Befundbereich im Aufricht:

Beschreibung des Befundes:

Datierung in den Betonfußboden des Turmobergeschosses geritzt, nur zum Teil zu lesen:

2.4.68

Rosen?r?hKohl¹⁰² Nicht maßstabsgetreue Skizze.

II Kartierung Barntrup-Sonneborn

Objektkennzahl: /	Bearbeitungsfläche: Kirchenschiff Nordwand unten
Ort: Barntrup-Sonneborn	Kartierungsthema: Zustand
Landkreis: Westfalen	Datum: 15.10.2005
Objekt: Ev.-ref. Kirche	Bearbeiter: Carla Leupold



Nds. Landesamt für Denkmalpflege / Ref. RESTAURIERUNG

△	□	○	Dunkle Salzkrusten	Sonderzeichen	M :
△	□	○		⌒ R Risse, offene Fugen	Bereich ist eingrenzbar
▽	◇	○		■ Salzausblühungen	Bereich ist nicht eingrenzbar
▽	◇	⊕	Abplatzende Tünche	▶ Reliefbildung	
Rosafarbene Bakterien	Fehlstellen			○ Verfärbung	

Objektkennzahl: /		Bearbeitungsfläche: Kirchenschiff Nordwand unten
Ort:	Barntrup-Sonneborn	Kartierungsthema: Zustand
Landkreis:	Westfalen	Datum: 15.10.2005
Objekt:	Ev.-ref. Kirche	Bearbeiter: Carla Leupold



Nds. Landesamt für Denkmalpflege / Ref. RESTAURIERUNG

△	■	□	■	○	■	Dunkle Salzkrusten	Sonderzeichen	M	:
△	■	□	■	○	■	Dunkle Salzkrusten	↗ R Risse, offene Fugen	⊂	Bereich ist eingrenzbar
▽	■	◇	■	⊖	■	Dunkle Salzkrusten	■ Salzausblühungen	⊄	Bereich ist nicht eingrenzbar
▽	■	◇	■	⊕	■	Abplatzende Tünche	▶ Reliefbildung	○	Verfärbung
▽	■	◇	■	⊕	■	Abplatzende Tünche	○	Verfärbung	
■	■	■	■	■	■	Rosafarbene Bakterien			
■	■	■	■	■	■	Fehlstellen			

Objektkennzahl: /	Bearbeitungsfläche: Kirchenschiff Nordwand oben
Ort: Barntrup-Sonneborn	Kartierungsthema: Zustand
Landkreis: Westfalen	Datum: 15.10.2005
Objekt: Ev.-ref. Kirche	Bearbeiter: Carla Leupold



Nds. Landesamt für Denkmalpflege / Ref. RESTAURIERUNG

△	□	○	Dunkle Salzkrusten	Sonderzeichen	M :
△	□	⊖		∩ R Risse, offene Fugen	Bereich ist eingrenzbar
▽	◇	⊕		■ Salzausblühungen	Bereich ist nicht eingrenzbar
▽ Rosafarbene Bakterien	◇ Fehlstellen	⊕ Abplatzende Tünche		▶ Reliefbildung	
				○ Verfärbung	

Objektkennzahl: /	Bearbeitungsfläche: Kirchenschiff Nordwand unten
Ort: Barntrup-Sonneborn	Kartierungsthema: Zustand
Landkreis: Westfalen	Datum: 15.10.2005
Objekt: Ev.-ref. Kirche	Bearbeiter: Carla Leupold



Nds. Landesamt für Denkmalpflege / Ref. RESTAURIERUNG

△	□	○	Dunkle Salzkruste	Sonderzeichen	M :
△	□	⊖		∩ R Risse, offene Fugen	Bereich ist eingrenzbar
▽	◇	⊕		■ Salzausblühungen	Bereich ist nicht eingrenzbar
▽	◇	⊕	Abplatzende Tünche	▶ Reliefbildung	
Rosafarbene Bakterien	Fehlstellen			○ Verfärbung	

Objektkennzahl: /

Ort: Barntrup-Sonneborn

Landkreis: Westfalen

Objekt: Ev.-ref. Kirche

Bearbeitungsfläche: Kirchenschiff Nordwand oben

Kartierungsthema: Zustand

Datum: 15.10.2005

Bearbeiter: Carla Leupold



Nds. Landesamt für Denkmalpflege / Ref. RESTAURIERUNG

△	■	□	□	○	■	Sonderzeichen R Risse, offene Fugen ■ Salzausblühungen ▶ Reliefbildung ◌ Verfärbung	M : ◌ Bereich ist eingrenzbar ◌ Bereich ist nicht eingrenzbar
△	■	□	□	○	■		
▽	■	◇	◇	○	■		
▽	■	◇	◇	○	■		
	■						

Objektkennzahl: /	Bearbeitungsfläche: Chorabschluß oben
Ort: Barntrup-Sonneborn	Kartierungsthema: Zustand
Landkreis: Westfalen	Datum: 15.10.2005
Objekt: Ev.-ref. Kirche	Bearbeiter: Carla Leupold



Nds. Landesamt für Denkmalpflege / Ref. RESTAURIERUNG

△	□	○	Dunkle Salzkruste	Sonderzeichen	M :
△	□	⊖		∩ R Risse, offene Fugen	Bereich ist eingrenzbar
▽	◇	⊕		■ Salzausblühungen	Bereich ist nicht eingrenzbar
▽ Rosafarbene Bakterien	◇ Fehlstellen	⊕ Abplatzende Tünche		▶ Reliefbildung	
				○ Verfärbung	

Objektkennzahl: /

Ort: Barntrup-Sonneborn

Landkreis: Westfalen

Objekt: Ev.-ref. Kirche

Bearbeitungsfläche: Chorabschluß oben

Kartierungsthema: Zustand

Datum: 15.10.2005

Bearbeiter: Carla Leupold



Nds. Landesamt für Denkmalpflege / Ref. RESTAURIERUNG

△	■	□	■	○	■	Dunkle Salzkruste	Sonderzeichen	M	:
△	■	□	■	○	■	■	R Risse, offene Fugen	○	Bereich ist eingrenzbar
▽	■	◇	■	○	■	■	■ Salzausblühungen	○	Bereich ist nicht eingrenzbar
▽	■	◇	■	○	■	■	▶ Reliefbildung	○	Verfärbung
▽	■	◇	■	○	■	■	○	Verfärbung	
	Rosafarbene Bakterien	Fehlstellen				Abplatzende Tünche			

Objektkennzahl: /

Ort: Barntrup-Sonneborn

Landkreis: Westfalen

Objekt: Ev.-ref. Kirche

Bearbeitungsfläche: Chorabschluß unten

Kartierungsthema: Zustand

Datum: 15.10.2005

Bearbeiter: Carla Leupold



Nds. Landesamt für Denkmalpflege / Ref. RESTAURIERUNG

△	□	○	M
△	□	○	⌒ Bereich ist eingrenzbar
▽	◇	⊖	⌒ Bereich ist nicht eingrenzbar
▽	◇	⊕	
Rosafarbene Bakterien	Fehlstellen	Dunkle Salzkruste	Sonderzeichen
		Abplatzende Tünche	⌒ Risse, offene Fugen
			■ Salzausblühungen
			▶ Reliefbildung
			○ Verfärbung

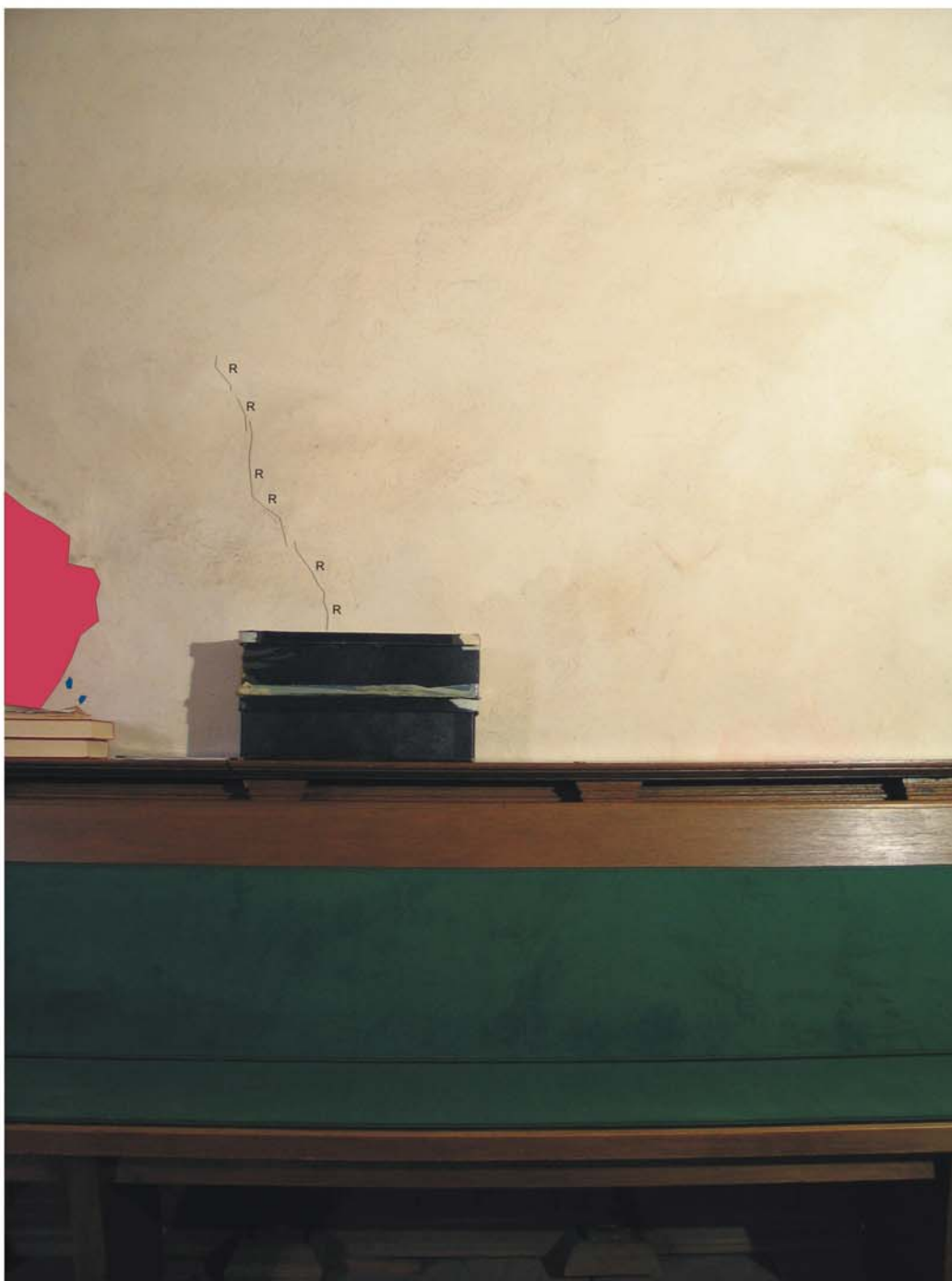
Objektkennzahl: /	Bearbeitungsfläche: Nordwand Chor unten
Ort: Barntrup-Sonneborn	Kartierungsthema: Zustand
Landkreis: Westfalen	Datum: 05.10.2005
Objekt: Ev.-ref. Kirche	Bearbeiter: Carla Leupold



Nds. Landesamt für Denkmalpflege / Ref. RESTAURIERUNG

△	□	○	Dunkle Salzkrusten	Sonderzeichen	M :
△	□	⊖		R Risse, offene Fugen	Bereich ist eingrenzbar
▽	◇	⊕		■ Salzausblühungen	Bereich ist nicht eingrenzbar
▽	◇	⊕	Abblätternde Tünche	▶ Reliefbildung	
Rosafarbene Bakterien	Fehlstellen			○ Verfärbung	

Objektkennzahl: /	Bearbeitungsfläche: Nordwand Chor unten
Ort: Barntrup-Sonneborn	Kartierungsthema: Zustand
Landkreis: Westfalen	Datum: 05.10.2005
Objekt: Ev.-ref. Kirche	Bearbeiter: Carla Leupold



Nds. Landesamt für Denkmalpflege / Ref. RESTAURIERUNG

△	□	○	Dunkle Sakzkrusten	Sonderzeichen	M :
△	□	⊖		↗ R Risse, offene Fugen	Bereich ist eingrenzbar
▽	◇	⊕		■ Salzausblühungen	Bereich ist nicht eingrenzbar
▽ Rosafarbene Bakterien	◇ Fehlstellen	⊕ Abplatzende Tünche		▶ Reliefbildung	
				○ Verfärbung	

Objektkennzahl: /	Bearbeitungsfläche: Nordwand Chor unten
Ort: Barntrup-Sonneborn	Kartierungsthema: Zustand
Landkreis: Westfalen	Datum: 05.10.2005
Objekt: Ev.-ref. Kirche	Bearbeiter: Carla Leupold



Nds. Landesamt für Denkmalpflege / Ref. RESTAURIERUNG

△	□	○	Dunkle Salzkrusten	Sonderzeichen	M :
△	□	⊖		⌒ R Risse, offene Fugen	Bereich ist eingrenzbar
▽	◇	⊕		■ Salzausblühungen	Bereich ist nicht eingrenzbar
▽ Rosafarbene Bakterien	◇ Fehlstellen	⊕ Abblätternde Tünche		▶ Reliefbildung	
				○ Verfärbung	

Objektkennzahl: /	Bearbeitungsfläche: Ostwand Chor unten
Ort: Barntrup-Sonneborn	Kartierungsthema: Zustand
Landkreis: Westfalen	Datum: 15.10.2005
Objekt: Ev.-ref. Kirche	Bearbeiter: Carla Leupold



Nds. Landesamt für Denkmalpflege / Ref. RESTAURIERUNG

△	■	□	○	Sonderzeichen		M :
△	■	□	○	⌒	R Risse, offene Fugen	⌒ Bereich ist eingrenzbar
▽	■	◇	⊖	■	Salzausblühungen	⊖ Bereich ist nicht eingrenzbar
▽	■	◇	⊕	▶	Reliefbildung	
■	■	■	■	○	Verfärbung	
Rosafarbene Bakterien	Tünche	Fehlstellen in der rezenten Schicht				
		Schicht				

Objektkennzahl: /	Bearbeitungsfläche: Südwand Chor unten
Ort: Barntrup-Sonneborn	Kartierungsthema: Zustand
Landkreis: Westfalen	Datum: 15.10.2005
Objekt: Ev.-ref. Kirche	Bearbeiter: Carla Leupold



Nds. Landesamt für Denkmalpflege / Ref. RESTAURIERUNG

△	□	○ Dunkle Salzkrusten	Sonderzeichen	M :
△	□	⊖	↗ R Risse, offene Fugen	Bereich ist eingrenzbar
▽	◇	⊖	■ Salzausblühungen	Bereich ist nicht eingrenzbar
▽ Rosafarbene Bakterien	◇ Fehlstellen	⊕ Abplatzende Tünche	▶ Reliefbildung	
			○ Verfärbung	

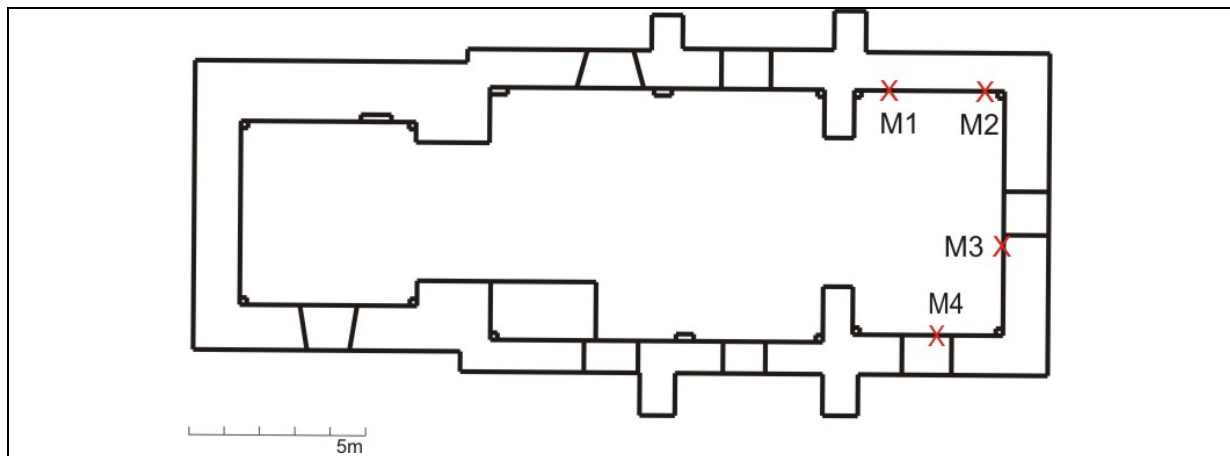
Objektkennzahl: /	Bearbeitungsfläche: Südwand Chor unten
Ort: Barntrup-Sonneborn	Kartierungsthema: Zustand
Landkreis: Westfalen	Datum: 15.10.2005
Objekt: Ev.-ref. Kirche	Bearbeiter: Carla Leupold



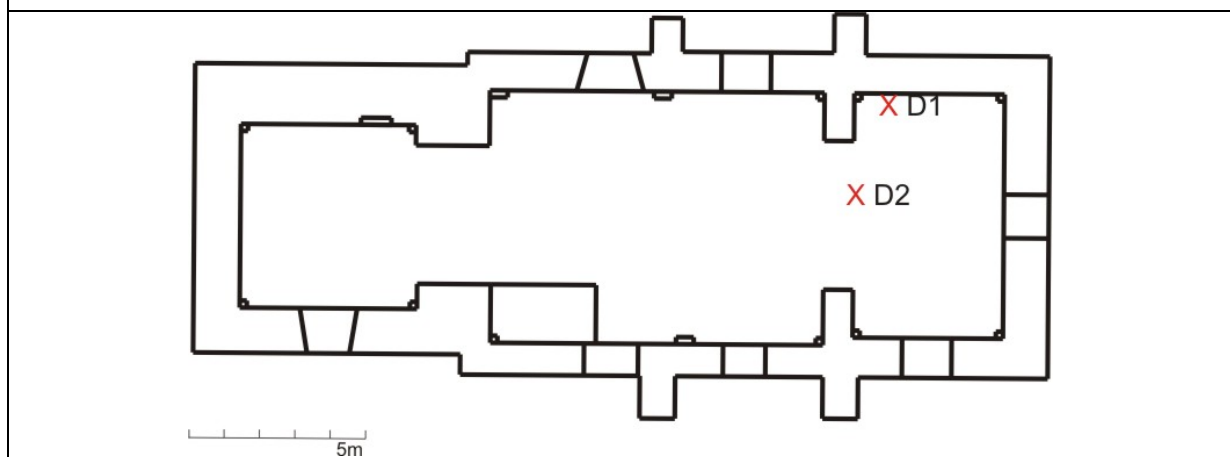
Nds. Landesamt für Denkmalpflege / Ref. RESTAURIERUNG

△	□	○	Dunkle Salzkrusten	Sonderzeichen	M :
△	□	⊖		⌒ R Risse, offene Fugen	Bereich ist eingrenzbar
▽	◇	⊕		■ Salzausblühungen	Bereich ist nicht eingrenzbar
▽ Rosafarbene Bakterien	◇ Fehlstellen	⊕ Abplatzende Tünche		▶ Reliefbildung	
				○ Verfärbung	

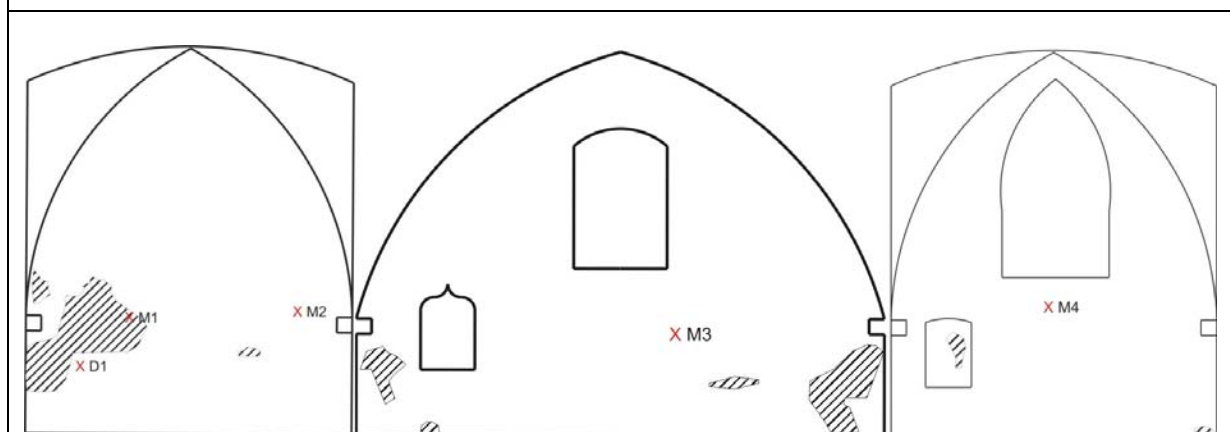
III Klimamessung Barntруп-Sonnborn



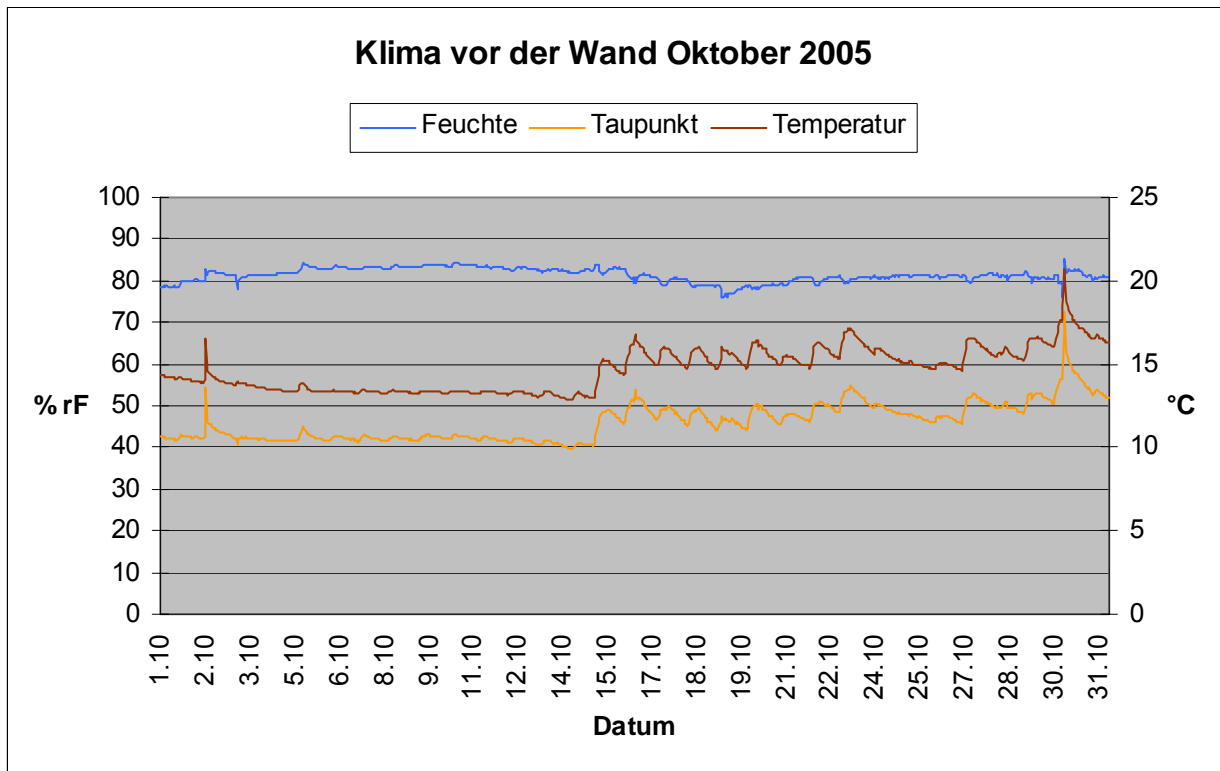
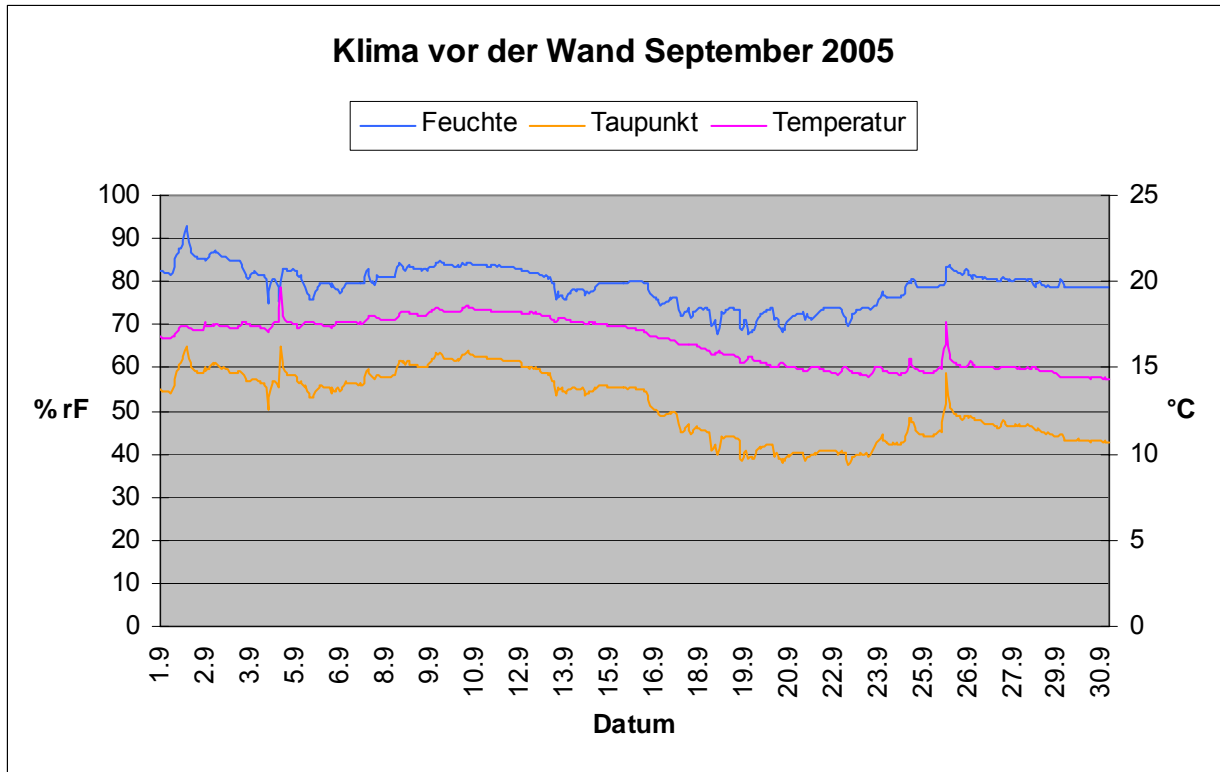
Grundriss der Kirche mit den Standorten der Oberflächentemperaturfühler

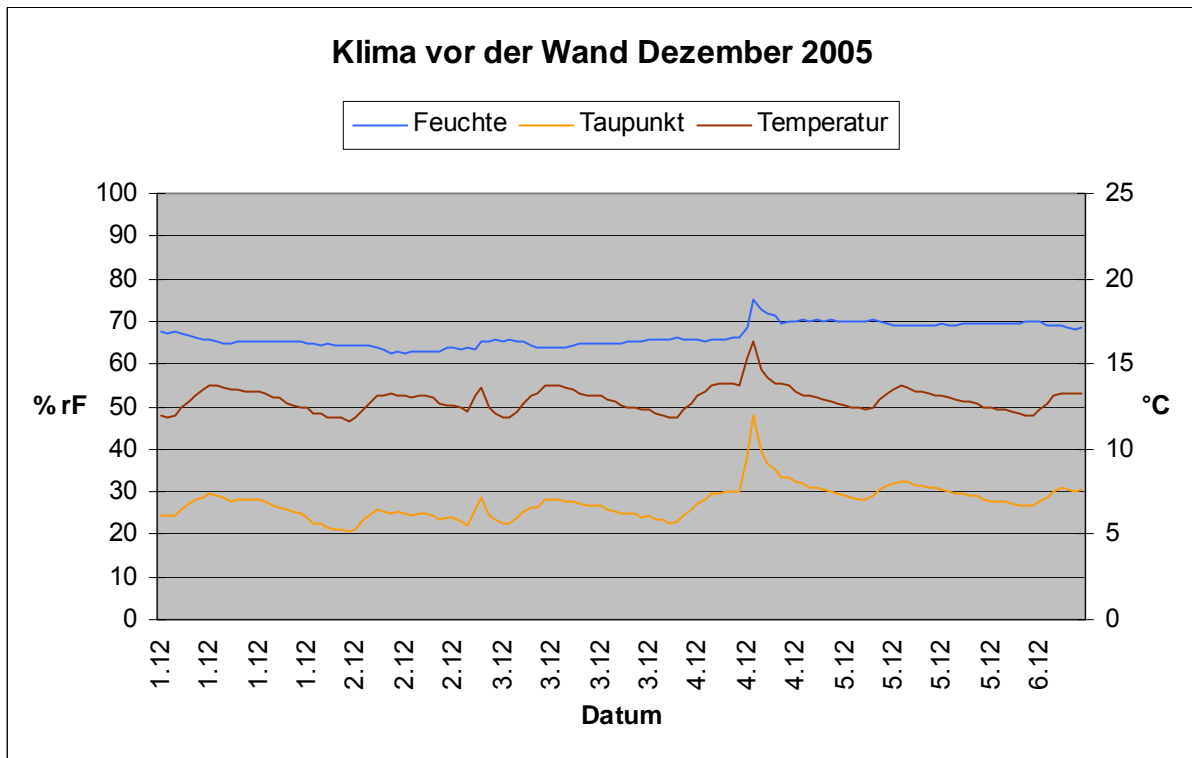
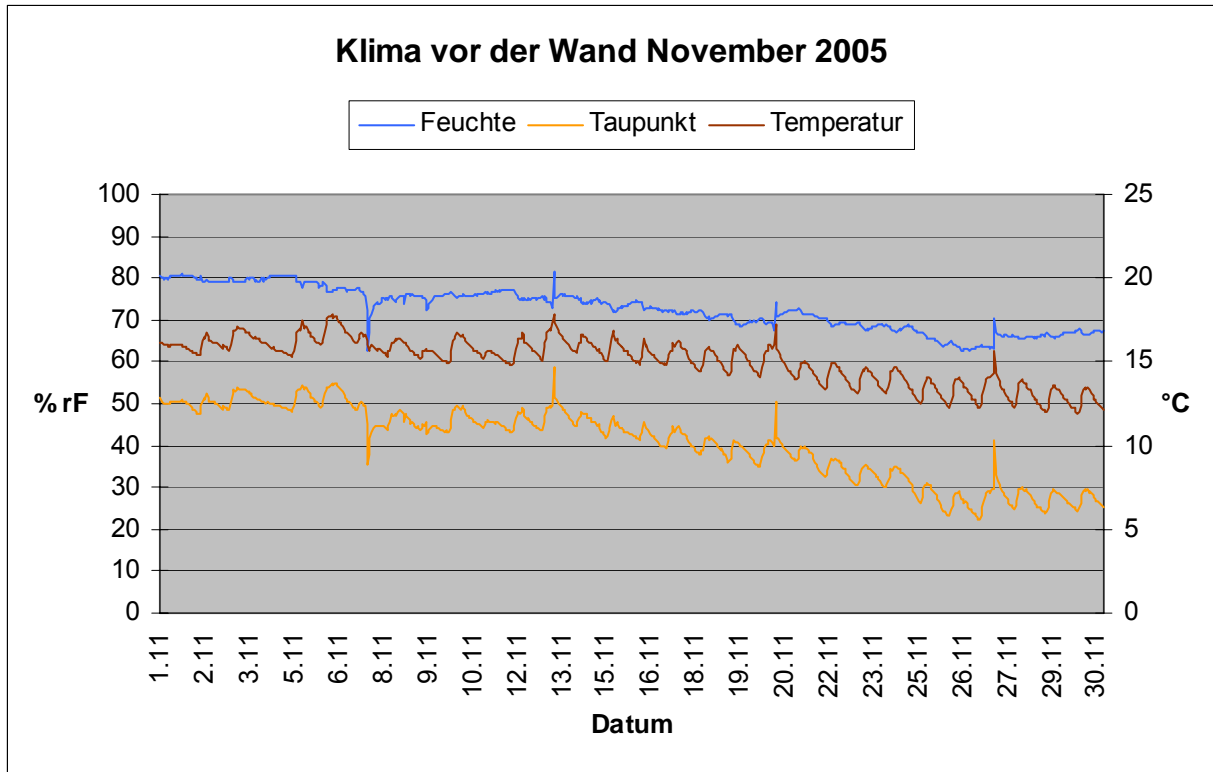


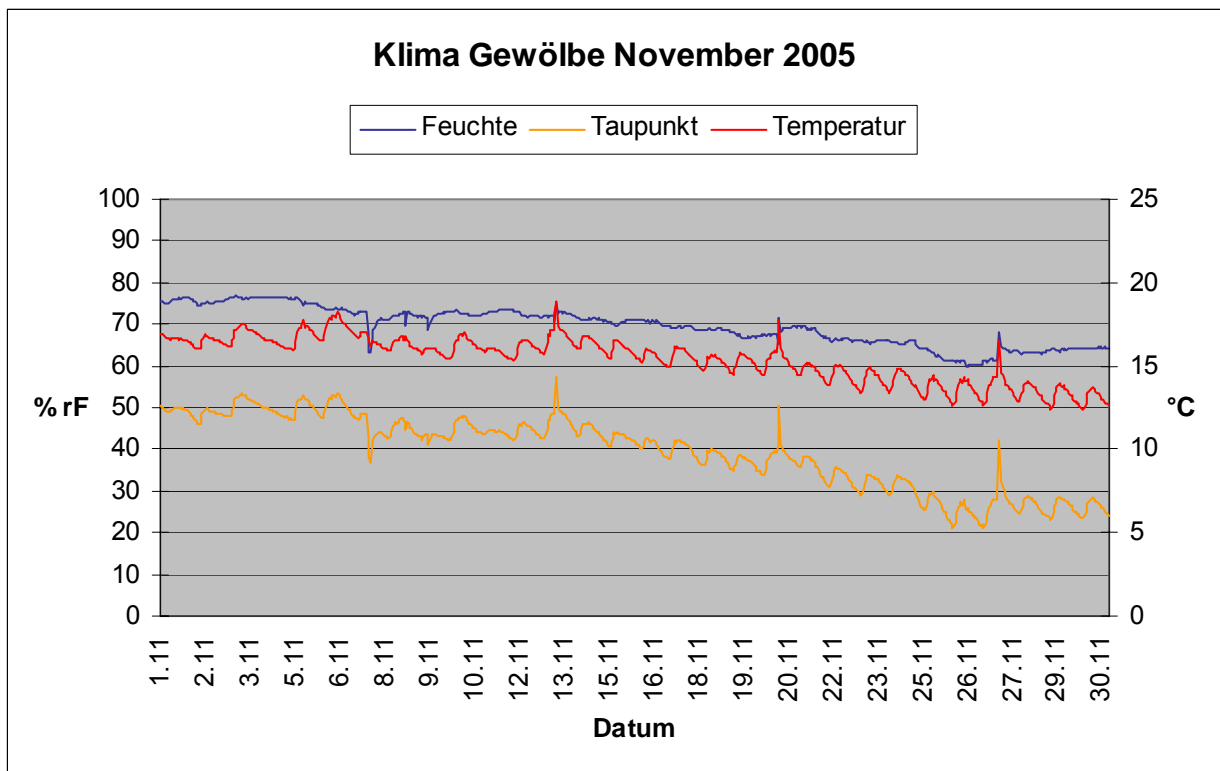
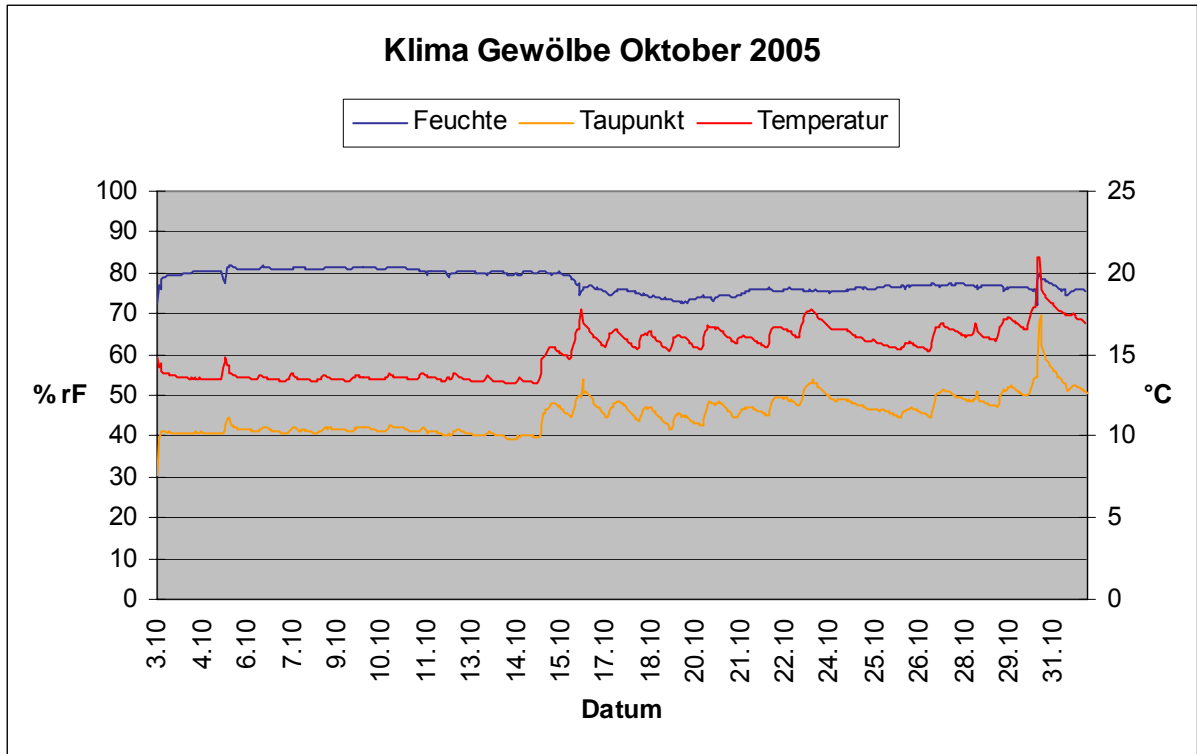
Grundriss der Kirche mit den Standorten der Messgeräte für Raumtemperatur und -feuchte

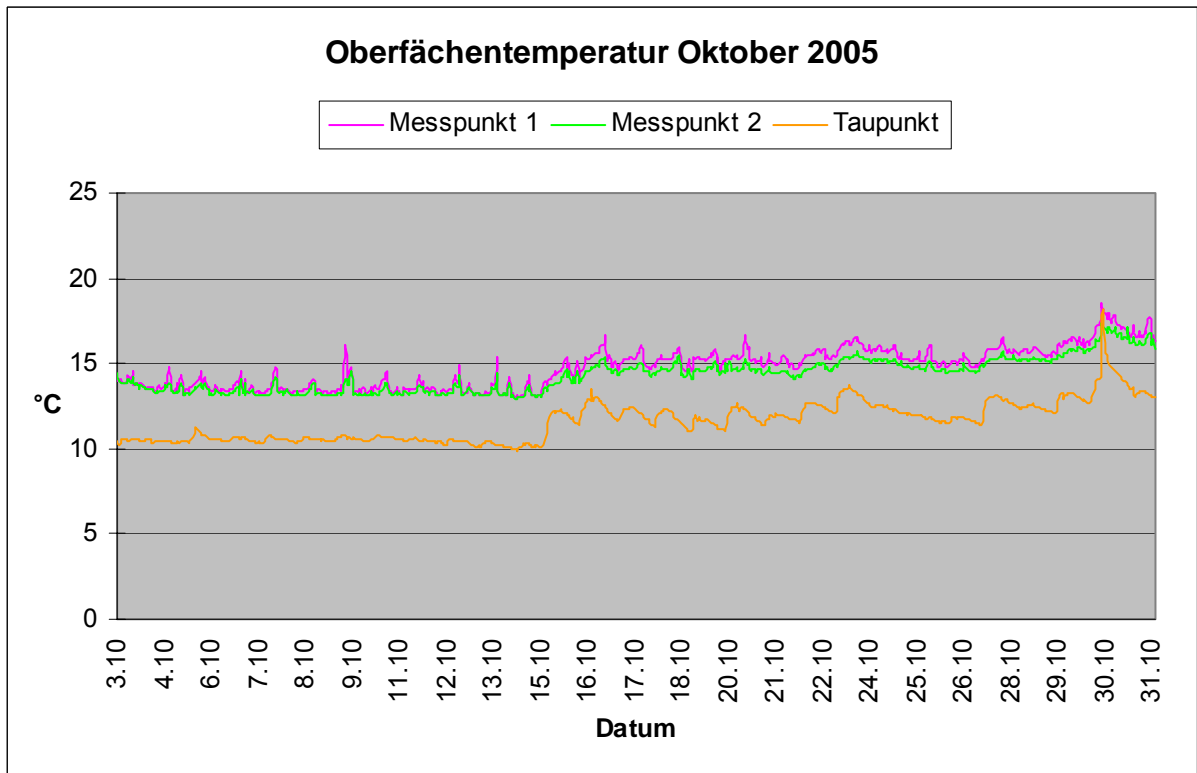
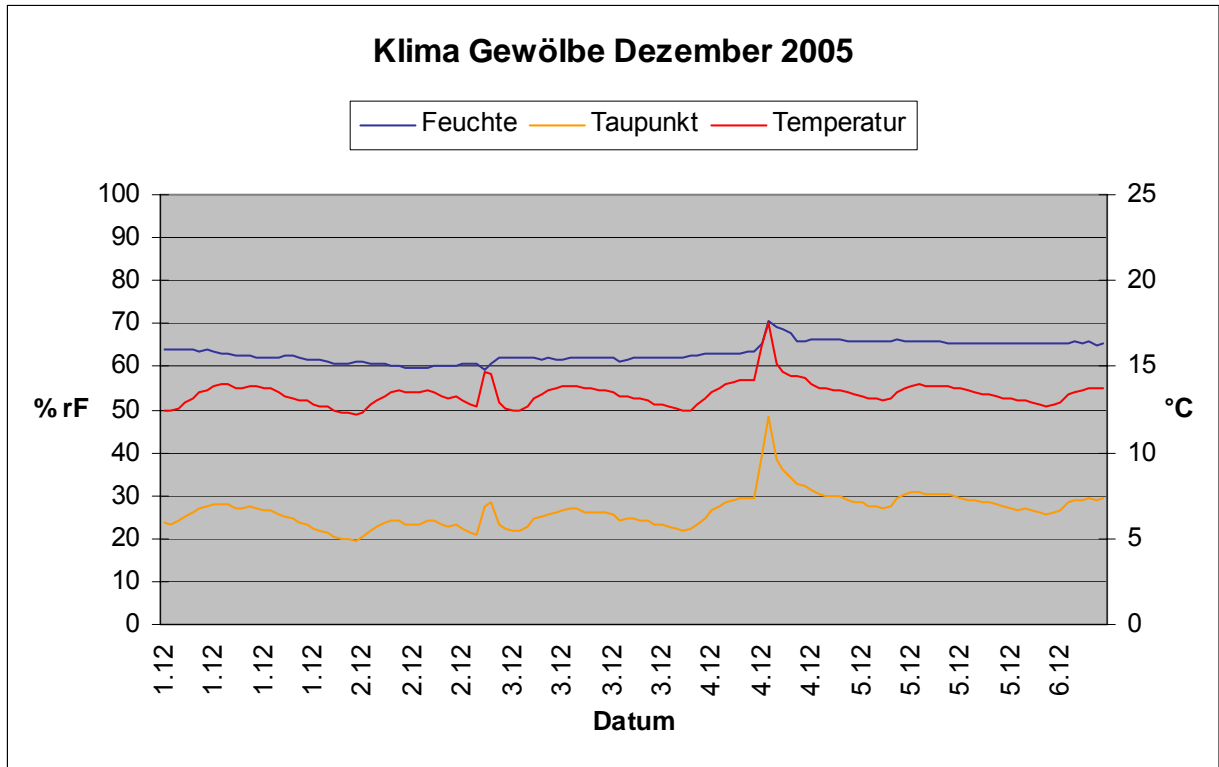


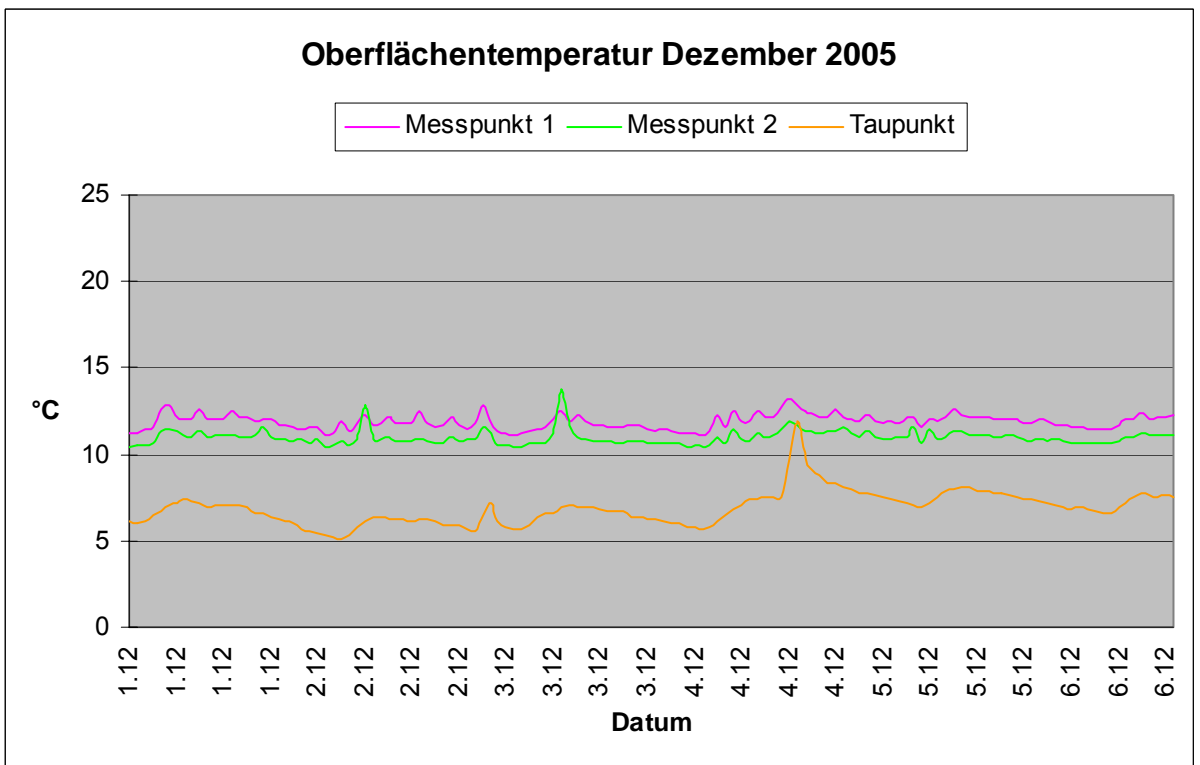
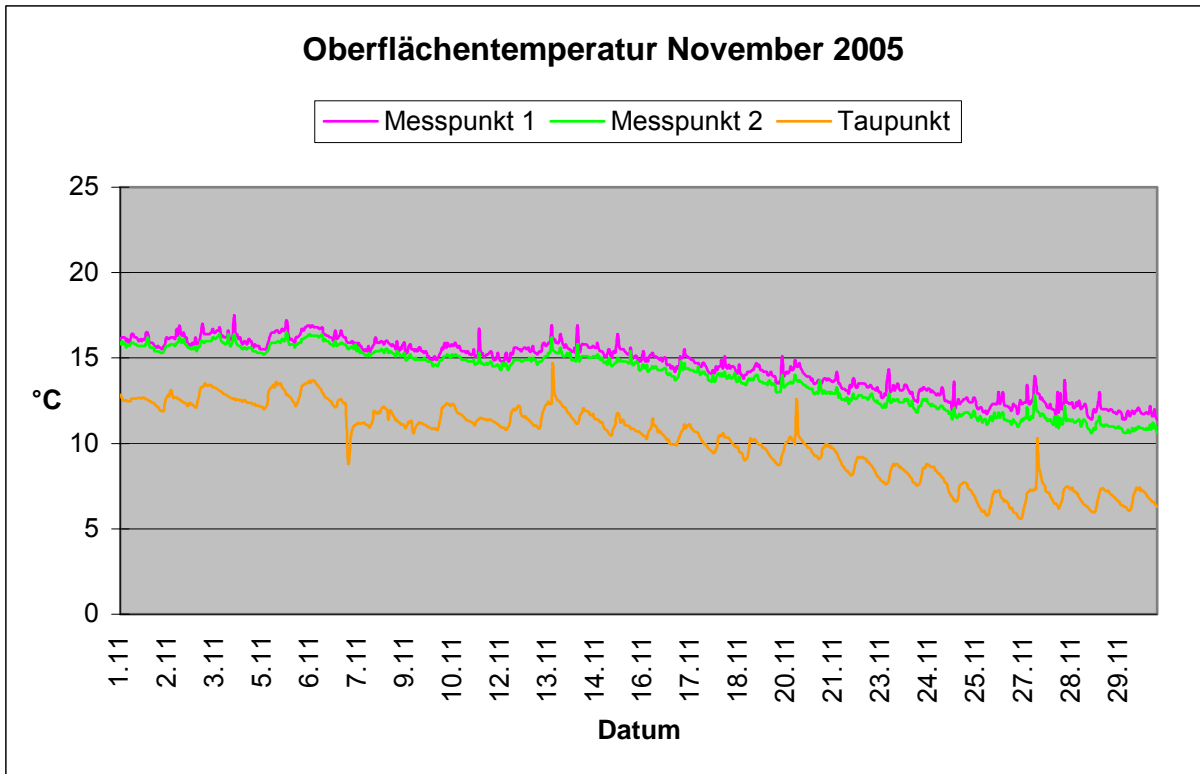
Aufgeklappte Wandabwicklung des Chores (von Norden nach Süden) mit Standorten der Oberflächentemperaturfühler und der Datenlogger. Gestreift hinterlegt sind die grob umrissenen Bereiche, die einen Befall mit rot pigmentierten Bakterien aufweisen.

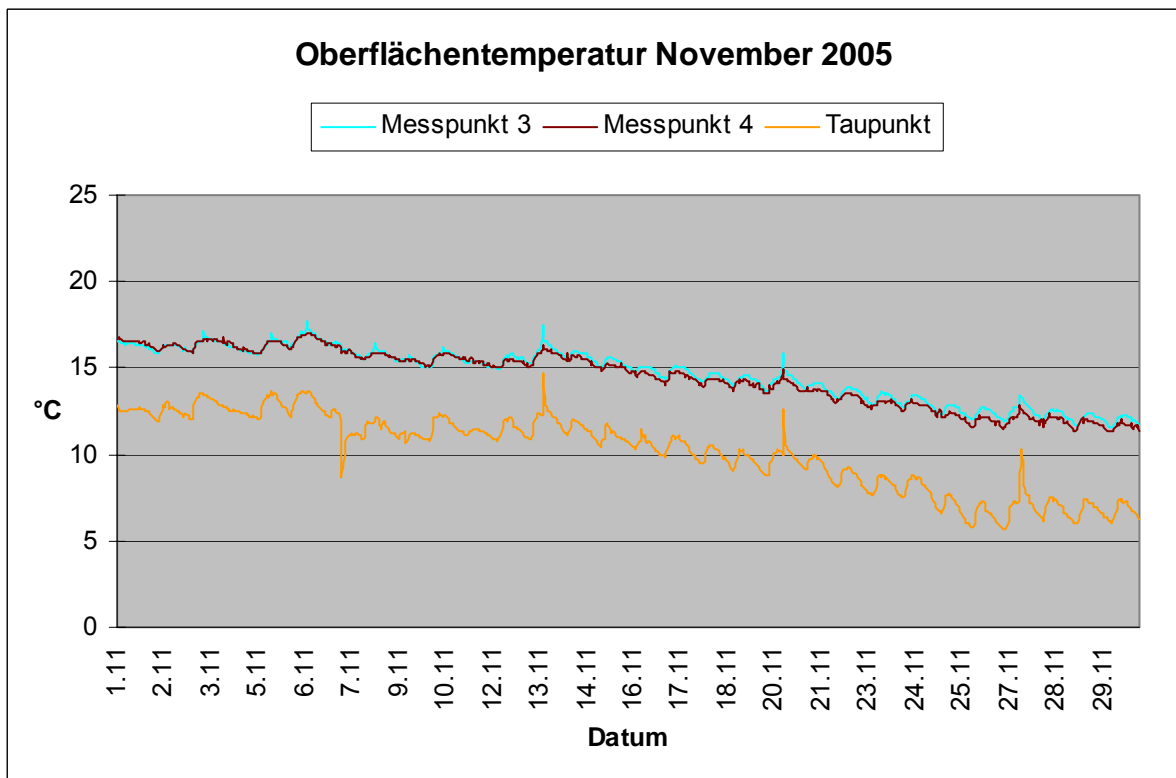
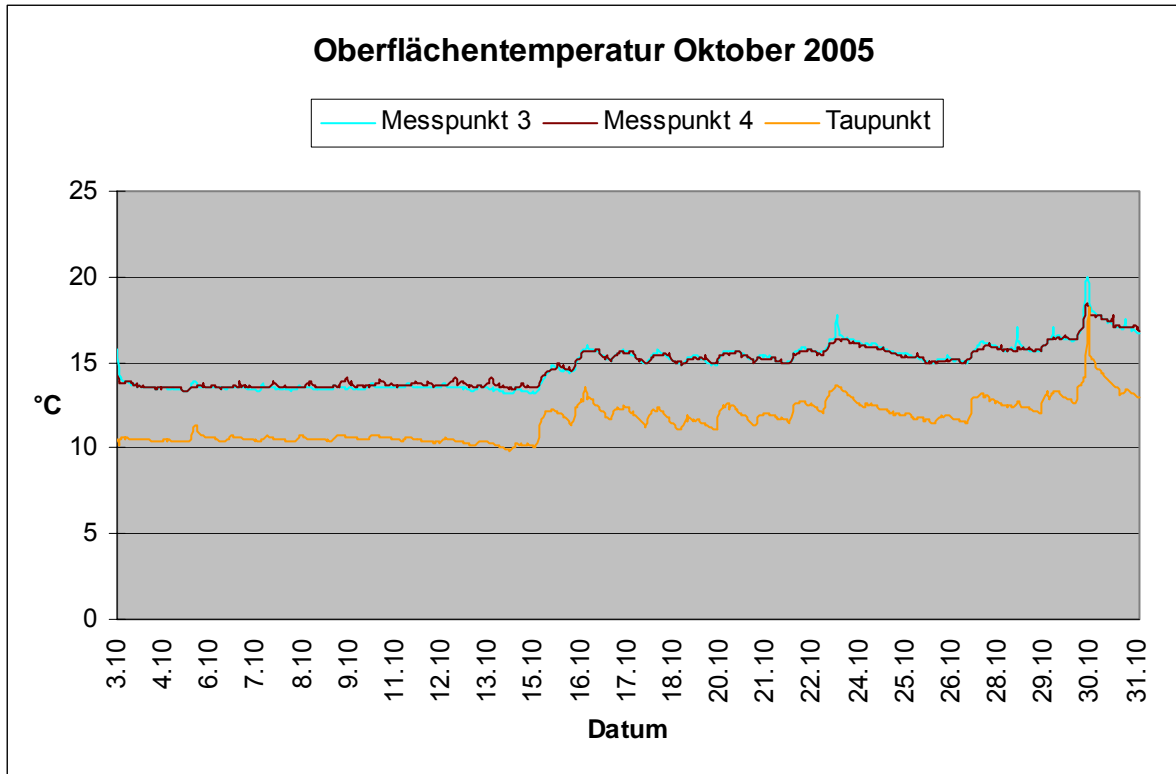


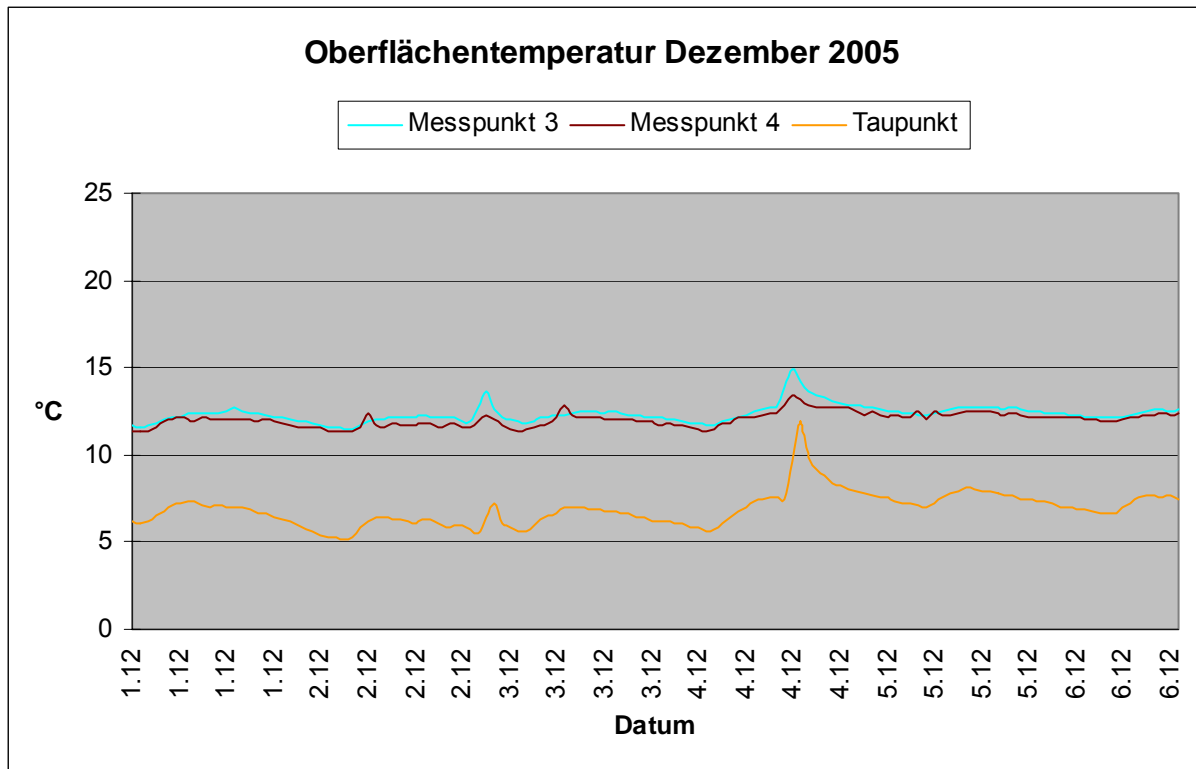












IV Internetseiten