

FACHHOCHSCHULE POTSDAM  
FACHBEREICH ARCHITEKTUR UND STÄDTEBAU  
BACHELORSTUDIENGANG KONSERVIERUNG UND RESTAURIERUNG

Studienrichtung Metall

Titel:

**Minuten-Rädersonnenuhr  
aus dem Mathematisch-Physikalischen Salon:  
Untersuchungen zu schwarzen Verfärbungen auf Vergoldungen  
- deren Entstehung und Behandlung**

Bachelorthesis

Modul 26

Autorin: Lea Hahmann  
Martikel-Nr. 13383  
Tel.: 015738995575  
E-Mail: lea.hahmann@web.de

Erstprüfer: Prof. Jörg Freitag  
Zweitprüfer: Dipl. Rest. (FH) Andreas Holfert

Abgabetermin: 19.12.2016  
Bearbeitungszeitraum: 9 Wochen

## **ABSTRACT**

Hahmann, Lea

**Minuten-Rädersonnenuhr aus dem Mathematisch-Physikalischen Salon:  
Untersuchungen zu schwarzen Verfärbungen auf Vergoldungen  
-deren Entstehung und Behandlung**

**Minute-sundial from the Mathematisch-Physikalischer Salon:  
Investigations of black discolorations on gildings  
-their development and treatment**

Bachelorthesis, 19. Dezember 2016, German, pages 71, illustrations 31

Erstprüfer/Supervisor: Prof. Jörg Freitag

Zweitprüfer/Collaborating Supervisor: Dipl. Rest. (FH) Andreas Holfert

Publikation nicht vorgesehen / Publication not planned

Zusammenfassung:

Der Mathematisch-Physikalische Salon der Staatlichen Kunstsammlungen Dresden ist in Besitz einer Minuten-Rädersonnenuhr (Inv.-Nr.: D I 7). Auf der vergoldeten Messingoberfläche der Zifferblätter sind im Laufe der Zeit schwarze Verfärbungen entstanden. Diese Verfärbungen wurden in der vorgelegten Arbeit identifiziert und mit Hilfe der Ionenstrahl-Analyse materialspezifisch untersucht. Besonderes Augenmerk wird auf die Analyse der Entstehung und Ursachen gelegt, um einem wiederholten Erscheinen der Verfärbungen an anderen Objekten vorzubeugen.

Es wird in Erwägung gezogen, im Rahmen einer zukünftigen Restaurierung der Sonnenuhr, die schwarzen Verfärbungen zu entfernen. An Probekörpern wurden daher Freilegungsversuche durchgeführt und dokumentiert, sodass auf Grundlage dieser Ergebnisse ein geeignetes Restaurierungskonzept erstellt werden kann.

Schlagwörter: Minuten-Rädersonnenuhr, Mathematisch-Physikalischer Salon, schwarze Verfärbungen, Ionenstrahl-Analyse, Untersuchungen, Freilegungsversuche

Abstract:

The Mathematisch-Physikalische Salon of the Staatliche Kunstsammlungen Dresden owns a minute-sundial with the Inventory number D I 7. Over time black discolorations emerged on the gilded brass surface of the dials. In this bachelor thesis these discolorations were material-specific identified and investigated with the Ion Beam Analysis. Special attention was placed on the analysis of the development, to prevent a reoccurrence of the discoloration on other objects.

It is considered to remove these black discolorations as a part of a future restoration. Therefor various techniques to uncover the surface have been tested and documented on samples, to develop an appropriate concept for restoration.

Keywords: minute-sundial, Mathematisch-Physikalische Salon, black discolorations, Ion Beam Analysis, Investigations, techniques to uncover the surface

## **DANKSAGUNG**

Bei folgenden Personen bedanke ich mich sehr herzlich für die freundliche Unterstützung:

Prof. Jörg Freitag, Fachhochschule Potsdam

Dipl. Rest. (FH) Andreas Holfert, Werkstattleiter, Mathematisch-Physikalischer Salon, Staatliche Kunstsammlungen Dresden

Dr. Michael Mäder, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Staatliche Kunstsammlungen Dresden

Johannes Eulitz, Restaurator / Uhrmachermeister, Mathematisch-Physikalischer Salon, Staatliche Kunstsammlungen Dresden

Dr. Peter Plaßmeyer, Direktor, Mathematisch-Physikalischer Salon, Staatliche Kunstsammlungen Dresden

Dipl. Rest. Eva Laabs, Werkstattleiterin, Fachhochschule Potsdam

Prof. Dr. Christoph Herm, Hochschule für Bildende Künste Dresden

Prof. Dr. res. nat. habil. Thomas Doert, TU Dresden

Dr. res. nat. Wolf-Dieter Schulz, Diplomchemiker / Sachverständiger für Korrosion und Korrosionsschutz von Metallen (IHK Dresden)

Jens Dornheim, Restaurator, Münzkabinett, Staatliche Kunstsammlungen Dresden

Michael Wagner, Restaurator, Grünes Gewölbe, Staatliche Kunstsammlungen Dresden

Eve Begov, Restaurator, Grünes Gewölbe, Staatliche Kunstsammlungen Dresden

Dipl. Ing. Rainer Richter, Werkstattleiter, Grünes Gewölbe, Staatliche Kunstsammlungen Dresden

Dipl. Rest. Katja Schmeikal, Werkstattleiterin, Fachhochschule Potsdam

## Abkürzungsverzeichnis:

FTIR	=	Infrarot-Spektroskopie (Fourier-Transform-Infrared)
HZDR	=	Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf
IBA	=	Ionenstrahl-Analyse (Ion-Beam-Analysis)
Inv.-Nr.:	=	Inventarnummer
MHK	=	Museumslandschaft Hessen-Kassel
MPS	=	Mathematisch-Physikalischer Salon
MZB	=	Minutenzifferblatt
PIGE	=	Particel Induced Gamma Ray Emission
PIXE	=	Particel Induced X-Ray Emission
RBS	=	Rutherford-Backscattering Spectrometry
RFA	=	Röntgenfluoreszenz-Analyse
RS	=	Rückseite
SKD	=	Staatliche Kunstsammlungen Dresden
SZB	=	Stundenzifferblatt
US	=	Unterseite
VS	=	Vorderseite

# Inhalt

1. EINLEITUNG	1
2. DIE MINUTEN-RÄDERSONNENUHR (Inv.-Nr.: D I 7)	2
2.1. Geschichtlicher Hintergrund	3
2.1.1. Reichsgraf Hans von Löser	4
2.2. Objektbeschreibung	5
2.3. Funktion	9
2.4. Herstellungstechnik	11
2.5. Mögliche Zuschreibung	12
3. ZUSTAND	15
3.1. Zustandsänderungen	18
4. ÜBERBLICK ÜBER OBJEKTE MIT ÄHNLICHEM SCHADENSBIKD	21
5. AUFGABENSTELLUNG	23
6. UNTERSUCHUNGEN	24
6.1. Demontage	24
6.2. Makroskopische und mikroskopische Untersuchung	25
6.3. UV-Untersuchung	26
6.4. FTIR-Spektroskopie	27
6.4.1. Auswertung der FTIR-Messergebnisse	28
6.5. Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)	30
6.5.1. Auswertung der RFA-Messergebnisse	31
6.6. Ionenstrahl-Analyse (IBA)	34
6.6.1. Auswertung der IBA-Messergebnisse	36
6.7. Zusammenfassung	40
7. MÖGLICHE ENTSTEHUNG UND URSACHEN DER VERFÄRBUNGEN	41
7.1. Silber Migration durch Putzmittel	42
7.2. Ablagerung als Folge von Silberoxidation	43
7.2.1. Langzeitversuche zur Darstellung der schwarzen Verfärbungen	45
7.2.1.1. Langzeitversuche ohne fremde Spannungsquelle (Versuch 1)	45
7.2.1.2. Langzeitversuche mit fremder Spannungsquelle (Versuch 2)	47
7.3. Ablagerung durch mechanisch-chemische Prozesse	50
7.4. Auswertung	51

8. FREILEGUNGSVERSUCHE	53
8.1. Herstellung der Probestplatten	55
8.2. Mechanische Freilegung	56
8.3. Chemische Freilegung	57
8.4. Elektrolytische Freilegung	59
8.5. Laser-Freilegung	60
8.6. Auswertung	61
9. RESTAURIERUNGS- UND KONSERVIERUNGSKONZEPT	62
10. AUSBLICK	64
11. LITERATURNACHWEIS	65
12. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	67
13. VERWENDETE MATERIALIEN / GERÄTE	69

## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

## **ANHANG**

Anhang I:	Fotodokumentation
Anhang II:	Kartierung
Anhang III:	Skizzen
Anhang IV:	Historische Aufzeichnungen
Anhang V:	Messergebnisse
Anhang VI:	Messpunkte
Anhang VII:	E-Mail Verkehr
Anhang VIII:	Datenblätter
Anhang IX:	Sonstiges

## EINLEITUNG

Der Mathematisch-Physikalische Salon der Staatlichen Kunstsammlungen Dresden zählt zu seinem Bestand eine außergewöhnliche äquatoriale Minuten-Rädersonnenuhr aus der Zeit um 1760. Die Sonnenuhr besteht aus zwei unterschiedlichen Zifferblättern, die einerseits die Stunden und andererseits die Minuten eines Tages angeben können, wenn diese mit Hilfe eines Sonnenstrahles entsprechend eingestellt werden.

Das Besondere an der Uhr ist neben der Minutenanzeige auch die hohe künstlerische Gestaltung, die sich in ihrer Form (geschwungene Beine) und der aufwändigen Arbeit der Zifferblätter (Verwendung unterschiedlicher Materialien / feine Gravurarbeiten), äußert.

Auf der vergoldeten Messingoberfläche der Zifferblätter der Uhr sind im Laufe der Zeit schwarze Verfärbungen entstanden. Diese Verfärbungen sollen im Rahmen der Bachelor-Arbeit identifiziert und mit Hilfe der Ionenstrahl-Analyse materialspezifisch untersucht werden. Besonderes Augenmerk wird auf die Analyse der Entstehung und Ursachen gelegt, um ein wiederholtes Erscheinen der Verfärbungen an anderen Objekten zu verhindern.



Im Mathematisch-Physikalischen Salon wird in Erwägung gezogen, im Rahmen einer zukünftigen Restaurierung der Sonnenuhr, die schwarzen Verfärbungen zu entfernen. An Probekörpern wurden daher Freilegungsversuche durchgeführt und dokumentiert, sodass auf Grundlage dieser Ergebnisse, ein geeignetes Restaurierungskonzept erstellt werden kann.

*Abb. 1: Minuten-Rädersonnenuhr D I 7*

**2. DIE MINUTEN – RÄDERSONNENUHR INV.NR.: D I 7**

Gegenstand	äquatoriale Sonnenuhr (Rädersonnenuhr)
Hersteller / Ort	unbekannt
Herstellungszeit	um 1760
Maße	Breite: 98,5 mm Tiefe: 98,0 mm Höhe: ca. 190,0 mm
Eigentümer	Staatliche Kunstsammlungen Dresden Mathematisch-Physikalischer Salon Zwinger 01067 Dresden
Inv.-Nr.	D I 7

Zum Bestand des Mathematisch-Physikalischen Salons gehört eine außergewöhnliche äquatoriale Minuten-Rädersonnenuhr (Abb. 01-04) aus der Zeit um 1760. Aufzeichnungen belegen, dass diese Sonnenuhr schon 1818<sup>1</sup> im Inventar des Mathematisch-Physikalischen Salons verzeichnet und Johann Gottfried Zimmer aus der Werkstatt des Reichsgrafen Hans von Löser, Reinharz zugeschrieben wurde.

Eine ähnliche Sonnenuhr (Abb. 29) befindet sich gegenwärtig in der Dauerausstellung des MPS. Sie ist mit „J.G. Zimmer A Reinhartz“ signiert. Diese Uhr ist in der Zeit um 1750 entstanden. In der Ausgabe der Leipziger Uhrmacher-Zeitung von 1905 werden beide Uhren wie folgt beschrieben: „Fig. 9 und 10 geben zwei auf den gleichen Prinzipie beruhende Minuten-äquatorealuhren wieder, die vor 1770 entstanden sind, [...]“<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Anhang IV, S. 2: Inventar 1818, Minuten-Rädersonnenuhr D I 7

<sup>2</sup> Anhang IV, S. 5: Leipziger Uhrmacher-Zeitung 1905

## 2.1. Geschichtlicher Hintergrund

„[...] Das Instrument ist ohne Signatur aber wahrscheinlich von Zimmer & Reinharz gefertigt.“<sup>3</sup> So steht es im Inventar des MPS von 1828. Ob die Sonnenuhr wirklich von Zimmer in der Werkstatt des Reichsgafen Löser in Reinharz gefertigt wurde, ist nicht belegt.

Mit Sicherheit kann gesagt werden, dass die Uhr seit 1818 im Inventar des MPS verzeichnet ist. Dort wird vor diesem Eintrag auch die signierte Uhr mit der Inv.-Nr.: D I 9<sup>4</sup> ausführlich beschrieben. Eine Seite weiter befindet sich ein kurzer Eintrag: *„Eine der vorigen ähnlichen aequinoktional Sonnenuhr mit sonst gleicher Einrichtung. Der Untersatz hat jedoch nur drey Stellschrauben, die Magnetradel eine Arretation und das Ganze keine Signatur.“*<sup>5</sup>

Die Beschreibung weist auf die Stellschrauben der Sonnenuhr (Inv.-Nr. D I 7) hin, die im Gegensatz zu den vier Stellschrauben der Sonnenuhr (Inv.-Nr.: D I 9), lediglich über drei verfügt.

Im „Verzeichnis der auf dem Schlosse Reinharz befindlichen Mathematischen, Physikalischen, Chirurgischen und andern Instrumenten [...] Wittenberg, 1766“ wird eine Minuten-Sonnenuhr beschrieben: *„Eine große Universal aequinoktial-Uhr, welche die Stunden und Minuten zeigt; läßt sich durch Schrauben und Perpendikel stellen, ist sehr gut und schön von Messing gemacht, und in Feuer vergoldet, hat ein mit schwarzen Leder überzogenes und mit rothem Sammet gefüttertes Futteral.“*<sup>6</sup>

Dieser Eintrag könnte auf die, mit der Signatur versehenen, Sonnenuhr (Inv.-Nr.: D I 9) hinweisen.

---

<sup>3</sup> Anhang IV, S. 3: Inventar 1828, Minuten-Rädersonnenuhr D I 7

<sup>4</sup> Anhang IV, S. 1: Inventar 1818, Minuten-Rädersonnenuhr D I 9

<sup>5</sup> Anhang IV, S. 2: Inventar 1818, Minuten-Rädersonnenuhr D I 7

<sup>6</sup> Anhang IV, S. 4: Verzeichnis Löser 1766

## Reichsgraf Hans von Löser

Das in der Dübener Heide gelegene Wasserschloss in Reinharz gehörte im 18. Jhd. der Familie Löser. Hans von Löser (1704-1763) war sächsischer Konferenzminister und Erbmarschall und wurde als „[...] *großer Freund und Kenner der mathematischen Wissenschaften, besonders der Optik und Astronomie* [...]“<sup>7</sup> bezeichnet. Er errichtete in seinem Schloss Reinharz um 1740 eine mechanisch-physikalische Werkstatt, in der eine Reihe begabter Instrumentenbauer wissenschaftliche Instrumente herstellten.

Einer der Instrumentenbauer war Johann Gottfried Zimmer, Major und Hof- und Artillerie-Mechanikus.<sup>8</sup> Von ihm ist persönlich sehr wenig bekannt. Seine Tätigkeit in Reinharz wird lediglich durch seine signierten Instrumente belegt. Er fertigte mehrere Spiegelteleskope, Metallthermometer, Schrittzähler u.v.m. an. Nach dem Tod Lösers 1763 gingen viele aus seiner Werkstatt in Reinharz stammenden Instrumente in den Besitz des Mathematischen Salons über.<sup>9</sup> Aus dem ursprünglichen Bestand sind noch 20 Objekte im MPS erhalten, deren Herkunft eindeutig belegbar ist.

---

<sup>7</sup> Schumann, August, 1822. *Vollständiges Staats- Post- und Zeitungs-Lexikon von Sachsen*, Bd. 9, Zwickau, Gebrüder Schumann, S. 87 f

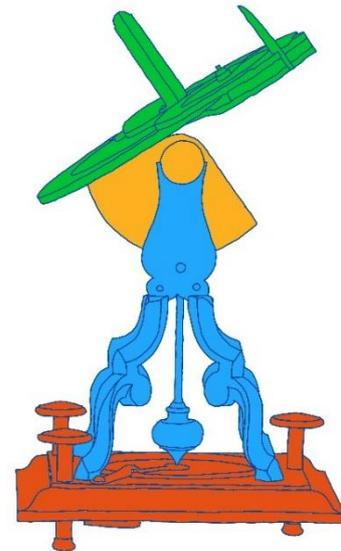
<sup>8</sup> Schillinger, Klaus, *Reichsgraf Hans von Löser (1704-1763) aus Schloss Reinharz – ein Liebhaber und Förderer des wissenschaftlichen Instrumentenbaus*. In: *Europa in der Frühen Neuzeit*. Bd. 6. Mittel-, Nord- und Osteuropa. Erich Donnert, 2012. Böhlau Verlag Köln, Weimar, S.532

<sup>9</sup> SCHUMANN, 1822. S. 87 ff

„Wurden nach dem Tod des Besitzers für den mathematischen Salon gekauft. Nur ein schöner Tubus ist im Schlosse zurückgeblieben.“

## 2.2. Objektbeschreibung

Die äquatoriale Sonnenuhr besteht aus vier Hauptgruppen: den beiden Zifferblättern, dem Quadrant, den Beinen mit dem Lot und der Grundplatte. Dafür verwendete Materialien sind: Messing, Messing vergoldet, Silber, Stahl und Glas.



*Abb. 2: Teilgruppen der Uhr, Zeichnung L. Hahmann*

Die beiden Zifferblätter (Abb. 05) bestehen aus vergoldeten Messingplatten, in welche jeweils ein massiver Silberring in eine Nut eingesetzt und vernietet wurde. Die Silberringe dienen als Stunden- bzw. Minutenskala mit römischen und arabischen Zahlen. Das größere, zentral angeordnete Stundenzifferblatt (Abb. 06) hat eine Zahleneinteilung von III bis XII und weiter bis IX, während das kleinere Minutenzifferblatt (Abb. 07) eine Zahleneinteilung von 0 - 60 in 5 Minutenschritten enthält. Die Zahlen wurden zur besseren Ablesbarkeit mit einer schwarzen Einlegemasse (Abb. 08) ausgefüllt. In die vergoldeten Flächen der Zifferblätter sind Blumenranken, Strahlen u.v.m. vor dem Vergolden eingraviert worden (Abb. 09). Ein transparenter Lack wurde nachträglich auf die Silberringe aufgebracht.

Das Minutenzifferblatt ist durch eine Ansatzschraube mit dem Stundenzifferblatt verbunden und somit zentral gelagert (Abb. 05). Ein mit der Minutenwelle verbundenes Trieb auf der Rückseite greift in den umlaufenden Zahnkranz des Stundenzifferblattes ein und überträgt somit beim manuellen Nachführen des Minutenzifferblattes die Drehbewegung auf den Minutenzeiger. Damit das Minutenzifferblatt eine gute Führung und Stabilität besitzt, umfasst es einer Spange ähnlich das Stundenzifferblatt und ist damit auch auf der Rückseite zentral gelagert (Abb. 10).

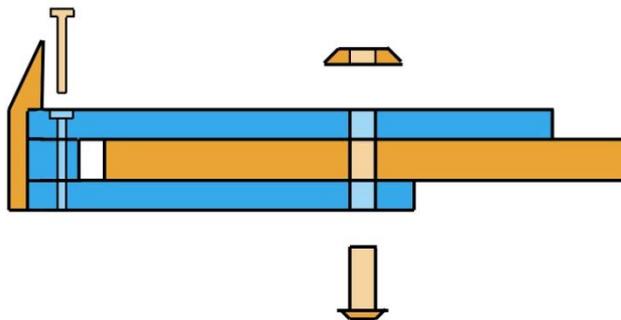


Abb. 3: Konstruktion der Lagerung der Zifferblätter

Blau: (oben) Minutenzifferblatt (MZB)

Braun: (mittig) Stundenzifferblatt

Blau: (unten) MZB-Lagerung

Auf den Innenseiten der Lagerstellen der Minutenwelle wurden Korrekturen der Lochgrößen mit sowohl fünf als auch sieben Punzen vorgenommen. Die Innenseiten sind nicht vergoldet (Abb. 11/12).

Auf dem Stundenzifferblatt ist eine silberne, mit Lack versehene, Projektionsfläche (Abb. 13) montiert, die den Schatten eines Lichtstrahls auffangen soll. Dazu besitzt sie eine eingravierte Gerade zur genauen Justierung, die ebenfalls mit einer schwarzen Füllmasse versehen ist.

Das Stundenzifferblatt ist mit zwei Schrauben am darunter liegenden Quadrant befestigt (Abb. 14). Dieser trägt eine Skala von 0-90° in Schritten jeweils eines Grades. Durch einen am Gestell feststehenden Zeiger kann der Quadrant und somit das Stundenzifferblatt auf den jeweiligen Breitengrad des Aufenthalts-ortes eingestellt werden.

Vier geschwungene Beine (Abb. 15) halten in einem abschließenden Lagergestell durch eine Schraube den Quadranten und somit auch die Zifferblätter. Die vier Beine, zusammengesetzt aus zwei Beinpaaren, sind mit zwei Schrauben miteinander verbunden, in deren Zentrum das Lot befestigt ist. Sie stehen auf einer quadratischen Grundplatte.

Die Grundplatte (Abb. 16) hat einen umlaufenden, geschwungen profilierten Sims. Im Zentrum der Platte befindet sich eine kreisrunde Öffnung. Eine kreisrunde Markierung für eine genaue Positionierung der Beine bei der Herstellung ist auf der Oberseite der Platte zu sehen. Die Schrauben für die Beine

sind aus Messing und haben relativ lange Köpfe (Abb. 17). Auf den vier Schraubenköpfen sind jeweils keine, eine, zwei oder drei Punzen zur Markierung eingeschlagen. In der ausgearbeiteten Öffnung befindet sich ein Kompass (Abb. 18), der darin eingesetzt wurde. Auf der Kompassanzeige sind die vier Himmelsrichtungen, sowie auf einen einzelnen Ring viermal 0-90° angegeben. Ein eingeritzter Pfeil ist auch auf der Kompassscheibe vorhanden und zeigt die Differenz des magnetischen Poles zum Nordpol an.

Ein Ring mit aufgeschnittenem Gewinde (Abb. 19), der in die Öffnung für den Kompass eingeschraubt wird und das Glas für den Kompass hält, besitzt eine geschwungene Form. Er hat eine Rändelung außen und ist nur an den sichtbaren Stellen vergoldet. Das Glas (Abb. 20) hat einen leichten Blaustich und ist im Zentrum stufenweise eingeschliffen. Die aus Stahl bestehende Kompassnadel (Abb. 21) ist an einem zylinderförmigen Messinglager aufgenietet. Der Stahl ist gebläut und das Messing vergoldet.

Die Sonnenuhr ist durch drei Feststellschrauben (Abb. 22) lotrecht einzustellen. Die Köpfe der Stellschrauben wölben sich (von innen nach außen) nach unten und haben am äußeren Rand eine Rändelung. Das Gewinde und die Unterseite des Kopfes sind nicht vergoldet. Am Ende des Gewindes dienen kleine Messingfüßchen als Standfläche, wobei ein Füßchen verlorengegangen ist (Vorderseite links).

Auf der Unterseite der Grundplatte (Abb. 23) stehen drei verschiedene Inventarnummern: D I 7 (aktuell), III 74 und C.19. Die Nummern wurden mit einer schwarzen Farbe (Tusche?) aufgebracht und bei der aktuellen Inventarnummer nochmals überlackiert. Auf der Rückseite ist eine eingesetzte Messingplatte, die Grundplatte des Kompass, sichtbar, möglicherweise wurde der Kompass von unten eingesetzt. Mit Hilfe eines Hebels, der sich auf der Unterseite befindet, kann bei Nichtbenutzung die Nadel angehoben und somit die Lagerstelle entlastet werden.

**Maße:**

Einzelteil	Länge (mm)	Breite (mm)	Höhe (mm)	Durchmesser (mm)	Stärke (mm)	Steigung (mm)
Minutenzifferblatt	102,0	51,8			2,0	
Stundenzifferblatt				87,0	2,5	
Grundplatte	98,5	98,0	9,9	(Kompass) 55,0		
Ring (auf Kompass)				(außen) 56,5 (innen) 49,0		
Kompassglas				52,0		
Lot	64,8			(Kugel) 16,0		
Standfüße	104,0	63,8				
Winkel	42,0	38,0			2,0	
MZB Lagerung	80,5	33,4			1,6	
Stellschraube	36,3			(Kopf) 16,0		(Gewinde) 1,0
Schattenwerfer	32,0	12,4	(Schatten- stab) 24,7		2,8	
Kompassnadel	42,5		2,8		0,3	
Schraube für SZB + Lagerung MZB	12,0			(Kopf) 15,0		(Gewinde) 1,0
Schrauben für Beine	14,0			(Kopf) 4,6		(Gewinde) 0,75
Projektionsfläche	32,4	8,7			0,7	

### 2.3. Funktion

Die äquatoriale Sonnenuhr besteht aus zwei unterschiedlichen Zifferblättern (Abb. 05), die einerseits die Stunden eines Tages und andererseits die Minuten einer Stunde angeben können. Diese müssen manuell und nach dem Stand der Sonne eingestellt werden. Äquatorial heißt, dass die Neigung der Zifferblätter entsprechend des jeweiligen Breitengrades eingestellt werden muss, damit sie parallel zum Äquator stehen.

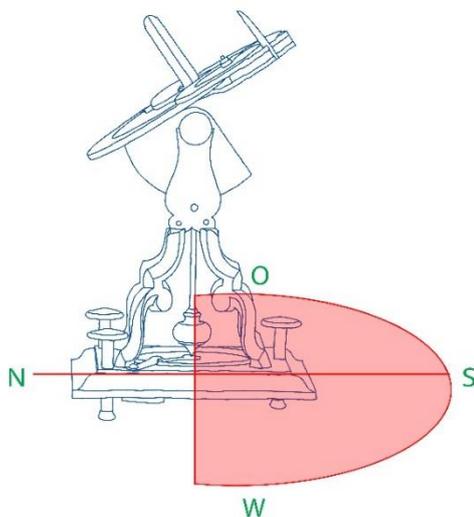


Abb. 4: Aufstellung der Sonnenuhr in N/S -Richtung

Zuerst wird die Uhr mittels Kompass in Nord-Süd Richtung gestellt. Die „Rückseite“ der Uhr muss dabei Richtung Süden zeigen. Nur so wird durch die Sonne, die von Osten, über Süden, nach Westen wandert, mittels Schattenstab ein Schatten an der Projektionsfläche erzeugt.

Danach muss der Breitengrad des jeweiligen Ortes am Quadranten eingestellt werden, wobei der Winkel (Neigung) der Zifferblätter zur Grundplatte verändert wird. Durch die drei Feststellfüße und das Lot wird die Sonnenuhr in eine lotrechte Position gebracht.

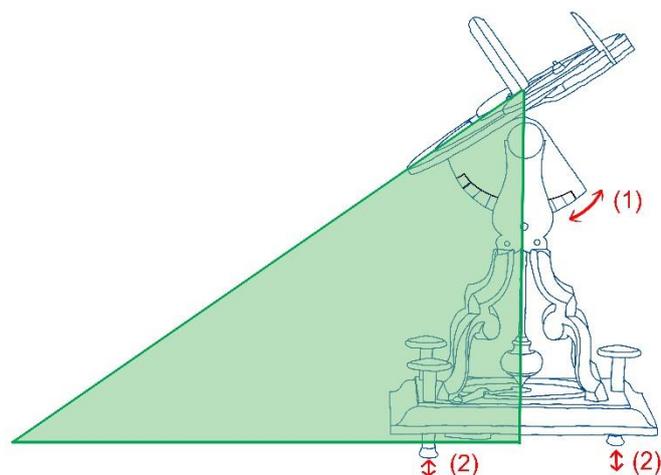


Abb. 5: Breitengradeinstellung am Quadranten (1) und lotrechte Positionierung an Stellschrauben (2), Dreieck zeigt Winkel der Zifferblätter zum Untergrund

Nun muss das Minutenzifferblatt so um das Stundenzifferblatt herum geführt werden, dass der Schatten, der vom Schattenwerfer erzeugt wird, mittig auf die Projektionsfläche fällt. Beim Herumführen des Minutenzifferblattes rotiert der Minutenzeiger, da dessen Trieb den außenliegenden Zahnkranz des Stundenzifferblattes abgreift.

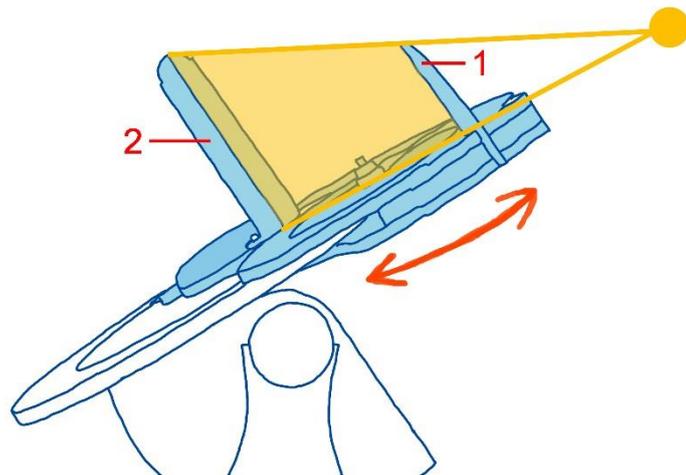


Abb. 6: Schattenwerfer (1) erzeugt einen Schatten auf der Projektionsfläche (2)

Dann kann man die Minuten am Minutenzeiger, sowie die Stunden am Stundenzeiger, welcher mit dem Minutenzifferblatt verbunden ist, ablesen. Um die aktuelle Zeit anzuzeigen, muss die Uhr immer wieder neu eingestellt werden. Eine Besonderheit ist die minutengenaue Ablesbarkeit.

Diese spezielle Sonnenuhr ist durch ihre verschiedenen funktionalen Einbauten universell verwendbar (z. B. Änderung des Breitengrades). Gerade für Handelsleute, die lange Reisen zu Lande unternehmen mussten, war die Sonnenuhr ein idealer Zeitmesser. In einem Etui konnte sie gut und sicher transportiert werden.

## 2.4. Herstellungstechnik

Bei der Grundplatte und den zwei Beinpaaren handelt es sich wahrscheinlich um Messinggüsse. Dafür sprechen die komplexen Formen dieser Teile (Abb. 01-04), die durch einen Guss einfacher herzustellen sind. Die groben Feilspuren (Abb. 24) auf der Rückseite der Platte und die gerade bei der Grundplatte und den Beinen vorhandenen Lunken unterstützen diese Annahme (Abb. 25). Nach dem Guss wurden sie gefeilt und weiter nachgearbeitet mit dem Ziel, ebene Oberflächen zu schaffen. Ob die zentrale Öffnung für den Kompass bereits in der Gussform vorhanden war, kann aus derzeitiger Sicht nicht gesagt werden.

Die meisten Einzelteile wurden aus Messing- oder Silberblech hergestellt. Dabei wurden sie vermutlich erst ausgesägt und nach dem Herstellen der Grundform, konnten Löcher für Schrauben gebohrt werden. Im Falle der Zifferblätter wurde eine breitere Nut in das Blech eingedreht, um darin später die Silberringe einzulassen.

Die Feststellschrauben (Abb. 22) und das Lot (Abb. 26) wurden aus einem Rundmaterial gedreht oder gefeilt. Der Ring, der das Kompassglas hält (Abb. 19), wurde gedreht und ein Gewinde eingeschnitten.

Viele Bereiche der Sonnenuhr sind graviert, wie die Zifferblätter, der Quadrant und der Kompass. Auf den vergoldeten Flächen, in der die Ziffernringe eingelassen sind, wurden vor allem Blumenranken, Strahlen und ein wellenförmiger Kreis graviert (Abb. 09). Die Gravuren des Kompasses und der Silberringe dienen der Zahlen- oder Gradeinteilung und sind auf den silbernen Untergründen mit einer schwarzen Masse ausgefüllt.

Alle sichtbaren Messingteile der Sonnenuhr wurden vergoldet, nach der Herstellungszeit ist auf eine Feuervergoldung zu schließen. Anschließend konnten die silbernen Ringe in die Zifferblätter eingesetzt und mit Silbernieten vernietet werden (Abb. 10/12). Alle Teile wurden zusammen montiert.

## 2.5. Mögliche Zuschreibung

Wie schon erwähnt, wird die Minuten-Sonnenuhr Johann Gottfried Zimmer aus der Werkstatt des Reichsgrafen Löser zugeschrieben. Sie ähnelt einer anderen Sonnenuhr (Inv.-Nr.: D I 9), die die Signatur „J.G. Zimmer A Reinhartz“ besitzt, und ebenfalls 1818 im Inventar des MPS verzeichnet wurde. Optisch unterscheiden sich die beiden Uhren in einigen Details.

Das Stundenzifferblatt besteht aus Silber und ist im Gegensatz zur bearbeiteten Sonnenuhr mit einem „L“ (für Löser) signiert. Der römische Ziffernkranz läuft in einem kunstvoll gravierten, geschwungenen Band aus (Abb. 29). Das Minutenzifferblatt ist aus vergoldetem Messing. Auf ihm sind keine künstlerisch gestalteten Gravuren zu finden. Beide Zifferblätter haben keine eingesetzten Ziffernringe. Eine weitere Signatur „J. G. Zimmer A Reinhartz“ ist auf dem Quadrant zu finden (Abb. 27). Der Schattenwerfer, sowie die Projektionsfläche sind beide aus vergoldetem Messing und anders positioniert als bei der vorher beschriebenen Uhr. Sie ragen über das Minutenzifferblatt hinaus. Auch der Ring, der das Lot begrenzt (Abb. 28), wurde nicht über dem Kompassglas, sondern mit Streben am Stiel des Lotes angebracht. Die Uhr besitzt vier Stellschrauben.

Dennoch sind viele Ähnlichkeiten gegeben; wie z. B. die Zahlen, die auf dem Minutenzifferblatt arabisch und auf dem Stundenzifferblatt römisch sind (Abb. 29). Auch der gesamte Aufbau und die Form der Uhr (geschwungene Beine) deuten auf einen gemeinsamen Ursprungsort hin.



Abb. 7: Sonnenuhr Inv.-Nr.: D I 9, MPS Dresden

Zwei weitere Uhren wurden in Folge der Recherchearbeit gefunden. Sie ähneln der Sonnenuhr mit der Inv.-Nr.: D I 7 noch mehr als die mit Löser signierte, können jedoch auch keine Signatur aufweisen und werden in der Literatur J. G. Zimmer zugeschrieben.

Eine dieser Uhren ist als Abbildung in dem Buch „Wissenschaftliche Instrumente



in ihrer Zeit“<sup>10</sup> 2010 von Ralf Kern zu finden. Obwohl sie einige künstlerische Unterschiede aufweist ((Abb. 30) blumenförmige Gravur mit schwarzer Einlegemasse; Ring um Lot besitzt andere Form und Position), ist die Ähnlichkeit doch sehr deutlich sichtbar.

Als Referenz wird im Buch die Sonnenuhr mit der Inv.-Nr.: D I 9 des MPS angegeben. Informationen zum Hintergrund, Hersteller oder Besitzer der Uhr werden in dem Buch nicht genannt.

*Abb. 8: Sonnenuhr aus „Wissenschaftliche Instrumente in ihrer Zeit“ von Ralf Kern*

Eine ähnliche Uhr wurde in einem Ausstellungskatalog der Galerie Delalande gefunden. Delalande besitzt nicht nur eine Ausstellungsgalerie in Paris, sondern verkauft auch Antiquitäten. Im Katalog wird sie wie folgt beschrieben:

*„1750 – Zuschreibung zu Johann Gottfried Zimmer – Reinhartz*

*Äquatoriale und mechanische Sonnenuhr mit Minutenanzeige*

*Vergoldetes Messing, Silber, Stahl und Glas*

*Platine: 99x99 mm, Höhe: 200 mm, Durchmesser des Zifferblattes: 88 mm*

*Referenz:*

<sup>10</sup> Kern, Ralf, 2010. *Wissenschaftliche Instrumente in ihrer Zeit*. 3 Bd., Köln, Verlag der Buchhandlung Walther König, ISBN 978-3-86560-867-3, S. 197

*Eine Uhr mit naher Signatur << J. G. Zimmer A Reinharz >> um 1760, ist im Museum in Dresden, siehe Grötzsch, 1978, S. 12 (Dresden, Inv.-Nr.: DI7). Eine andere, in Kern-Sammlung, Bd.3, Nr. 53<sup>11</sup>*

Sie ist äußerlich mit der Sonnenuhr (Inv.-Nr. D I 7) fast identisch, die Maße der Uhren sind gleich. Im Katalog wird die Inschrift „HAUTEURS du pole“<sup>12</sup> auf der Rückseite des Stundenzifferblattes beschrieben. Die Galerie Delalande wurde wegen Informationen zu ihrer Sonnenuhr per E-Mail kontaktiert, bisher gab es keine Antwort.



Abb. 9: Sonnenuhr der Galerie Delalande



Abb. 10: Sonnenuhr (Inv.-Nr.: D I 7), MPS Dresden

Da sich alle Hintergrundinformationen vor allem auf die Sonnenuhr (Inv.-Nr.: D I 9) des MPS stützen, ist eine eindeutige Zuschreibung ohne gründlichere Recherche nicht möglich. Wichtig sind dabei auch zerstörungsfreie Materialuntersuchungen, die eine Zuschreibung aufgrund identischer Legierungsbestandteile unterstützen könnten.

<sup>11</sup> Delalande, Dominique und Eric, 2013. *Cadrans Solaires. Sundials* (Exhibition). Paris, Galerie Delalande, S. 310

<sup>12</sup> DELALANDE, 2013. S. 310

„Die Rückseite der Messingvergoldeten Stundenscheibe ist mit einer Liste von 26 Städten mit ihren Breitengraden (von 38° zu 60°), sowie der Inschrift <<HAUTERS du pole>> graviert.“

### 3. ZUSTAND

Das Objekt wurde vom Museum bis 2007 im Uhrensaal, dem heutigen Festsaal, ausgestellt. Frühere Restaurierungsarbeiten sind derzeit nicht dokumentiert. Eine kurze Bestandsaufnahme liegt von L. Hasselmeyer von 1994 vor:

*„Alle silbernen Bauteile sind zum Teil schwarz angelaufen. Die Messing vergoldeten Teile sind durch Abnutzung und Alterung an einigen Stellen beschädigt. An einem der drei Stellfüße fehlt der kleine vergoldete Messingfuß.“<sup>13</sup>*

Die gesamte Uhr ist in einem relativ guten Zustand. Sie zeigt viele Gebrauchspuren; wie Kratzer, auch Poren und kleine Lunken, sowie grüne punktuell auftretende Korrosionsprodukte. Besonders an Verschraubungen und Kanten sind Verschmutzungen zu finden. Nicht vergoldetes Messing, wie das Gewinde der Feststellschrauben oder die Unterseite der Grundplatte, hat eine typisch bräunliche Patina gebildet.

Die silbernen Teile, wie z.B. die Ziffernringe auf den Zifferblättern und die Kompassanzeige, sind an kleinen Stellen schwarz korrodiert (Abb. 06/07). Vor allem an Lackfehlstellen des Stundenziffernrings und an den, mit Luft in Kontakt gekommenen, Nieten des Minutenziffernrings, hat sich schwarzes Silbersulfid gebildet (Abb. 12/31).

Auch auf der vergoldeten Messingscheibe des Minutenzifferblattes im Bereich des Silberrings (Abb. 32), unter den Zahlen 5 bis 35, sind schwarze Verfärbungen erkennbar, sowie auf einer kleinen Stelle am Zeiger an einer Verbindungsstelle zur silbernen Projektionsfläche (Abb.33). Auf der Vergoldung des Stundenzifferblattes sind diese Verfärbungen in der Nähe des Silberrings zwischen den Zahlen IX bis XI (Abb. 34), sowie V bis VI und an der Rückseite an den Silbernieten zu finden (Abb. 35-38).

Grüne Korrosionsprodukte sind an vielen Stellen des Objekts festzustellen (Abb. 17/24/39), wie z.B. am Stundenzeiger, an einer Stellschraube, auf der

---

<sup>13</sup> Anhang IX, S.1-2: Bestandsaufnahme Lothar Hasselmeyer

Kontaktstelle der Beinpaare, sowie auf der Rückseite der Grundplatte (unterer Bereich, links). In und um die Bohrungen für die Befestigungsschrauben der Beine, sowie um den Ring, der das Glas für den Kompass hält, sind ebenfalls grüne Korrosionsprodukte sichtbar. Gerade die Schrauben für die Beine haben viele grüne Korrosionsprodukte. Diese Erscheinung tritt vor allem an Kontaktstellen zum Messing auf bzw. kommt durch die Vergoldung hindurch. Die Vergoldung des Messingzylinders, auf den die Kompassnadel genietet ist, ist nicht mehr intakt (Abb. 21), sondern hat schwarze Stellen (Messingpatina?). Die Kompassanzeige aus Stahl (Abb. 18) besitzt partiell auftretende schwarze Korrosionsprodukte.

Die Rückseite des Minutenzifferblattes weist viele Bearbeitungsspuren auf (Abb. 12), die von einer Feile stammen könnten. Die Spitze des Zeigers ist leicht verbogen. Am Zentrum des Stundenzifferblattes gibt es einen kreisförmigen Kratzer bzw. Einkerbung (Abb. 06).

Auf dem gesamten Objekt sind viele Poren und Lunker zu sehen, z. B. an der Rückseite des Stundenzifferblattes (Abb. 40), auf der Grundplatte (Abb. 25) und auf dem Winkel. Auf der Rückseite des Stundenzifferblattes ist der Abdruck des Winkels (Abb. 41) durch Verschmutzungen erkennbar. Auf der Grundplatte sind einige Kratzer zu entdecken. Im Bereich des Zentrums des Kompassglases befindet sich ein ca. 10 mm langer Riss (Abb. 42). Auch die Projektionsfläche hat mehrere Risse im unteren Bereich im Material (Abb. 43).

Auf der Rückseite der Grundplatte ist die für Messing typisch dunkle Patina, ein großer Lunker (unten mittig) und Bearbeitungsspuren (z. B. Druckspuren, um die eingesetzte runde Scheibe in die Öffnung hinein oder heraus zu drücken) zu erkennen (Abb. 23). An der Rückseite, wo sich beide Beinpaare berühren, sind Bearbeitungsspuren (Anriss), Abriebsspuren und Messingpatina sichtbar. Auf dem Winkel sind ebenfalls Abriebsspuren erkennbar (Abb. 44).

Auf der Rückseite, an der Verbindungsstelle zum Winkel (Abb. 41), und zwischen den Zähnen des Stundenzifferblattes sind weiße Ablagerungen auszumachen

(Abb. 45). Weißes Material hat sich ebenfalls in der Öffnung des einen Beinpaars, durch die man die Winkelgrade erkennen kann, und an der Rückseite des Schattenwerfers abgelagert.

Im Randbereich der Vertiefung für den Kompass (Abb. 18), am Stiel und an der Spitze des Lots (Abb. 26) und in dem Ring, der das Kompassglas hält, sind Schmutzablagerungen zu finden. An der Verbindungsstelle der vier Beine zur Grundplatte sind Abdrücke von nicht definierten Ablagerungen (Schmutz, Putzmittel) vorhanden (Abb. 18/46). Auch der Bereich um die Stellschrauben ist verschmutzt. In und um die Löcher für die Standfüße, sowie des Winkels ist Schmutz sichtbar. In den Gravuren haben sich leichte Verschmutzungen abgelagert. Das Glas des Kompasses ist leicht verstaubt (Abb. 42). Auch an der Verbindungsstelle des Ziffernringes mit dem vergoldeten Träger sind Schmutzablagerungen vorhanden (Abb. 45/47).

Die silbernen Ziffernringe, sowie die Projektionsfläche sind mit einem transparenten Lack überzogen. Ein Messingfuß für eine der Stellschrauben fehlt.

### 3.1. Zustandsänderungen

Um die Ursache und Herkunft des Schadensbildes der schwarzen Verfärbungen zu analysieren, muss die Geschichte des Objektes, sowie dessen Erscheinungsbild über die Jahre geprüft werden. Es liegen derzeit Abbildungen aus fünf verschiedenen Epochen von der Sonnenuhr vor. In einem Zeitungsartikel der Leipziger Uhrmacher-Zeitung von 1905 wird über diverse Uhren des MPS berichtet, in der als erstes die Sonnenuhr abgebildet wurde.<sup>14</sup> Im Bild ist der silberne Ziffernring blank und es sind noch keine Verfärbungen auf der Vergoldung zu erkennen. Auch der jetzt fehlende Feststellfuß ist noch vorhanden.

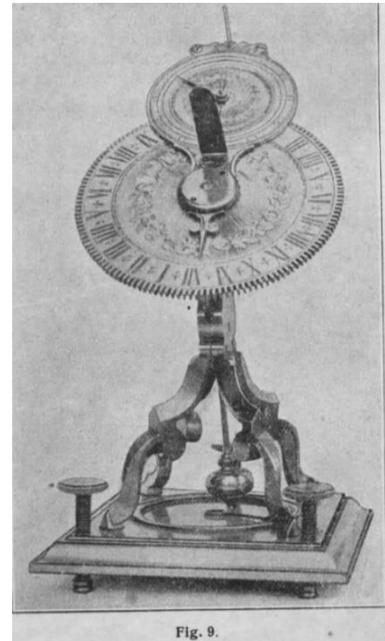


Abb. 11: Abbildung um 1900, Fotograf unbekannt



Die nächsten noch existierenden Abbildungen<sup>15</sup> der Sonnenuhr müssen anhand des verwendeten Filmmaterials (AGFA-ISOPAN F aus Nitrocellulose) aus der Zeit um 1936 – 1980 stammen.<sup>16</sup> Der silberne Ziffernring ist hier schwarz angelaufen, jedoch sind auch hier noch keine Verfärbungen auf der Vergoldung auszumachen. Der Feststellfuß fehlt aber bereits.

Abb. 12: Abbildung von 1936-1980, Fotograf unbekannt

<sup>14</sup> Anhang IV: Historische Aufzeichnungen, S. 5, Leipziger Uhrmacher-Zeitung 1905

<sup>15</sup> Anhang IV: Historische Aufzeichnungen, S. 6, Abbildungen

<sup>16</sup> Walter Widmer, 2006. In: fotocommunity GmbH, 2016. *Uralter Agfa Isopan F (Fragen dazu)*. Köln:

fotocommunity GmbH, 14.09.06 [Zugriff 09.12.16]. Verfügbar unter:

<http://www.fotocommunity.de/forum/analoge-fotografie/uralter-agfa-isopan-f-fragen-dazu---35790>

Das dritte Foto konnte bisher keiner Zeit sicher zugeordnet werden, jedoch wird aufgrund der besseren Qualität auf ein Bild nach 1960 geschlossen. Das Foto wurde für eine Bestandsaufnahme<sup>17</sup> kopiert und auf das Dokument geheftet, das Negativ ist leider nicht vorhanden.

Es sind keine Verfärbungen auf der Vergoldung sichtbar. Der silberne Ziffernring wurde jedoch freigelegt und scheint lackiert worden zu sein. Dies wird auf das schwammige Aussehen des Ziffernrings, bei dem Pinselstriche auf dem Stundenzifferblatt rechts oben sichtbar sind, zurückgeführt.



Abb. 13: Abbildung um 1960, Fotograf unbekannt

Ein weiteres Foto wurde im Zusammenhang mit dem Katalog „Kostbare Instrumente und Uhren aus den Staatlichen Mathematisch-Physikalischen Salon Dresden“<sup>18</sup> von Jürgen Karpinski 1992 gemacht.



Der Ziffernring (SZB) weist Lackfehlstellen auf, an denen sich Silbersulfid gebildet hat. Des Weiteren sind bereits schwarze Verfärbungen auf der Vergoldung in der Nähe der Ziffernrings entstanden. Diese sind im Bereich des Minutenzifferblattes zwischen der achten bis zur achtzehnten Minutenteilung zu finden und haben somit noch nicht das Ausmaß des heutigen Zustands angenommen. Sehr gut zu beobachten ist ebenfalls, dass diese Verfärbungen, erst braun waren und mit der Zeit schwarz wurden (Abb. 48).

Abb. 14: Abbildung von J. Karpinski, 1992

<sup>17</sup> Anhang IX, S.1-2: Bestandsaufnahme Lothar Hasselmeyer

<sup>18</sup> Schillinger, Klaus, 1994. *Kostbare Instrumente und Uhren aus dem Staatlichen Mathematisch-Physikalischen Salon Dresden*. Leipzig, Seemann Verlag

Die letzten Fotos wurden 2016 aufgenommen und zeigen, dass die schwarzen Stellen sich weiter ausgebreitet haben und dunkler geworden sind (Abb. 05).



*Abb. 15: Vgl. der Abbildungen 1992-2016*

*Blau: Bereich der Verfärbungen zur Zeit der Aufnahmen von Karpinski, 1992*

*Rot: Heutiger Bereich der Verfärbungen*

Es kann davon ausgegangen werden, dass der Lack absperrend wirkt, da an Stellen, wo der Lack auf der Vergoldung liegt, keine Verfärbung aufgetreten ist (Abb. 09/ 34). Ebenso lässt dies den Schluss zu, dass die schwarzen Verfärbungen erst nach dem Auftragen des Lackes entstanden sind, da unter dem Lack keine derartigen Veränderungen zu finden sind. Nach den Daten der Fotos zufolge wurde der Lack zwischen 1936 (erstes mögliches Aufnahmedatum des 2. Fotos) und 1992 aufgebracht.

Bei einer Überarbeitung des Silbers wurde mit Putzmitteln gearbeitet, die womöglich die Korrosion förderten und Ursache der Entstehung der schwarzen Verfärbungen sein können.

#### 4. ÜBERBLICK ÜBER OBJEKTE MIT ÄHNLICHEM SCHADENSBIKD

Obwohl das Phänomen der schwarzen Verfärbungen relativ selten ist, konnten einige Beispiele mit einem ähnlichen Schadensbild gefunden werden. Meist handelt es sich dabei um Messing vergoldete Gegenstände, die mit Silber in Verbindung stehen.

Im MPS waren auf der Platine (Abb. 89) einer Taschenuhr (Inv.-Nr.: D IV a 223) und auf einer Säule (Abb. 92) des Gehäuses der Baldewein-Uhr (Inv.-Nr.: D IV d 4) schwarze Verfärbungen auf der Vergoldung sichtbar. Im Fall dieser beiden Objekte wurden keine Untersuchungen durchgeführt. Die Verfärbungen wurden mechanisch durch Schleifmittel abgetragen.

Auf der vergoldeten Messingplatine der Taschenuhr befindet sich aufgeschraubt ein silbernes Blech mit Skaleneinteilung. Im Rahmen der damaligen Restaurierung (Abb. 89) wurde es abgenommen. Sehr deutlich zu erkennen ist die Abgrenzung der Verfärbung bei den Gravuren (N, 9). Bei der Bestandsaufnahme der Baldewein-Uhr wurden viele weiße Putzmittelrückstände in Tiefen und Hinterschneidungen gefunden.

Auch im Grünen Gewölbe der SKD gibt es ein Objekt (Aigrette, Inv.-Nr.: VIII 24), bei dem eine silberne Halterung mit Gold in Verbindung steht und sich schwarze Verfärbungen, ausgehend vom Silber, auf das Gold zogen (Abb. 90). Im Restaurierungsbericht von Eve Begov (2003), Restauratorin des Grünen Gewölbes, wurden weiß-pudrige Rückstände von Reinigungsmitteln früherer Restaurierungen dokumentiert. Die Verfärbungen wurden im Zuge der Restaurierung des Objekts nicht entfernt.

In der Museumslandschaft Hessen Kassel (MHK) wurden ebenfalls schwarze Verfärbungen auf einer Uhr von Jost Bürgi gefunden (Abb. 91), die ähnlich wie bei der Sonnenuhr vom silbernen Ziffernring auszugehen scheinen. Nach einer Abbildung von 1979 waren die Verfärbungen auf der Uhr noch nicht sichtbar, berichtet Michael Beck, Restaurator des MHK. Das Uhrwerk wurde vermutlich ab 1980 vom Gehäuse getrennt und könnte als Folge einer Restaurierung gereinigt worden sein.

Die nahezu baugleiche Rädersonnenuhr mit der Inv.-Nr.: D I 9 des MPS besitzt Ansätze von schwarzen Verfärbungen. Diese befinden sich auf der Rückseite des Stundenzifferblattes an Silberschrauben (Abb. 49), die mit der vergoldeten Messingoberfläche verbunden sind. Diese Erscheinungen ähneln sehr den Verfärbungen an den Nieten der zu bearbeitenden Sonnenuhr (Inv.-Nr.: D I 7). Um die Schrauben ist zuerst eine hellere Vergoldung zu sehen, die Ränder sind schwarz verfärbt. Auch eine Art „Fingerabdruck“ ist an einer Schraube zu erkennen. Das Phänomen auf der Sonnenuhr (Inv.-Nr.: D I 9) ist womöglich ein Anfangsstadium der dann noch dunkler werdenden Verfärbungen bzw. Reste einer nicht vollständigen Beseitigung der Verfärbungen.



*Abb. 16: Verfärbungen an Schraube  
(Inv.-Nr.: D I 9)*



*Abb. 17: Verfärbungen um Niete  
(Inv.-Nr.: D I 7)*

Als Schlussfolgerung kann davon ausgegangen werden, dass Silber der Grund dieser Verfärbungen ist. Da es nur auf vergoldeten Flächen bzw. auf Gold diese Verfärbungen gegeben hat, kann weiter auf eine Reaktion zwischen Silber und Gold geschlossen werden. Bei den meisten Objekten wurden Putzmittelrückstände gefunden, die vermutlich die Korrosion begünstigen oder sogar ein Aktivierungsmechanismus dieser Reaktion sein können. Dies müsste weiter untersucht werden.

## 5. AUFGABENSTELLUNG

Die Sonnenuhr soll durch verschiedene Methoden untersucht werden, die Aufschluss über Materialität, Bearbeitungstechniken, Oberflächenbehandlungen und möglicherweise Entstehung oder Ursachen der Verfärbungen geben können.

Die wichtigsten Fragen, die geklärt werden sollen, sind:

- Was sieht man?
- Was sind die schwarzen Verfärbungen?
- Wie sind sie entstanden?
- Wie kann man die Verfärbungen entfernen?
- Wie kann man verhindern, dass sie wieder auftreten?

Die UV-Untersuchungen sollen den auf den Ziffernringen befindlichen Lack sichtbar machen. Möglicherweise werden Auffälligkeiten in der Lackierung sichtbar, die in Zusammenhang mit den schwarzen Verfärbungen gebracht werden können.

Durch die Untersuchungen mittels FTIR-Spektroskopie sollen Fragen zur Art der Beschichtung der Ziffernringe, sowie des Einlegematerials in den Gravuren geklärt werden. Die Analysen dienen einer zeitlichen Einordnung bzw. geben Aufschluss über mögliche Bearbeitungstechniken oder ehemalige Oberflächenbehandlungen.

Ziel der Hauptuntersuchungen durch die Ionenstrahl-Analyse ist es, die Zusammensetzung der schwarzen Verfärbungen zu verifizieren. Dadurch können geeignete Behandlungen dieser Stellen vorgenommen, sowie möglicherweise Erkenntnisse zur Entstehung dieser Verfärbungen gewonnen werden. Die materialspezifischen Analysen können ebenfalls Rückschlüsse auf die Herstellung des Objekts geben. Dazu müsste die signierte Sonnenuhr von Johann Gottfried Zimmer (Inv.-Nr.: D I 9) untersucht werden, um Aufschluss über gleiche Legierungsbestandteile zu geben. Dies ist im Rahmen der Bachelor-Arbeit nicht möglich.

Als Vergleich zu den Ionenstrahlmethoden werden ebenfalls Röntgenfluoreszenz-Analysen durchgeführt.

Im Mathematisch-Physikalischen Salon wird in Erwägung gezogen, im Rahmen einer zukünftigen Restaurierung der Sonnenuhr, die schwarzen Verfärbungen zu entfernen. Als Vorbereitung für die Bachelor-Arbeit wurden daher im Projekt M15 an Probekörpern mechanische, chemische, elektrolytische und mit Laser Freilegungsversuche durchgeführt und dokumentiert. Auf Grundlage dieser Ergebnisse kann ein geeignetes Restaurierungs- und Konservierungskonzept erstellt werden.

## **6. UNTERSUCHUNGEN**

Um alle Teile der Sonnenuhr untersuchen zu können, wurde das Objekt demontiert. Die Untersuchungen fanden im Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf, in der Rüstkammer Dresden, sowie der Hochschule für bildende Künste Dresden statt. Dr. Michael Mäder, wissenschaftlicher Mitarbeiter der SKD, führte die RFA- und IBA-Analysen durch.

### **6.1. Demontage**

Als erstes sollte das Minutenzifferblatt abgenommen werden. Dazu musste ein Werkzeug hergestellt werden, welches in die Löcher der zentral auf dem Stundenzifferblatt aufgeschraubten Mutter passte. Ein Messingblech wurde so ausgesägt, dass zwei Stifte stehen blieben (Abb. 50). Diese passgenauen Stifte konnten in das Lochpaar der Mutter (Abb. 05) eingesetzt werden und sie somit abschrauben. Jedoch konnte das Minutenzifferblatt nicht abgenommen werden, da die Schraube zum Lösen des Zifferblattes unter dem Quadranten platziert ist. Es wurden zunächst die Zifferblätter und der Quadrant von den Beinen gelöst. Dafür wurde ebenfalls ein Werkzeug mit Stiften angefertigt. Anschließend konnte der Quadrant von den Zifferblättern abmontiert werden. Dadurch wurde die Schraube, die die Zifferblätter zusammen hielt, frei (Abb. 10) und die Zifferblätter

ließen sich auseinander nehmen. Die restlichen Teile der Zifferblätter (z. B. Minutenzeiger, Projektionsfläche) wurden nun Stück für Stück demontiert.

Danach wurden die Beine von der Grundplatte geschraubt und auch die Beinpaare durch Lösen der Schrauben getrennt. Der Ring, der das Kompassglas hält, konnte erst nach einigen Mühen gelöst und abgeschraubt werden. Als letztes wurden die Feststellschrauben demontiert.

## **6.2. Makroskopische und mikroskopische Untersuchungen**

Bei der ursprünglichen Aufstellung der Sonnenuhr, sind die schwarzen Verfärbungen auf den Zifferblättern im rechten, unteren Bereich auf der vergoldeten Oberfläche (Abb. 05). Die Verfärbungen werden durch Laufspuren des Lackes, der sich vermutlich auf dem silbernen Ring befindet, begrenzt bzw. sind keine Verfärbungen an den versehentlich mit Lack überzogenen Vergoldungen vorhanden. Diese Verfärbungen scheinen von den Gravuren beeinflusst zu sein, und treten in diesen Bereichen verstärkt oberhalb und weniger in den Tiefen der Gravuren auf (Abb. 51). Ebenfalls ist immer eine Verbindung zu Silber vorhanden, z. B. bei den Zifferblättern zu den Ziffernringen, auf der Rückseite des SZB zu den Silbernieten oder auf dem MZB zu der silbernen Projektionsfläche (Abb. 52).

Die Verfärbungen sind auf dem Minutenzifferblatt halbkreisförmig an der Verbindung zum silbernen Ziffernring sichtbar. Auf den größeren verfärbten Stellen des MZB kann man eine Farbvarianz von Braun zu Schwarz erkennen (Abb. 09). Unter dem Mikroskop ist an einer Stelle eine fleckenartige Erhöhung auf der Verfärbung deutlich (Abb. 53).

Um die Nieten auf der Rückseite des Stundenzifferblattes erscheinen die Verfärbungen inhomogen (Abb. 35-38). Die dunkelsten Verfärbungen liegen wenige Millimeter von der jeweiligen Niete entfernt, d. h. an der äußeren Begrenzung des Fleckes. Auch bläulich-grünliche Punkte sind auf einer verfärbten Stelle zu finden (Abb. 35).

Die Verfärbungen scheinen auf den Vorderseiten der Zifferblätter von außen (Ziffernring) nach innen auszulaufen und „dünner“ zu werden, während sie bei den Nieten (Rückseite SZB) von innen nach außen auslaufen und in einem dunkel bis schwarz abgegrenzten Randbereich enden.

### **6.3. UV-Untersuchungen**

Die UV-Untersuchungen dienen dem Sichtbarmachen des auf den Ziffernringen befindlichen Lackes. Möglicherweise werden Lackfehlstellen sichtbar, die in Zusammenhang mit den schwarzen Verfärbungen gebracht werden können.

Einige Fehlstellen des Lackes (z. B. auf dem mit Blumen gravierten Stundenziffernring) sind festzustellen (Abb. 54/55). Auch einige dünnere Lackschichten sind erkennbar, unter denen sich auf dem Silber bereits Silbersulfid gebildet hat.

Der Lack wurde nicht bündig zu der vergoldeten Fläche aufgetragen, es gibt einige Laufspuren, die sich auf der Vergoldung befinden. Die mit Lack bedeckten vergoldeten Flächen weisen keine Verfärbungen auf, sondern schließen bündig an den Lack an, sodass dieser vermutlich eine absperrende Wirkung besitzt.

#### 6.4. FTIR - Spektroskopie

Die Uhr wurde mittels Infrarot-Spektroskopie untersucht. Es sollten einerseits die Bestandteile des Lackes, die Einlegemasse in den Gravuren, ein Putzmittelfleck auf der Rückseite des Stunden-Zifferblattes, sowie eine Probe einer weißen Ablagerung (wahrscheinlich Putzmittel) analysiert werden.

Die Untersuchungen sind erforderlich, um auf einen originalen oder erst später aufgetragenen Lack schließen zu können. Der Lack besitzt außerdem Fehlstellen, wodurch seine Schutzfunktion nicht mehr gewährleistet ist. Er könnte aus diesem Grund oder aufgrund seines Alters möglicherweise abgenommen oder ergänzt werden. Putzmittel können eine Ursache der schwarzen Verfärbungen sein, daher ist es sinnvoll diese zu untersuchen. Es ist wichtig die Bestandteile des Einlegematerials zu kennen, um eine Beschädigung des Materials bei dem Beseitigen des Lackes zu verhindern.

Das Messprinzip der FTIR-Spektroskopie beruht auf der Bestrahlung eines Stoffes mit Infrarot-Strahlung. Die Strahlung führt zu einer Anregung der Molekülbindungen. Da die dazu notwendige Energie bzw. Frequenzen charakteristisch für die jeweiligen Bindungen sind, können einzelne Bestandteile von Materialien oder Bindungen identifiziert werden.

Diese Schwingungen sind dann in Form von Ausschlägen im gemessenen Spektrum (Diagramm) sichtbar. Durch Vergleich mit Referenzspektren bekannter Materialien können die Bestandteile der untersuchten Substanz bestimmt werden.<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> CHEMIE.DE Information Service GmbH, 2016. *IR-Spektroskopie*. Berlin: CHEMIE.DE Information Service GmbH, [Zugriff 10.11.16]. Verfügbar unter: <http://www.chemie.de/lexikon/IR-Spektroskopie.html>

Die FTIR-Messungen wurden in der Hochschule für Bildende Künste (HfBK) Dresden von Prof. Dr. Herm durchgeführt. Als Fourier-Transform-Infrarot-Spektrometer wurde das Gerät Bruker Tensor 27 mit dem Mikroskop Bruker Hyperion 2000 verwendet. Das Gerät arbeitet mit mittleren Infrarot (MIR).



*Abb. 18: FTIR-Gerät in der HfBK Dresden, 16.08.16*

Durchführung:

Eine Hintergrund-Messung wurde auf Aluminium durchgeführt und die umgebenden Bestandteile der Luft herausgerechnet. Eine Einzelmessung des Spektrometers setzt sich aus 64 Messungen zusammen, die addiert werden und einen Durchschnittswert bilden. Die Messpunkte sind im Anhang 6: S. 1, sowie die Messergebnisse der FTIR-Untersuchungen im Anhang 5: S. 13 zu finden.

### **Auswertung der FTIR-Messergebnisse:**

#### Transparenter Überzug:

Die FTIR-Messung ergab eine Übereinstimmung mit Acrylat. Acrylate wurden ab 1950 als Überzugsmaterial eingesetzt. Der Lack ist somit nicht original. 1990 gab es einen Mitarbeiterwechsel im MPS. Nach Informationen der neu eingestellten Restauratoren (J. Eulitz und L. Hasselmeyer) haben sie keine Überarbeitung der Uhr vorgenommen. Der Lack kann somit zwischen 1950 und 1990 aufgebracht worden sein.

### Schwarze Einlage:

Die FTIR-Messung erbrachte eine Übereinstimmung mit Kohlenwasserstoff, Carbonsäure oder Ester; Calcit; Hinweis auf Silikat. Außerdem ließ sich an glänzenden Stellen Ester (Acrylat) nachweisen.

Da kein Asphalt gefunden wurde, konnte ein Asphaltlack, der ebenfalls Verwendung fand, ausgeschlossen werden. Die Carbonsäuren oder Ester lassen vor allem auf einen Siegellack schließen. Siegellack besteht aus Kolophonium und Terpentin, die als Hauptbestandteil Carbonsäuren oder Ester aufweisen. Das Calcit kann einerseits ein Hinweis auf Putzmittelrückstände sein (z. B. Champagner Kreide), andererseits wurde auch Kreide dem Siegellack zugesetzt, um schnelles Abtropfen zu verhindern.<sup>20</sup>

Im Buch: „Lexikon der Uhrmacherkunst. Handbuch für alle Gewerbetreibenden und Künstler der Uhrenbranche“ von Carl Schulte (1902) wurde ebenfalls auf Siegellack als Einlegematerial hingewiesen: *„Einlassen, so nennt man gewöhnlich das Auftragen der schwarzen Emaille oder des schwarzen Siegellacks in die vertieften Zahlen und Gradeinteilungen der Metall-Zifferblätter, Skalen etc. [...]“*<sup>21</sup>

Die, an den glänzenden Stellen nachgewiesenen, Ester (Acrylat) können Rückstände des ehemals aufgetragenen Lackes sein (siehe transparenter Überzug).

### Rest Putzmittel:

Die FTIR-Messung ergab eine Übereinstimmung mit Gips. Möglicherweise wurde Gips in Form von Bologneser Kreide als Putzmittel verwendet.

---

<sup>20</sup> Wikimedia Foundation Inc., 2016. *Siegellack*. San Francisco: Wikimedia Foundation Inc., 24.10.2016 [Zugriff 01.11.16]. Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Siegellack>

<sup>21</sup> Schulte, Carl, 1902. *Lexikon der Uhrmacherkunst. Handbuch für alle Gewerbetreibenden und Künstler der Uhrenbranche*. Bautzen, Emil Hübners Verlag, S. 13

Putzmittelfleck:

Die FTIR-Messung ergab eine Übereinstimmung mit Kupfer-Carboxylat (Salz einer Fettsäure). Carboxylate sind Verbindungen, die aus metallischen Kupfer und Carbonsäuren entstehen.

**6.5. Röntgenfluoreszenz-Analyse**

Ziel der Untersuchungen durch die Röntgenfluoreszenzanalysen (RFA) ist es, die Zusammensetzung der schwarzen Verfärbungen, sowie der Vergoldung und des Messings zerstörungsfrei zu bestimmen. Die RFA-Messungen werden als Vergleich zu den IBA-Messungen durchgeführt, um die Ergebnisse der beiden komplementären Methoden zu vergleichen und die Resultate zu verifizieren.

Das Messprinzip der RFA- Untersuchungen beruht auf der Bestrahlung eines Objekts mit Röntgenstrahlung. Die Strahlung regt kernnahe Elektronen an, die aus ihren Schalen herausgeschlagen werden. Elektronen aus höheren Energie-



niveaus können nun auf die kernnahen Schalen springen, wodurch Energie frei wird. Diese Energie wird in Form von elementspezifischer Röntgenstrahlung abgegeben und kann detektiert werden.

Die RFA-Messungen wurden mit dem mobilen Gerät Niton XL3t der Firma ThermoScientific in der Rüstkammer der Staatlichen Kunstsammlungen Dresden von Dr. Michael Mäder durchgeführt.

Abb. 19: RFA-Gerät der Rüstkammer Dresden, 21.09.16

Das verwendete RFA-Gerät hat den Nachteil, dass der zu untersuchende Spot (Messpunkt) von 8 mm sehr groß ist. Dies macht ein Messen auf kleineren Oberflächen, wie es der Fall bei der Sonnenuhr ist, nicht möglich. Die Messungen liefern ein summarisches Ergebnis von eventuell nebeneinander liegenden Details, wodurch die Interpretation erschwert bzw. unmöglich ist.

Durchführung:

Das Gerät wurde auf das Messprogramm „Elektronik“ kalibriert (Abb. 56). Dieses Messprogramm ist besonders geeignet für die Analyse von Metall-legierungen. Eine Messung dauerte ca. 60 Sekunden. Das zu untersuchende Einzelteil wurde auf das, mit Seidenpapier ausgelegte, Gestell gelegt und auf den Messpunkt ausgerichtet. Eine Grundmessung wurde auf der Probepatte durchgeführt und die Nebenbestandteile der Luft herausgerechnet.

### **Auswertung der RFA-Messergebnisse:**

Die Messergebnisse sind im Anhang 5, S. 9, sowie die Messpunkte im Anhang 6, S. 2 zu finden. In den Messergebnissen sind die wichtigsten Bestandteile (Cu, Zn, Au, Ag) eingefügt. Andere Elemente sind nur in sehr geringen Mengen (<0,02) vorhanden und werden bei den nächsten Überlegungen vernachlässigt.

*Tab. 1: RFA-Ergebnisse: Mini- und Maxima der wichtigsten Elemente (Cu, Zn, Au, Ag):*

	Kupfer (in %)	Zink (in %)	Gold (in %)	Silber (in %)
Messing	68 - 78	17 - 23	(<LOD) - 0,7	0,0 - 0,1
Vergoldung	17- 53	7 – 15	21 – 65,5	0,1 – 0,4
Schwarze Verfärbungen	26 – 38	9,3 – 10,8	39 – 55,6	0,3 – 0,9

Durch die RFA-Messungen kann nicht auf eine quantitative Zusammensetzung der Legierung oder des Materials geschlossen werden, weil keine homogen zusammengesetzte Probe vorliegt, sondern ein Schichtaufbau. Wie man anhand der Ergebnisse erkennen kann, kommt durch die Vergoldung sehr wenig vom Untergrundmaterial an. Es ist lediglich eine qualitative Aussage zur Zusammensetzung möglich.

Sehr deutlich erkennbar, sind die Schichtstärken der untersuchten Probestreife. Der Silberanteil der zum zweiten Mal galvanisch versilberten Fläche ist doppelt so hoch wie bei der nur einmal versilberten Fläche. <LOD bezeichnet die nicht nachweisbaren Elemente (< 0,003)

#### Messing:

Die Zusammensetzung des Messings ist beim Minutenzifferblatt und der Grundplatte unterschiedlich.

Nr.	Bezeichnung	Cu	Zn	Au	Ag
17	MZB RS Messing	68,7	23,1	0,7	0,0
21	Grundplatte RS Messing (eingesetzter Kreis)	77,6	18,5	< LOD	0,1
22	Grundplatte RS Messing	77,9	17,8	< LOD	0,1

Dies lässt sich auf die unterschiedliche Herstellungstechnik zurückführen. Das Zifferblatt wurde aus einem Blech hergestellt, während die Grundplatte und vermutlich auch der eingesetzte Kreis gegossen wurden.

#### Vergoldung:

Die großen Unterschiede in den Messwerten bei der Vergoldung entstanden durch die verschiedenen Vergoldungsstärken. Je dicker die Vergoldung war, desto weniger konnte das Grundmaterial gemessen werden.

Nr.	Bezeichnung	Cu	Zn	Au	Ag
18	Feststellschraube Kopf Vergoldung	17,3	7,2	65,5	0,4
9	SZB RS Vergoldung auf gereinigter Stelle	53,1	15,0	20,9	0,1

### Schwarze Verfärbungen:

Bei allen Messungen auf dem Messing, der Vergoldung und den schwarzen Verfärbungen konnten Spuren von Silber nachgewiesen werden. Der Silberanteil im Bereich der schwarzen Verfärbungen ist jedoch um das doppelte erhöht. Das trifft sowohl für das Stundenzifferblatt, als auch für das Minutenzifferblatt zu. Ein Messfehler ist bei der 7. Messung (Ag: 5,52) entstanden, da der Messpunkt des RFA-Geräts sehr groß ist und die Silberniete mit erfasst hat. Sie kann damit nicht zu den anderen Ergebnissen gezählt werden. Auch die normalen Messungen der schwarzen Verfärbungen sind leicht verfälscht, da der Messpunkt über die kleinen Stellen hinaus viel von der umliegenden Oberfläche einnimmt und misst. Vermutlich ist Silber in Spuren in der Vergoldung enthalten.

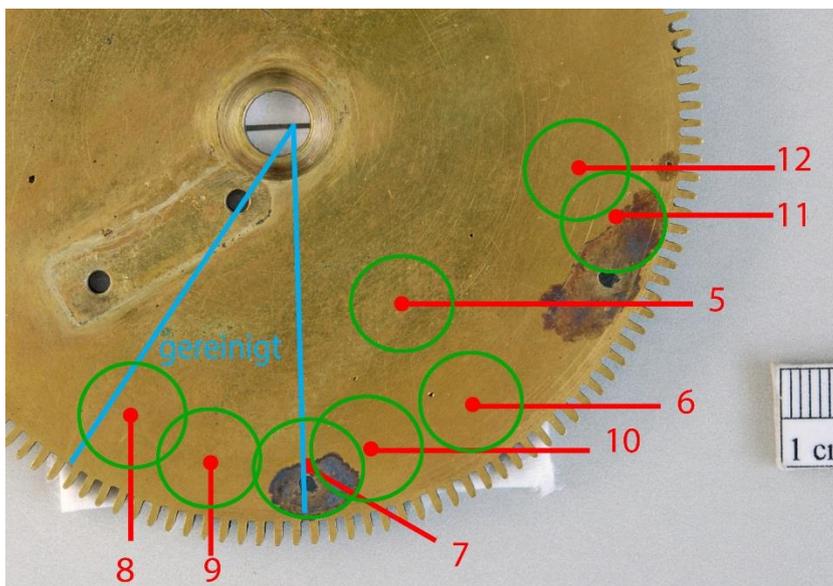


Abb. 20: RFA-Messpunkte auf der Rückseite des Stundenzifferblattes

Da keine größeren Mengen anderer Elemente auf den schwarzen Verfärbungen gemessen wurden, außer dem Silber, können die Verfärbungen als Silber identifiziert werden. Typischerweise sollte das freiliegende Silber mit Schwefel aus der Umgebungsluft zu Silbersulfid, welches dann eher schwarz aussieht, reagieren. Schwefel konnte durch die Röntgenfluoreszenz-Analyse nicht nachgewiesen werden.

## 6.6. Ionenstrahl-Analyse (IBA)

Um die chemische Zusammensetzung eines Gegenstandes zerstörungsfrei zu bestimmen, ist es möglich die Ionenstrahl-Analysen (Ion Beam Analysis - IBA) einzusetzen. Sie unterscheiden sich zu den Röntgenfluoreszenz-Analysen darin, dass keine Röntgenstrahlen, sondern energiereiche Ionen als Anregungsquelle verwendet werden, die auch andere Nachweismethoden ermöglichen.

Der Vorteil der IBA sind die verschiedenen Verfahrensmöglichkeiten. So können einerseits charakteristische Röntgenstrahlung (PIXE = Particle Induced X-Ray Emission), andererseits Gammastrahlung (PIGE = Particle Induced Gamma Ray Emission), sowie rückgestreute Ionen (RBS = Rutherford Backscattering Spectrometry) detektiert werden.<sup>22</sup>

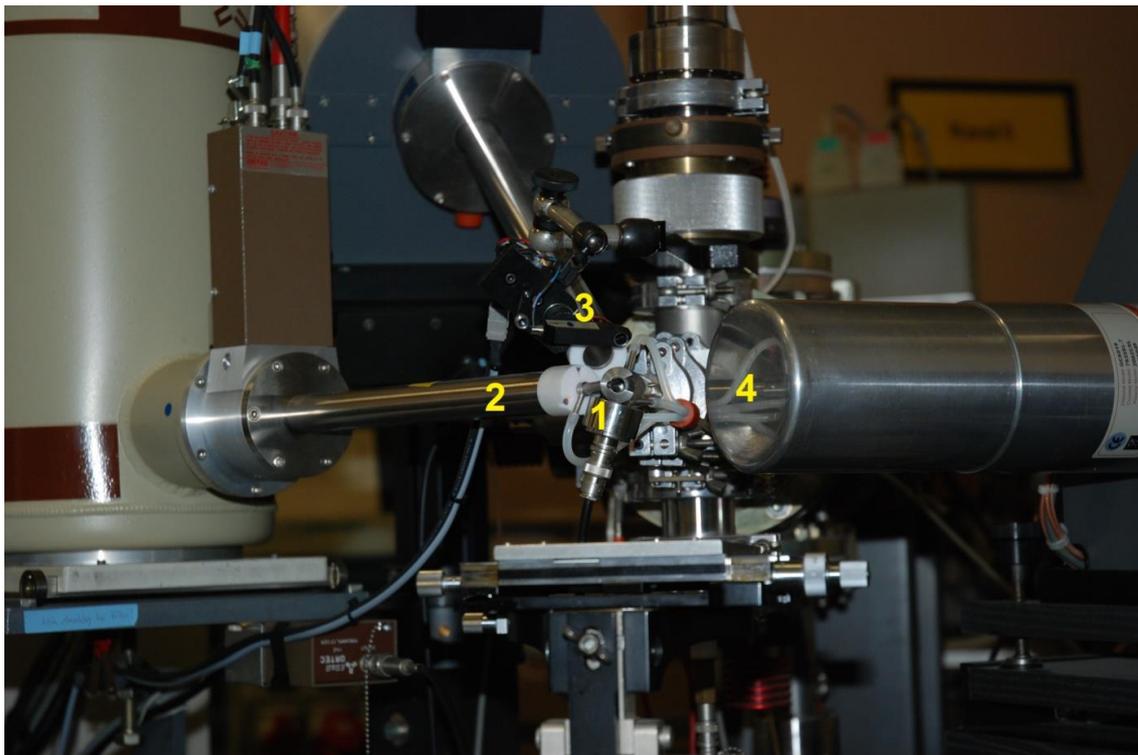


Abb. 21: Messplatz „Externer Ionenstrahl“ am 6 MV Beschleuniger des Ionenstrahlzentrums im HZDR, (Austrittsdüse) mit vier Detektoren, das Objekt wird unmittelbar vor die Austrittsdüse platziert, 1: RBS 2: PIXE 1 3: PIXE 2 4: PIGE

<sup>22</sup> Mäder, Michael, 03. 2003. *Zerstörungsfreie Charakterisierung historischer Glasobjekte mittels Ionenstrahlen*. Dresden, Forschungszentrum Rossendorf e.V., Dissertation, ISSN 1437-322X, S. 13

Dr. Mäder beschreibt den Vorgang der IBA-Untersuchungen am Objekt in seiner Dissertation „Zerstörungsfreie Charakterisierung historischer Glasobjekte mittels Ionenstrahlen“ (2003) auf Seite 13:

*„Bei der Ionenstrahlanalytik trifft ein fokussierter Strahl hochenergetischer Ionen auf das Objekt. Die Ionen dringen in das Material ein und wechselwirken mit Elektronen und Atomkernen des Objektes. Ergebnisse dieser Wechselwirkungen werden mit geeigneten Detektoren nachgewiesen und geben Aufschluss über die atomare Zusammensetzung. Standardmäßig finden diese Untersuchungen im Vakuum statt. Leichte Ionen (Protonen, Helium) können aber auch durch eine dünne Folie am Ende der evakuierten Strahlführung des Beschleunigers an Luft ausgeführt werden. [...]“<sup>23</sup>*

Allgemein kann gesagt werden, dass durch die Kombination PIXE und PIGE alle chemischen Elemente (Ausnahme: O, H) identifiziert werden können. Durch RBS sind, neben dem Nachweis der leichten Elemente, Aussagen über einen Schichtenaufbau möglich.<sup>24</sup> Die genauen Messprinzipien von PIXE, PIGE und RBS werden im Anhang 5, S. 1-2 beschrieben.

#### Durchführung:

Am 23./24.05.16 fanden fünf IBA-Messungen, sowie am 25./26.10.16 21 Messungen im Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf statt (Abb. 58). Dr. Mäder führte zuerst einige Hintergrund-Messungen an Ein-Elemente-Standards zur Kalibrierung des Geräts durch. Aluminium-, Eisen-, Molybdän- und Silber-Standards wurden gemessen. Die Kalibrierung ist wichtig um die (induzierte und emittierte) Energie, die Menge der detektierten Ionen pro Zeiteinheit, sowie die Ortung der Peaks an gleicher Stelle zu überprüfen und die Vergleichbarkeit der Proben zu gewährleisten.<sup>25</sup>

Das zu untersuchende Einzelteil wurde an einem Neopolen-Schaumstoff<sup>26</sup> befestigt und teilweise mit Seidenpapier abgedeckt um Schäden am Objekt zu

---

<sup>23</sup> MÄDER, 2003. S. 13

<sup>24</sup> MÄDER, 2003. S. 26

<sup>25</sup> Nach Informationen von Dr. Michael Mäder

<sup>26</sup> Bezug von Schenker oder Hasenkamp

verhindern. Die Messfläche wurde auf einem mobilen Teller nah an die Austrittsdüse herangefahren und für den Messpunkt des Strahls positioniert (Abb. 57/58). Die Ionen des Strahls haben einen großen Widerstand an Luft und können sich nicht sehr weit bewegen. Da die Messungen nicht unter Vakuum stattfanden, sollten die Teile einen geringen Abstand zum Ionenstrahl haben. Eine Messung dauerte ca. 30 Minuten.

Die IBA-Messergebnisse sind im Anhang 5, S. 3 sowie die Messpunkte im Anhang 6, S.6 zu finden.

### Auswertung der IBA-Messergebnisse:

#### PIXE:

##### Stundenzifferblatt:

Vergleich der Goldoberfläche mit der schwarzen Verfärbung

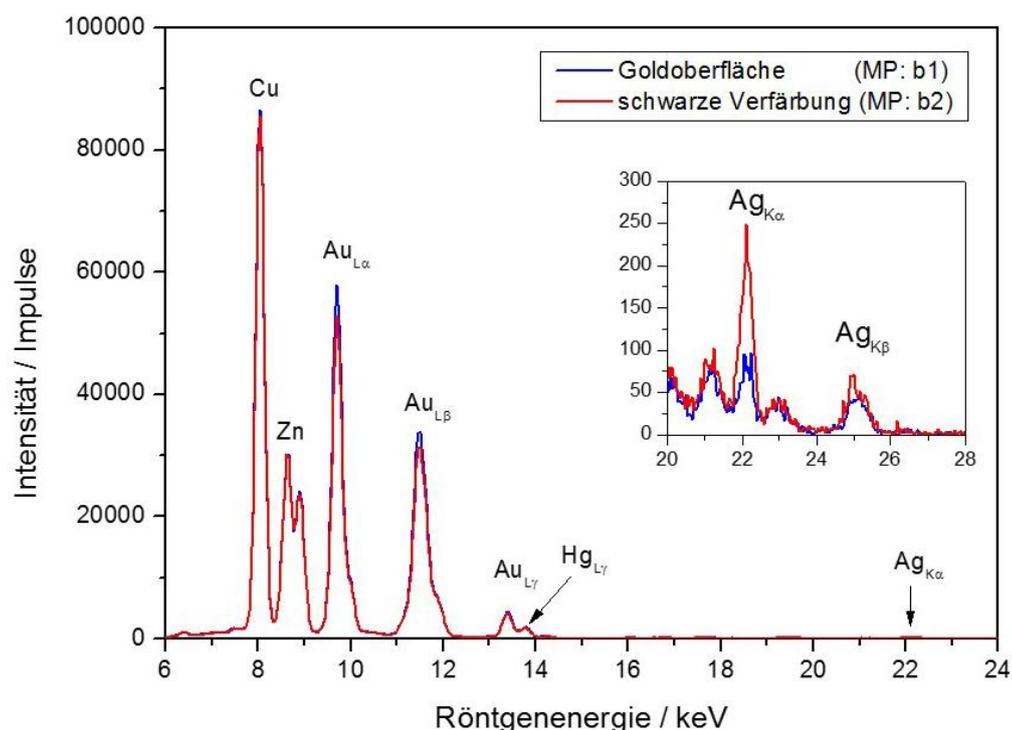


Abb. 22: PIXE-Messergebnis auf Stundenzifferblatt (Goldoberfläche, s. Verfärbung)

Es wurden hauptsächlich gleiche Mengen Cu und Zn gemessen. Auf der Goldoberfläche sind gering höhere Au-Anteile vorhanden. Möglicherweise lassen

die schwarzen Auflagerungen weniger Strahlung durch, sodass nicht so viel vom darunter liegenden Material detektiert werden kann.

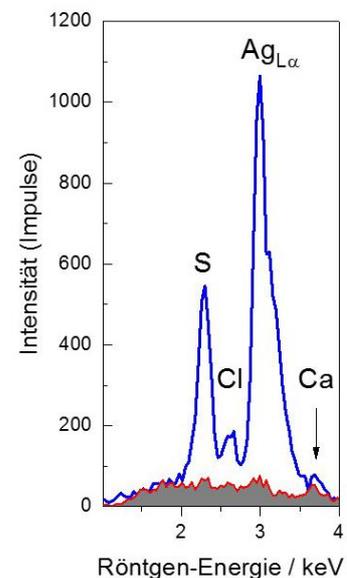
Auf der schwarzen Verfärbung ist doppelt so viel Silber detektiert worden (ca. 250 zu <100 Impulse).

*Schlussfolgerung:*

*Da keine weiteren Bestandteile gemessen wurden, muss es sich bei den schwarzen Verfärbungen um Silber handeln.*

Probennahme:

Da der Schwefelpeak ( $K_{\alpha} = 2,307$  KeV) energetisch sehr nah an dem von Gold ( $M_{\alpha} = 2,123$  KeV) liegt, kann man Schwefel auf einer Vergoldung nicht nachweisen. Die Verfärbungen können somit nicht eindeutig als Silbersulfid identifiziert werden. Es wurde daher eine Probe von der Rückseite des Stundenzifferblattes abgenommen, auf Papier gerieben (Abb. 59) und anschließend mittels IBA untersucht.<sup>27</sup>



*Abb. 23: PIXE-Messergebnis, Probe auf Papier (Verfärbung)*

Man kann eindeutig Silber, Schwefel, sowie etwas Chlor identifiziert. Das Calcium stammt vermutlich aus dem Papier.<sup>28</sup> Da das bestrahlte Material (Papier) sehr dünn ist, ist im RBS-Spektrum die gesamte Schichtstärke des Papiers und der Probe zu erkennen. Bei der Probe tritt eine Verschiebung des Graphen auf, da Ag in das Papier eingerieben und weniger vom Untergrundmaterial (Papier) gemessen wurde.

*Schlussfolgerung:*

*Die schwarzen Verfärbungen bestehen zum größten Teil aus Silbersulfid.*

<sup>27</sup> Anhang V, S. 9: Gesamtes Messergebnis der Probe auf Papier (mit RBS)

<sup>28</sup> Nach Informationen von Dr. Michael Mäder

Stundenzifferblatt:

Vergleich der Verfärbungen an verschiedenen Messpunkten

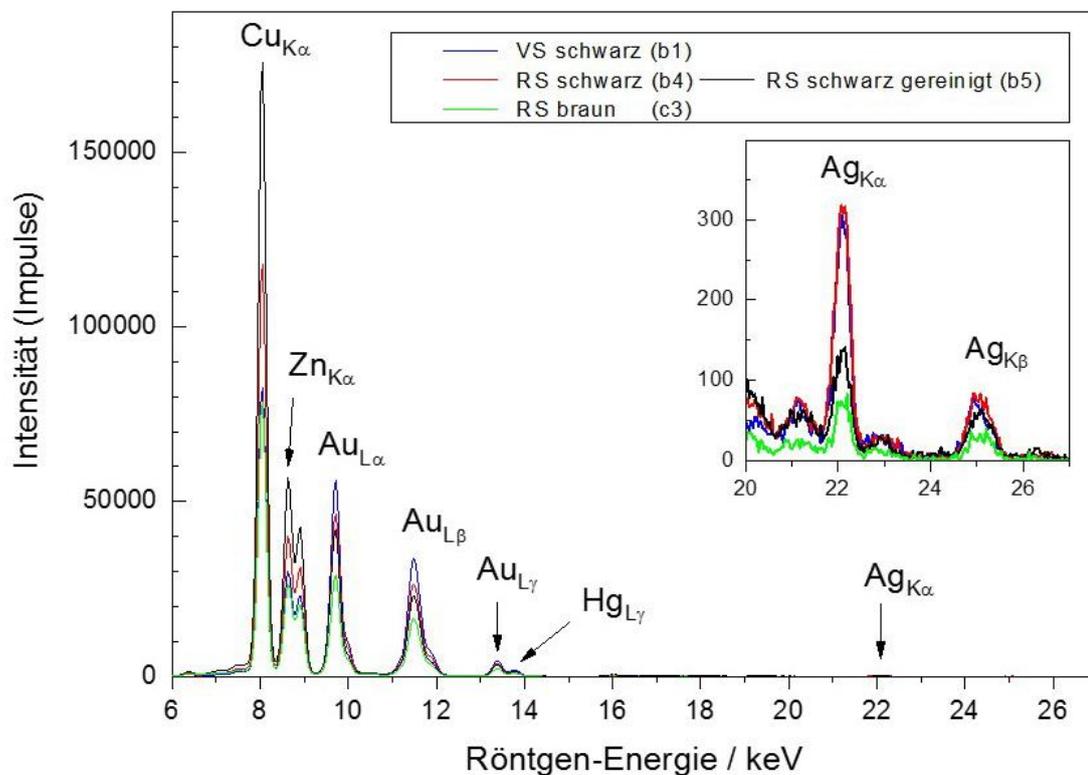


Abb. 24: PIXE-Messergebnis auf Stundenzifferblatt (schwarz-braune Verfärbungen)

Alle Messpunkte besitzen unterschiedliche Cu-/ Zn- und Au-Anteile. Auf der Vorderseite ist die Vergoldung etwas dicker. Je höher der Au-Anteil, desto weniger ist vom Untergrund messbar (Cu, Zn). Bei der braunen Verfärbung ist jedoch beides gering. Auf der gereinigten Stelle sind höhere Cu-/ Zn-Anteile als auf den anderen Messpunkten (180.000 zu 120.000 Impulse) vorhanden.

Auf der Vorderseite, sowie der RS auf den schwarzen Verfärbungen wurde am Meisten Silber gefunden (300 Impulse). Bei der gereinigten und braunen Stelle sind lediglich <150 Impulse gemessen worden.

Schlussfolgerung:

*Je dunkler die Stellen, desto höhere Silberwerte wurden gefunden. Die Silberschicht wächst. Durch die Reinigung (mit Aceton) konnte Silber abgetragen werden.*

**RBS:**Stundenzifferblatt:

Vergleich der Vergoldung mit Silber und den schwarzen Verfärbungen in Bezug auf den Schichtenaufbau

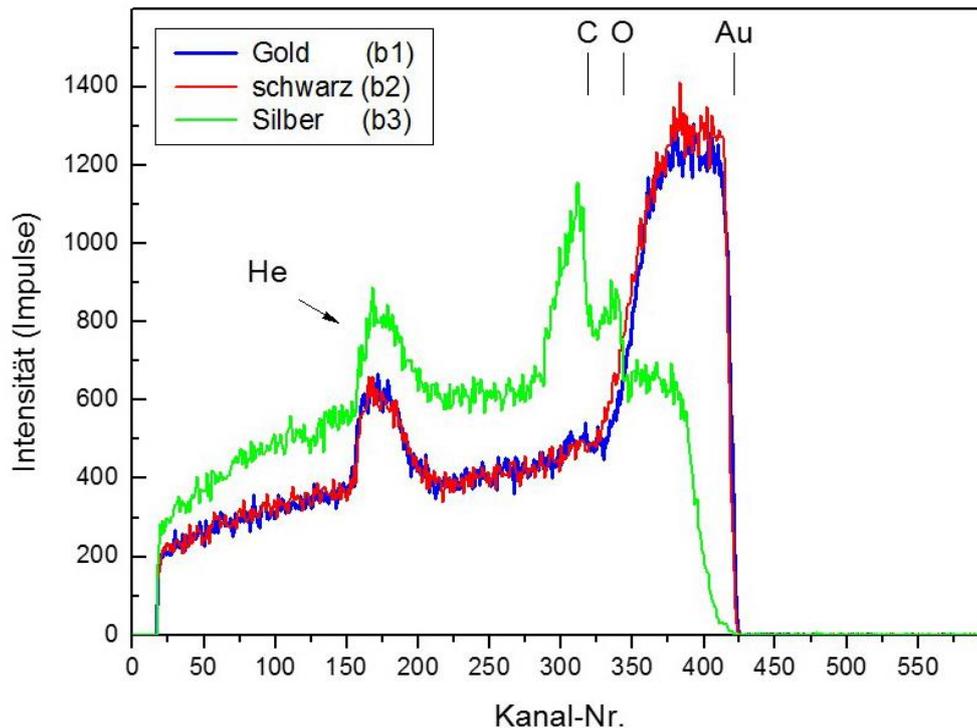


Abb. 25: RBS-Messergebnis auf Stundenzifferblatt (Gold, Silber, s. Verfärbung)

Die Vergoldung, sowie die Verfärbungen sind bei der Kanal-Nummer 425 angezeigt. Es sind keine Schichtunterschiede erkennbar. Die Schicht der aufliegenden schwarzen Verfärbungen ist daher sehr dünn.

Der Silbernachweis beginnt nicht bei seiner richtigen Kanal-Nummer. Er setzt erst später ein, was auf eine Beschichtung, die sich auf dem Silber befindet, hindeutet. Diese Beschichtung (Lack) ist als Kohlenstoff und Sauerstoff im Diagramm sichtbar.

*Schlussfolgerung:*

*Das Silber wurde beschichtet. Die Verfärbung liegt auf der Vergoldung als eine sehr dünne Schicht auf.*

### 6.7. Zusammenfassung

Die Röntgenfluoreszenz-, sowie Ionenstrahlanalysen sind sehr gute Möglichkeiten um Elemente zerstörungsfrei bestimmen zu können. Die Verfärbungen konnten durch die verschiedenen materialspezifischen Untersuchungen eindeutig als Silbersulfid identifiziert werden. Auch bei problematischen Messungen z. B. des Schwefels wurden Lösungen gefunden, sodass die Ionenstrahl-Analyse Aufschluss über alle messbaren Elemente geben konnte.

Mit der Röntgenfluoreszenz-Analyse ist es nicht möglich alle Elemente zu messen, sie ist außerdem bei Spurenelementen um Einiges ungenauer. Dies ist vor allem bei den Untersuchungen der verschiedenen Messinglegierungen zu sehen. Bei der RFA sind keine Unterschiede zwischen dem eingesetzten Kreis und der Grundplatte gemessen worden, während die Ionenstrahl-Analysen Spuren von Blei, Zinn und Arsen detektierten.

Es besteht nun auch die Möglichkeit die Sonnenuhr (Inv.-Nr. D I 9) zu untersuchen und mit den Ergebnissen der bearbeiteten Uhr zu vergleichen. Durch die Informationen zu den Legierungsbestandteilen können Hinweise zur Herkunft der Sonnenuhr (Zuschreibung zu J. G. Zimmer) gegeben werden.

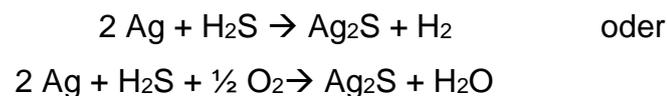
## 7. MÖGLICHE ENTSTEHUNG UND URSACHEN DER VERFÄRBUNGEN

Durch die verschiedenen materialspezifischen Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass es sich bei den schwarzen Verfärbungen um Silbersulfid handelt. Es gibt verschiedene Ansätze wie Silber auf Vergoldungen „wandern“ und anschließend an Luft korrodieren kann. Diese Möglichkeiten sollen erklärt, untermauert, bzw. teilweise auch widerlegt werden. In einer kleinen interdisziplinären Umfrage wurden Restauratoren, sowie Wissenschaftler und Institute unterschiedlicher Fachrichtungen dazu befragt. Das Phänomen des Vorhandenseins von Silbersulfid auf einer Vergoldung ohne darunter liegende Versilberung war weitgehend unbekannt. Die meisten Beiträge beschrieben das Diffundieren von Silber durch eine Vergoldung hindurch und die anschließende Bildung von Silbersulfid.<sup>29</sup>

Die Sonnenuhr wurde bis 2007 im MPS im heutigen Festsaal ausgestellt (Abb. 60). Die Vitrinen wurden bis dahin nicht klimatisiert (schwankende Luftfeuchte durch Wetter bzw. Jahresverlauf). Die Vitrinen besaßen einen Holzrahmen. Der Boden des Innenraums bestand aus verleimten Holz, die Zwischenböden aus mit Stoff bespannten Glasscheiben. 1997 bis 2007 kamen dazu noch Einbauten aus sog. „Museumsplatte“ (MDF-Platte) dazu.<sup>30</sup>

Eine Voraussetzung für das Korrodieren von Silber ist die Anwesenheit von Oxidationsmitteln wie z. B. O<sub>2</sub>, NO<sub>(x)</sub>, H<sup>+</sup>, elementares S und organische Substanzen (Holzbestandteile).<sup>31</sup> Silbersulfid kann durch Reaktion von Silber mit Schwefelwasserstoff entstehen.

Dabei ist noch ungeklärt, ob Luftsauerstoff an der Reaktion beteiligt ist:



---

<sup>29</sup> Anhang VII, E-Mail-Verkehr

<sup>30</sup> Informationen von Johannes Eulitz, Restaurator im MPS

<sup>31</sup> Informationen von Dr. Wolf-Dieter Schulz, 24.11.16

Es können schon geringe Spuren von  $\text{H}_2\text{S}$  (<1 ppb), die immer in der Luft enthalten sind, zum „Anlaufen“ des Silbers führen. Im Buch „Korrosion und Korrosionsschutz“ von Egon Kunze wird auf S. 1590 Folgendes beschrieben: *„Die Silberoberfläche nimmt bald einen gelblichen Ton an und nach längerer Zeit färbt sie sich sogar braun oder blau.“*<sup>32</sup> und weist dabei weiter auf die durch die Lichtreflexion entstehenden Interferenzfarben hin.

Es kann davon ausgegangen werden, dass Silber oder Silbersulfid durch verschiedenen Prozesse auf die Gold-Oberfläche bewegt werden kann.

### 7.1. Silber Migration durch Putzmittel

Im Folgenden soll eine durch viele Diskussionen entstandene Theorie der Silberbewegung dargestellt werden.<sup>33</sup> Nachweislich wurden die Silberflächen mit einem kreidehaltigen Putzmittel bearbeitet und das Silber bei diesem Vorgang abgetragen. Das mit Silber vermengte Putzmittel geriet dabei in Vertiefungen z. B. Vernietungen. Auf Grund einer unzureichenden Nachreinigung bzw. der Unmöglichkeit einer kompletten Entfernung dieses Kreide-Silbergemisches ist dieses nach Beendigung am Ort geblieben. Da die Kreide sehr hygroskopisch ist, kommt es auf Grund der sich immerwährenden Feuchtigkeitsaufnahme und – abgabe zu einer verändernden Oberflächengröße und damit zu einer (Quell-) Bewegung bzw. Wanderung der Kreide und damit auch zur Verteilung des Silbers.

---

<sup>32</sup> Kunze, Egon, 2001. *Korrosion und Korrosionsschutz*. Band 2. Wiley-Verlag, Berlin/Weinheim, S. 1590

<sup>33</sup> Vielen Dank an Dr. res. nat. Wolf-Dieter Schulz, Diplomchemiker und Sachverständiger für Korrosion und Korrosionsschutz von Metallen, der mir mit konstruktiven Ratschlägen und Ideen geholfen hat. (Besuch der Restaurierungswerkstatt am 24.11.16)

Ist die Feuchtigkeitsgrenze erreicht, bzw. verdunstet die Feuchte, wird an Grenzbereichen das Silber einschließlich seines Trägers (Kreide) abgelagert oder inkrustiert. Dadurch entsteht das Erscheinungsbild, dass sich die dunkleren Verfärbungen am äußeren Rand eines Fleckes befinden.

Die Migration von Ionen ( $\text{Ag}^+$ ) oder kleinen Molekülen ist immer möglich, wenn Wasser anwesend ist (Löschblatt-Effekt). Gerade in Poren oder Tiefen wird mehr Feuchte gespeichert. Auch Putzmittel (Kreide, Gips) bestehen aus vielen Poren, die Feuchtigkeit aufnehmen können.

## 7.2. Ablagerung in Folge von Silberoxidation

Ein weiterer Ansatz zum Transport von Silberionen ist die Bewegung der Ionen durch den Einfluss von Feuchtigkeit und elektrischen Potenzialen.

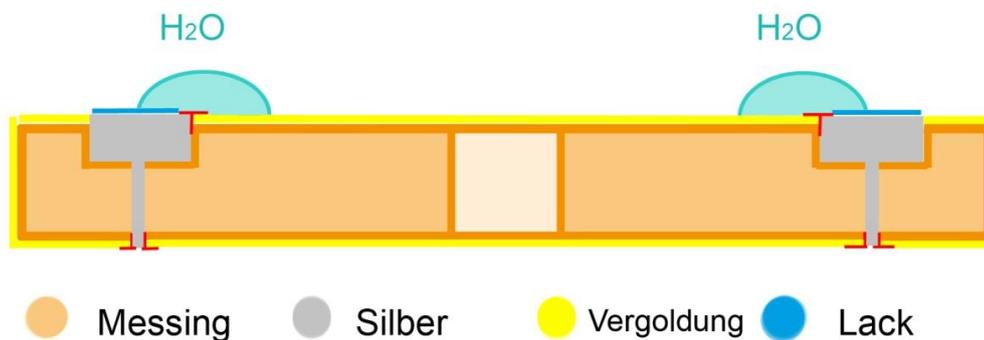
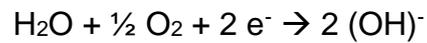


Abb. 26: Voraussetzungen des Silbertransports durch Potenzialunterschiede, Rot: Kontaktstellen Ag-Au (vmtl. an Lackfehlstellen), Blau: Elektrolyt ( $\text{H}_2\text{O}$ )

Das unedlere Silber (+ 0,8 V) steht in der elektrochemischen Spannungsreihe der Metalle niedriger als Gold (+ 1,5 V). Bei Kontakt von Silber und Gold entsteht eine Potenzialdifferenz, die bei Anwesenheit eines Elektrolyten ( $\text{H}_2\text{O}$ , o. a.) Spannung erzeugen kann. Diese Spannung führt dazu, dass sich Silber auflöst (oxidiert wird) und das Gold reduziert wird. Das Gold sollte sich somit auf dem Silber niederschlagen. Nach der Gleichung:



Die Elektronen, die vom Silber auf das Gold übertragen werden, können durch O<sub>2</sub> verbraucht werden. Nach der Gleichung:



Auch wenn Silber weiter Elektronen liefert, wird keine Ablagerung des Goldes auf dem Silber stattfinden, da beide Metalle sehr passiv sind und zu langsam reagieren.<sup>34</sup>

Falls dieser Prozess stattfindet, wird Silber oxidiert und geht in Lösung. Möglicherweise kann sich durch Verdunstung der Lösung Silber auf die Vergoldung niederschlagen. Die Verbindung des Silbers mit der vergoldeten Oberfläche sollte daher nicht fest sein, sondern nur leicht löslich oben auf liegen. Es ist somit kein elektrolytischer Prozess, sondern lediglich eine Ablagerung als Folge einer Silberoxidation.

Um diesen Prozess nachvollziehen bzw. untermauern zu können, wurden Langzeitversuche an vergoldeten Messingplatten durchgeführt. Beim ersten Versuch soll eine vergoldete Messingplatte mit Silber vernietet und Kreide (als Feuchtespeicher) in einer Salzlösung aufgetragen werden. Diese Platte ist dann unter einer Glasglocke einer feuchten Atmosphäre (Elektrolyt) für längere Zeit (ca. 2 Monate) ausgesetzt.

Beim zweiten Versuch soll Silber auf eine vergoldete Messingplatte mit einem nicht-leitenden Material (Klebstoff) in einem Abstand zur Platte von ca. 1 mm befestigt werden. Anschließend wird ein Elektrolyt (Wasser mit Salz), sowie Kreide hinzugefügt und eine elektrische Verbindung zu den jeweiligen Platten hergestellt. Die Polung ist so angelegt, dass die Silberplatte als Anode fungiert. Bei diesem Versuch soll der auf der Sonnenuhr natürliche Vorgang durch eine externe Spannungsquelle beschleunigend simuliert werden.

---

<sup>34</sup> Informationen von Dr. res. nat. Wolf-Dieter Schulz, 24.11.16

### 7.2.1. Langzeitversuche zur Darstellung der schwarzen Verfärbungen

Um einen möglichst realistischen Versuch durchzuführen, der die offensichtlichen Gegebenheiten am Objekt widerspiegelt, wurde ein Langzeitversuch gestartet. Dieser Vorgang wird vermutlich durch eine höhere Feuchte in Verbindung mit Putzmittelresten beschleunigt.<sup>35</sup> Um die Verfärbungen künstlich nachzustellen, wurden diese Bedingungen daher ohne und mit fremder Stromquelle durchgeführt.

#### 7.2.1.1. Langzeitversuche ohne fremde Stromquelle (Versuch 1)

Eine vergoldete Messingplatte wurde mit einem Silberblech vernietet (Abb. 61). Das Silberblech wurde an der Unterseite angefast, sodass sich Feuchte besser darunter halten kann. Ein Putzmittel (Champagner-Kreide) wurde einerseits in einer Salzlösung (Speisesalz), sowie ohne einer Salzlösung an zwei Seiten unter die Kanten aufgebracht (Abb. 62). Diese Versuchsprobplatte wurde in eine Kunststoff-Dose gelegt, deren Boden wasserbedeckt ist (Abb. 63). Der Versuch startete am 07.10.16. Somit ist die Probplatte für längere Zeit (ca. 2 Monate) einer feuchten Atmosphäre ausgesetzt. Beschleunigend auf den Versuch sollen hier die erhöhte Luftfeuchtigkeit und das Hinzufügen von Salz wirken.

---

<sup>35</sup> Krehon, Verena, 1990. *Prinzipien der Konservierung von Metallobjekten*. In: Restauratorenblätter Bd. 11, Konservierung von Metallobjekten und Metallfassungen. Wien, 1990. S.64:

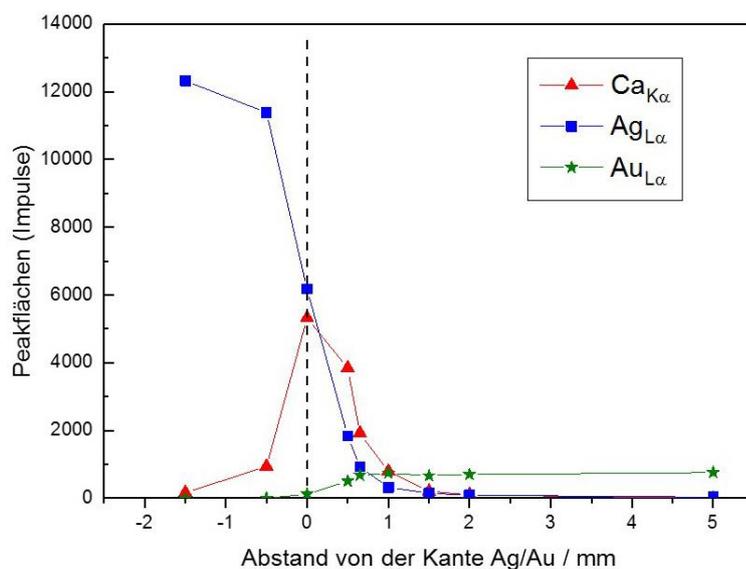
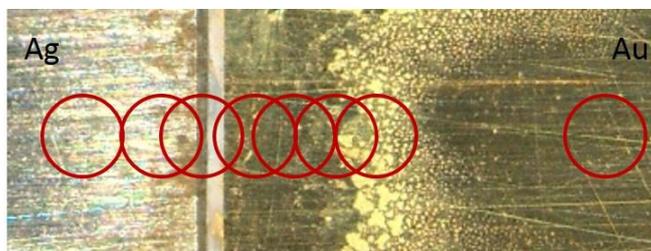
„Luftfeuchtigkeit, die sich quasi als Kondenswasser in Form eines dünnen Films über die Oberfläche ausbreitet und ein ideales Medium für den Teilchenaustausch bildet, ist der wichtigste Auslöser der Korrosion. Der Anlaufmechanismus steigt proportional mit der relativen Luftfeuchtigkeit.“

Nach ca. einem Monat (03.11.16) wurden keine schwarzen Ablagerungen auf der vergoldeten Messingplatte oder dem Silber sichtbar. Es konnte jedoch festgestellt werden, dass die in der Umgebung befindliche Feuchte hauptsächlich an und um die Putzmittel als kleine Tröpfchen kondensierte.

Außerdem fand eine Reaktion in der Nähe der mit Putzmittel aufgetragenen Stellen statt. Circa ein bis zwei Millimeter vom Putzmittel entfernt sind punktuelle hellere Stellen erkennbar (Abb. 64). Es handelt sich vermutlich um Putzmittelrückstände, die durch Aufnahme und Abgabe von  $H_2O$  dorthin bewegt wurden.

Im HZDR wurden einige Messungen durchgeführt um die helleren Stellen zu identifizieren. Man erkennt im Graphen, dass die Vergoldung anfangs vom Silber und kurz darauf von der Kreide überdeckt und erst beim vierten Messpunkt detektiert wurde. Das Calcium wurde unter dem Silber, sowie auf den naheliegenden Bereichen auf der Vergoldung gemessen. Somit findet eine Wanderung des Calciums auf die Vergoldung statt.

Überraschend ist der Nachweis von Silber, der auch auf der Vergoldung erbracht



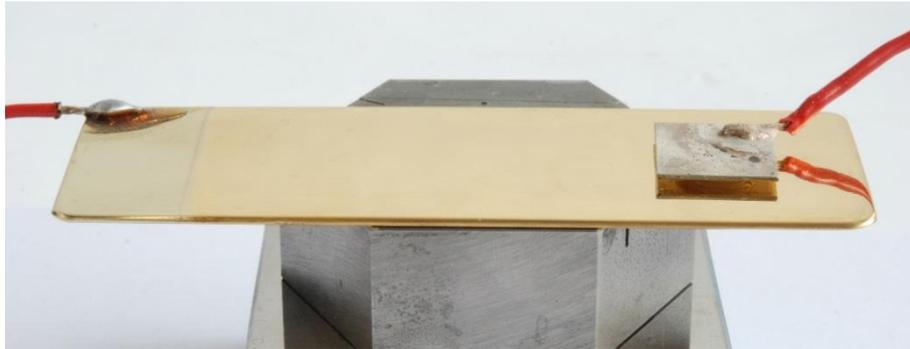
wurde. Der Nachweis ist auf dem Silberblech sehr hoch und senkt sich dann je weiter man von der Kante des Bleches entfernt ist.

Das heißt, dass sich Silber gelöst und auf der Vergoldung abgelagert hat. Somit kann der Prozess einer Ablagerung in Folge einer Silberoxidation bestätigt werden.

Abb. 27/28: Messpunkte- und Ergebnisse auf Probeplatte Versuch 1

### 7.2.1.2. Langzeitversuche mit fremder Stromquelle (Versuch 2)

Zwei Drähte wurden an ein Silberblech und an eine Probeplatte angelötet. Das Silberblech wurde daraufhin auf eine vergoldete Messingplatte, mit einem nichtleitenden Material (Kunststoff) als Abstandshalter, verklebt.



*Abb. 29: Probeplatte mit Silberblech verklebt*

Ein Elektrolyt (Wasser mit Salz), sowie Champagner-Kreide wurden in den Zwischenraum (Klebestelle) aufgebracht (Abb. 65). Danach konnte ein Strom angelegt werden. Das Silber diente dabei als Opferanode und sollte sich auflösen, während die vergoldete Messingplatte als Kathode diente. Beide Versuche kommen dem vorliegenden Befund am nächsten, da hier der vermutlich tatsächliche Vorgang simuliert wird, in dem durch Spannungsunterschiede ein elektrochemischer Vorgang (hier beschleunigend durch eine externe Spannungsquelle und wiederum der Zugabe von Speisesalz) in Gang gesetzt werden. Die Probeplatte wurde einer feuchten Atmosphäre ausgesetzt, indem der Schalenboden mit Wasser bedeckt war (Abb. 66). Der Versuch wurde vom 11.10.16 bis zum 25.10.16 jeweils 8 Stunden pro Tag durchgeführt.

Schon nach ca. 3 Tagen hatten sich grüne Korrosionsprodukte auf der Oberfläche des Silbers abgelagert. Kleine schwarze Verfärbungen sind an der Verbindung zum Silber sichtbar (Abb. 67). Das Silberblech wurde nach 2 Wochen abgenommen (Abb. 69), die schwarzen Verfärbungen verbunden mit Putzmittel teilweise gereinigt (Abb. 68) und diese anschließend im Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf gemessen.<sup>36</sup>

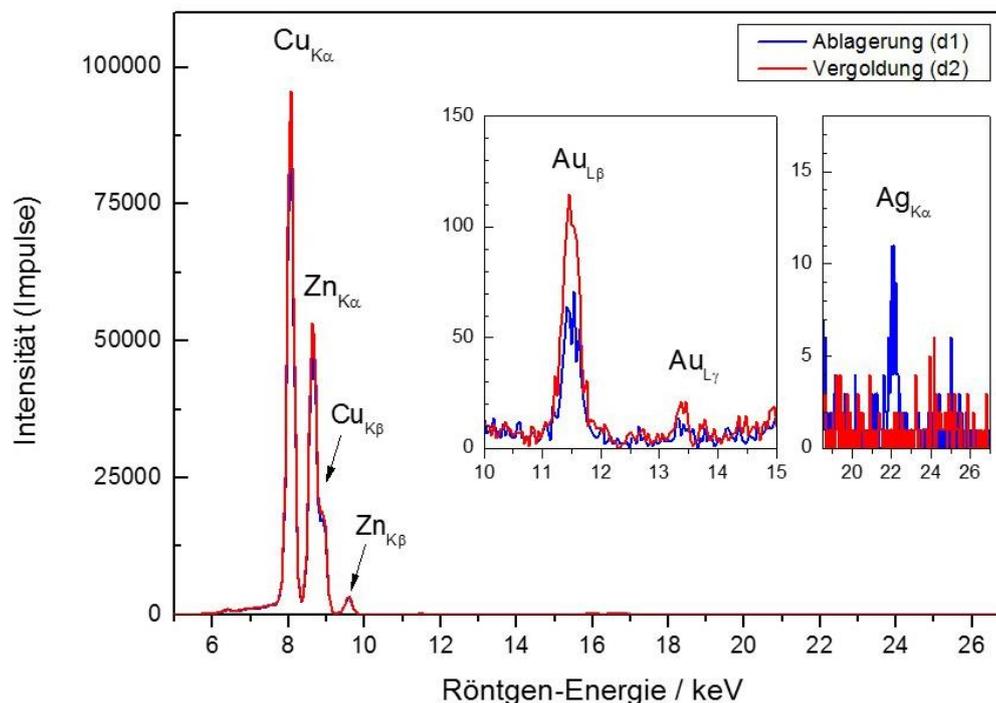


Abb. 30: PIXE-Messergebnis auf Probeplatte Versuch 2 (Gold, s. Verfärbungen)

Die Messinglegierung ist bei beiden Messpunkten ungefähr gleich. Bei der Vergoldung wurden minimal höhere Cu-/ Zn- und Au- Anteile gemessen. Möglicherweise lassen die schwarzen Ablagerungen weniger Strahlung durch, sodass nicht so viel vom darunter liegenden Material detektiert werden kann. Allgemein ist die Vergoldung sehr dünn, da nur ca. 100 Impulse (auf der Vergoldung) gemessen wurden. Im Vergleich dazu liegen die Cu- und Zn-Anteile bei ca. 50.-100.000 Impulse. Die Vergoldung wurde bei der Probeplatte galvanisch aufgebracht und ist daher auch viel dünner als die Vergoldung auf der Sonnenuhr.

<sup>36</sup> Siehe 6.6. Ionenstrahl-Analyse: Durchführung

Auf der schwarzen Ablagerung ist ein höherer Silberanteil als auf der Vergoldung vorhanden, die Anteile sind insgesamt jedoch sehr gering (11 und 2 Impulse).

*Schlussfolgerung:*

*Es wurden geringe Spuren von Silber auf der Probeplatte gefunden.*

Zusätzlich wurden am 14.11.16 RFA-Messungen gemacht. Durch die RFA-Untersuchungen konnten dünne Schichten, wie z. B. die galvanisch vergoldete und versilberte Probeplatte, sehr gut gemessen werden. Das RFA-Gerät wurde auf Elektronik kalibriert. Auf den schwarzen Ablagerungen konnte Silber nachgewiesen werden.<sup>37</sup>

*RFA-Ergebnisse: Schwarze Stelle und Vergoldung als Vergleich:*

Nr.	Bezeichnung	Cu	Zn	Au	Ag
2	Probeplatte V2, schwarze Stelle	63,1	35,1	1,4	0,2
5	Probeplatte V2, Vergoldung	62,7	35,5	1,4	<LOD

Durch die RFA- und IBA-Messergebnisse kann ein Silbertransport vom Silberblech auf die Vergoldung durch Potenzialunterschiede bestätigt werden. Dieser Vorgang lief beschleunigt und unter Einwirkung einer fremden Spannung ab.

<sup>37</sup> Anhang V, S. 13: Messergebnisse RFA

### 7.3. Ablagerung durch mechanisch-chemische Prozesse

Eine weitere Theorie zur Entstehung der Verfärbungen befasst sich mit mechanisch-chemischen Reinigungsvorgängen der silbernen Ziffernringe, die eine Ablagerung von Silber auf der Vergoldung zur Folge hat.<sup>38</sup>

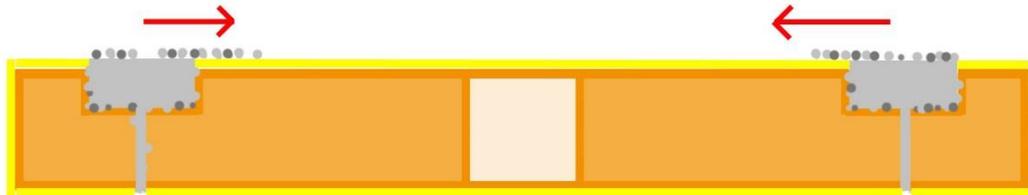


Abb. 32: Modell zur Ablagerung durch mechanisch-chemische Prozesse

Bei einer Reinigung der Uhr vom Silbersulfid auf den Silberringen wurde vermutlich mit einem Reinigungs-/Poliermittel agiert, das weitgehend mechanisch reinigt (Schlammkreide oder ähnliches). Dabei wird das Silbersulfid oberflächlich vom Silberring abgerieben, aber gleichzeitig auch Silber. Dieses Silber wiederum wurde auch in den Spalt und auf die innere Goldplatte "geschmiert". Das fein verteilte Silber auf der Goldunterlage reagiert nach einer Weile wieder zu Silbersulfid. Das erklärt auch, warum die Verfärbungen vom Silberring ausgehend dünner erscheinen

Im Übrigen ist das gleiche Szenario auch mit einer chemischen Silbersulfid-Entfernung denkbar. Auch dann kann Silber auf die vergoldeten Bereiche verbracht und dort im Laufe der Zeit erneut zu Silbersulfid oxidiert worden sein. Dies bringt ein zukünftiges Dilemma mit sich: Solange sich Silber auf der Gold-Unterlage (= vergoldete Nut) befindet, wird die Verfärbung an der Luft wieder auftreten.

<sup>38</sup> Vielen Dank an Prof. Dr. rer. nat. habil. Thomas Doert, Professor der Anorganischen Chemie der TU Dresden, für seine hilfreichen Ratschläge und Ideen. (Besuch der Restaurierungswerkstatt am 24.10.16)

#### 7.4. Auswertung

Da die genauen Bedingungen der Lagerung und die Details der restauratorischen Bearbeitung der Sonnenuhr und der anderen Objekte mit ähnlichen Schadensbild nicht ausreichend geklärt werden konnten, ist eine eindeutige Aussage zur Entstehung und Ursache der Verfärbungen nicht möglich. Es gibt viele Objekte die eine Kombination vergoldetes Messing und Silber sind, bei denen sich keine schwarzen Verfärbungen gebildet haben bzw. eine Silberwanderung stattgefunden hat.

Eine Voraussetzung für die Entstehung der Verfärbungen ist die Anwesenheit von Feuchtigkeit, die im Falle der Sonnenuhr durch die natürlichen klimatischen Umstände gegeben war. Eine weitere Ursache können Putzmittelreste (Kreide, Gips) sein, die an fast allen Objekten mit dem Schadensbild gefunden wurden. Diese dienten vermutlich als Feuchtespeicher oder Bewegungsträger für das Silber oder können auch auf eine mechanische Silberreinigung hindeuten.

Die Voraussetzungen (Feuchtigkeit, Putzmittel) für Silber Migration durch Putzmittel sind bzw. waren über mehrere Jahre vorhanden. Durch den Versuch 1 wird ebenfalls diese Theorie unterstützt, da offenbar Kreide die Neigung zeigt unter einer hohen bzw. wechselnden Luftfeuchtigkeit zu wandern und dabei Silberteilchen mit zu transportieren. Das Erscheinungsbild, auf der Rückseite der Sonnenuhr um die Nieten herum, spricht für den hier dargelegten Vorgang. Da sich die Ausbreitung der Verfärbungen auf der Vorder- und Rückseite des SZB stark voneinander unterscheiden, sind verschiedene Prozesse an der Sonnenuhr denkbar, die dazu geführt haben könnten.

Die Voraussetzungen (Feuchtigkeit, Potentialunterschiede) für eine Ablagerung als Folge von Silberoxidation sind bzw. waren über mehrere Jahre vorhanden. Für diesen Prozess spricht, dass die Verfärbungen leicht lösbar sind (Aceton) und daher nur eine Ablagerung auf der Vergoldung stattgefunden hat.

Dagegen spricht, dass die Potentialunterschiede zwischen Silber und Gold sehr gering sind und bei Kombination Ag-Au meist keine Veränderungen an Objekten auftreten. Dieses Phänomen der schwarzen Verfärbungen müsste nach dieser Theorie an viel mehr Objekten auftreten.

Nach den Versuchen 1 und 2 zu urteilen, ist eine Wanderung von Silberionen möglich. Dr. Wolf-Dieter Schulz, Diplomchemiker und Experte in Sachen Korrosion (IHK Dresden), hält die Theorie einer Ablagerung in Folge von Kontaktkorrosion für eher unwahrscheinlich bzw. ist sie in der Fachliteratur noch nicht beschrieben.

Auch ein Abtrag des Silbers durch mechanisch-chemische Prozesse ist denkbar. Die Voraussetzungen (Feuchtigkeit, Putzmittel) für diesen Prozess sind bzw. waren über mehrere Jahre vorhanden.

Für diese Theorie spricht das partielle Auftreten der schwarzen Verfärbungen, was möglicherweise durch eine Reinigung und partielles „drüber wischen“ hervorgerufen wurde. Die leichte Lösbarkeit der schwarzen Verfärbungen untermauert ebenfalls den Prozess.

Zudem wurde Silber unter dem Lack gefunden, d. h. der Silberring wurde geputzt, das Silber mit Schleifmitteln abgetragen und auf die Vergoldung gebracht. Anschließend sind vergoldete Bereiche lackiert worden, die mit Silber „kontaminiert“ waren. Durch den Lack ist dieses Silber nicht „angelaufen“ und nicht sichtbar.

## 8. FREILEGUNGSVERSUCHE

Im Mathematisch-Physikalischen Salon wird im Rahmen einer zukünftigen Restaurierung der Sonnenuhr in Erwägung gezogen die schwarzen Verfärbungen zu entfernen, da das Erscheinungsbild der Uhr durch die schwarzen Stellen beeinträchtigt wird. Das Entfernen der Verfärbungen wäre ein ästhetischer Aspekt, um den Betrachter vom Gesamteindruck der Uhr nicht abzulenken.

Durch die Ergebnisse der Röntgenfluoreszenz-Analysen, sowie der Ionenstrahl-Analyse konnten die schwarzen Verfärbungen auf der Vergoldung als Silbersulfid identifiziert werden. Aus restauratorischer Sicht ist es nicht notwendig Silbersulfid zu entfernen, da dieses sehr stabil ist und das Objekt nicht schädigt. Die Abnahme des Sulfids ist unweigerlich ein Eingriff in das Objekt und kann Schäden hervorrufen. Dabei ist es nicht ausgeschlossen, dass es zu einer Schädigung bzw. Veränderung der Oberflächenstruktur kommen kann. Deshalb ist es wichtig, geeignete Freilegungsmethoden für die speziellen Bedingungen der Sonnenuhr zu finden.

Als Problem der Freilegung könnte sich die Annahme erweisen, dass sich Silber unter dem Sulfid befindet, sodass nicht nur das Silbersulfid, sondern auch das Silber entfernt werden müsste. Diese Annahme stützt sich auf ähnliche Beispiele, bei denen Silber durch eine Vergoldung hindurch diffundierte. Nach einer elektrolytischen Freilegung des Sulfids, kommt eine silberne Oberfläche zum Vorschein, die in einem weiteren Prozess abgetragen werden muss.

Unter einer Freilegung ist im speziellen Fall die Abnahme von Auflagerungen zu verstehen, die sich fest mit der originalen vergoldeten Oberfläche verbunden haben.

Die vorliegende Erscheinung kann nicht als „Patina“ bezeichnet werden, da es sich hier nicht um eine über die Zeit natürlich umgewandelte Metalloberfläche handelt, die durch äußere Einflüsse (wie z.B. Luft, Feuchtigkeit, Schadstoffe), sowie Alterung chemisch oder physikalisch verändert wurde. In diesem Fall ist es eine Auflagerung eines fremden Metalls. Sie spiegelt dennoch die Geschichte des Objektes wieder. Bei einer Freilegung der Vergoldung der Sonnenuhr wird, wenn auch in geringem Maße, immer mit dem Verlust von originaler Substanz zu rechnen sein.

Ziel der Freilegungsversuche ist es, Wege und Möglichkeiten zu finden, um ein möglichst schadfreies Entfernen dieser Schichten zu entwickeln, damit die Beeinträchtigung der Oberfläche so gering wie möglich bleibt. Um geeignete Lösungen zu finden, wurden Probenplatten hergestellt, die einen ähnlichen Beschichtungscharakter, wie er bei der Sonnenuhr vorzufinden ist, aufweisen. Dafür wurden Messingbleche galvanisch vergoldet, versilbert und anschließend patiniert. Auf Grund der Gegebenheiten musste auf eine gesundheits- und umweltschädigende Feuervergoldung verzichtet werden. Die Freilegungsversuche wurden mechanisch, chemisch, elektrolytisch und mittels Laser durchgeführt.

Problematisch ist die Vergleichbarkeit der Versuche zur Sonnenuhr. Die Vergoldung am Original wurde als Feuervergoldung aufgebracht. Bei der Feuervergoldung kann sich, durch die eingebrachte Hitze, eine Diffusionsschicht zwischen Untergrund und Gold bilden, die für eine ausgezeichnete Haftung verantwortlich ist. Dabei kommt es zu Schichtdicken von ca. 3-10 µm. Galvanisch aufgebrachte Vergoldungen sind sehr viel dünner (0,01-0,1 µm), haften nicht so gut und sind schon aus diesen Gründen weitaus empfindlicher als eine Feuervergoldung.<sup>39</sup>

---

<sup>39</sup> Anheuser, Kilian, 1999. *Im Feuer vergoldet – Geschichte und Technik der Feuervergoldung und der Amalgamversilberung*. In: AdR Schriftenreihe zur Restaurierung und Grabungstechnik, Band 4, Theiss Verlag, Stuttgart, AdR Arbeitsgemeinschaft der Restauratoren, Museen – Denkmalpflege – Grabungstechnik e.V., ISBN 3806214042, S.8 ff

Ein weiterer Punkt ist das Nachstellen des Silbersulfids durch die Patinierung mit Schwefelleber. Eine über Jahre natürlich gewachsene Silbersulfidschicht ist viel stärker mit dem Untergrund verbunden als eine künstliche Patinierung. Des Weiteren konnte auch keine zufriedenstellende Nachbildung einer Silbersulfidschicht auf der Vergoldung hergestellt werden. Daher sind die Freilegungsversuche lediglich Annäherungen und Empfehlungen, die sich möglicherweise beim originalen Objekt anders auswirken.

Die Herstellung der Probestplatten, sowie die Durchführung der Freilegungsversuche fanden als Vorbereitung zur Bachelor-Arbeit in der Projektzeit vom 19.09.-14.10.16 statt. Die genaue Herstellung der Probestplatten (Vergoldung, Versilberung, Patinierung) und die Durchführung der Freilegungsversuche ist in der Dokumentation des Autors zum Projekt M 15 zu finden.

### **8.1. Herstellung der Probestplatten**

Es wurden 12 Probestplatten aus Messing<sup>40</sup> hergestellt. Sie wurden gesägt, geschliffen (500-8000 Körnung), poliert, Kanten gebrochen und abgerundet, damit bei den Freilegungsversuchen keine Verletzungsgefahr besteht. Die Maße der Probestplatten liegen bei 97,7 mm x 34 mm und einer Materialstärke von 1 mm. Da sich die schwarzen Verfärbungen auf der Sonnenuhr im Bereich von gravierten Flächen befinden, wurde, um besser auf die Problematik einzugehen, zusätzlich in eine Fläche von 15 mm x 15 mm am unteren linken Rand der Probestplatten, eine Gravur eingebracht (Abb. 70). Die Probestplatten wurden anschließend galvanisch vergoldet und versilbert (Abb. 71) und eine künstliche Patinierung mittel Schwefelleber aufgebracht (Abb. 72).

---

<sup>40</sup> Materiallager des MPS; RFA-Messungen ergaben Cu: 62,7 / Zn: 35,9 / Spurenelemente

## 8.2. Mechanische Freilegung:

Eine, in der Vergangenheit oft eingesetzte, Freilegungsmethode für Silbersulfid ist die mechanische Freilegung durch abrasive Schleifmittel. Bei dieser Methode werden die Schleifmittel meistens in wässriger Lösung gelöst und legen durch den Schleifprozess das Silber frei. Eine Beschädigung durch Kratzer oder Abrieb des Grundmetalls bzw. auf die, unter dem Sulfid liegende, Originalsubstanz, sollte durch eine geeignete Wahl des Schleifmittels so gering wie möglich ausfallen. Diese Methode ist mit Bedacht zu wählen, hat aber den großen Vorteil, sehr partiell auf Schadstellen einzugehen. Auch die Bereinigung von Putzmittelresten ist mit höchster Sorgfalt durchzuführen, da die Hygroskopizität z. B. von Kreideresten die Korrosionsneigung des Grundmetalls beschleunigt. Durch die Freilegungsversuche sollen Wirksamkeit der Freilegung, Abrieb bzw. Schäden an der Originalsubstanz, sowie Vor- und Nachteile zweier Kreiden und einem Poliermittel geprüft werden. Bei weiteren Versuchen soll die Vergoldung freigelegt werden.

### Ergebnis Champagner Kreide + destill. Wasser

Die Patinierung wurde nach einiger Zeit abgetragen. Die Tiefen der Gravuren ließen sich durch ihre geringe Größe nicht gut freilegen. Rückstände der Patinierung verblieben in den Gravuren (Abb. 73). Viele kleine Kratzer waren auf der Versilberung sichtbar (Abb. 74).

Bei der Freilegung der Vergoldung musste ein hoher Druck auf die Oberfläche aufgebracht werden. Das Silber ließ sich sehr langsam reduzieren (Abb. 75).

### Ergebnis Rügener Kreide + destill. Wasser

Die Patinierung war mit Rügener Kreide schwerer entfernbar und nahm einige Zeit in Anspruch. Auch hier blieben Rückstände der Patinierung in den Gravuren. Kleine Kratzer sind auf der versilberten Oberfläche sichtbar (Abb. 76/77). Der Abtrag des Silbers dauerte lange und erforderte hohen Druck (Abb. 78).

### Ergebnis Azuran Blau (Poliermittel)<sup>41</sup>

Schon nach kurzer Zeit war die Patinierung und zugleich das darunter liegende Silber entfernt. Die Patinierung konnte in den Gravuren nicht vollständig entfernt werden. Sehr starke Kratzer sind auf der Vergoldung sichtbar. Die Freilegung erfolgte relativ schnell und ohne Druck aufzubringen (Abb. 79/80).

### **8.3. Chemische Freilegung:**

Eine Möglichkeit der Entfernung der Silbersulfidschicht auf chemischen Weg ist die Behandlung (Tauchbad) mit Thioharnstoff gelöst in Wasser. Die Freilegung beruht auf der Anwendung von Komplexbildnern. Thioharnstoff kann mit den Sulfidionen Komplexe bilden, wodurch sie löslich werden.<sup>42</sup> Die Möglichkeit des Ausdünnens der Sulfidschicht mit Heißdampf empfahl Jens Dornheim<sup>43</sup>.

### Ameisensäure + Thioharnstoff in destill. Wasser<sup>44</sup>

Rezept 1: 100 g Thioharnstoff, wenige Tropfen einer Säure (Schwefel-, Salz- oder Ameisensäure) in 1 l Wasser

---

<sup>41</sup> Flume: Hochfeine Polierpaste mit Diamantinezusatz für alle Edelmetalle; Poliertonerden, Paraffin, Stearin, Farbstoff, Hilfsstoff

<sup>42</sup> Wikimedia Foundation Inc., 2016. *Thioharnstoff*. San Francisco: Wikimedia Foundation Inc., 23.11.16 [Zugriff 06.12.16]. Verfügbar unter: <http://de.wikipedia.org/wiki/Thioharnstoff>

„Thioharnstoff ist eine organische Verbindung und ein Komplexbildner“

<sup>43</sup> Restaurator des Münzkabinetts der Staatlichen Kunstsammlungen Dresden

<sup>44</sup> Jahr, U, 1988. Zur Problematik der Sulfidabnahme von kunsthandwerklichen Silberobjekten. In: Restauratorenblätter Heft 1. 1988. S93

Das Silber konnte mit diesem Verfahren großflächig und selbst in den Gravuren freigelegt werden. Der punktuelle Auftrag im zweiten Versuch mittels Wattestäbchen funktionierte mäßig. Das Erscheinungsbild der Probefläche war fleckig, die Patinierung konnte dabei nicht ganz gelöst werden (Abb. 81).

Die Freilegung der Vergoldung war nicht möglich. Nach längerer Einwirkzeit wies die Versilberung lediglich hellere Flecken auf.

#### Ameisensäure + Thioharnstoff + Tensid in destill. Wasser<sup>45</sup>

Rezept 2: 85 g Thioharnstoff, 10 ml Ameisensäure, 5 ml Tensid, 1 l Wasser

Schon nach 2 Minuten konnte die Versilberung freigelegt werden. Die Gravuren wiesen keine Rückstände der Patinierung auf. Ebenso funktionierte der lokale Auftrag mittels Wattestäbchen sehr gut (Abb. 82).

Das Silber ließ sich durch die chemische Freilegungsmethode nicht entfernen. Es kam nur zu einem fleckigen Erscheinungsbild des Silbers.

#### Heißdampf<sup>46</sup>

Es gab keine Veränderung der Oberfläche und die Patinierung wurde nicht freigelegt, was auch der glatten und sehr dünnen Sulfidschicht geschuldet ist.

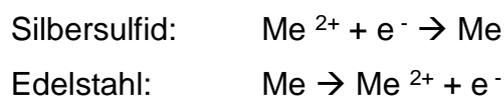
---

<sup>45</sup> Hans-Günter Heiserholt (alias HGH), 2015. *Die chemische Hexenküche – zur Behandlung von Metallen und Metallegierungen*. Hans-Günter Heiserholt (alias HGH), 02.07.2015. [Zugriff 10.10.2016]. Verfügbar unter: [http://www.web-hgh.de/index\\_jsm\\_moba.htm?http://www.web-hgh.de/p01\\_45224.htm](http://www.web-hgh.de/index_jsm_moba.htm?http://www.web-hgh.de/p01_45224.htm)

<sup>46</sup> Jens Dornheim, Restaurator des Münzkabinetts (SKD): Empfehlung von Heißdampf zur Ausdünnung von Silbersulfidschichten, Telefonat: 10.10.16

#### 8.4. Elektrolytische Freilegung:

Bei der elektrolytischen Freilegungsmethode wird das Silbersulfid reduziert, indem es mit einem anderen Material an eine Stromquelle angeschlossen wird. Das Silbersulfid wird als Kathode geschaltet, während meistens ein Edelstahlblech als (Opfer-)Anode fungiert. Als elektrischer Leiter dient ein Elektrolyt. Durch die Spannungsunterschiede wird das Sulfid reduziert und der Edelstahl oxidiert. Nach der Gleichung:



Davon ausgehend, dass sich unter dem Sulfid Silber auf der Vergoldung befindet, wurde in einem zweiten Vorgang versucht, das Silber zu entfernen. Das Silber sollte in einem Umkehrprozess oxidiert werden. Dazu wurden die Pole vertauscht, sodass die Probepatte als Anode und die Edelstahl-Stange als Kathode diente.

Die Patinierung wurde großflächig entfernt. Jedoch konnte sie in den Tiefen der Gravuren nicht freigelegt werden.

Beim Umkehrprozess kam es zu einem fleckigen, rauen und messingfarbenen Erscheinungsbild der Oberfläche. Die Vergoldung wurde bei dem Prozess angegriffen bzw. war mit dem Silber entfernt worden (Abb. 84/85). Möglicherweise kann dies an der galvanisch aufgetragenen Vergoldung liegen, die anders als eine Feuervergoldung, sehr dünn ist und nicht so eine geschlossene Schicht und feste Haftung auf dem Messing besitzt.

### 8.5. Laser-Freilegung:

Ein Laserstrahl ist eine Licht-Verstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung, d.h. ein Laser besteht aus elektromagnetischen Wellen, die sich durch ihre hohe Intensität, dem engen Frequenzbereich und der starken Bündelung des Strahls von normalen Licht unterscheidet.<sup>47</sup> Der verwendete Laser ist in der Lage die Energie in so kurzer Zeit zu deponieren, dass an der Oberfläche ein Plasma entsteht, welches sich mit hoher Geschwindigkeit von der Oberfläche weg in Richtung des Laserstrahles ausbreitet. Die Wärme-übertragung an darunter liegenden Schichten ist dabei minimal, weil die dort ablaufenden thermischen Prozesse sehr langsam ablaufen. Die schnelle Ausbreitung des Plasmas führt zur Entstehung einer Druckwelle, die aufliegenden Schmutz oder Deckschichten abplatzen lässt.<sup>48</sup>

Die Laser-Freilegung wurde an der Fachhochschule Potsdam in der Stein-Werkstatt mit dem Thales Laser NL 201 durchgeführt. Bei der geringsten Stufe (Frequenz: 4, Energie: 3) war ein punktueller Abtrag der Patinierung sichtbar (Abb. 88). Bei höheren Stufen (Frequenz: 1, Energie: 3 - 10) wurde auch das Silber, durch sehr kleine punktuelle Absprengungen, abgetragen. Bei der Freilegung kam es zu einem Wärmeeintrag, der sich in lila verfärbten Stellen an Randbereichen und bei der höchsten Energie 10 auf der Fläche zeigte. Unter dem Mikroskop konnten auch Schäden, in Form von kleinen punktuellen Abplatzungen, auf der Vergoldung ausgemacht werden (Abb. 86/87).

---

<sup>47</sup> Wikimedia Foundation Inc., 2016. *Laser*. San Francisco: Wikimedia Foundation Inc., 16.11.2016 [Zugriff 06.12.16]. Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Laser>

<sup>48</sup> Soliton Laser und Messtechnik GmbH, 2016. *Reinigung mit Laserlicht*. Gilching: Soliton Laser und Messtechnik GmbH, [Zugriff 08.12.16]. Verfügbar unter: <http://www.soliton-gmbh.de/de/applikationen/reinigung-mit-laserlicht.html>

### 8.6. Auswertung

Methode	Freilegung		Schaden	Bemerkung
	Ag <sub>2</sub> S	Ag		
Champagner Kreide + destill. Wasser	++	+	Kratzer, Abriebspuren	
Rügener Kreide + destill. Wasser	++	+	Kratzer, Abriebspuren	
Azuran Blau (Poliermittel)	++	++	Sehr starke Kratzer, Abriebspuren, Silber mit entfernt	Schneller Abtrag
Thioharnstoff + Ameisensäure in destill. Wasser	++	--		
Thioharnstoff + Tensid + Ameisensäure in destill. Wasser	++	--		Sehr schneller Vorgang
Elektrolytisch	++	++	Vergoldung mit entfernt	
Laser	+	+	Vergoldung angegriffen	Unhandliche Bedienung, Durch mobiles Gerät Punkt des Abtrags nicht gut einstellbar

Die Vergoldung der Sonnenuhr ist nicht durchgängig geschlossen. Sie besitzt viele kleine Poren (Abb. 40), in die Chemikalien eindringen und dort verbleiben können. Diese führen zu einem weiteren Korrosionsangriff und schädigen das, unter der Vergoldung liegende, Messing. Trotz einer gründlichen Nachreinigung bei der chemischen und elektrolytischen Freilegung ist es nicht ausgeschlossen, dass restliche Bestandteile dieser Chemikalien im Objekt zurück bleiben.

Die Lasermethode ist grundsätzlich auszuschließen, da ein Angriff auf die Vergoldung stattfindet. Auch der durch den Laser produzierte Wärmeeintrag darf nicht unbeachtet bleiben. Möglicherweise können Spannungen im Kristallgefüge hervorgerufen werden.

Als Schleifmittel ist Rügener Kreide zu empfehlen, da es den geringsten Abrieb auf der Oberfläche hat. Auch bei dieser Methode muss gründlich nachgereinigt werden, da die Schleifmittel hygroskopisch sind und damit Feuchte auf der Oberfläche halten.

## **9. RESTAURIERUNGS- UND KONSERVIERUNGSKONZEPT**

Ziel der Restaurierung sollte eine komplette Reinigung aller Teile der Sonnenuhr beinhalten. Dabei sollte besonderes Augenmerk auf die Beseitigung von Putzmittelresten ehemaliger Restaurierungen gelegt werden. Grün erscheinende Korrosionsprodukte sollten ebenfalls von der Oberfläche abgenommen bzw. ausgedünnt werden. Das Silbersulfid auf der Vergoldung und den silbernen Ziffernringen sollte entfernt bzw. reduziert werden.

Es ist sehr wichtig, alle Maßnahmen zur Reinigung oder Ausdünnung von Korrosionsprodukten an kleinsten Stellen am Objekt zu testen, da die verschiedenen Teile unterschiedliche Oberflächen aufweisen können. Außerdem ist eine Demontage der Kompassanzeige nötig um diese, sowie die Grundplatte angemessen reinigen zu können. Erste vorsichtige Versuche führten zu keinem Ergebnis.

Alle Einzelteile der Sonnenuhr sollten zuerst trocken mit einem Pinsel unter einer Absauganlage von locker aufliegendem Staub befreit werden. Anschließend können sie mit Ethanol und Waschbenzin gereinigt werden um sie von Verschmutzungen (wie Fetten oder Ölen) zu befreien. Eine Ausnahme sind die Ziffernringe, die eine auf Acrylate basierende Lackierung aufweisen. Der Lack ist zwar nicht durch Ethanol und Waschbenzin lösbar, trotzdem sollten sie besser mit einem trockenen Tuch abgewischt werden. Weiße Ablagerungen wurden in Zahnzwischenräumen, am Quadrant und an vielen anderen Stellen gefunden. Falls die weißen Putzmittelrückstände sehr fest haften, sollten sie unter dem Mikroskop mittels Holz-/ Elfenbeinstäbchen mechanisch abgesprengt werden.

Auf der Unterseite der Grundplatte, am Stundenzeiger und an der Verbindungsstelle der Beinpaare sind grüne Korrosionsprodukte sichtbar.

Auf der aus Silber bestehenden Kompassanzeige, sowie anderen silbernen Einzelteilen befinden sich partiell auftretende schwarze Korrosionsprodukte. Bei einer mechanischen Freilegung des Silbersulfids kann ein Abrieb des Silbers nicht verhindert werden. Damit geht immer etwas von der Originalsubstanz verloren.

Das Silbersulfid sollte daher chemisch oder elektrolytisch freilegt werden. Es sollte partiell und unter dem Mikroskop mit einem sehr kleinen mit Watte umwickelten Stäbchen (elektrolytisch: Edelstahlnadel) gearbeitet werden. Die Lösung bzw. der Elektrolyt darf nicht nass auf die Oberfläche aufgebracht werden, damit diese nicht in den Spalt zwischen den Ziffernringen und Träger fließen kann, sondern nur an den zu bearbeitenden Silbersulfidstellen lokal und leicht feucht verwendet werden. Anschließend folgt eine gründliche Nachreinigung mit destill. Wasser, ebenfalls unter dem Aspekt ein Hineinlaufen zu verhindern.

Der elektrolytische Vorgang wird vermutlich von der Größe der Anode (Edelstahlnadel) begrenzt.

An einer kleinen Probefläche wurde bereits mit Aceton Silbersulfid von der Vergoldung gelöst, d. h. das Silbersulfid ist nicht fest mit der vergoldeten Oberfläche verbunden. Erste Versuche mit Lösemitteln (Aceton) könnten das Silbersulfid auf der Vergoldung bereits reduzieren und ausdünnen ohne Schäden auf der Vergoldung zu verursachen.

Die zurückbleibenden Verfärbungen können nun partiell chemisch oder elektrolytisch gereinigt werden. Der Vorgang ist wie bei der Reinigung des Silbersulfids auf Silber durchzuführen.

Die Lackierung auf den Ziffernringen ist relativ schwer lösbar und sollte, da sie großflächig funktionstüchtig ist, nicht entfernt werden. Wegen seiner hohen Elastizität kann Acryllack überstrichen werden.<sup>49</sup> Nach der Abnahme des Silbersulfids (siehe oben) sollten daher die Lackfehlstellen geschlossen werden. Auch der Lack an der Projektionsfläche sollte überprüft und möglicherweise ausgebessert werden.

Die vergoldeten Einzelteile neigen im Grunde nicht zur Korrosion. Die Vergoldung besitzt jedoch viele Poren, wodurch Korrosionsprodukte vom Untergrundmaterial (Messing) hindurch wandern und sich auf dem Gold ablagern können. Eine Konservierung mit mikrokristallinem Wachs (Cosmoloid) ist daher sinnvoll.

## 10. AUSBLICK

Hohe Feuchtigkeit und Putzmittelrückstände sind hauptsächlich die Voraussetzungen, die für die Entstehung der schwarzen Verfärbungen verantwortlich sind. Bei einer Aufstellung bzw. Deponierung ist daher eine eher geringe rel. Luftfeuchte anzustreben. Auch bei zukünftigen Restaurierungen von Objekten sollte auf eine gründliche Nachreinigung geachtet werden, da Putzmittelrückstände immer Korrosionsauslöser sind. Objekte, die als Folge von ehemaligen Reinigungen sichtbare Putzmittelreste aufweisen, sollten beobachtet und wenn möglich gereinigt werden.

Der Zeitpunkt der zukünftigen Restaurierung der Minuten-Sonnenuhr ist noch unbekannt. Sicher ist, dass die Uhr wieder im Depot des MPS aufgestellt wird. Als Folge der Bachelor-Arbeit sind weitere materialspezifische Untersuchungen an der Sonnenuhr (Inv.-Nr.: D I 9) geplant, die Aufschluss über Material und damit über ihre Herkunft geben können.

---

<sup>49</sup> DS Digitale Seiten GmbH, 2013. *So lässt sich Acryllack entfernen*. Berlin: DS Digitale Seiten GmbH, 20.09.13 [Zugriff 30.11.16]. Verfügbar unter: <http://www.maler.org/acryllack-entfernen-201317434>

## 11. LITERATURNACHWEIS

**DELALANDE, Dominique / Eric**, 2013. *Cadrans Solaires. Sundials* (Exhibition). Paris, Galerie Delalande

**JAHN, U.**, 1988. *Zur Problematik der Sulfidabnahme von kunsthandwerklichen Silberobjekten*. In: Restauratorenblätter Heft 1. 1988.

**KERN, Ralf**, 2010. *Wissenschaftliche Instrumente in ihrer Zeit*. 3 Bd., Köln, Verlag der Buchhandlung Walther König, ISBN 978-3-86560-867-3

**KREHON, Verena**, 1990. *Prinzipien der Konservierung von Metallobjekten*. In: Restauratorenblätter Bd. 11, Konservierung von Metallobjekten und Metallfassungen. Wien, 1990

**KUNZE, Egon**, 2001. *Korrosion und Korrosionsschutz*. Band 2. Berlin/Weinheim, Wiley-Verlag

**MÄDER, Michael**, 2003. *Zerstörungsfreie Charakterisierung historischer Glasobjekte mittels Ionenstrahlen*. Dresden, Forschungszentrum Rossendorf e.V., Dissertation, ISSN 1437-322X

**SCHILLINGER, Klaus**, 2012. *Reichsgraf Hans von Löser (1704-1763) aus Schloss Reinharz – ein Liebhaber und Förderer des wissenschaftlichen Instrumentenbaus*. In: Europa in der Frühen Neuzeit. Bd. 6. Mittel-, Nord- und Osteuropa. Erich Donnert, 2012. Weimar, Böhlau Verlag Köln

**SCHILLINGER, Klaus**, 1994. *Kostbare Instrumente und Uhren aus dem Staatlichen Mathematisch-Physikalischen Salon Dresden*. Leipzig, Seemann Verlag

**SCHULTE, Carl**, 1902. *Lexikon der Uhrmacherkunst: Handbuch für alle Gewerbetreibenden und Künstler der Uhrenbranche*. Bautzen, Emil Hübners Verlag

**SCHUMANN, August**, 1822. *Vollständiges Staats- Post- und Zeitungs-Lexikon von Sachsen*. Bd. 9, Zwickau, Gebrüder Schumann

**Internetquellen:**

**Hans-Günter Heiserholt (alias HGH)**, 2015. *Die chemische Hexenküche – zur Behandlung von Metallen und Metallegierungen*. Hans-Günter Heiserholt (alias HGH), 02.07.2015. [Zugriff 10.10.2016]. Verfügbar unter: [http://www.web-hgh.de/index\\_jsm\\_moba.htm?http://www.web-hgh.de/p01\\_45224.htm](http://www.web-hgh.de/index_jsm_moba.htm?http://www.web-hgh.de/p01_45224.htm)

**DS Digitale Seiten GmbH**, 2013. *So lässt sich Acryllack entfernen*. Berlin: DS Digitale Seiten GmbH, 20.09.13 [Zugriff 30.11.16]. Verfügbar unter: <http://www.maler.org/acryllack-entfernen-201317434>

**Wikimedia Foundation Inc.**, 2016. *Siegellack*. San Francisco: Wikimedia Foundation Inc., 24.10.2016 [Zugriff 01.11.16]. Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Siegellack>

**Wikimedia Foundation Inc.**, 2016. *Laser*. San Francisco: Wikimedia Foundation Inc., 16.11.2016 [Zugriff 06.12.16]. Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Laser>

**Wikimedia Foundation Inc.**, 2016. *Thioharnstoff*. San Francisco: Wikimedia Foundation Inc., 23.11.16 [Zugriff 06.12.16]. Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Thioharnstoff>

**Soliton Laser und Messtechnik GmbH**, 2016. *Reinigung mit Laserlicht*. Gilching: Soliton Laser und Messtechnik GmbH, [Zugriff 08.12.16]. Verfügbar unter: <http://www.soliton-gmbh.de/de/applikationen/reinigung-mit-laserlicht.html>

**Walter Widmer**, 2006. In: fotocommunity GmbH, 2016. *Uralter Agfa Isopan F (Fragen dazu)*. Köln: fotocommunity GmbH, 14.09.06 [Zugriff 09.12.16]. Verfügbar unter: <http://www.fotocommunity.de/forum/analoge-fotografie/uralter-agfa-isopan-f-fragen-dazu---35790>

**CHEMIE.DE Information Service GmbH**, 2016. *IR-Spektroskopie*. Berlin: CHEMIE.DE Information Service GmbH, [Zugriff 10.11.16]. Verfügbar unter: <http://www.chemie.de/lexikon/IR-Spektroskopie.html>

**12. ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abb.	Bezeichnung	Dateiname	S.
1	Minuten-Rädersonnenuhr D I 7	Abbildung 01_Textteil.jpg	1
2	Teilgruppen der Uhr	Abbildung 02_Textteil.jpg	4
3	Konstruktion der Zifferblätter	Abbildung 03_Textteil.jpg	5
4	Aufstellung der Sonnenuhr in N/S -Richtung	Abbildung 04_Textteil.jpg	9
5	Breitengradeinstellung und lotrechte Positionierung	Abbildung 05_Textteil.jpg	9
6	Schattenwerfer erzeugt einen Schatten auf der Projektionsfläche	Abbildung 06_Textteil.jpg	10
7	Sonnenuhr (Inv.-Nr.: D I 9), MPS Dresden	Abbildung 07_Textteil.jpg	12
8	Sonnenuhr aus „Wissenschaftliche Instrumente in ihrer Zeit“ von Ralf Kern	Abbildung 08_Textteil.jpg	13
9	Sonnenuhr der Galerie Delalande	Abbildung 09_Textteil.jpg	14
10	Sonnenuhr (Inv.-Nr.: D I 7), MPS Dresden	Abbildung 10_Textteil.jpg	14
11	Abbildung um 1900	Abbildung 11_Textteil.jpg	18
12	Abbildung von 1936-1980	Abbildung 12_Textteil.jpg	18
13	Abbildung um 1960, Fotograf unbekannt	Abbildung 13_Textteil.jpg	19
14	Abbildung von J. Karpinski, 1992	Abbildung 14_Textteil.jpg	19
15	Abb. 14: Vgl. der Abbildungen 1992-2016	Abbildung 15_Textteil.jpg	20
16	Verfärbungen an Schraube (Inv.-Nr.: D I 9)	Abbildung 16_Textteil.jpg	23
17	Verfärbungen um Niete (Inv.-Nr.: D I 7)	Abbildung 17_Textteil.jpg	23
18	FTIR-Gerät in der HfbK Dresden, 16.08.16	Abbildung 19_Textteil.jpg	28
19	RFA-Gerät der Rüstkammer Dresden, 21.09.16	Abbildung 20_Textteil.jpg	31
20	RFA-Messpunkte auf der Rückseite des Stundenzifferblattes	Abbildung 21_Textteil.jpg	34
21	Ionenstrahl-Gerät (Austrittsdüse) mit vier Detektoren, das Objekt wird unmittelbar vor die Austrittsdüse platziert, 1: RBS, 2: PIXE 1, 3: PIXE 2, 4: PIGE	Abbildung 22_Textteil.jpg	35
22	PIXE-Messergebnis auf Stundenzifferblatt (Goldoberfläche, s. Verfärbung)	Abbildung 23_Textteil.jpg	37

23	PIXE-Messergebnis, Probe auf Papier (Verfärbung, Papier blank)	Abbildung 24_Textteil.jpg	38
24	PIXE-Messergebnis auf Stundenzifferblatt (schwarz-braune Verfärbungen)	Abbildung 25_Textteil.jpg	39
25	RBS-Messergebnis auf Stundenzifferblatt (Gold, Silber, s. Verfärbung)	Abbildung 26_Textteil.jpg	40
26	Voraussetzungen des Silbertransports durch Potenzialunterschiede, Rot: Kontaktstellen Ag-Au (vmtl. an Lackfehlstellen), Blau: Elektrolyt (H <sub>2</sub> O)	Abbildung 27_Textteil.jpg	44
27	Messpunkte auf Probepatte Versuch 1	Abbildung 28_Textteil.jpg	46
28	IBA Messergebnisse auf Probepatte Versuch 1	Abbildung 29_Textteil.jpg	46
29	Probepatte mit Silberblech verklebt	Abbildung 30_Textteil.jpg	47
30	PIXE-Messergebnis auf Probepatte Versuch 2 (Gold, s. Verfärbungen)	Abbildung 31_Textteil.jpg	49
31	Modell zur Ablagerung durch mechanisch-chemische Prozesse	Abbildung 32_Textteil.jpg	51

**13. VERWENDETE MATERIALIEN / GERÄTE**

Verwendete Materialien	Bezugsadressen
Schleifpapier 500 - 1000	<b>AUGUST HOLDER GmbH</b> Senftenberger Straße 55 D-01239 Dresden
Schleifpapier 1000-2000	<b>HORNBACH-Baumarkt-AG</b> Hornbachstraße 11 76879 Bornheim
Schleifpapier 2400-8000 (Trionite Polierleinen)	<b>Deffner&amp;Johann GmbH</b> Mühläcker Straße 13 D-97520 Röthlein
Schwefelleber, Champagner Kreide, Rügener Kreide	<b>Kremer Pigmente GmbH &amp; Co. KG</b> Hauptstr. 41 – 47 DE 88317 Aichstetten
Ameisensäure, Thioharnstoff, Natriumhydrogencarbonat	<b>Carl Roth GmbH + Co. KG</b> Schömperlenstraße 3-5 76185 Karlsruhe
Azuran Blau	<b>RUDOLF FLUME Technik GmbH</b> Großhandel für Uhren- und Schmucktechnik Hachestraße 66 D-45127 Essen
Glanzsilberbad Wilaplat, Pantasolvergoldung	<b>Karl Fischer GmbH</b> Berliner Str. 18 75172 Pforzheim

Verwendete Geräte	Bezugsadressen
Bruker Tensor 27, Mikroskop Bruker Hyperion 2000	<b>Bruker Corporation</b> 40 Manning Road Billerica, MA 01821
Niton XL3t	<b>Thermo Fisher Scientific</b> 168 Third Avenue Waltham, MA USA 02451
Thales Laser NL 201	<b>Soliton Laser- und Messtechnik GmbH</b> Talhofstraße 32 82205 Gilching
Zeiss Mikroskop Stemi 508	<b>Carl Zeiss Microscopy GmbH</b> Carl-Zeiss-Promenade 10 07745 Jena, Deutschland
Messplatz „Externer Ionenstrahl“ am 6 MV Beschleuniger	<b>Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V.</b> Bautzner Landstraße 400 01328 Dresden

## **EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet wurden.

Dresden, den

Unterschrift



Bachelor-Arbeit Lea Hahmann

Anhang I:

Fotodokumentation

## Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
01	Minuten-Rädersonnenuhr D I 7, Gesamtansicht	Abbildung 01.jpg	Peter Müller, Lea Hahmann	1
02	Minuten-Rädersonnenuhr D I 7, Gesamtansicht	Abbildung 02.jpg	Peter Müller, Lea Hahmann	

## Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
03	Minuten-Rädersonnenuhr D I 7, Gesamtansicht	Abbildung 03.jpg	Peter Müller, Lea Hahmann	2
04	Minuten-Rädersonnenuhr D I 7, Gesamtansicht	Abbildung 04.jpg	Peter Müller, Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
05	Zifferblätter der Sonnenuhr	Abbildung 05.jpg	Peter Müller, Lea Hahmann	3
06	Stundenzifferblatt	Abbildung 06.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
07	Minutenzifferblatt	Abbildung 07.jpg	Lea Hahmann	4
08	Schwarze Einlegemasse in Gravuren	Abbildung 08.jpg	Lea Hahmann	

## Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
09	MZB: Schwarze Verfärbungen und Gravuren	Abbildung 09.jpg	Lea Hahmann	5
10	RS der Zifferblätter (Lagerung)	Abbildung 10.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
11	MZB-Lagerung RS, 7 Punzen um Lagerstelle der Minutenwelle	Abbildung 11.jpg	Lea Hahmann	6
12	Minutenzifferblatt RS, 5 Punzen um Lagerstelle der Minutenwelle	Abbildung 12.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
13	Silberne Projektionsfläche	Abbildung 13.jpg	Lea Hahmann	7
14	Zifferblätter mit Quadrant verbunden	Abbildung 14.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
15	Beinpaare mit Lot	Abbildung 15.jpg	Lea Hahmann	8
16	Grundplatte mit Stellschrauben und Kompassanzeige	Abbildung 16.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
17	Schrauben für Beine auf Grundplatte	Abbildung 17.jpg	Lea Hahmann	9
18	Kompassanzeige in der Grundplatte	Abbildung 18.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation

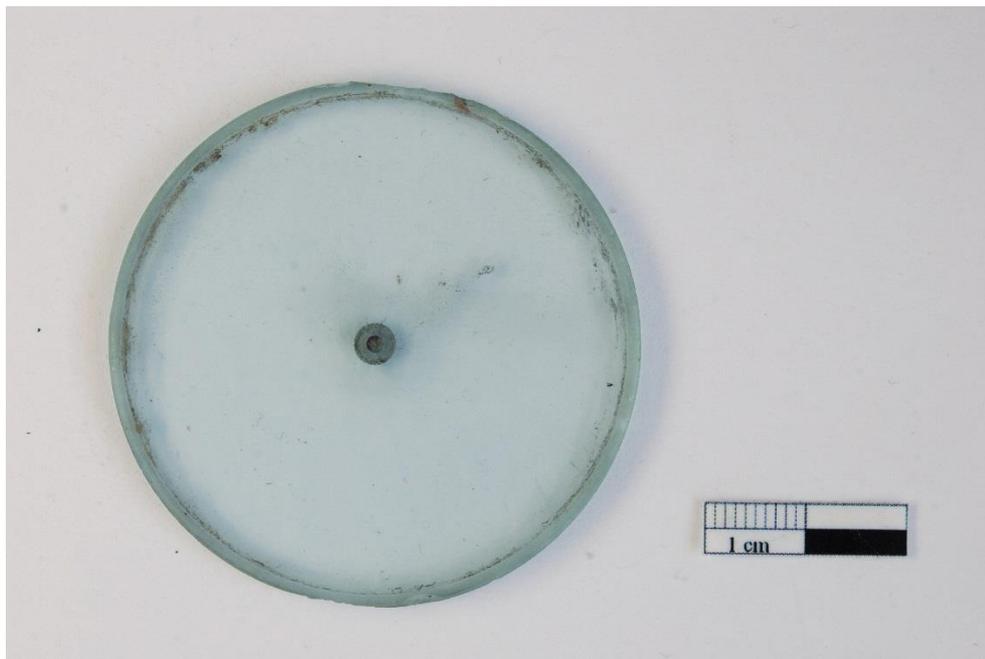


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
19	Befestigungsring Kompass	Abbildung 19.jpg	Lea Hahmann	10
20	Kompassglas	Abbildung 20.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
21	Kompassnadel	Abbildung 21.jpg	Lea Hahmann	11
22	Stellschrauben	Abbildung 22.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
23	Unterseite der Grundplatte, verschiedene Inventarnummern	Abbildung 23.jpg	Lea Hahmann	12
24	Bearbeitungsspuren und grüne Ablagerungen auf der Grundplatte	Abbildung 24.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
25	Lunker im Bereich der Beine und Grundplatte	Abbildung 25.jpg	Lea Hahmann	13
26	Lot	Abbildung 26.jpg	Lea Hahmann	

## Anhang I: Fotodokumentation

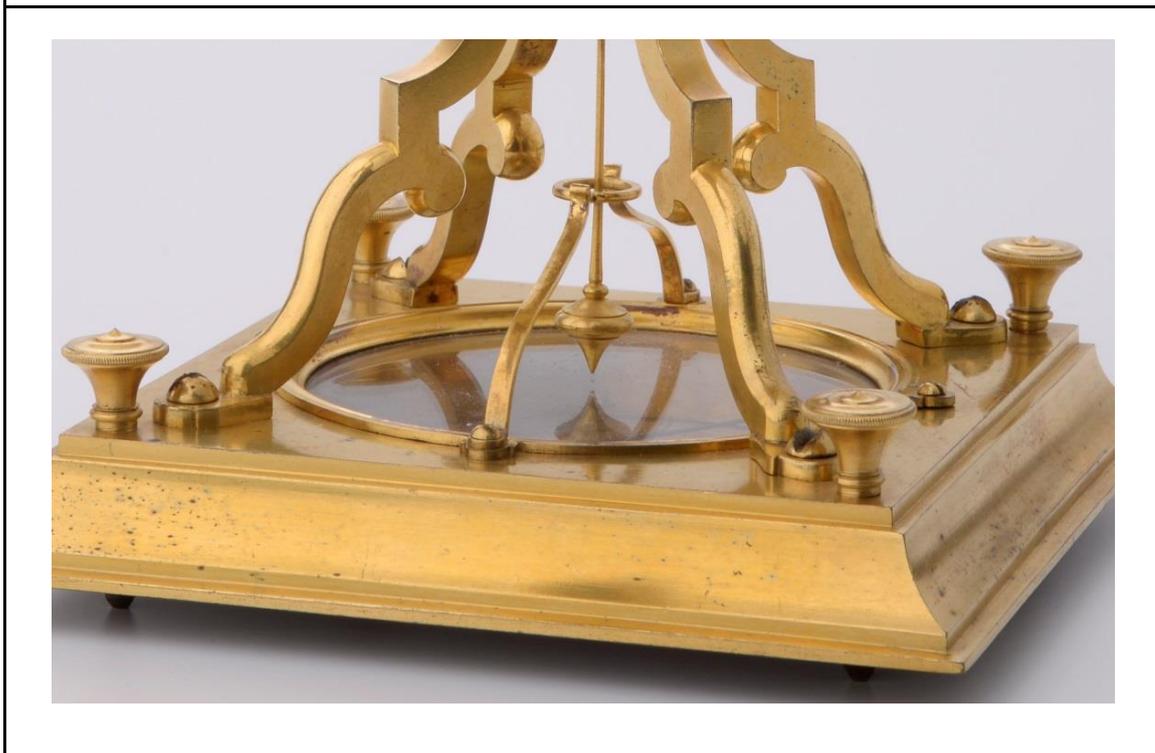
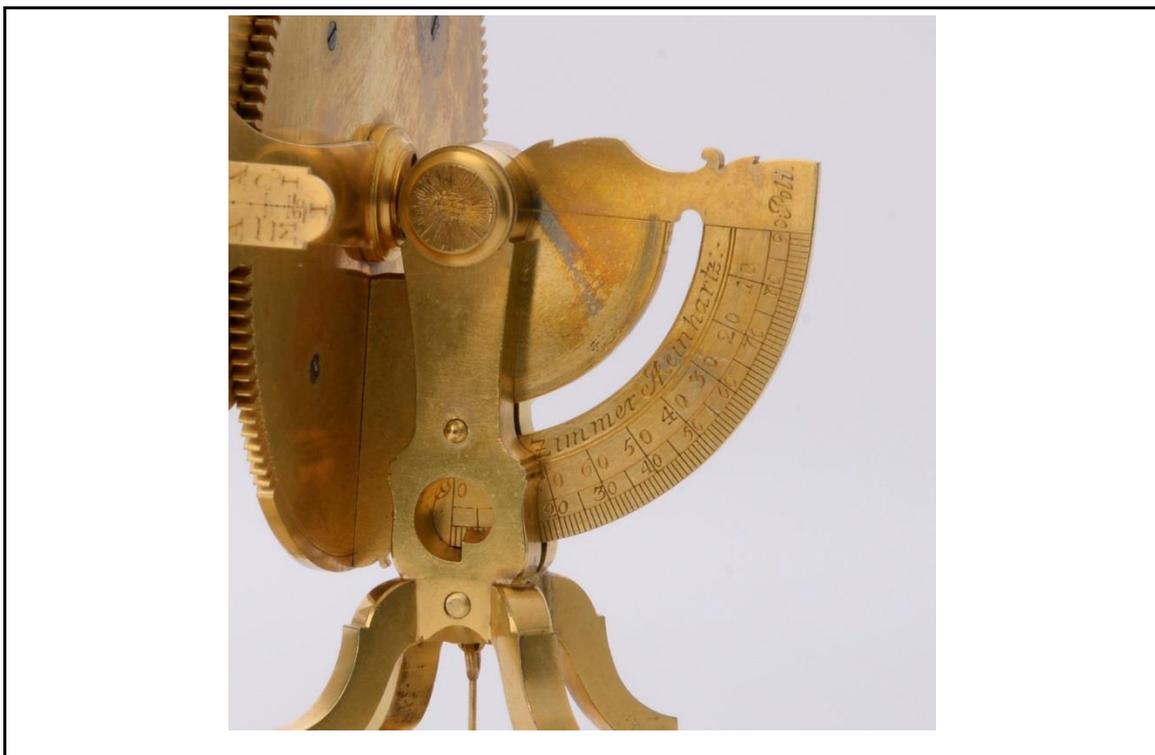


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
27	Sonnenuhr D I 9 mit Signatur	Abbildung 27.jpg	Lea Hahmann	14
28	Sonnenuhr D I 9, Lotbegrenzung	Abbildung 28.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation

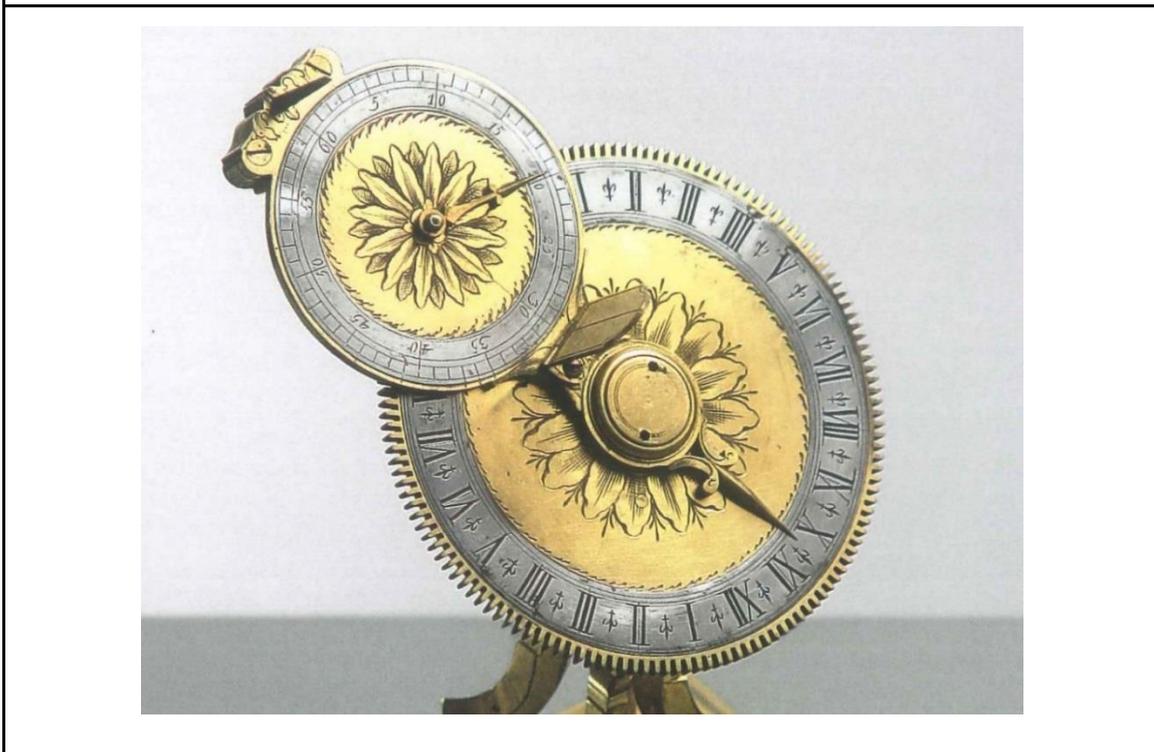


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
29	Zifferblätter der Sonnenuhr D I 9	Abbildung 29.jpg	Lea Hahmann	15
30	Sonnenuhr aus „Wissenschaftliche Instrumente in ihrer Zeit“ von Ralf Kern	Abbildung 30.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
31	Silbersulfid auf silbernen Ziffernring (SZB)	Abbildung 31.jpg	Lea Hahmann	16
32	Schwarze Verfärbungen auf MZB	Abbildung 32.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation

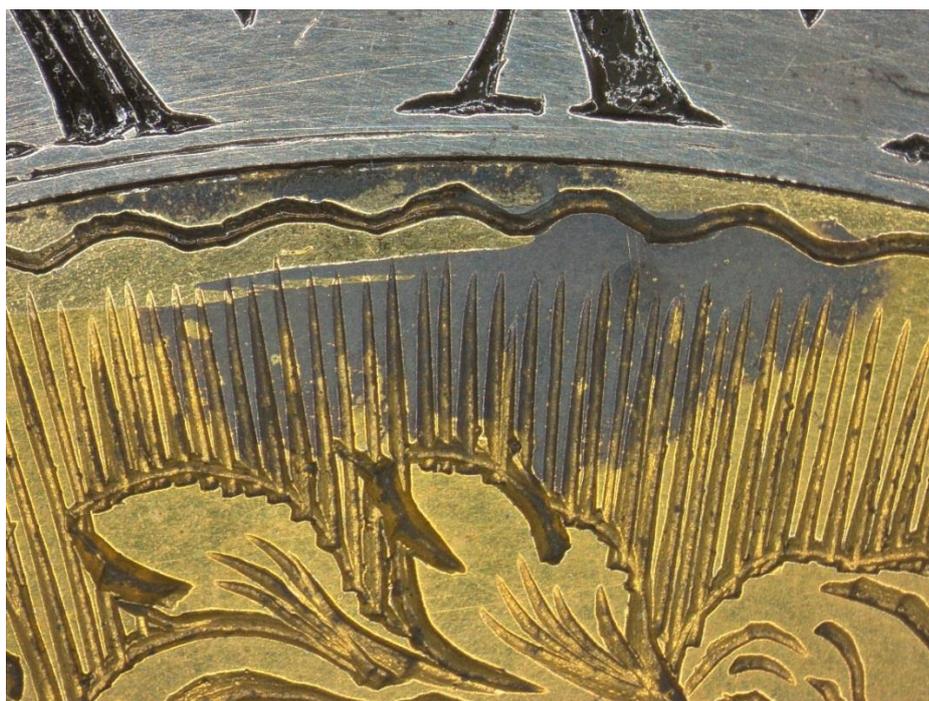


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
33	Schwarze Verfärbung auf MZB, Nähe zur Projektionsfläche	Abbildung 33.jpg	Lea Hahmann	17
34	Schwarze Verfärbungen auf SZB	Abbildung 34.jpg	Lea Hahmann	

## Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
35	Schwarze Verfärbungen auf Rückseite des SZB (Niete)	Abbildung 35.jpg	Lea Hahmann	18
36	Schwarze Verfärbungen auf Rückseite des SZB (Niete)	Abbildung 36.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
37	Schwarze Verfärbungen auf Rückseite des SZB (Niete)	Abbildung 37.jpg	Lea Hahmann	19
38	Schwarze Verfärbungen auf Rückseite des SZB (Niete)	Abbildung 38.jpg	Lea Hahmann	

## Anhang I: Fotodokumentation

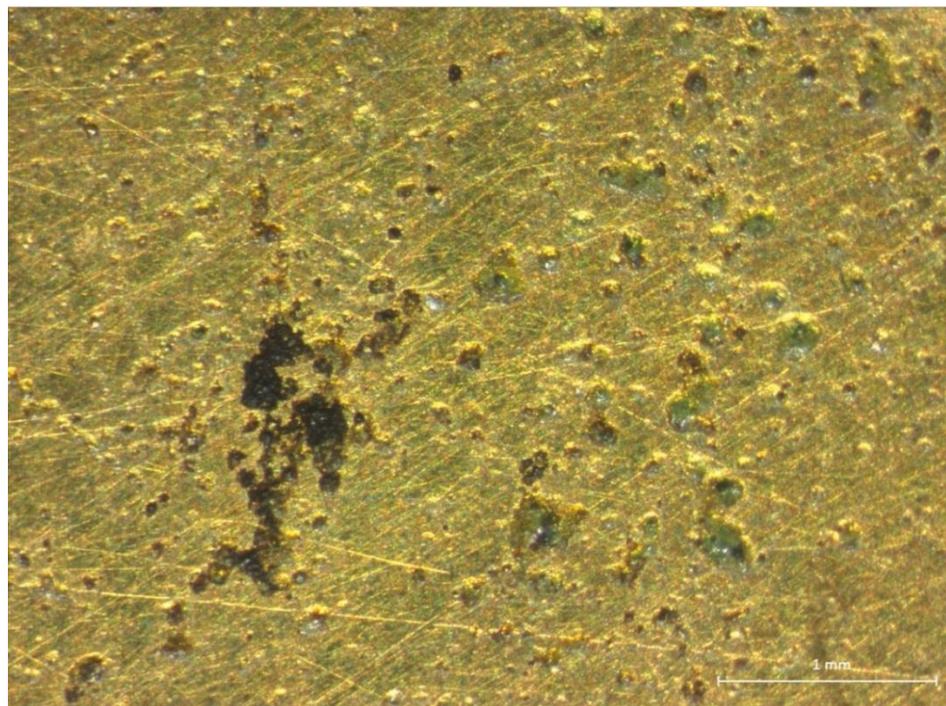
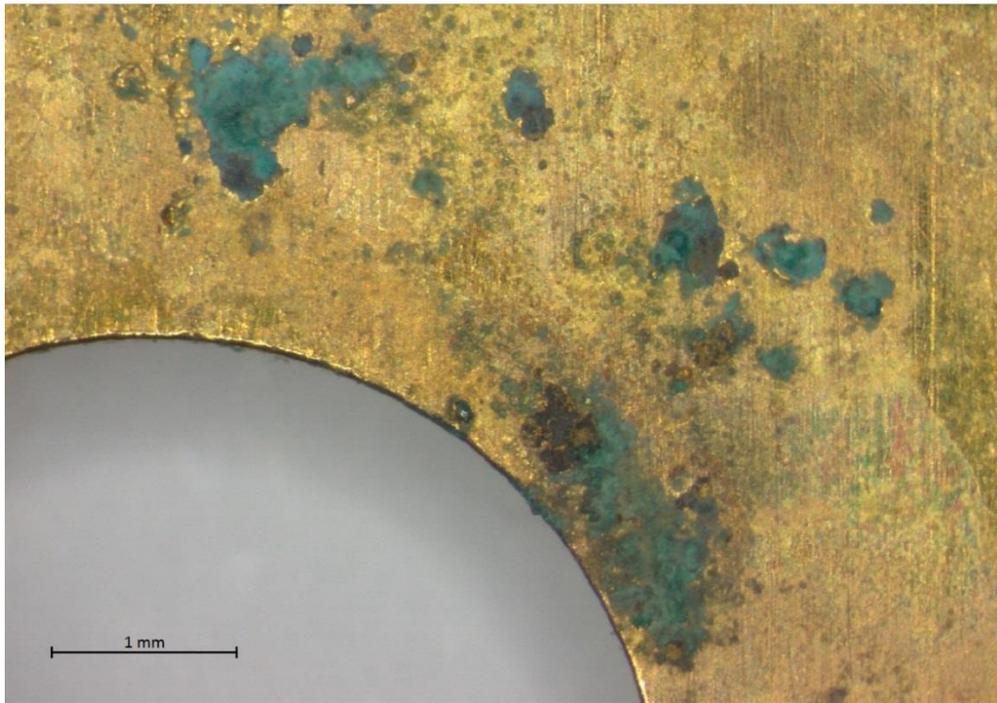


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
39	Grüne Korrosionsprodukte auf MZB	Abbildung 39.jpg	Lea Hahmann	20
40	Poren in der Vergoldung, SZB, RS	Abbildung 40.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation

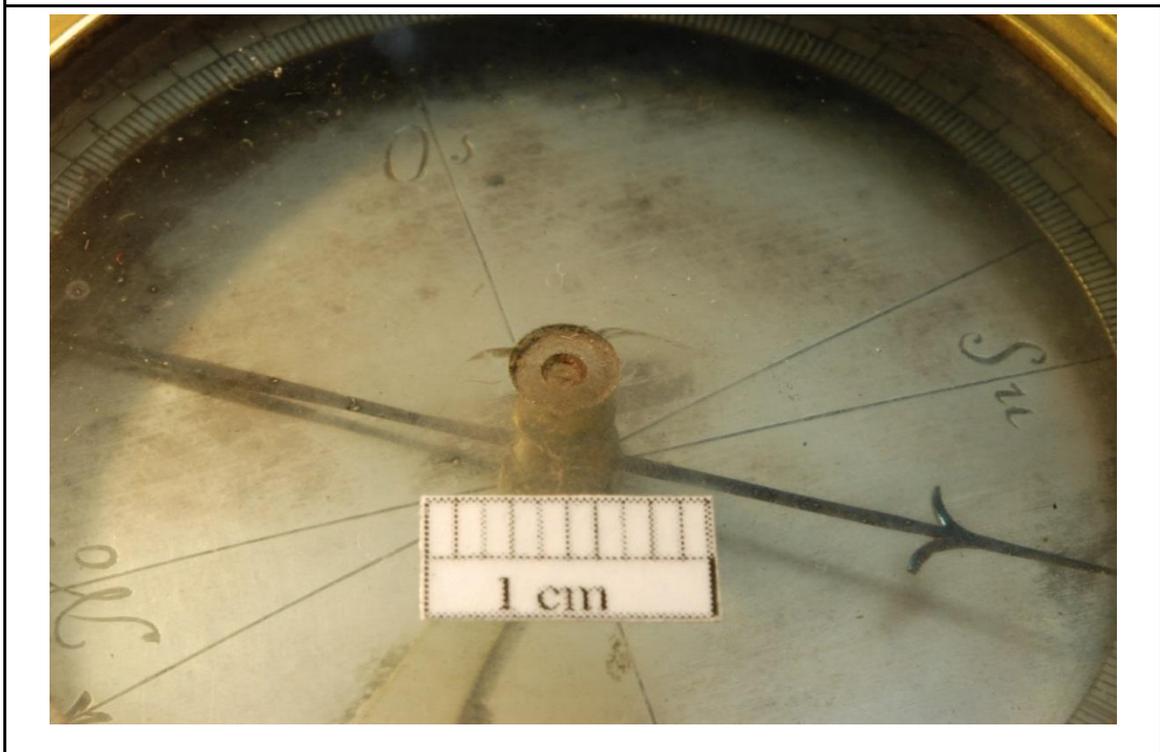


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
41	Winkelabdruck auf Rückseite des SZB	Abbildung 41.jpg	Lea Hahmann	21
42	Riss auf Kompassglas	Abbildung 42.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
43	Projektionsfläche mit Riss	Abbildung 43.jpg	Lea Hahmann	22
44	Rückseite eines Beinpaars	Abbildung 44.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation

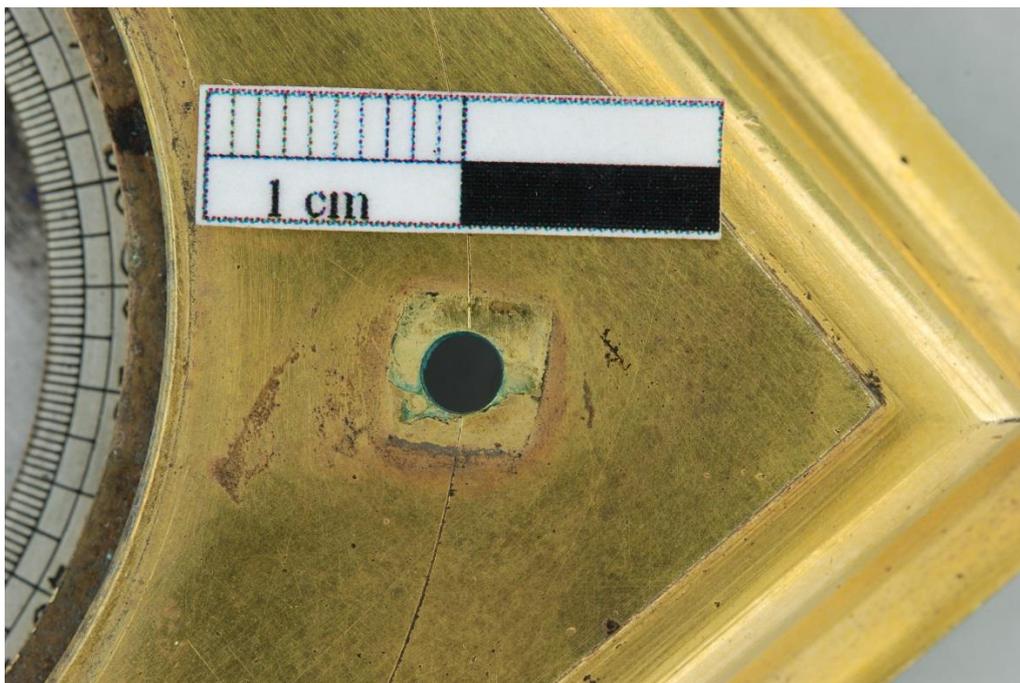


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
45	Weiße Ablagerungen in Zahnzwischenräumen (SZB)	Abbildung 45.jpg	Lea Hahmann	23
46	Schmutzablagerungen an Verbindungsstelle Grundplatte / Beine	Abbildung 46.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation

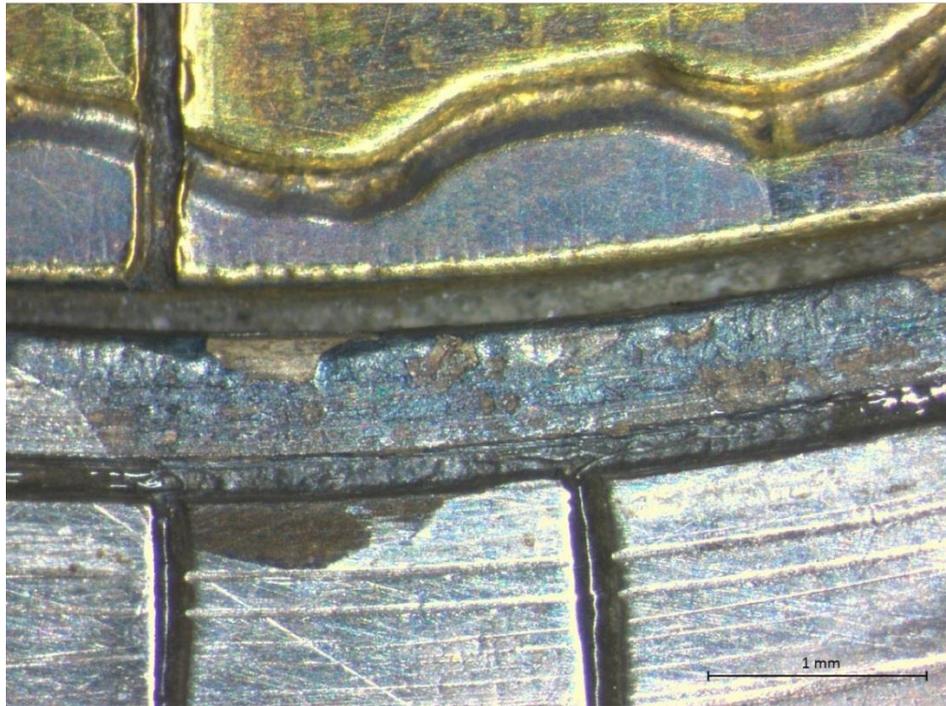


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
47	Ablagerungen in Verbindungsstelle des Ziffernring zum Träger	Abbildung 47.jpg	Lea Hahmann	24
48	Zifferblätter D I 7, Abb. von J. Karpinski 1992	Abbildung 48.jpg	Lea Hahmann	

## Anhang I: Fotodokumentation

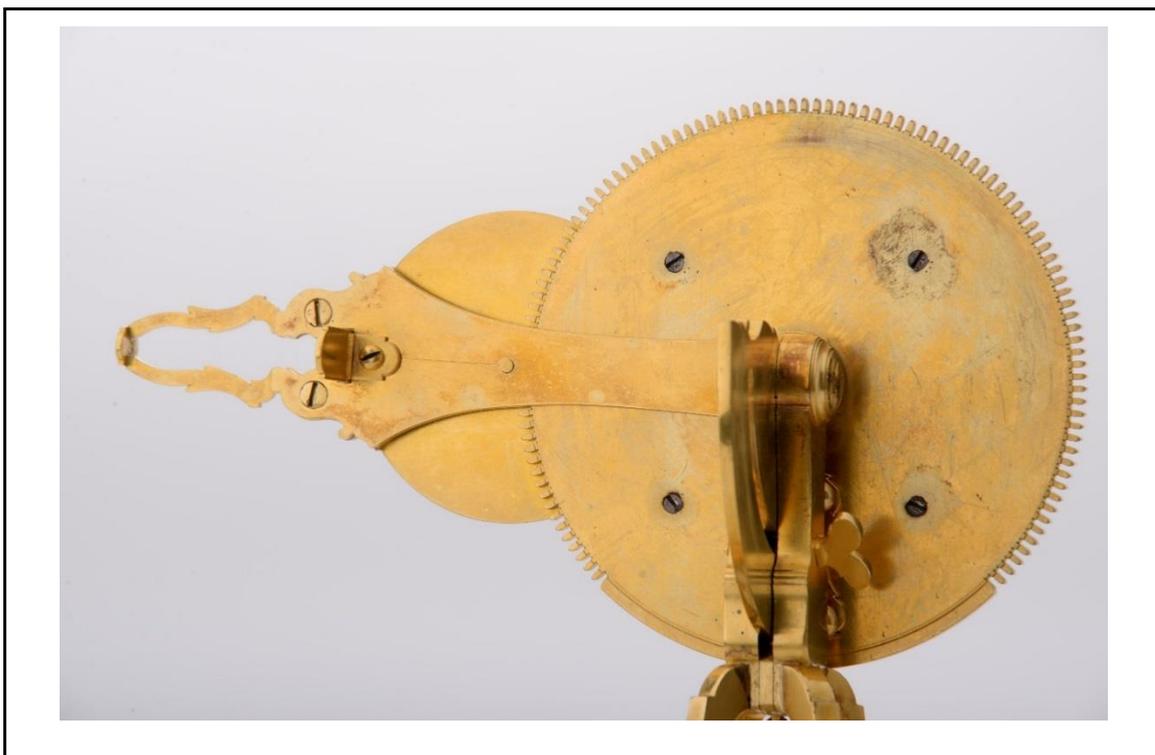


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
49	Rückseite der Sonnenuhr D I 9	Abbildung 49.jpg	Lea Hahmann	25
50	Werkzeug zum Lösen der Muttern	Abbildung 50.jpg	Lea Hahmann	

## Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
51	Detail der schwarzen Verfärbungen auf MZB	Abbildung 51.jpg	Lea Hahmann	26
52	Schwarze Verfärbung auf Vergoldung, Verbindung zur Projektionsfläche	Abbildung 52.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation

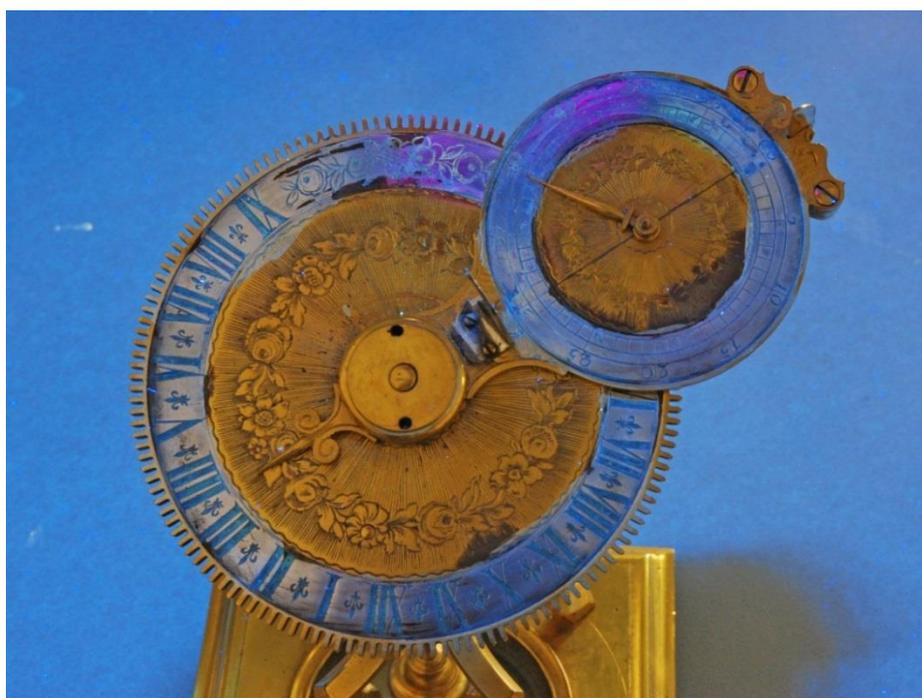


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
53	Erhöhung auf der Verfärbung, MZB	Abbildung 53.jpg	Lea Hahmann	27
54	UV-Aufnahme der Sonnenuhr	Abbildung 54.jpg	Lea Hahmann	

# Anhang I: Fotodokumentation

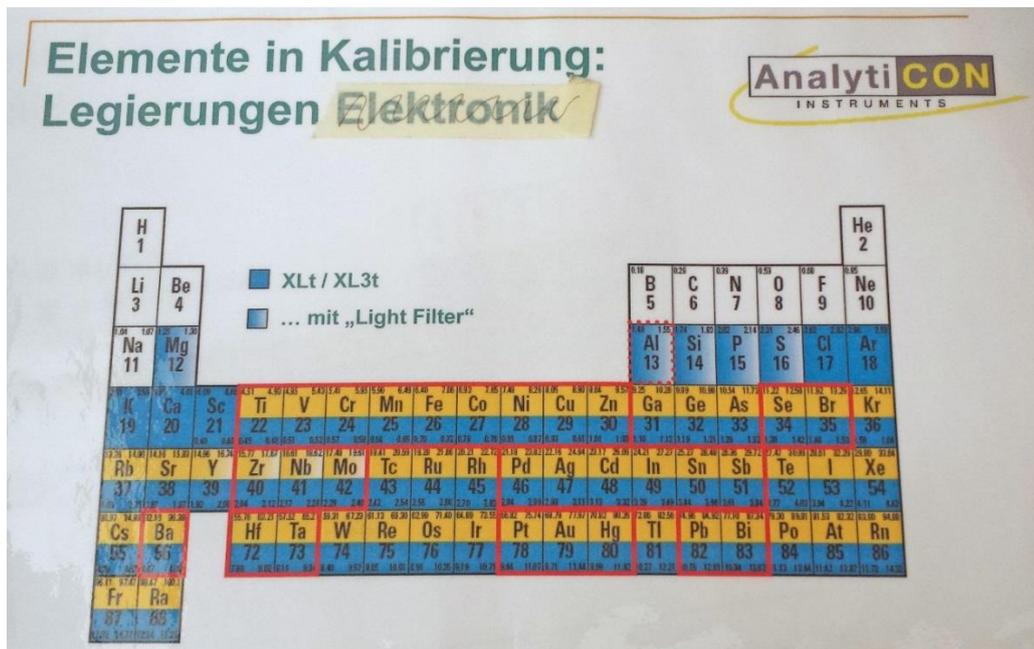
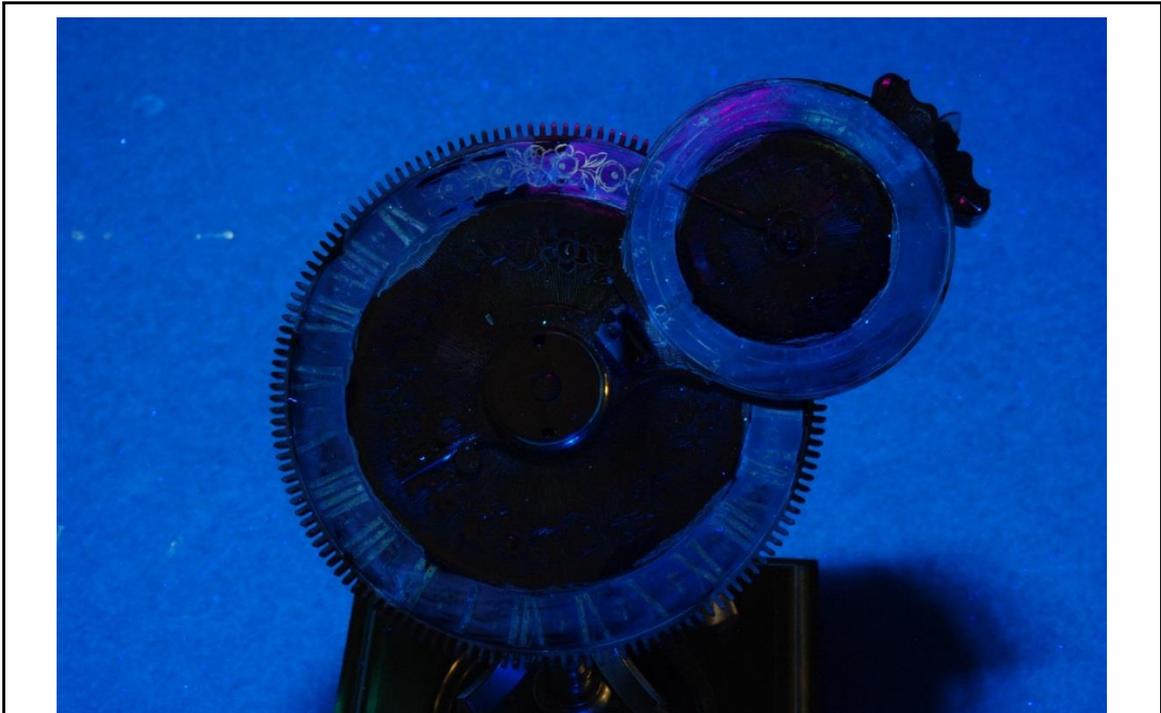


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
55	UV-Aufnahme der Sonnenuhr	Abbildung 55.jpg	Lea Hahmann	28
56	Elemente in der Elektronik-Kalibrierung	Abbildung 56.jpg	Lea Hahmann	

## Anhang I: Fotodokumentation

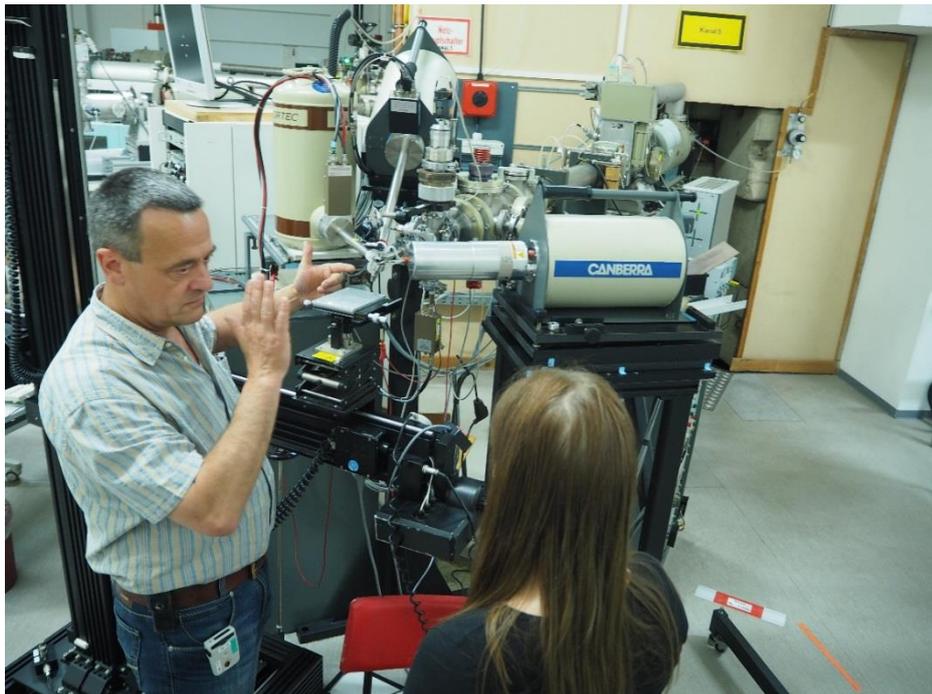
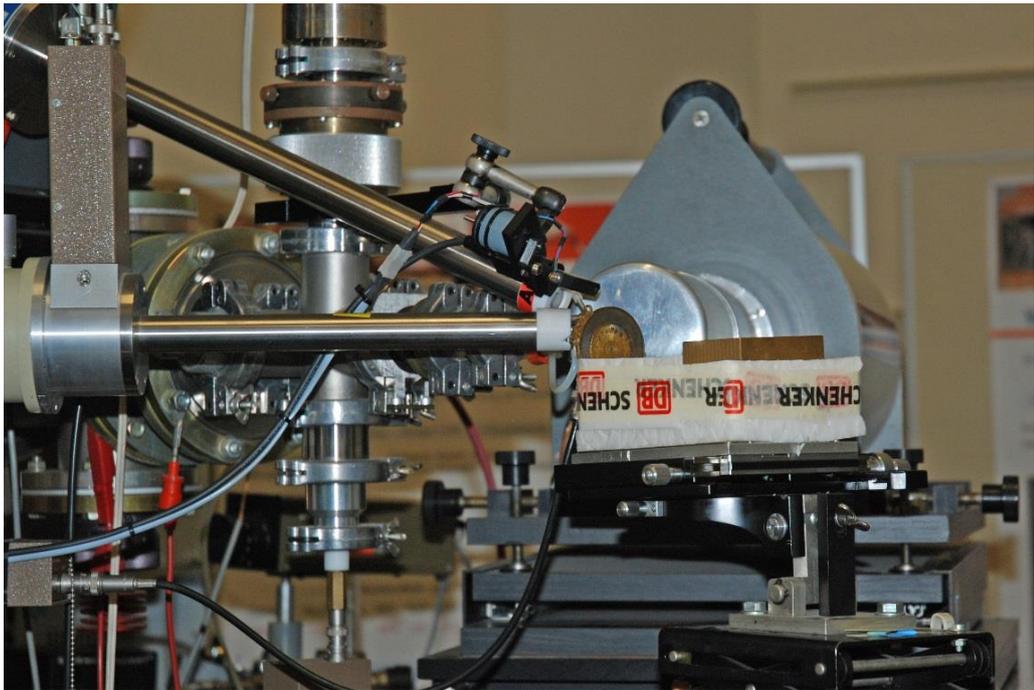
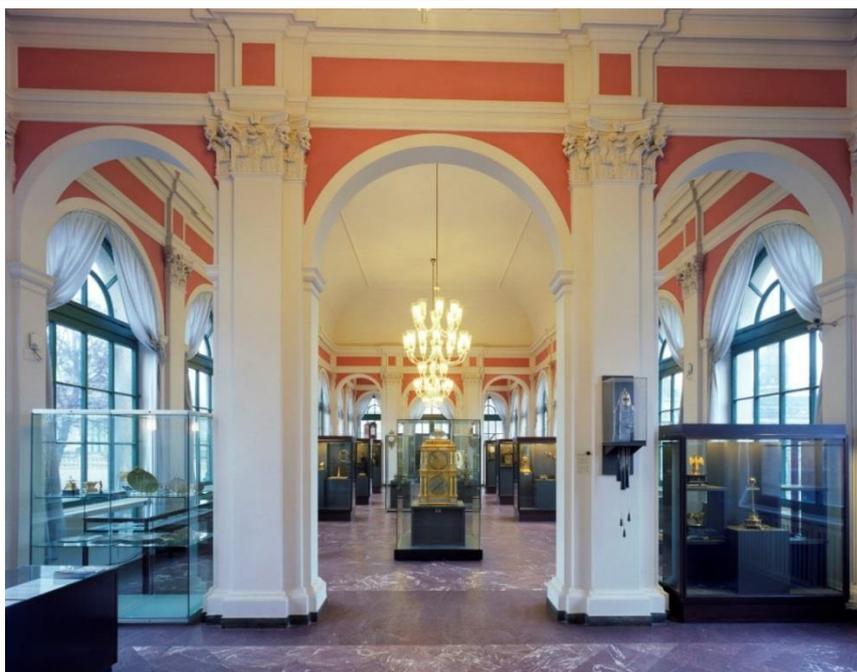


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
57	Ionenstrahlgerät mit Detektoren, davor das Untersuchungsobjekt	Abbildung 57.jpg	Lea Hahmann	29
58	Teil der Ionenstrahlleitung bis zur Austrittsdüse, Dr. Mäder erklärt den	Abbildung 58.jpg	Johannes Eulitz	

## Anhang I: Fotodokumentation



Museum für Physikalische Seiten, Historische Kunstsammlung des Museums, Foto: David Bräuer  
Blick in den Uhrensaal  
Verwendung: nur mit Genehmigung und Quellenangabe

Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
59	Probe der Verfärbungen auf Papier	Abbildung 59.jpg	Lea Hahmann	30
60	Blick in den Uhrensaal des MPS (Ausstellung bis 2007)	Abbildung 60.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation

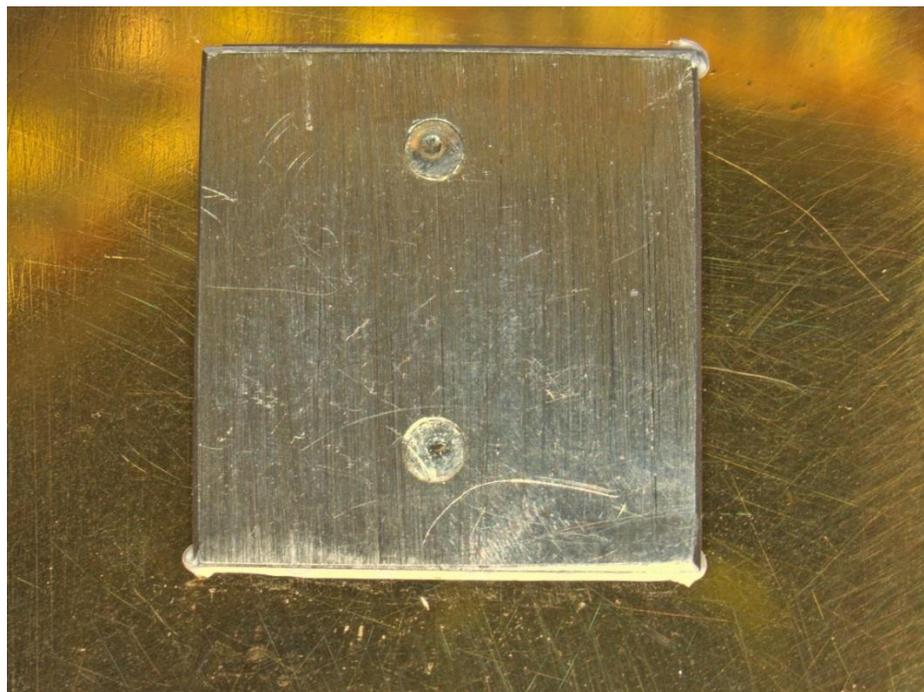


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
61	Probepatte Versuch 1	Abbildung 61.jpg	Lea Hahmann	31
62	Probepatte Versuch 1, Putzmittel unter 2 Kanten	Abbildung 62.jpg	Lea Hahmann	

## Anhang I: Fotodokumentation

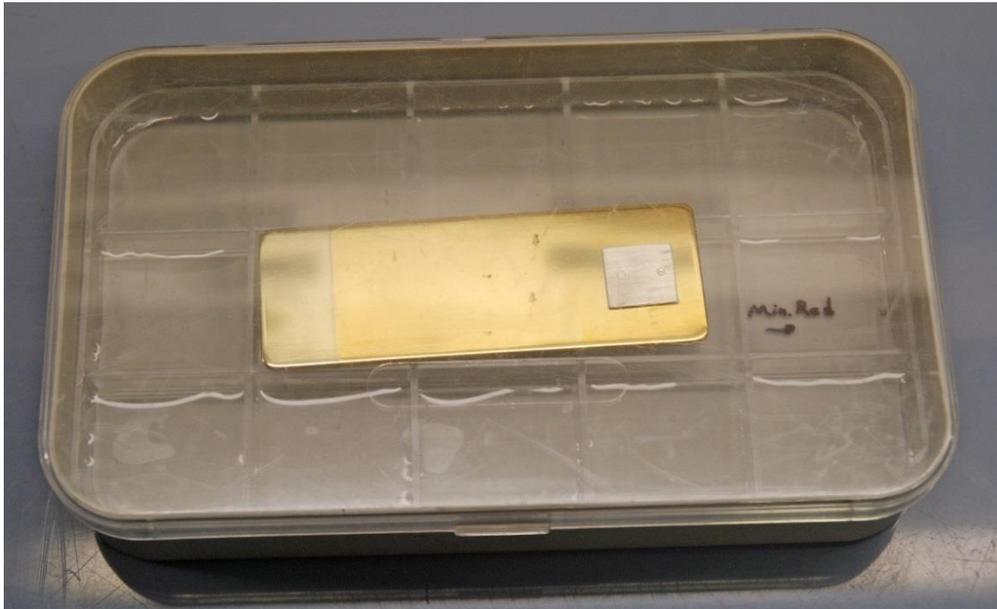


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
63	Probeplatte Versuch 1 in Kunststoff-Dose	Abbildung 63.jpg	Lea Hahmann	32
64	Versuch 1, am 03.11.16	Abbildung 64.jpg	Lea Hahmann	

## Anhang I: Fotodokumentation

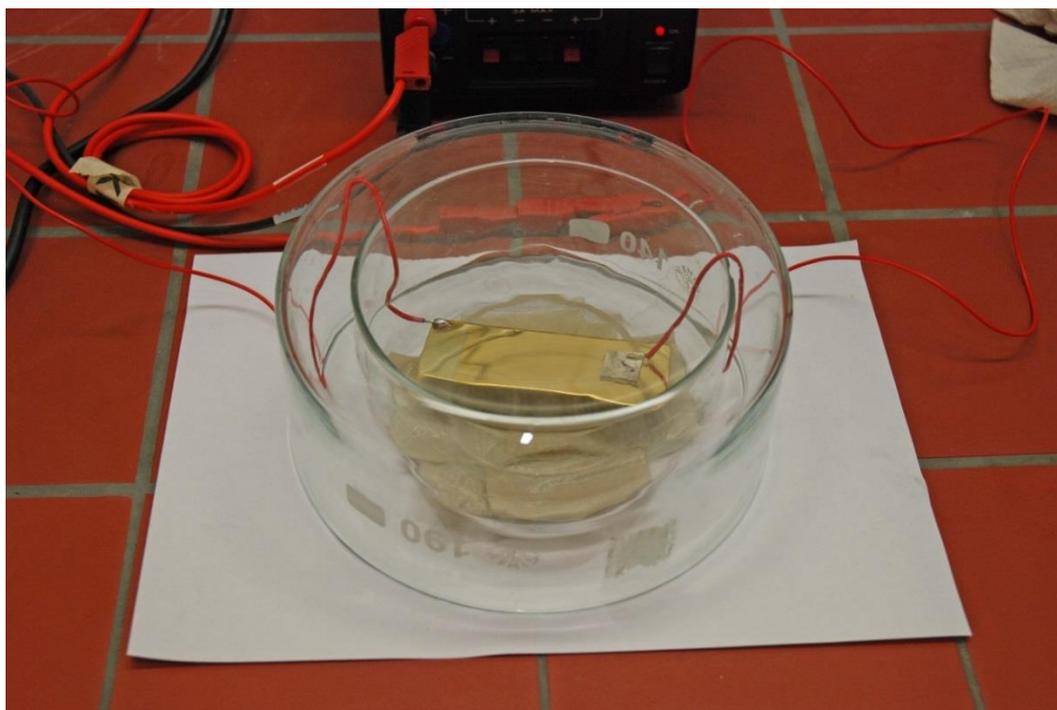
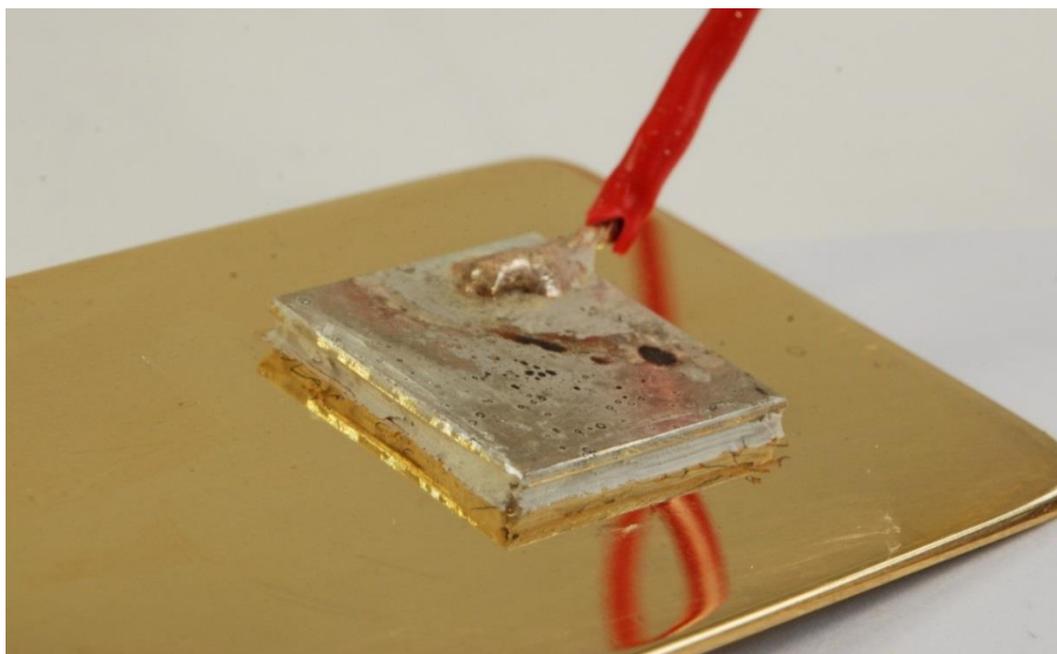


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
65	Probeplatte Versuch 2, Kreide unter 2 Kanten	Abbildung 65.jpg	Lea Hahmann	33
66	Probeplatte Versuch 2 unter Glasglocke mit Stromzufuhr	Abbildung 66.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
67	Versuch 2, Zwischenzustand 14.10.16	Abbildung 67.jpg	Lea Hahmann	34
68	Versuch 2, Nachzustand ohne Silberblech, rechts unten gereinigt	Abbildung 68.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
69	Versuch 2, abgenommenes Silberblech	Abbildung 69.jpg	Lea Hahmann	35
70	Freilegungsversuche, Probeplatte graviert und poliert	Abbildung 70.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
71	Freilegungsversuche, Probeplatte galv. Vergoldet und versilbert	Abbildung 71.jpg	Lea Hahmann	36
72	Freilegungsversuche, Probeplatten 1-5 patiniert	Abbildung 72.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
73	Mechanische Freilegung (Versilberung) mit Champagner Kreide	Abbildung 73.jpg	Lea Hahmann	37
74	Mechanische Freilegung (Versilberung) mit Champagner Kreide	Abbildung 74.jpg	Lea Hahmann	

## Anhang I: Fotodokumentation

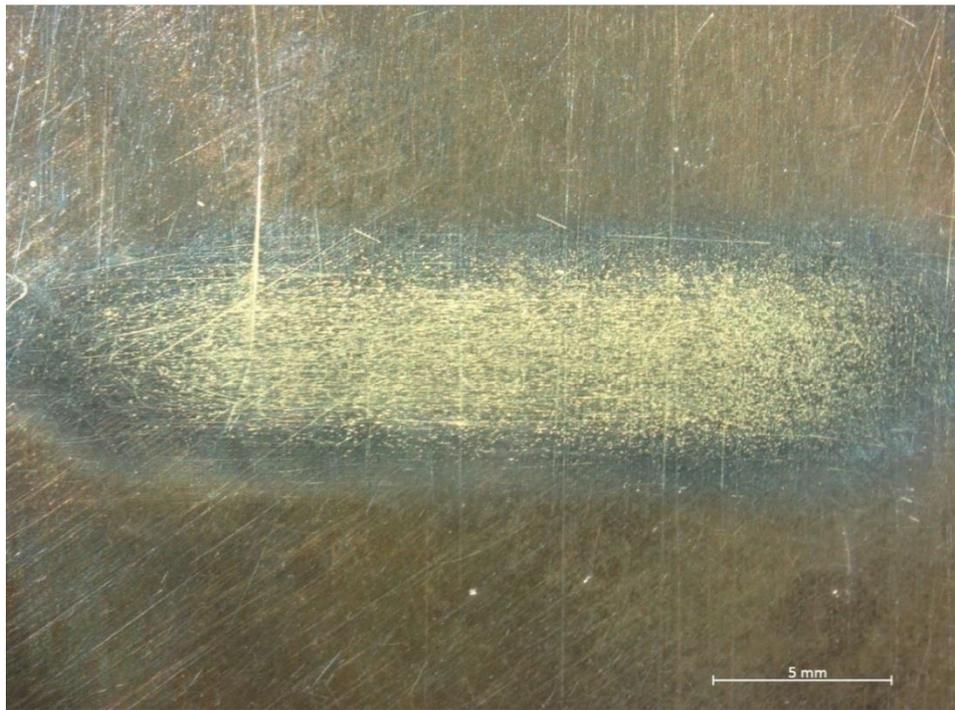


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
75	Mechanische Freilegung (Vergoldung) mit Champagner Kreide	Abbildung 75.jpg	Lea Hahmann	38
76	Mechanische Freilegung (Vesilberung) mit Rügener Kreide	Abbildung 76.jpg	Lea Hahmann	

## Anhang I: Fotodokumentation

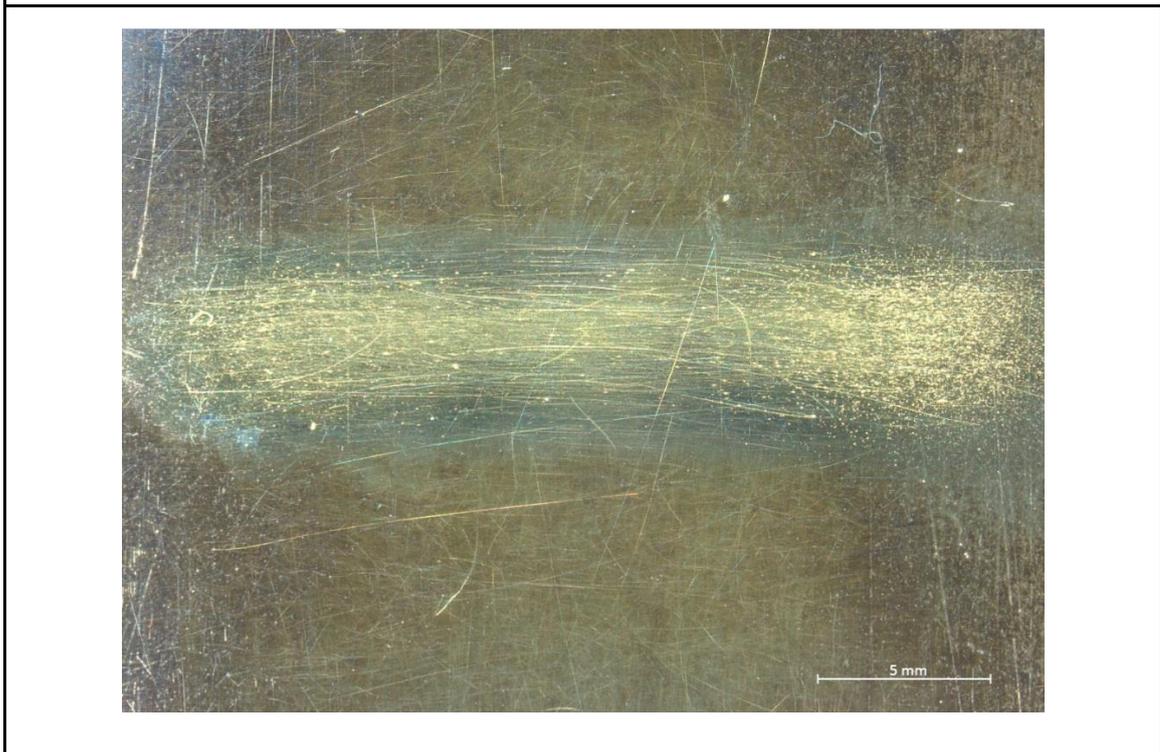
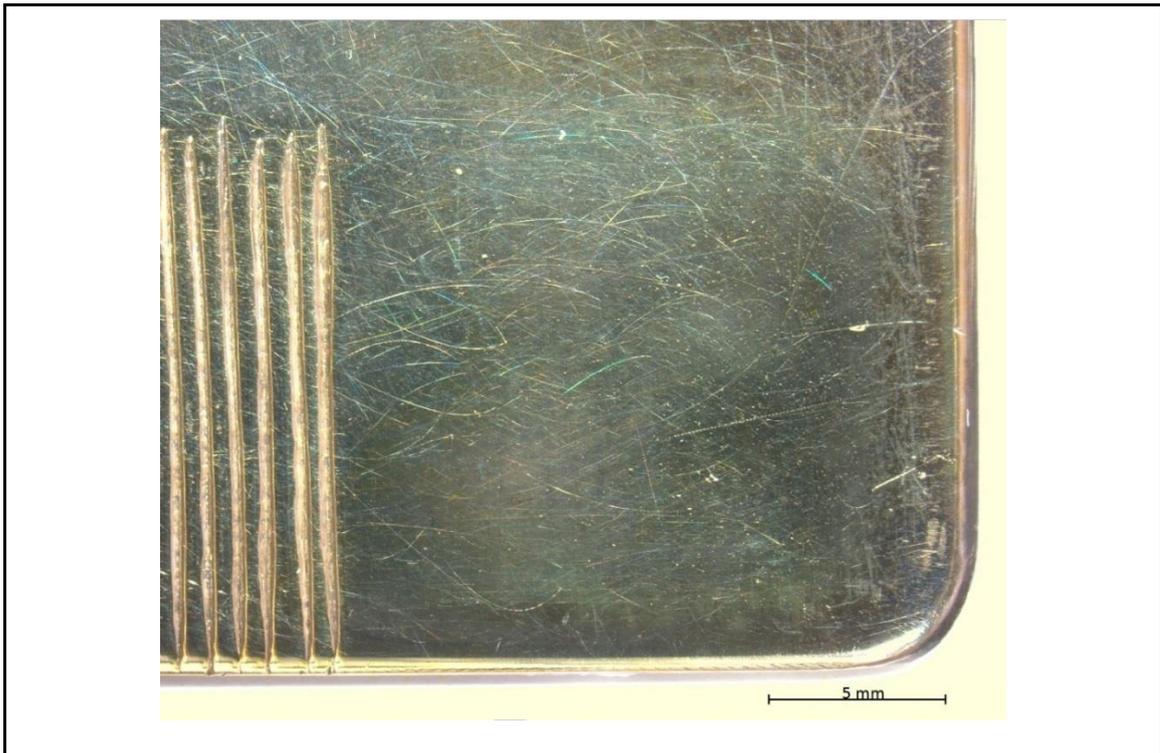


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
77	Mechanische Freilegung (Versilberung) mit Rügener Kreide	Abbildung 77.jpg	Lea Hahmann	39
78	Mechanische Freilegung (Vergoldung) mit Rügener Kreide	Abbildung 78.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation

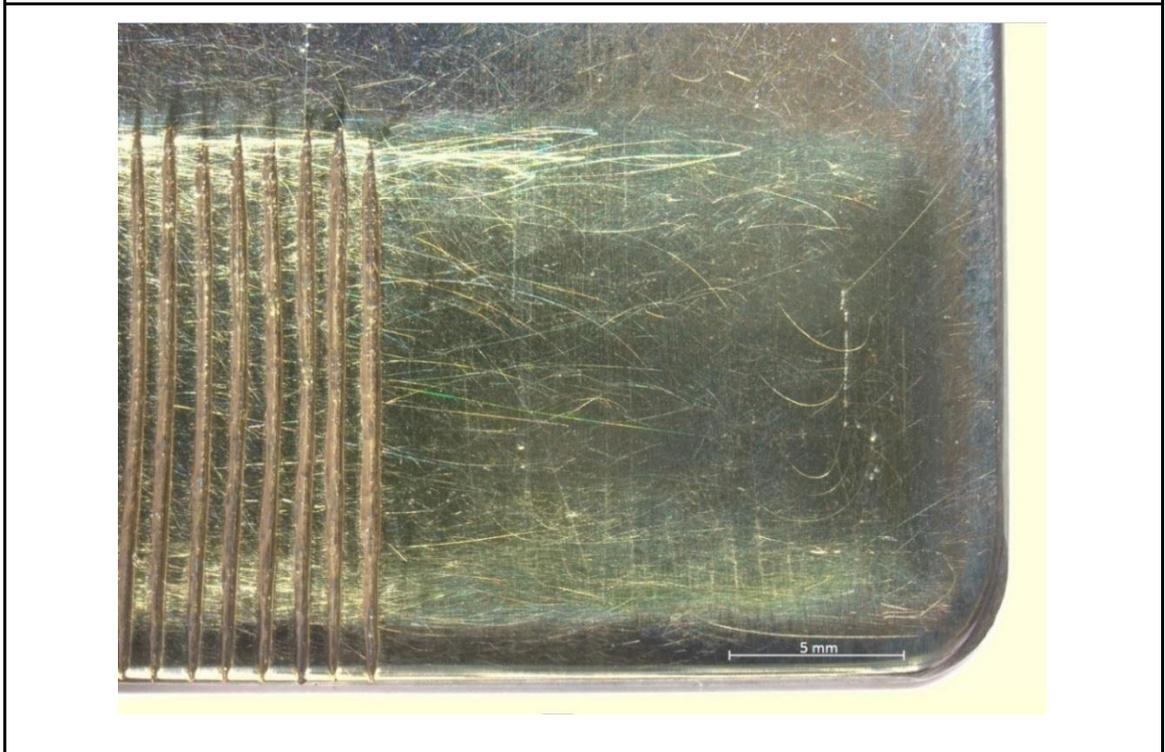


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
79	Mechanische Freilegung (Versilberung) mit Azuran Blau	Abbildung 79.jpg	Lea Hahmann	40
80	Mechanische Freilegung (Versilberung) mit Azuran Blau	Abbildung 80.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation

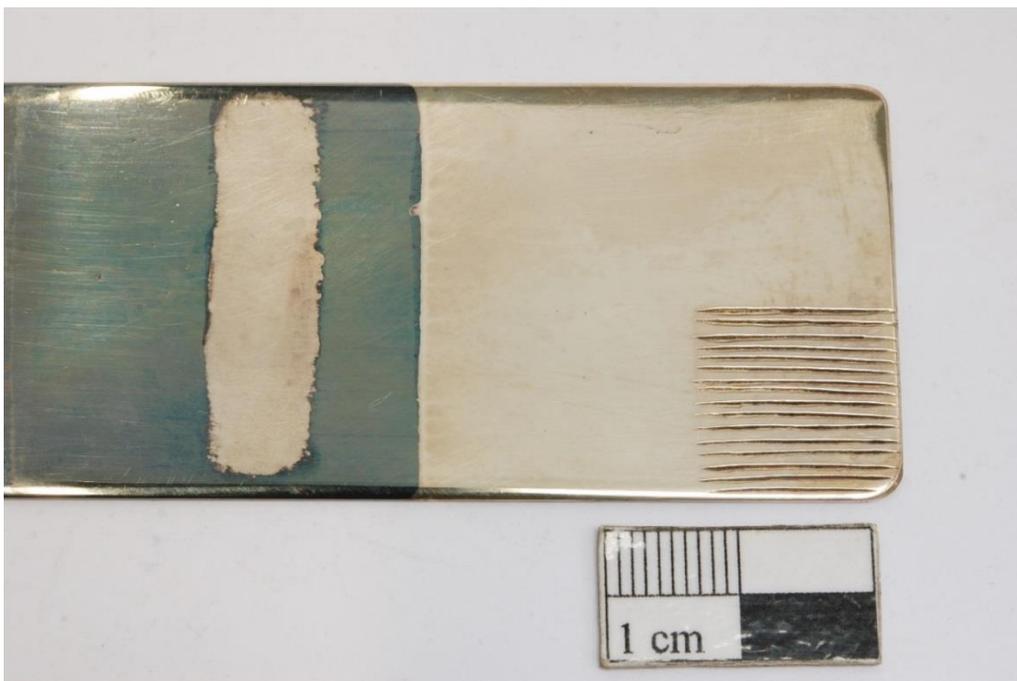


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
81	Chemische Freilegung, Rezept 1 mit Thioharnstoff, lokaler Auftrag links	Abbildung 81.jpg	Lea Hahmann	41
82	Chemische Freilegung, Rezept 2 mit Thioharnstoff, lokaler Auftrag links	Abbildung 82.jpg	Lea Hahmann	

## Anhang I: Fotodokumentation

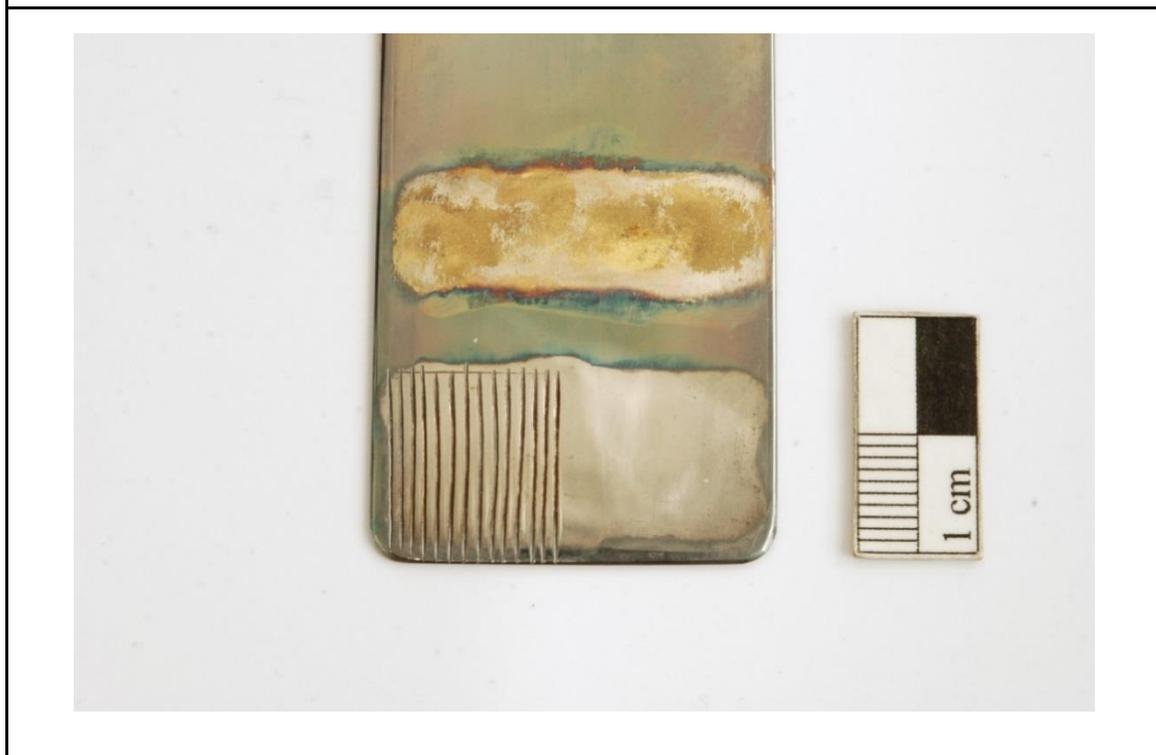
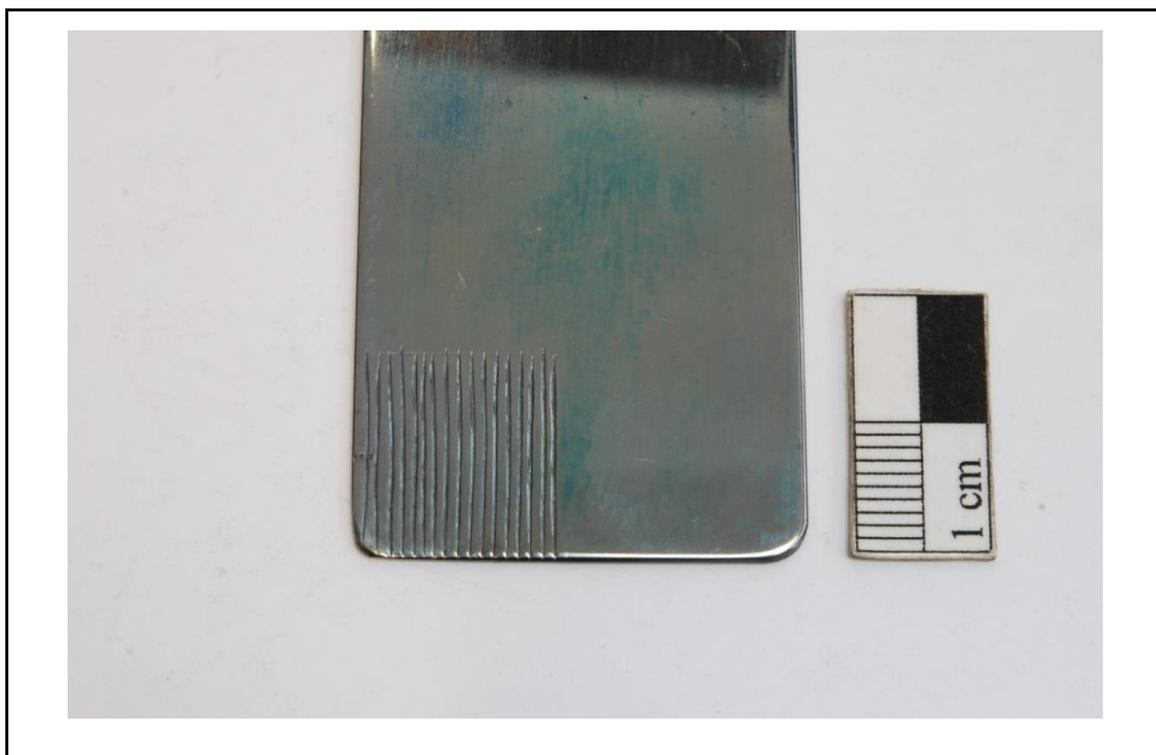


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
83	Chemische Freilegung mit Heißdampf	Abbildung 83.jpg	Lea Hahmann	42
84	Elektrolytische Freilegung	Abbildung 84.jpg	Lea Hahmann	

## Anhang I: Fotodokumentation

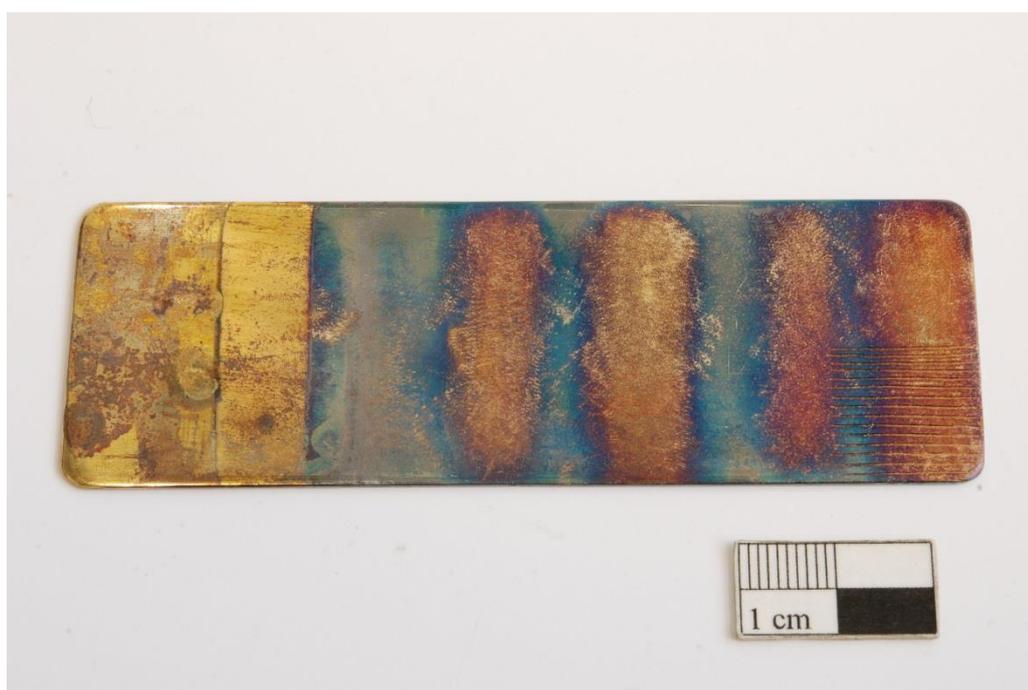
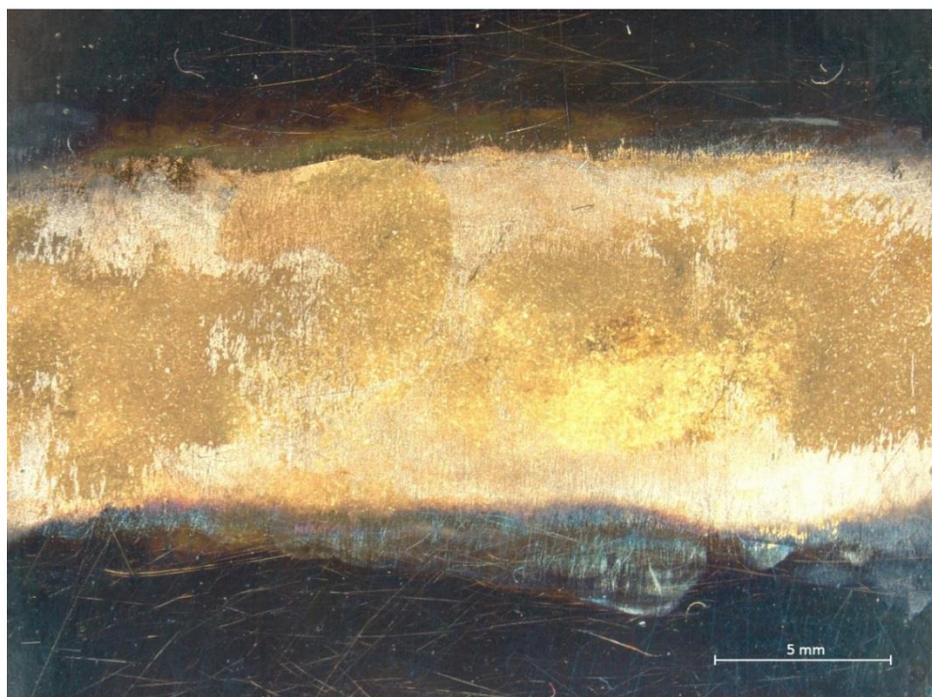


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
85	Elektrolytische Freilegung	Abbildung 85.jpg	Lea Hahmann	43
86	Laser Freilegung	Abbildung 86.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation

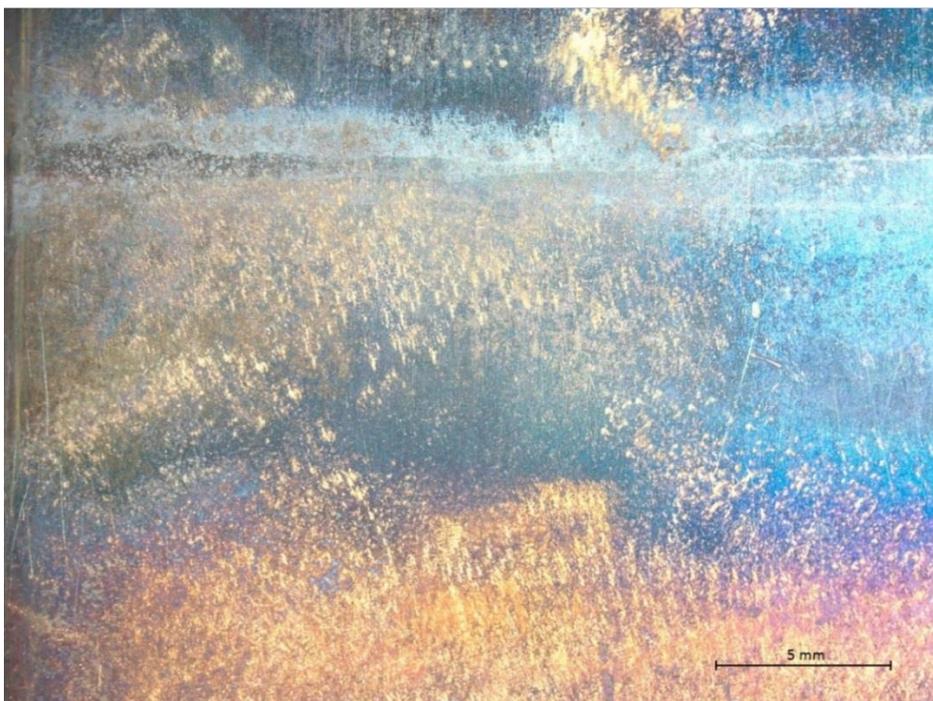
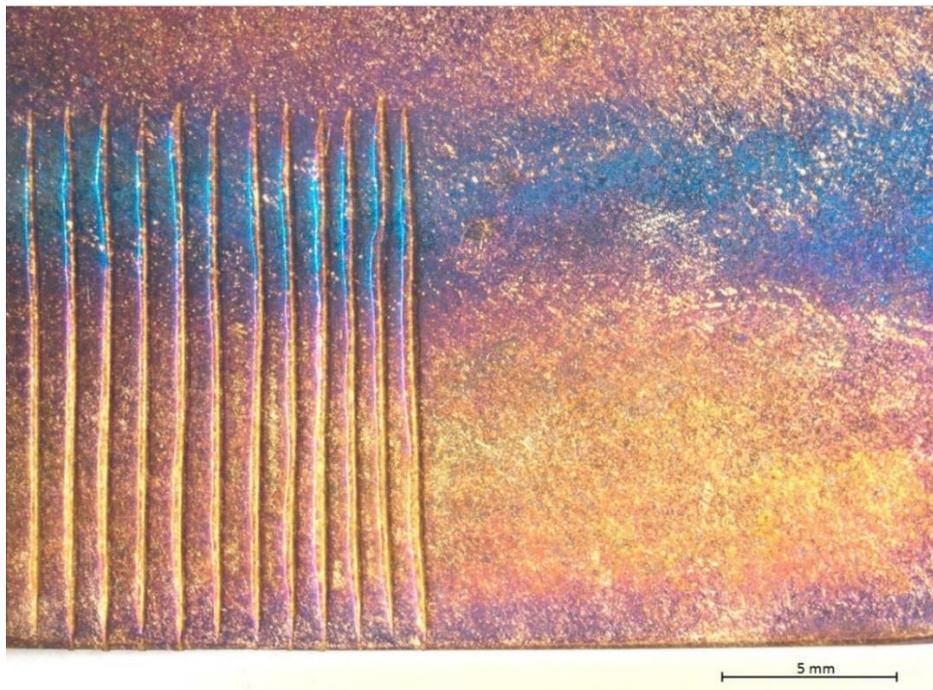


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
87	Laser Freilegung, Wärmeeintrag	Abbildung 87.jpg	Lea Hahmann	44
88	Laser Freilegung, punktueller Abtrag	Abbildung 88.jpg	Lea Hahmann	

Anhang I: Fotodokumentation



Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
89	Schwarze Verfärbungen auf Platine, Inv.-Nr. D IV a 223	Abbildung 89.jpg	Lea Hahmann	45
90	Schwarze Verfärbung auf Aigrette, Inv.-Nr. VIII 24	Abbildung 90.jpg	Lea Hahmann	

## Anhang I: Fotodokumentation

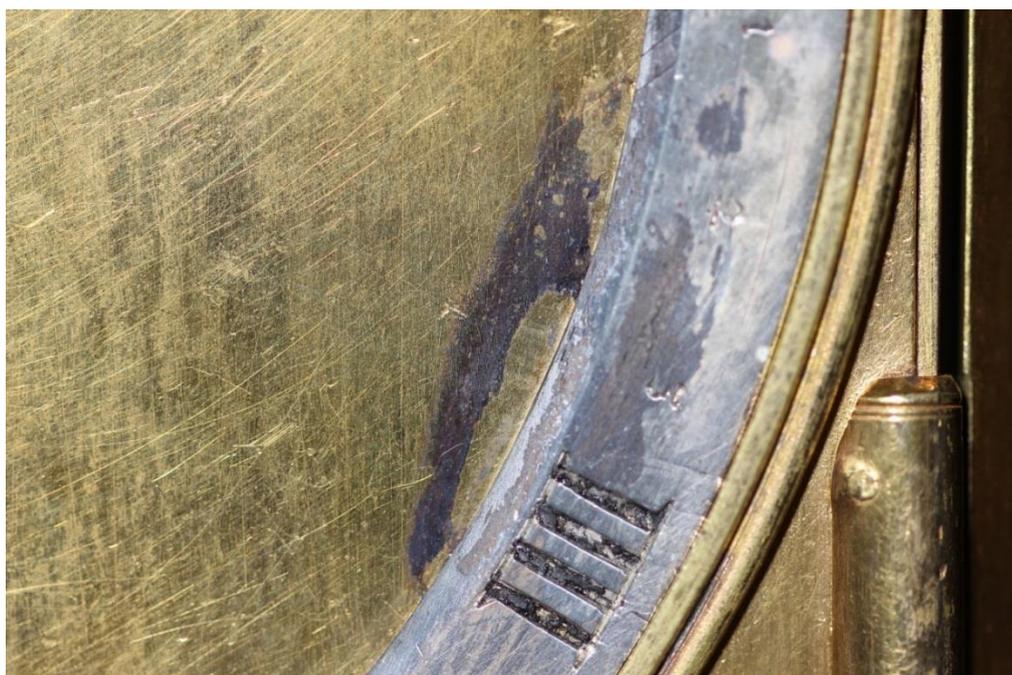


Abb.	Beschreibung	Dateiname	Foto	Seite
91	Schwarze Verfärbungen auf Bürgi-Uhr	Abbildung 91.jpg	Lea Hahmann	46
92	Schwarze Verfärbungen auf Säule von Baldewein-Uhr, Inv.-Nr. D IV d 4	Abbildung 92.jpg	Lea Hahmann	

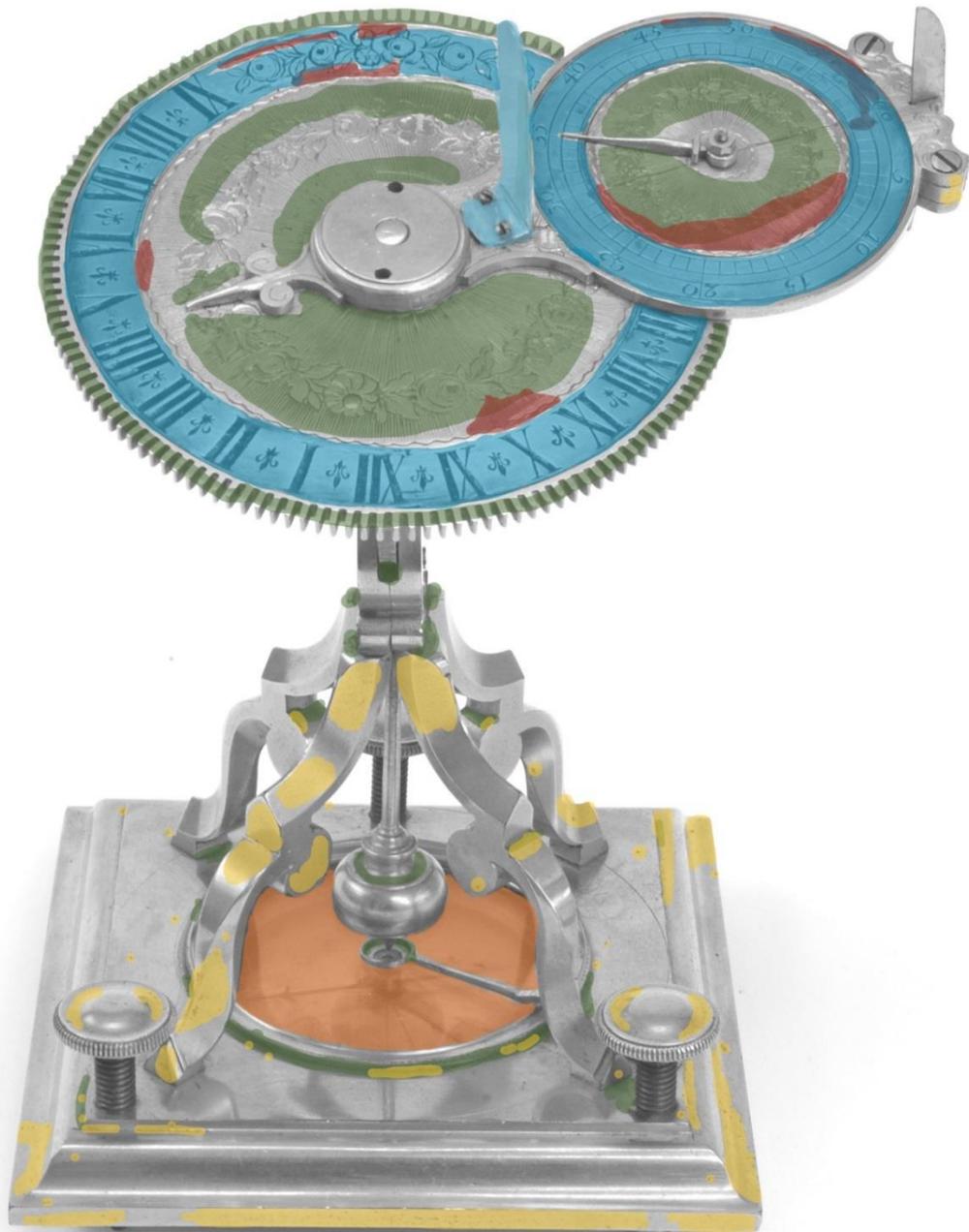
Bachelor-Arbeit Lea Hahmann

Anhang II:

Kartierung

## Anhang II: Kartierung

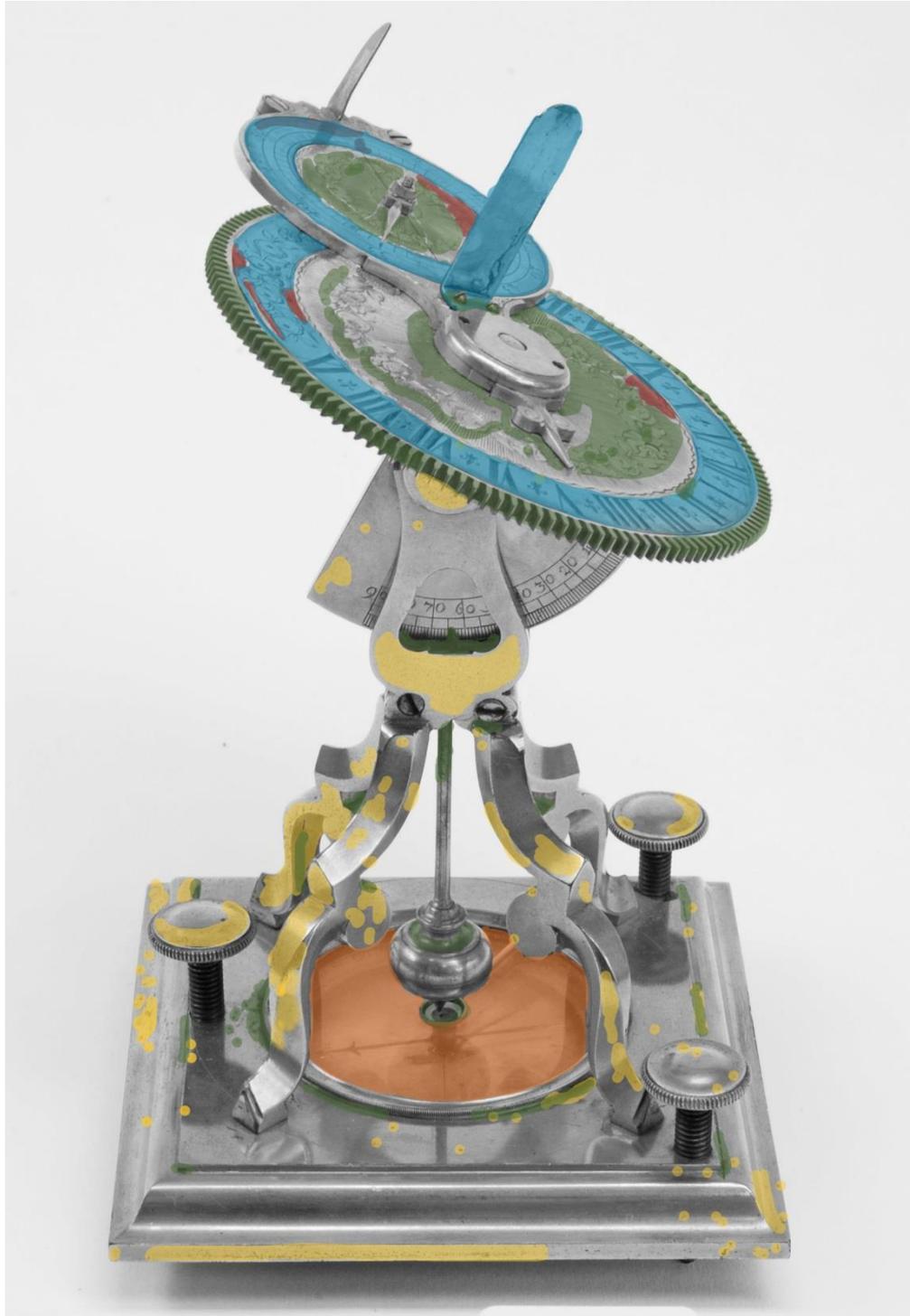
Objekt	Minuten-Rädersonnenuhr	Aufn. Datum	04.03.2016
Inv. Nr.:	D I 7	Foto	Lea Hahmann
Eigentümer	Mathematisch- Physikalischer Salon	Dateiname	Abbildung 01_Kartierung.jpg



	Schwarze Verfärbungen		Lunker / Poren
	Verschmutzung		Staub
	Lack		Fehlstellen

Anhang II: Kartierung

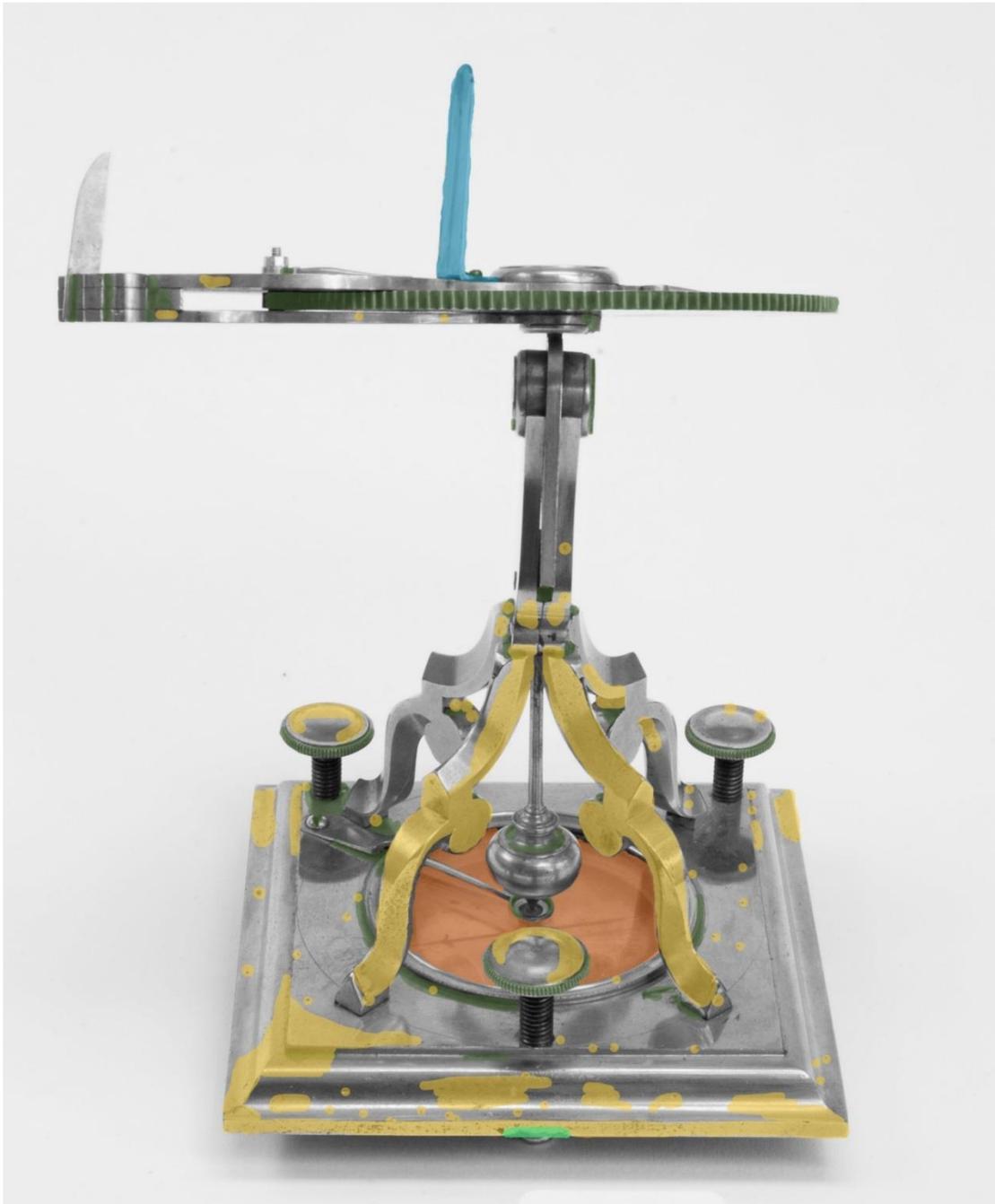
Objekt	Minuten-Rädersonnenuhr	Aufn. Datum	04.03.2016
Inv. Nr.:	D I 7	Foto	Lea Hahmann
Eigentümer	Mathematisch- Physikalischer Salon	Dateiname	Abbildung 02_Kartierung.jpg



	Schwarze Verfärbungen		Lunker / Poren
	Verschmutzung		Staub
	Lack		Fehlstellen

## Anhang II: Kartierung

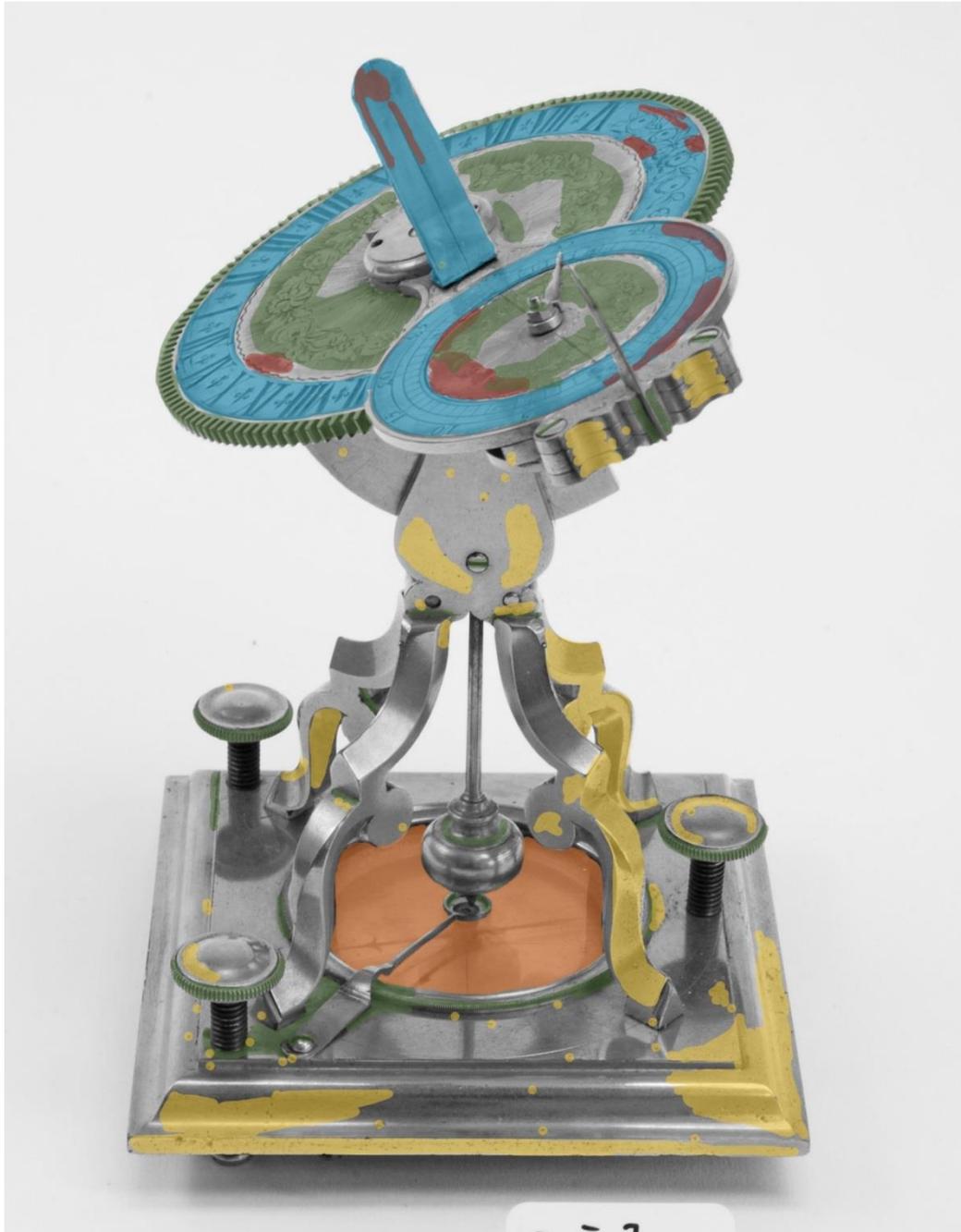
Objekt	Minuten-Rädersonnenuhr	Aufn. Datum	04.03.2016
Inv. Nr.:	D I 7	Foto	Lea Hahmann
Eigentümer	Mathematisch- Physikalischer Salon	Dateiname	Abbildung 03_Kartierung.jpg



	Schwarze Verfärbungen		Lunker / Poren
	Verschmutzung		Staub
	Lack		Fehlstellen

Anhang II: Kartierung

Objekt	Minuten-Rädersonnenuhr	Aufn. Datum	04.03.2016
Inv. Nr.:	D I 7	Foto	Lea Hahmann
Eigentümer	Mathematisch- Physikalischer Salon	Dateiname	Abbildung 04_Kartierung.jpg



	Schwarze Verfärbungen		Lunker / Poren
	Verschmutzung		Staub
	Lack		Fehlstellen

# Bachelor-Arbeit Lea Hahmann

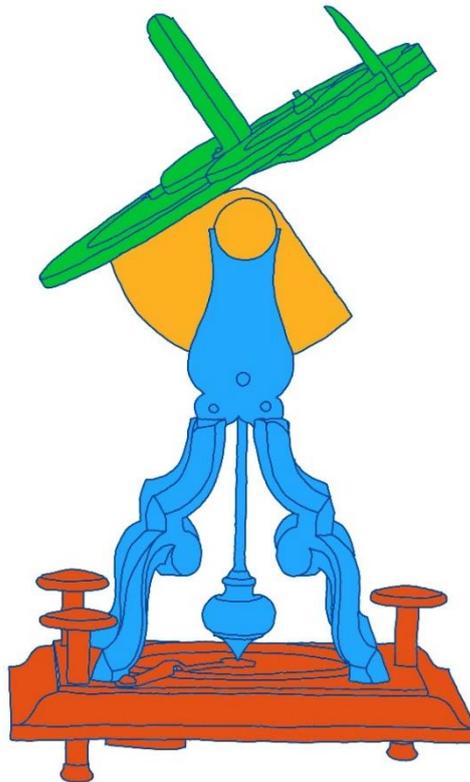
## Anhang III:

### Skizzen

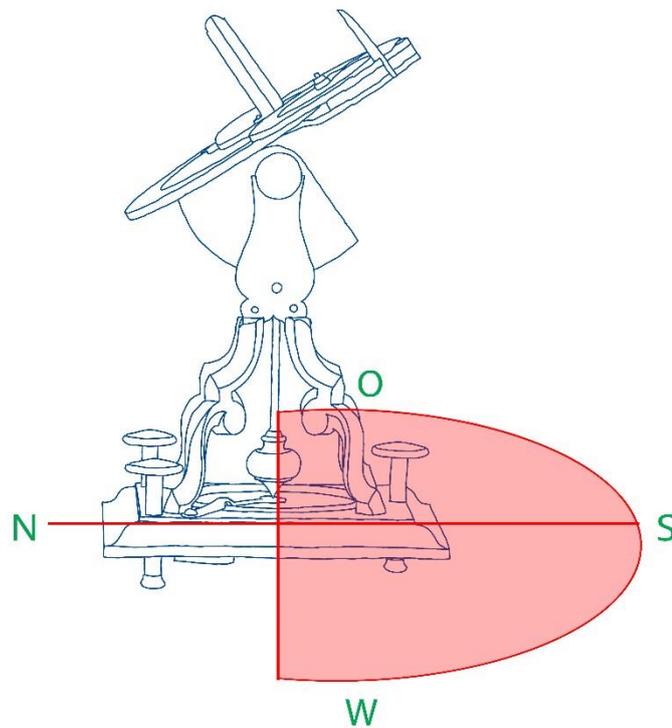
#### **Inhalt:**

1. Teilgruppen der Uhr	1
2. Ausrichtung der Uhr in N/S-Richtung	1
3. Breitengradeinstellung und lotrechte Positionierung	2
4. Einstellung der Zifferblätter	2
5. Konstruktion der Zifferblätter	3
6. Ablagerung in Folge von Silberoxidation	3
7. Ablagerung durch mechanisch-chemische Prozesse	3

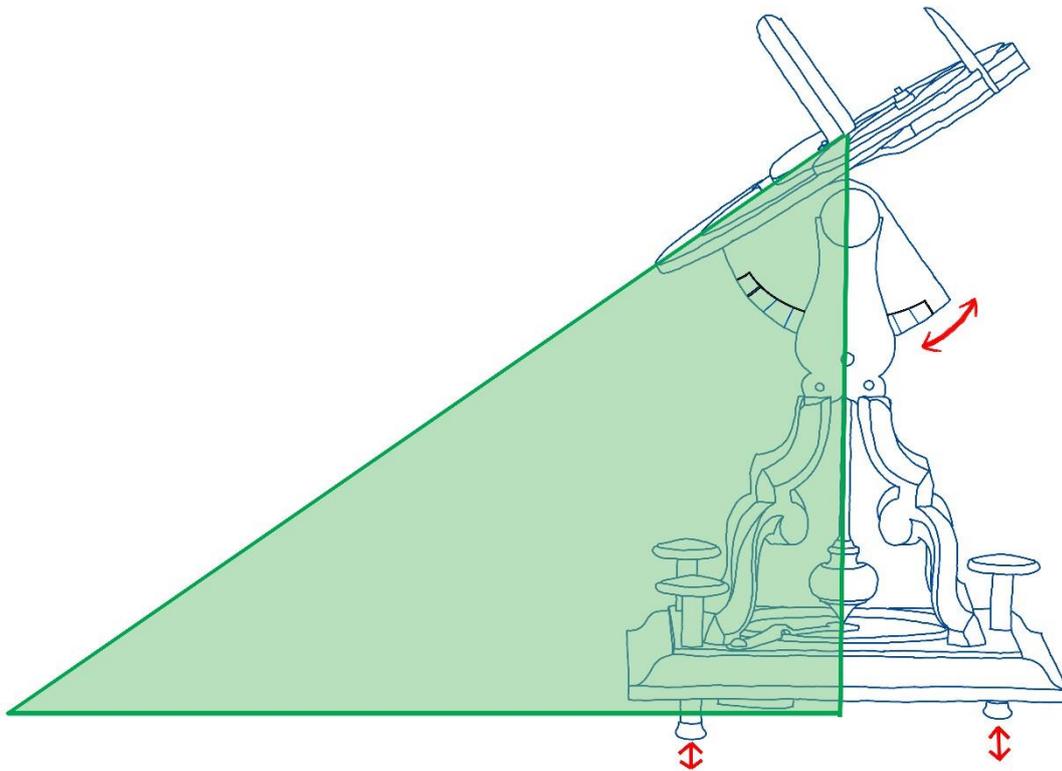
### 1. Teilgruppen der Uhr



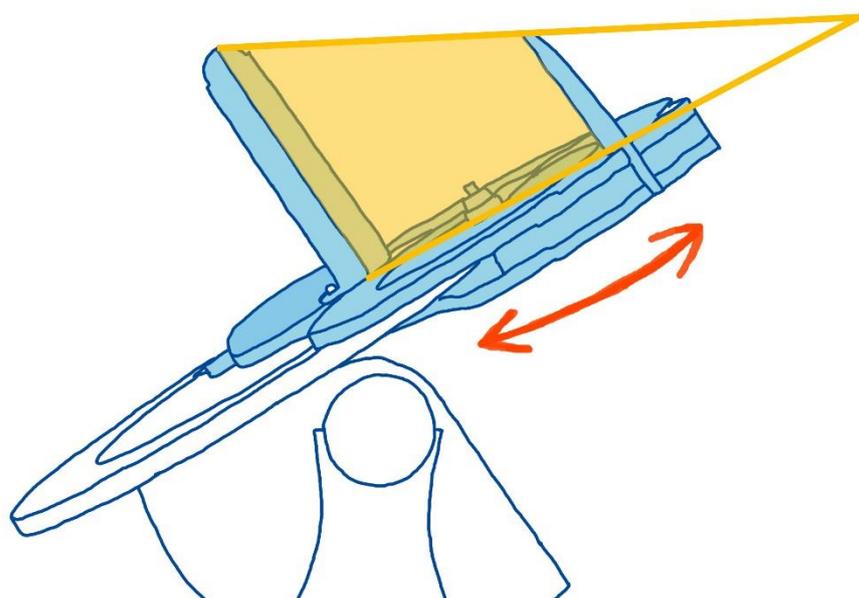
### 2. Ausrichtung der Uhr in N/S-Richtung



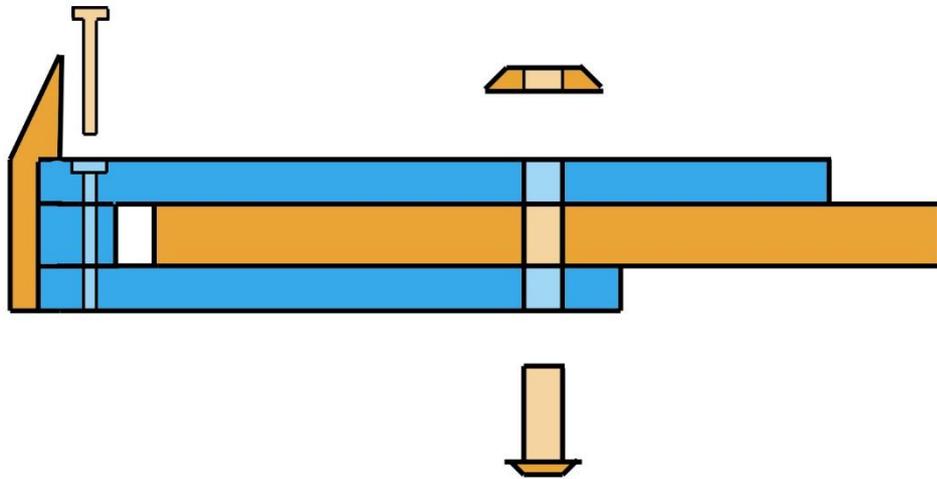
### 3. Breitengradeinstellung und lotrechte Positionierung



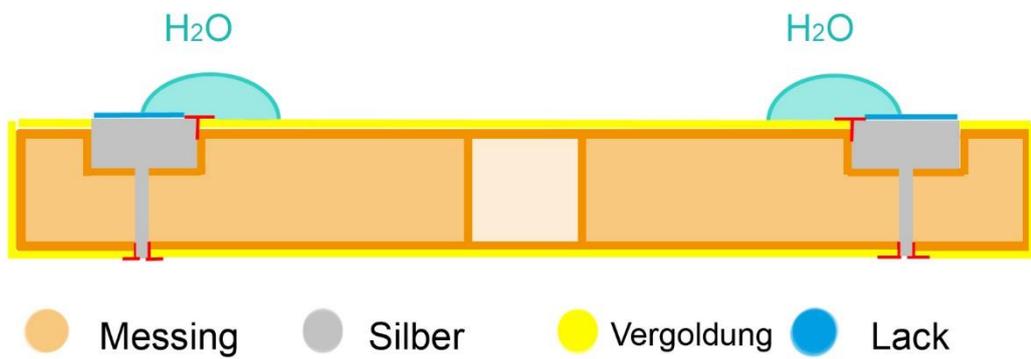
### 4. Einstellung der Zifferblätter



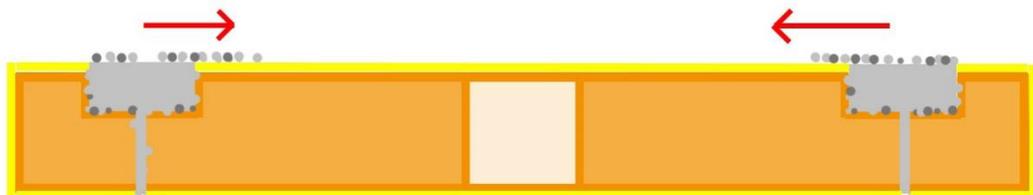
### 5. Konstruktion der Zifferblätter



### 6. Ablagerung in Folge von Silberoxidation



### 7. Ablagerung durch mechanisch-chemische Prozesse



# Bachelor-Arbeit Lea Hahmann

## Anhang IV:

### Historische Aufzeichnungen

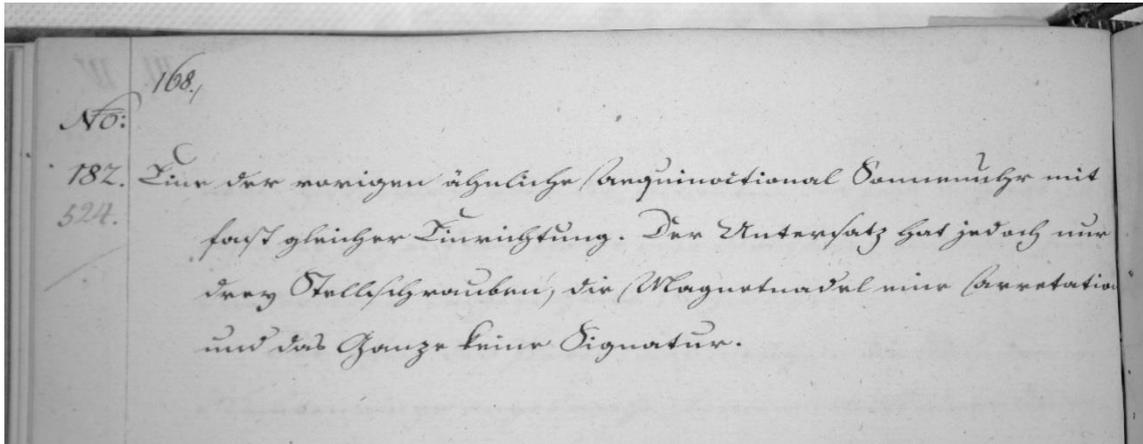
#### Inhalt:

1. Inventar 1818, Minuten-Rädersonnenuhr D I 9	1
2. Inventar 1818, Minuten-Rädersonnenuhr D I 7	2
3. Inventar 1828, Minuten-Rädersonnenuhr D I 7	3
4. Verzeichnis Löser 1766	4
5. Leipziger Uhrmacher-Zeitung 1905	5
6. Abbildungen der Sonnenuhr von 1936-1980	6



## 1. Inventarium der in dem physikalischen und mathematischen Salon der Königlichen Zwingergebäude aufbewahrten Instrumente 1818

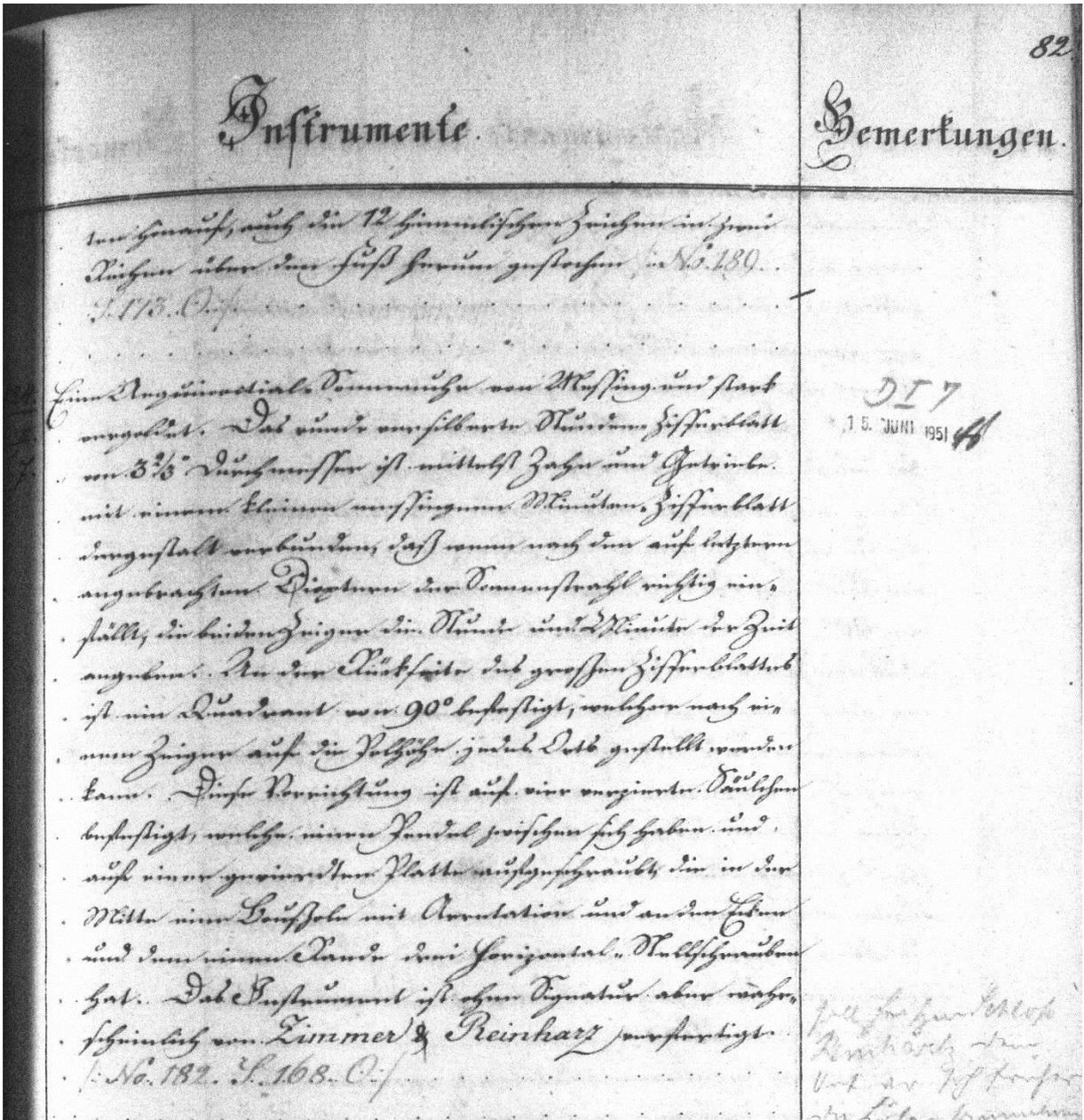
Minuten-Rädersonnenuhr D I 7:



Transkription:

Eine der vorigen ähnlichen äquinoktional Sonnenuhr mit sonst gleicher Einrichtung. Der Untersatz hat jedoch nur drey Stellschrauben, die Magnetschraube eine Arretation und das Ganze keine Signatur.

2. Inventar 1828, Minuten-Rädersonnenuhr D I 7



Transkription:

Eine äquatoriale Sonnenuhr von Messing und stark vergoldet. Das runde versilberte Stunden Zifferblatt von  $3 \frac{2}{3}$  Durchmesser ist mittels Zahn und Getriebe mit einem kleinen messingen Minuten Zifferblatt dergestalt verbunden,

das man nach dem auf letzterem angebrachten Diobter der Sonnenstrahl richtig rein fällt, die beiden Zeiger die Stunde und Minute der Zeit angeben.

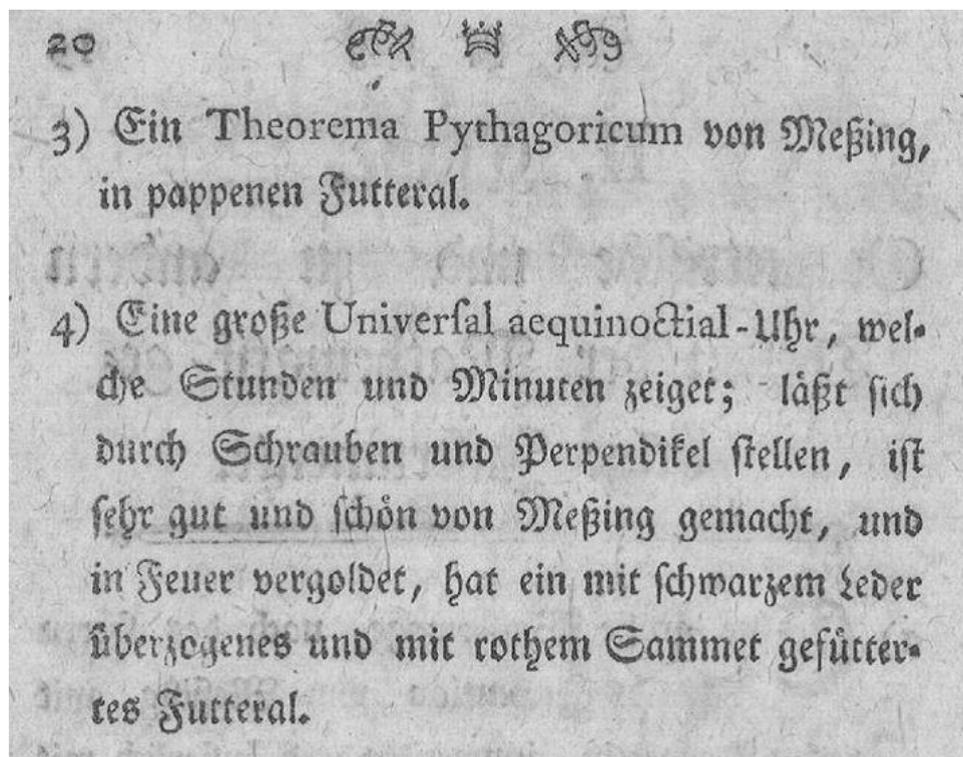
An der Rückseite des großen Zifferblattes ist ein Quadrant von 90° befestigt, welcher nach einem Zeiger auf die Polhöhe jeds Ortes gestellt werden kann.

Diese Vorrichtung ist auf vier verzierten Säulchen befestigt, welche einen Pendel zwischen sich haben und auf einer gravierten Platte aufgeschraubt die in der Mitte einer Bussole mit Arretation und auf dem ... und dem seinem Rande drei Horizontal Messingschrauben hat.

Das Instrument ist ohne Signatur aber wahrscheinlich von Zimmer & Reinharz gefertigt.

**3. Hans von Löser: Verzeichnis der auf dem Schlosse Reinharz befindlichen Mathematischen, Physikalischen, Chirurgischen und andern Instrumenten [...] Wittenberg, 1766**

2. Klasse: Geometrische und zu anderen Theilen der Mathematik gehörige Instrumente, S. 20:



## 4. Leipziger Uhrmacher-Zeitung, No. 2, Leipzig, 15. Januar 1905, 12.

## Jahrg.: Max Engelmann: Alte Sonnenuhren und Nachtzeitmesser

No. 2 LEIPZIGER UHRMACHER-ZEITUNG 19

## Alte Sonnenuhren und Nachtzeitmesser.

Von Max Engelmann. (Fortsetzung.)

(Mit Originalaufnahmen.)

Typische und viel verbreitete Äquatorealuhren zeigen Fig. 5 bis 7. Zur Orientierung im Meridian dienten der Uhr 5 und 7 der Kompaß, während bei Fig. 6 eine festgelegte Meridianlinie Bedingung war. Fig. 6 und 7 haben außerdem noch zur Horizontalstellung kleine Metallote. Fig. 5 ist nur obere Äquatorealuhr, also nur im Sommer brauchbar, während Fig. 7 einen sich durch die Querachse nach unten fortsetzenden Gnomon nebst entsprechender Teilung besitzt und demnach obere und untere Äquatorealuhr ist.

der Räderuhren, namentlich aber nach Einführung des Minutenzeigers, die Forderung nach Sonnenuhren, die diesen präziseren Zeitmessern die Wage hielten oder aber zu ihrer genaueren Kontrolle dienen sollten, eine immer dringlichere. Dies führte zur Einrichtung der Sonnenuhren mit Minutenangabe. Drei derartige Zeitmesser geben Fig. 8, 9 und 10 wieder. Die in Fig. 8 dargestellte Uhr ist nur obere Äquatorealuhr und von Andreas Pfab-Dresden, Ausgang des 18. Jahrhunderts gefertigt. Hier ist

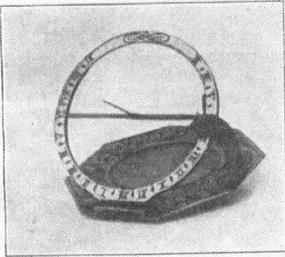


Fig. 5.

Bei Fig. 6 ist der Gnomon durch ein verstellbares Öhrer setzt und die Innenkante des Zifferblattringes ebenfalls eingeteilt, so daß mit dieser Uhr auch Zeitbestimmungen an den Tagen der Tag- und Nachtgleiche gemacht werden konnten. Auf den freien Flächen solcher Sonnenuhren sind gewöhnlich die Angaben der Polhöhen der bekanntesten Orte Europas aufgraviert, um auch auf Reisen diese Zeitmesser mit Hilfe der Gradbogen richtig einstellen zu können. Diese drei Uhren sind zusammenlegbare Tascheninstrumente. Uhr Fig. 5 ist von Andreas Vogler Augsburg um 1700 gefertigt, Uhr Fig. 6 ein Erzeugnis aus dem Anfang des 18. Jahrhunderts von Schindler Hall und Uhr Fig. 7 stammt aus dem Nachlaß des ersten sächsischen Königs Friedrich August I. und trägt den Verfertiger-namen Kodauer Karlsbad.

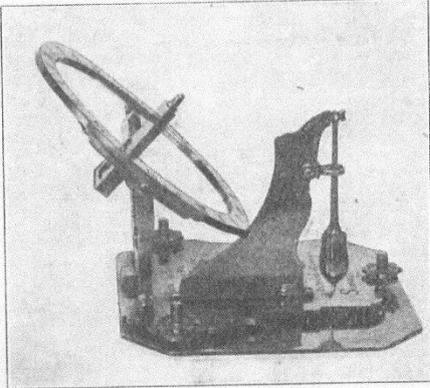


Fig. 6.

in der Zeitbestimmung erzielen ließ. Der Gebrauch war folgender: Nachdem das Instrument nach der Busssole, dem Lote und auf die Polhöhe eingestellt war, wurde der Zeiger mit der Hand soweit verdreht, bis durch den feinen Spalt (links im Bilde), eine Sonnenlichtlinie auf die Mittellinie des gegenüberliegenden Blattes traf. Der Zeiger am Fuße des Spaltes gab dann die Stunde an. Unter der Zifferblatfläche steht der Zeigerarm durch Zahnräder mit dem Zeiger des kleineren Minutenzifferblattes in Verbindung, so diesen bei der Verdrehung mit einstellend. Fig. 9 und 10 geben zwei auf gleichem Prinzip beruhende Minutenäquatorealuhren wieder, die vor 1770 entstanden sind, und deren eine des Verfertigers Namen: J. G. Zimmer (Schloß)Reinhartz trägt. Fig. 9 ist nur obere Äquatorealuhr und hat Stift und Schattenplatte, Fig. 10 dagegen obere und untere Äquatorealuhr und hat Öhre anstatt des Stiftes. Die Polhöhen-

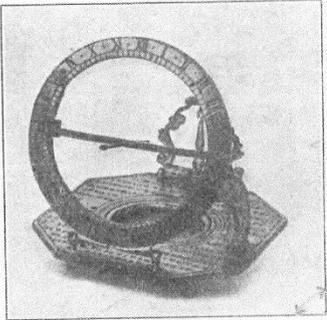


Fig. 7.

der eine immerhin breite Schattenlinie gebende Gnomon durch eine Einrichtung ersetzt, die größere Genauigkeit in der Zeitbestimmung erzielen ließ. Der Gebrauch war folgender: Nachdem das Instrument nach der Busssole, dem Lote und auf die Polhöhe eingestellt war, wurde der Zeiger mit der Hand soweit verdreht, bis durch den feinen Spalt (links im Bilde), eine Sonnenlichtlinie auf die Mittellinie des gegenüberliegenden Blattes traf. Der Zeiger am Fuße des Spaltes gab dann die Stunde an. Unter der Zifferblatfläche steht der Zeigerarm durch Zahnräder mit dem Zeiger des kleineren Minutenzifferblattes in Verbindung, so diesen bei der Verdrehung mit einstellend. Fig. 9 und 10 geben zwei auf gleichem Prinzip beruhende Minutenäquatorealuhren wieder, die vor 1770 entstanden sind, und deren eine des Verfertigers Namen: J. G. Zimmer (Schloß)Reinhartz trägt. Fig. 9 ist nur obere Äquatorealuhr und hat Stift und Schattenplatte, Fig. 10 dagegen obere und untere Äquatorealuhr und hat Öhre anstatt des Stiftes. Die Polhöhen-

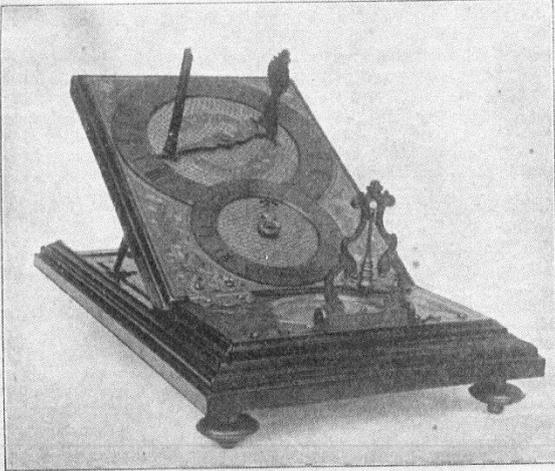


Fig. 8.

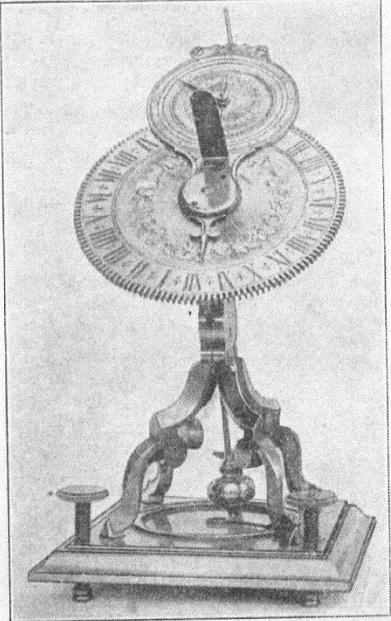
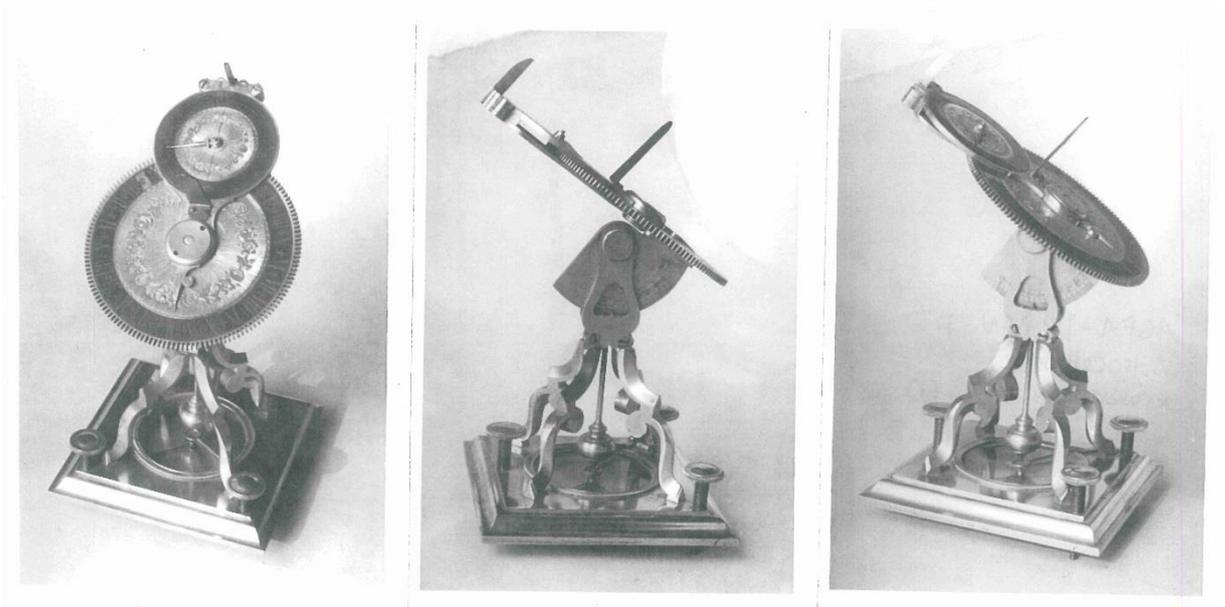


Fig. 9.

Transkription:

[...] Fig. 9 und 10 geben zwei auf dem gleichen Prinzipie beruhende Minuten-äquatorealuhren wieder, die vor 1770 entstanden sind, und deren eine des Verfertigers Namen: J. G. Zimmer (Schloß) Reinhartz trägt. Fig. 9 ist nur obere Äquatorealuhr und hat Stift und Schattenplatte, [...]

### 5. Abbildungen der Sonnenuhr von 1936-1960



Film: AGFA ISOPAN F

# Bachelor-Arbeit Lea Hahmann

## Anhang V:

### Messergebnisse

#### **Inhalt:**

1. Messprinzipien	1
2. Messergebnisse IBA (PIXE)	3
3. Messergebnisse IBA (RBS)	11
4. Messergebnisse RFA	12
5. Messergebnisse FTIR	15

## 1. Messprinzipien:

### PIXE:

Das Messprinzip von PIXE beruht auf der Bestrahlung eines Objekts mit geladenen Ionen. Die geladenen Teilchen regen, ähnlich wie bei der Röntgenfluoreszenz-Analyse, kernnahe Elektronen an, die aus ihren Schalen herausgeschlagen werden. Elektronen aus höheren Energieniveaus können nun auf die kernnahen Schalen springen, wodurch Energie frei wird. Diese Energie wird in Form von elementspezifischer Röntgenstrahlung abgegeben und kann detektiert werden. PIXE 1 misst dabei Elemente der großen Ordnungszahlen, während PIXE 2 Elemente kleinerer Ordnungszahlen detektiert.

Die Röntgenstrahlung wird durch einen Si (Li)-Halbleiter-Detektor nachgewiesen. Ein Vorteil der durch Ionen induzierten Röntgenemission ist der geringere Bremsstrahlungsuntergrund, wodurch eine höhere Nachweisempfindlichkeit erreicht wird. Dieser kann im Bereich von einem bis einigen ppm liegen. PIXE ermöglicht somit eine bessere qualitative Spurenelement-Analyse.

Alle Elemente absorbieren die Strahlung unterschiedlich. Auch der Energieverlust der eindringenden Protonen, der durch die Eindringtiefe verbunden ist, ist je nach Element verschieden, daher kann die detektierte Strahlung oder Energie nicht genau die Höhe der Konzentration der Elemente angeben. Es ist nur dann möglich, wenn die Elemente homogen in einer dicken Probe verteilt sind und diese durch Vergleich mit einem entsprechenden Standard bestimmt werden.

Die Eindringtiefe der Strahlung ist ebenfalls von den Elementen abhängig. Die typisch verwendeten Protonenenergien von 4 MeV ermöglichen eine oberflächenintensive Untersuchung. Im Fall von silikatischen Materialien ist die Informationstiefe auf ca. 10  $\mu\text{m}$  beschränkt.<sup>50</sup>

---

<sup>50</sup> MÄDER, 2003. S. 16-19

### PIGE:

Das Messprinzip von PIGE beruht ebenfalls auf der Bestrahlung eines Objekts mit geladenen Ionen. Jedoch reagiert das Ion mit dem Kern eines Atoms, wodurch der Kern kurzzeitig angeregt wird. Beim Abregen wird Gammastrahlung frei und kann detektiert werden. Diese Gammastrahlung ist charakteristisch für den Atomkern eines Elementes und weist, gerade für PIXE unzugängliche, leichtere Elemente mit kleiner Ordnungszahl (z. B.: B, F, N, Na, Mg, Al, Si, S, P) nach.

Mit PIGE wird eine geringere Nachweisempfindlichkeit im Vergleich zu PIXE erreicht. Die Peaks sind aber meist sehr gut isoliert auf einem geringen Untergrund sichtbar. Bei einer Einschussenergie von 4 MeV liegt die Eindringtiefe im Festkörper bei ca. 100 µm. Das heißt auch, dass mehr Informationen aus einer Probe gelesen werden können, was ein besseres quantitatives Ergebnis bringt. Eine quantitative Aussage kann jedoch, wie bei PIXE, nur unter bestimmten Voraussetzungen gemacht werden (Homogene Verteilung in einer dicken Probe).<sup>51</sup>

### RBS:

Das Messprinzip von RBS beruht auf der Streuung eines eingeschossenen Ions an einem Atomkern des Materials. Die zurückgestreuten Ionen und deren Energie können detektiert werden, sodass die atomare Masse des Stoßpartners, die Konzentration des Elementes und dessen Verteilung als Funktion der Materialtiefe bestimmt werden können. Das heißt, es kann die Konzentration in Zusammenhang mit der Schichtdicke (Tiefe) angezeigt werden. Die Methode ist vor allem zur Untersuchung dünner Schichten, sowie schwerer Elemente in einem Substrat aus leichten Elementen geeignet.

An der Oberfläche hängt die Energie des gestreuten Ions von der Masse des angeregten Atoms ab, sodass ein Energieverlust durch Bremsung zu vernachlässigen ist. Findet der Stoßprozess jedoch im Inneren des Materials ab, verliert das Ion zusätzlich Energie in Abhängigkeit von der Materialzusammensetzung und der Weglänge. Dadurch kann die

---

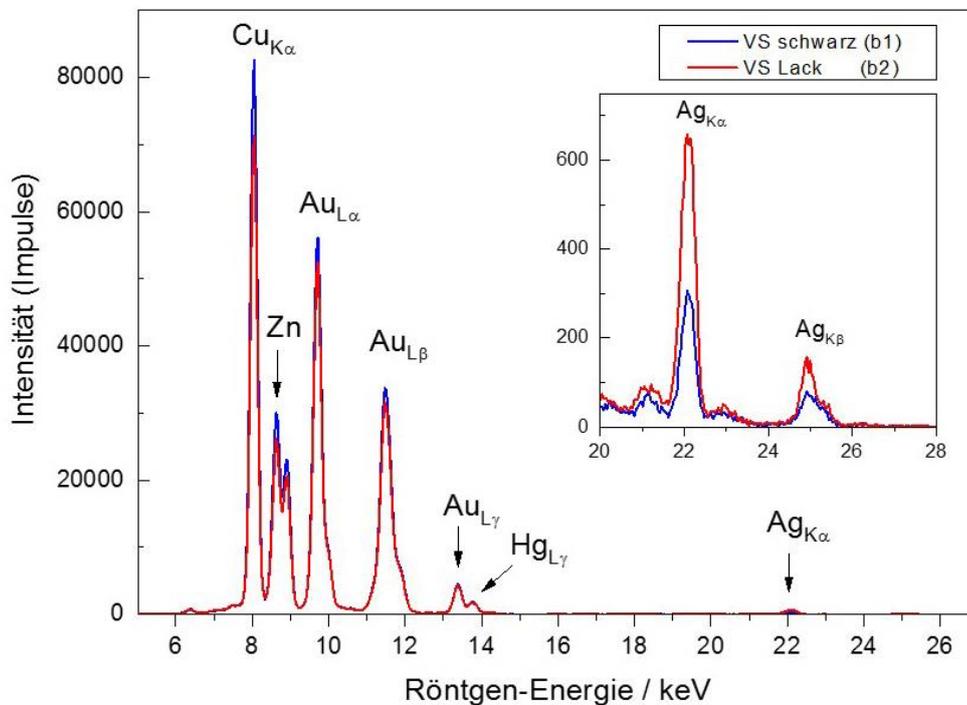
<sup>51</sup> MÄDER, 2003. S. 20-21

Tiefenverteilung der Elemente analysiert werden. Leichte Elemente sind mittels RBS besser nachweisbar.<sup>52</sup>

## 1. Messergebnisse PIXE:

### Stundenzifferblatt:

Vergleich der Verfärbungen mit der daneben liegendem Messpunkt auf Vergoldung mit Lack



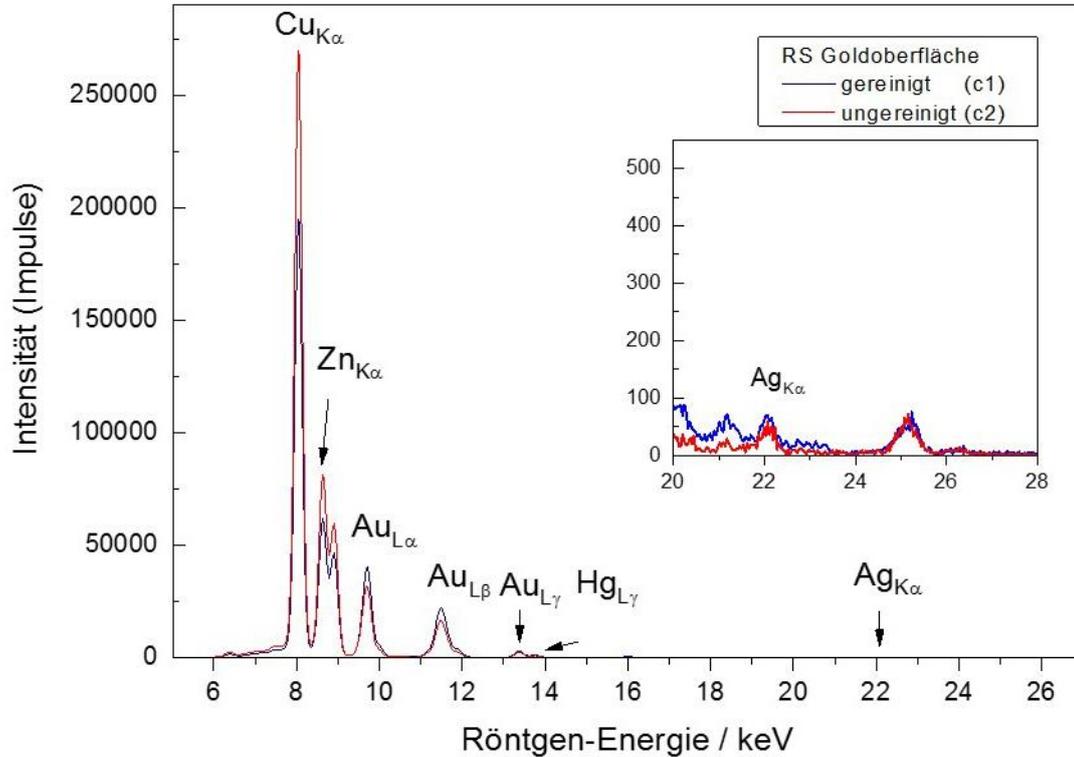
Auf der schwarzen Verfärbung wurden höhere Cu-/ Zn- und Au-Anteile detektiert. Vermutlich kommt durch den auf der Vergoldung liegende Lack weniger Strahlung hindurch. Daher werden geringere Anteile des Untergrundmaterials auf der Vergoldung gemessen. Auf der Vergoldung wurde ein höherer Silberanteil (650 Impulse) als auf der Verfärbung (300 Impulse) gemessen. Bisher ist dessen Ursache noch unklar.

*Schlussfolgerung: Auf der Vergoldung mit Lack, in der Nähe der schwarzen Verfärbungen wurden höhere Silberanteile gemessen.*

<sup>52</sup> MÄDER, 2003. S. 22-25

Stundenzifferblatt:

Vergleich der Vergoldung auf gereinigter und nicht gereinigter Stelle



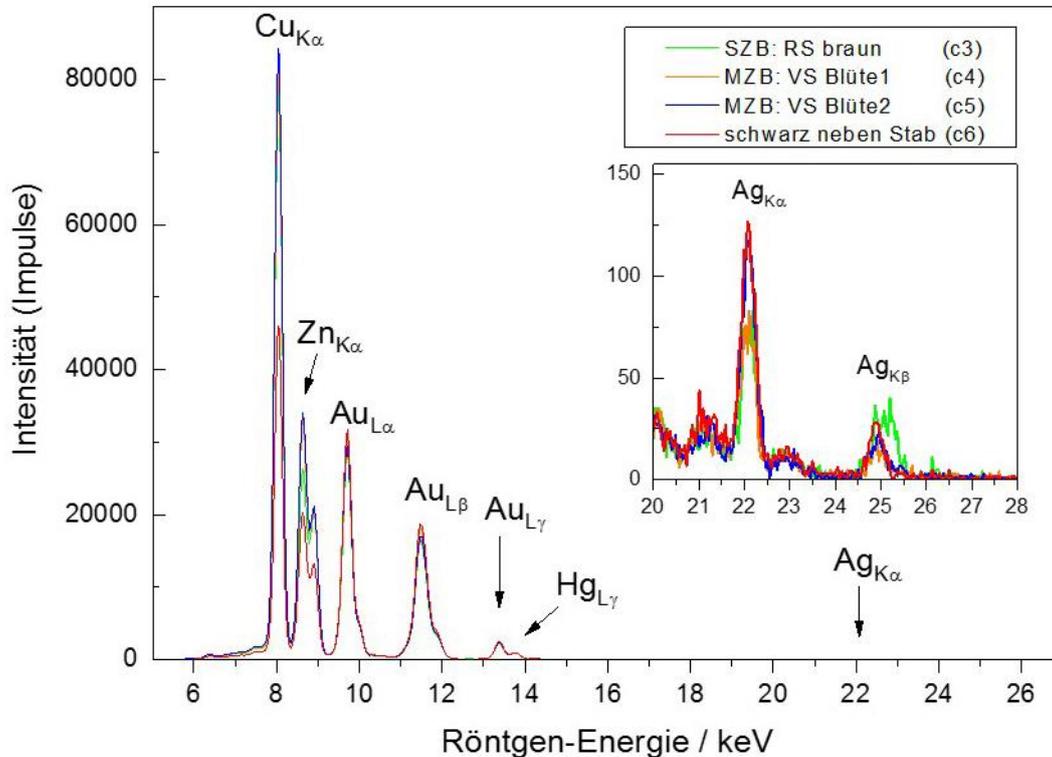
Auf der gereinigten Oberfläche ist mehr Gold zu finden, dadurch wird weniger Messing detektiert. Der Silberanteil (ca. 50 Impulse) ist bei beiden Messpunkten gleich, d. h. die Vergoldung besitzt geringe Silbermengen.

*Schlussfolgerung:*

*Geringe Silbermengen sind Bestandteil der Vergoldung*

Stunden- / Minutenzifferblatt:

Vergleich der schwarzen und braunen Verfärbungen auf MZB und SZB



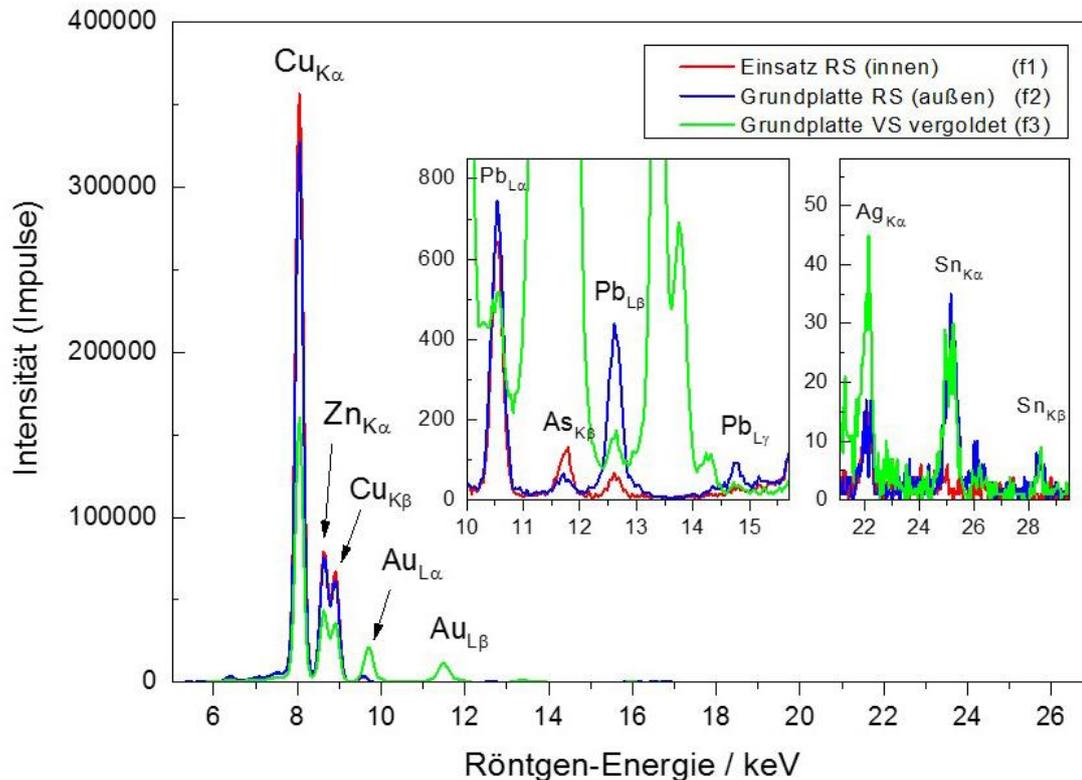
Auf der braunen und schwarzen Verfärbungen des Minutenzifferblattes wurden gleiche Cu-/ Zn-/ Au- und Hg-Anteile detektiert. Auf dem Stundenzifferblatt wurde weniger Zn nachgewiesen. Die schwarze Verfärbung neben der Projektionsfläche besitzt einen minimal höheren Au-Anteil, dadurch kann vermutlich weniger vom Untergrundmaterial gemessen werden. Der Cu- und Zn-Gehalt sinkt daher fast um die Hälfte. An dieser Stelle, sowie an der schwarzen Verfärbung (MZB) wurde am Meisten Ag (125 Impulse) gefunden. Auf den braunen Verfärbungen der Zifferblätter wurden lediglich 75 Impulse detektiert.

*Schlussfolgerung:*

*Je dunkler die Stellen, desto höhere Silberwerte wurden gefunden. Die Silberschicht wächst.*

Grundplatte:

Vergleich des Messings und der Vergoldung auf der Grundplatte



Auf der Vorderseite der Grundplatte ist Gold detektiert worden, dadurch verringern sich die Cu-/ Zn-Werte. Der eingesetzte Kreis besitzt minimal höhere Cu-/ Zn-Anteile als die Rückseite der Grundplatte. Außerdem sind beim Kreis geringe Arsen-Anteile (100 Impulse) gemessen worden.

Auf der Rückseite und Vorderseite wurden Spuren von Zinn (30-45 Impulse) gemessen. Da es nur kleine Mengen sind, kann man von einem unbeabsichtigt eingebrachten Nebenbestandteil ausgehen.

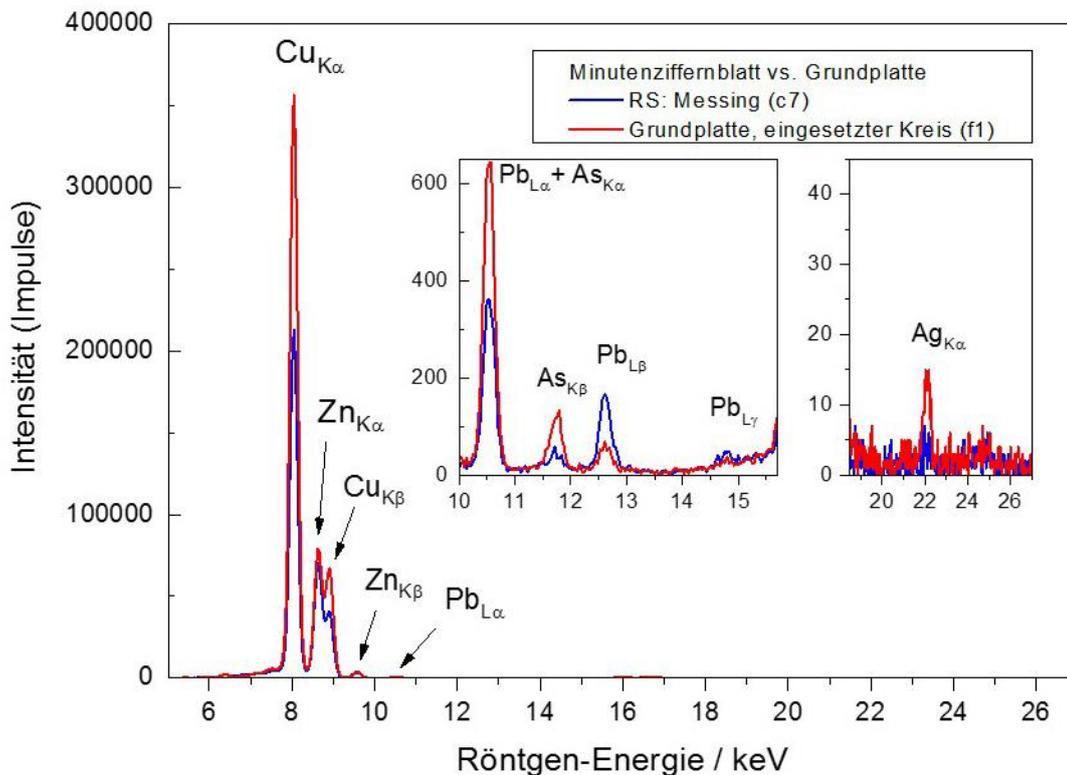
Ebenso sind auf der Rückseite >400 Impulse Blei, auf der Vorderseite <200 Impulse und auf dem Kreis nur 50 Impulse gefunden worden. Die Vorderseite besitzt weniger Zinn und Blei, da das Untergrundmaterial nicht so gut unter der Vergoldung detektiert wird. Dies lässt auf unterschiedliche Materialien des eingesetzten Kreises und der Grundplatte schließen. Die Vorderseite besitzt 45 Impulse Silber, während die Rückseite, sowie der Kreis nur ca. 15 Impulse Silber hat. Das Silber ist demnach vermutlich in Spuren in der Vergoldung enthalten.

*Schlussfolgerung:*

*Die Grundplatte (mit Sn und Pb) besteht aus einer andere Legierung als der eingesetzte Ring (Spur As). Das Silber ist Bestandteil der Vergoldung.*

Minutenzifferblatt, Grundplatte:

Vergleich des Messings der Grundplatte (eingesetzter Kreis) und des Minutenzifferblattes



Der eingesetzte Kreis besitzt doppelt so viel Cu und Zn wie das Messing des MZB. Außerdem ist eine Spur Arsen (>100 Impulse) vorhanden und fast kein Blei (50 Impulse). Blei (<200 Impulse) wurde beim MZB gefunden.

*Schlussfolgerung:*

*Das Messing des eingesetzten Kreises (mit As) ist eine andere Legierung als das Messing des MZB (mit Pb).*

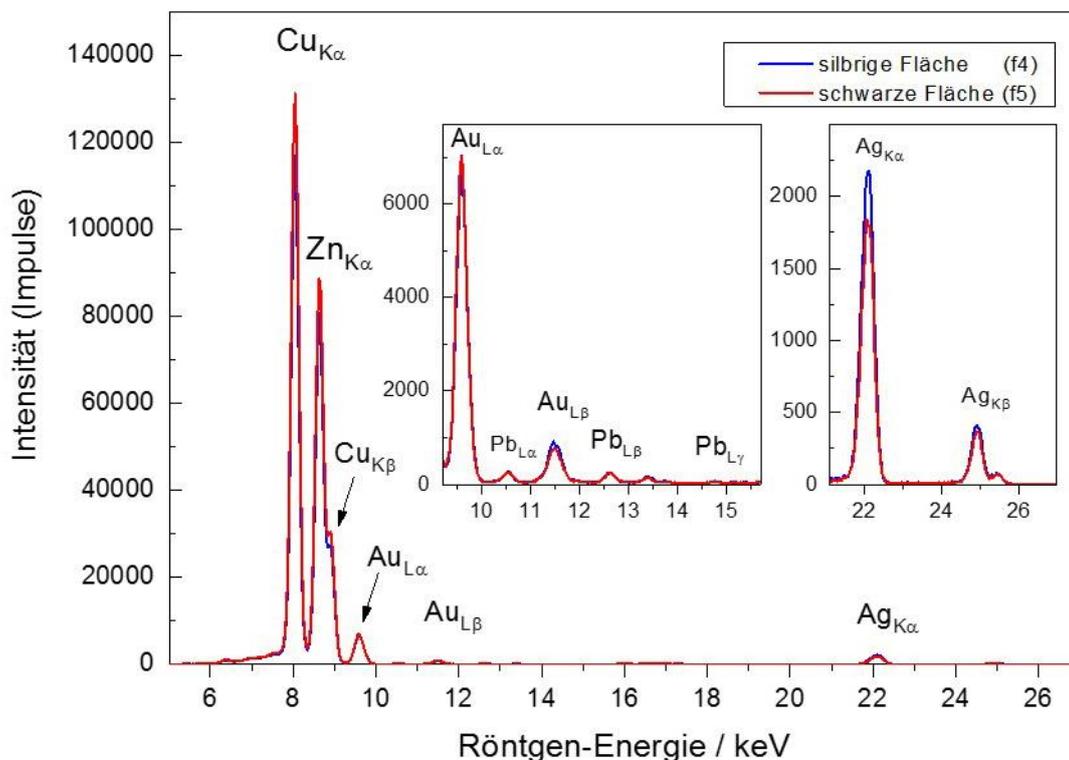
→ Das Messing der Grundplatte, des eingesetzten Kreises in der Grundplatte und des Minutenzifferblattes besteht aus einer unterschiedlichen Legierung.

### Platine:

Das Phänomen, dass Silber durch eine Vergoldung hindurch diffundiert, ist bei vielen Objekten nachgewiesen worden. Um die Auflagerungen, die durch „Diffusion“ oder durch anderweitige Prozesse (im Fall der Sonnenuhr) entstanden sind, vergleichen zu können, wurden Messungen an einer Platine durchgeführt. Diese Platine besteht aus Messing, welches versilbert und anschließend vergoldet wurde. Sie weist großflächige schwarze Verfärbungen auf, die auf eine Silberdiffusion zurückzuführen sind.



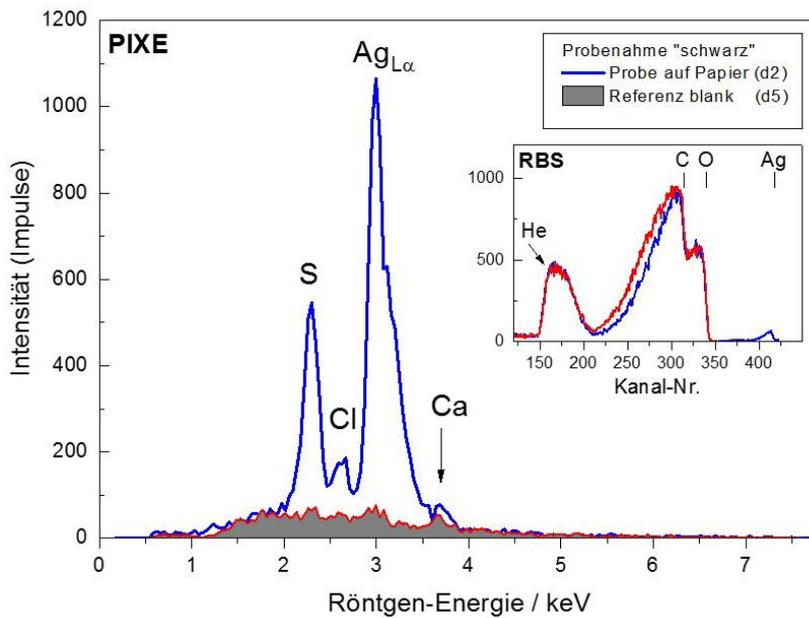
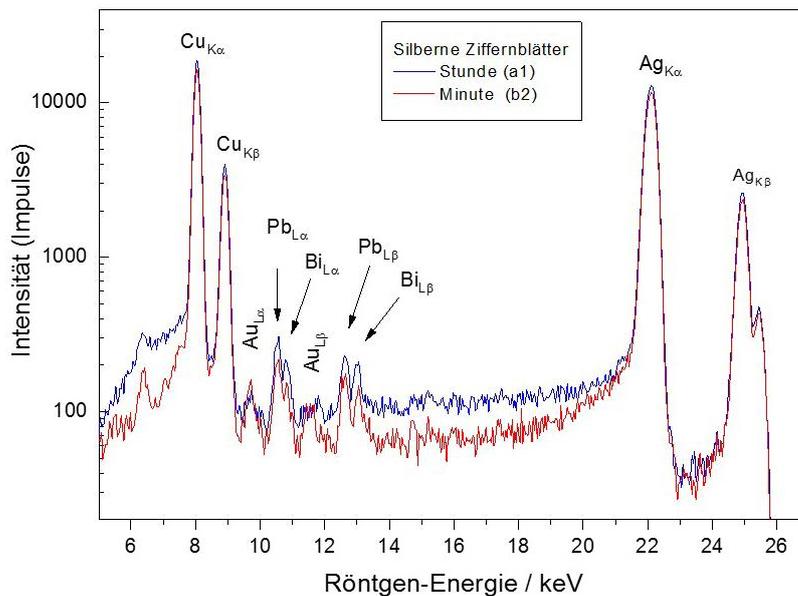
Abb. 1: Platine mit schwarzen Verfärbungen



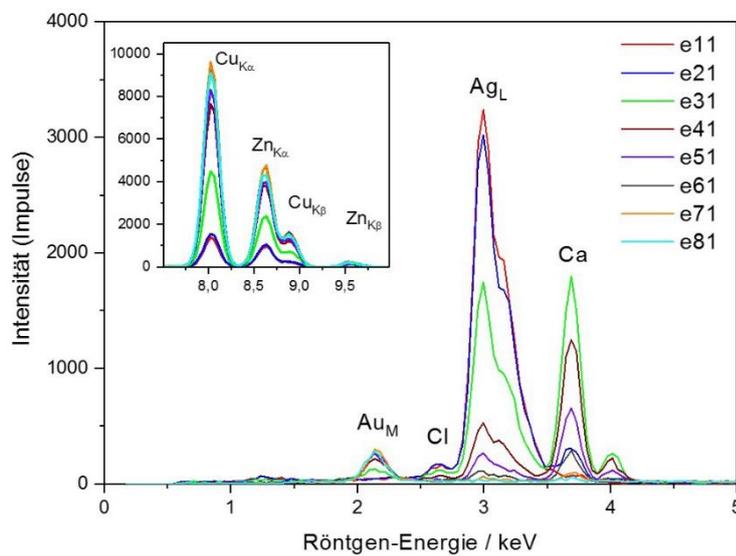
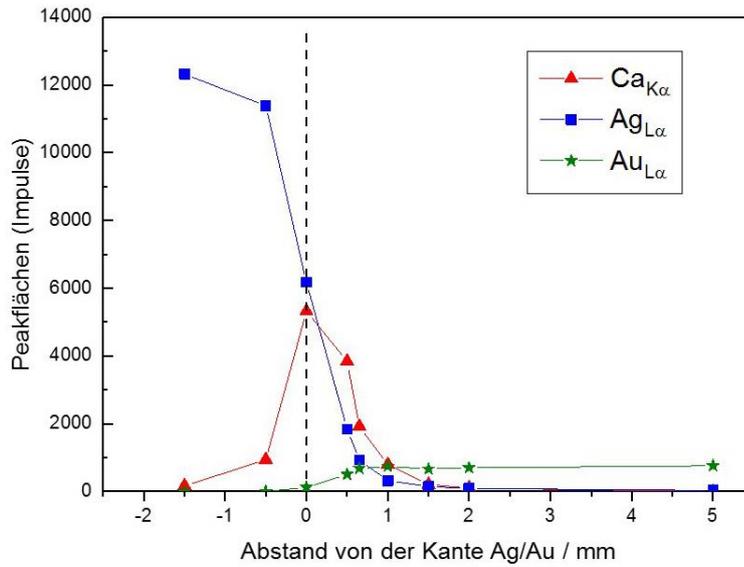
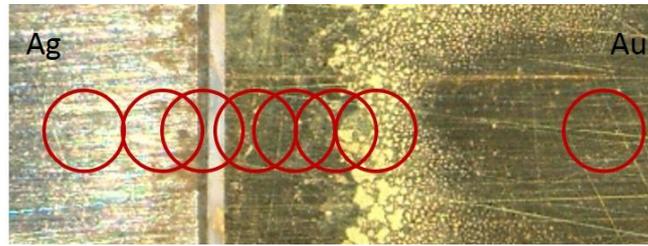
Die braune Verfärbung besitzt gering höhere Cu-/ Zn- und Au-Anteile als die Vergoldung. Jedoch wurde auf der braunen Verfärbung weniger Silberanteile gemessen (1750 zu 2200 Impulse).

**Schlussfolgerung:**

Bei einem zu erwartenden Ergebnis wäre mehr Silber auf den schwarzen Flächen gefunden worden. Bisher ist noch unklar wie die Ergebnisse in diesem Fall zustande kommen.

**Probe auf Papier (Verfärbung):****Stunden- und Minutenzifferblatt (Silber):**

ProbepalteVersuch 1:

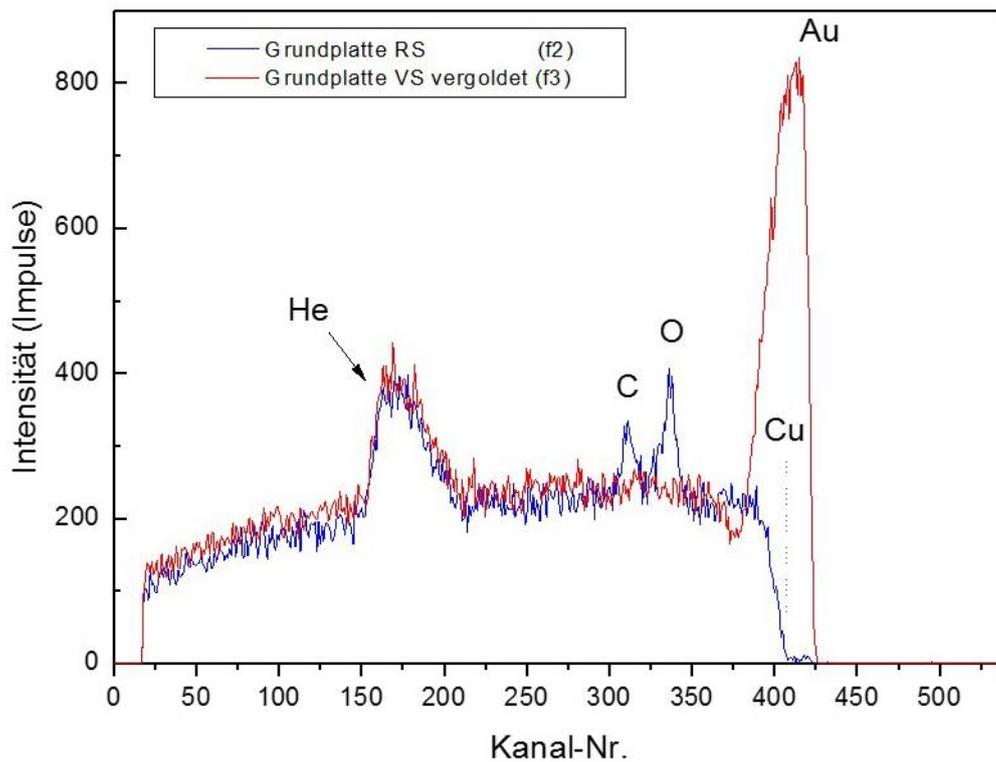


Distance (in mm)	Ca	AgL	AgK	AuM	AuL
-1,5	163,7	12317,7	25236,9	10,5	0
-0,5	939,4	11386,8	23844	3,9	0
0	5319,9	6173,4	12988,5	275,8	117
0,5	3842,8	1837,3	3179,9	576	505,9
0,65	1919,7	925,1	1168,7	699,2	681,4
1	793,3	319,9	510,5	821,4	742,9
1,5	203,9	147,3	152,3	814	663,5
2	96,7	84,1	21,7	862,9	700,4
5	0	31,8	0	883,4	758

## 2. Messergebnisse RBS:

### Grundplatte:

Vergleich des Messings und der Vergoldung auf der Grundplatte



Auf der Vorderseite ist die Vergoldung sehr gut als Schicht sichtbar. Die zu erwartende Kanal-Nummer des Cu ist bei der Unterseite etwas verschoben, d. h. dass sich etwas auf dem Messing befindet. Dies wird durch den sichtbaren Kohlen- und Sauerstoff untermauert. Da die Unterseite etwas glänzt, kann es sich um eine Beschichtung (z. B. Wachs) oder um eine Verschmutzung handeln.

*Schlussfolgerung: Die Unterseite der Grundplatte wurde beschichtet oder ist verschmutzt.*

**3. Messergebnisse RFA:**

Nr.	Bezeichnung	Cu	Zn	Au	Ag
1	Probepatte Messing	62,668	35,931	< LOD	< LOD
2	Probepatte Messing, vergoldet	58,854	33,758	3,483	< LOD
3	Probepatte Messing, vergoldet, versilbert (1x)	58,821	34,084	3,474	1,032
4	Probepatte Messing, vergoldet, versilbert (2x)	55,276	32,785	3,882	2,039
5	SZB RS Vergoldung	50,052	14,431	24,606	0,13
6	SZB RS Vergoldung	39,478	12,152	36,992	0,188
7	SZB RS Schwarze Verfärbung	33,448	9,485	41,047	5,52
8	SZB RS Vergoldung auf gereinigter Stelle	52,605	14,978	20,828	0,113
9	SZB RS Vergoldung auf gereinigter Stelle	53,079	15,05	20,918	0,107
10	SZB RS Schwarze Verfärbung	38,259	10,859	38,905	0,304
11	SZB RS Braune Verfärbung	31,579	9,339	46,599	0,356
12	SZB RS Vergoldung	40,522	12,412	35,243	0,19
13	MZB VS Schwarze Verfärbung	26,114	9,498	55,62	0,867
14	MZB VS Vergoldung	21,083	8,189	60,156	0,402
15	MZB VS Vergoldung	21,52	8,272	60,701	0,454
16	MZB VS Vergoldung auf gereinigter Stelle	26,286	9,256	55,517	0,393
17	MZB RS Messing	68,667	23,092	0,734	0,044
18	Feststellschraube Kopf Vergoldung	17,259	7,158	65,494	0,363
19	Grundplatte VS Vergoldung auf gereinigter Stelle	40,152	10,934	40,316	0,286
20	Grundplatte VS Vergoldung	36,117	9,22	45,387	0,304
21	Grundplatte RS Messing (Kreis)	77,645	18,475	< LOD	0,132
22	Grundplatte RS Messing	77,911	17,776	< LOD	0,102

Messergebnisse RFA:

Rot markiert sind die schwarzen Verfärbungen bzw. die Versilberung auf der Probepatte. Blau markiert sind die vergoldeten Einzelteile.

Nr.	Bezeichnung	Cu	Zn	Au	Ag	
1	Probepatte Messing	62,668	35,931	< LOD	< LOD	
2	Probepatte Messing, vergoldet	58,854	33,758	3,483	< LOD	
3	Probepatte Messing, vergoldet, versilbert (1x)	58,821	34,084	3,474	1,032	
4	Probepatte Messing, vergoldet, versilbert (2x)	55,276	32,785	3,882	2,039	
5	SZB RS Vergoldung	50,052	14,431	24,606	0,13	
6	SZB RS Vergoldung	39,478	12,152	36,992	0,188	
7	SZB RS Schwarze Verfärbung	33,448	9,485	41,047	5,52	
8	SZB RS Vergoldung auf gereinigter Stelle	52,605	14,978	20,828	0,113	
9	SZB RS Vergoldung auf gereinigter Stelle	53,079	15,05	20,918	0,107	
10	SZB RS Schwarze Verfärbung	38,259	10,859	38,905	0,304	
11	SZB RS Braune Verfärbung	31,579	9,339	46,599	0,356	
12	SZB RS Vergoldung	40,522	12,412	35,243	0,19	
13	MZB VS Schwarze Verfärbung	26,114	9,498	55,62	0,867	
14	MZB VS Vergoldung	21,083	8,189	60,156	0,402	
15	MZB VS Vergoldung	21,52	8,272	60,701	0,454	
16	MZB VS Vergoldung auf gereinigter Stelle	26,286	9,256	55,517	0,393	
17	MZB RS Messing	68,667	23,092	0,734	0,044	
18	Feststellschraube Kopf Vergoldung	17,259	7,158	65,494	0,363	
19	Grundplatte VS Vergoldung auf gereinigter Stelle	40,152	10,934	40,316	0,286	
20	Grundplatte VS Vergoldung	36,117	9,22	45,387	0,304	
21	Grundplatte RS Messing (Kreis)	77,645	18,475	< LOD	0,132	
22	Grundplatte RS Messing	77,911	17,776	< LOD	0,102	

Messergebnisse RFA (14.11.16):

Probepatte Versuch 2 (mehrere Vergleichsmessungen)

Nr.	Bezeichnung	Cu	Zn	Au	Ag
1	Probepatte V2, schwarze Stelle	62,523	35,162	1,363	0,183
2	Probepatte V2, schwarze Stelle	63,068	35,069	1,38	0,248
3	Probepatte V2, schwarze Stelle gereinigt	61,868	35,191	1,194	0,13
4	Probepatte V2, schwarze Stelle gereinigt	62,298	35,27	1,246	0,151
5	Probepatte V2, Vergoldung	62,724	35,524	1,439	< LOD
6	Probepatte V2, Vergoldung	62,73	35,56	1,43	< LOD
7	Probepatte V2, Vergoldung	62,223	35,403	1,458	< LOD
8	Probepatte V2, Vergoldung	60,852	34,706	1,449	< LOD
9	Probepatte V2, Vergoldung	61,252	35,01	1,431	< LOD

# Bachelor-Arbeit Lea Hahmann

## Anhang VI:

### Messpunkte

#### **Inhalt:**

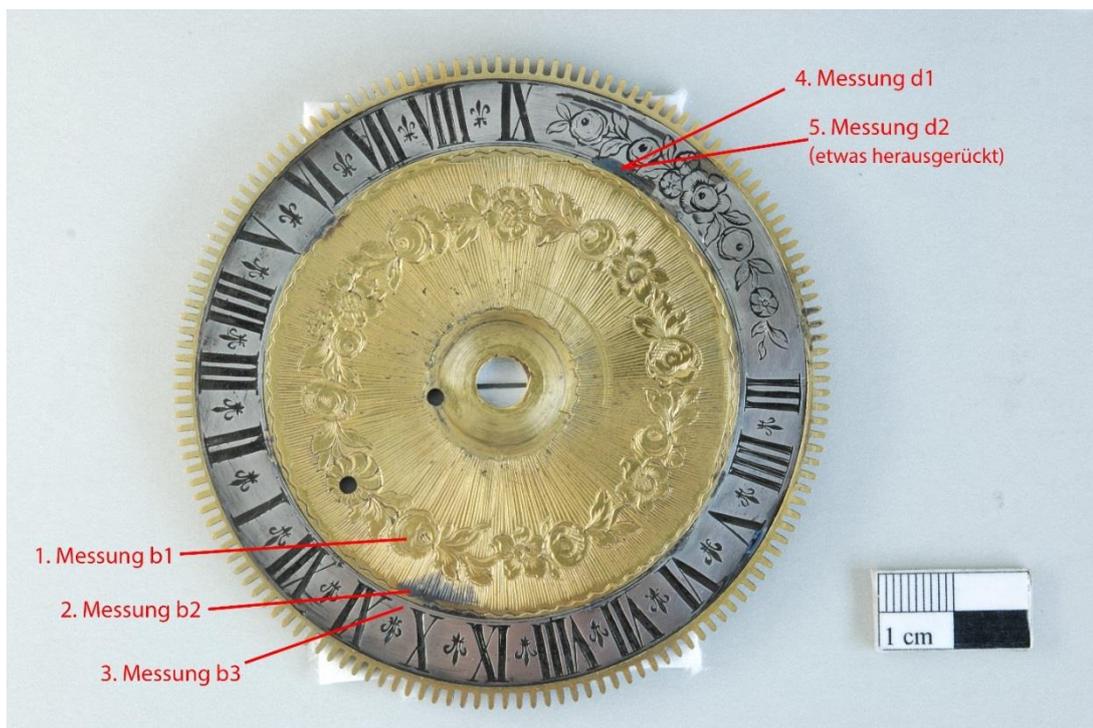
1. IBA-Messpunkte	1
2. RFA-Messpunkte	10
3. FTIR-Messpunkte	14

## 1. IBA-Messpunkte

23./24. Mai, 2016:

Messung	Bezeichnung	Messpunkt-Bez.
1	SZB VS Vergoldung	b1
2	SZB VS Schwarze Verfärbung	b2
3	SZB VS Silber - <b>Fehlmessung</b>	b3
4	SZB VS Silbersulfid (ohne Lack) - <b>Fehlmessung</b>	d1
5	SZB VS Silbersulfid (ohne Lack) - <b>Fehlmessung</b>	d2

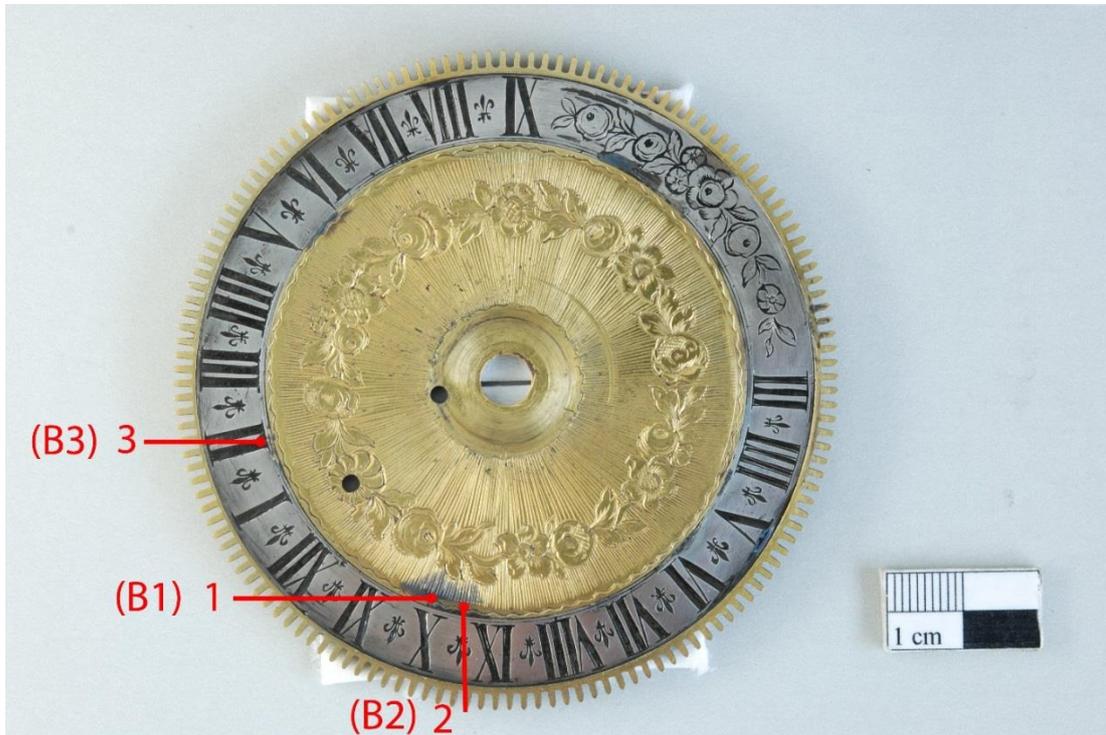
Stundenzifferblatt Vorderseite:



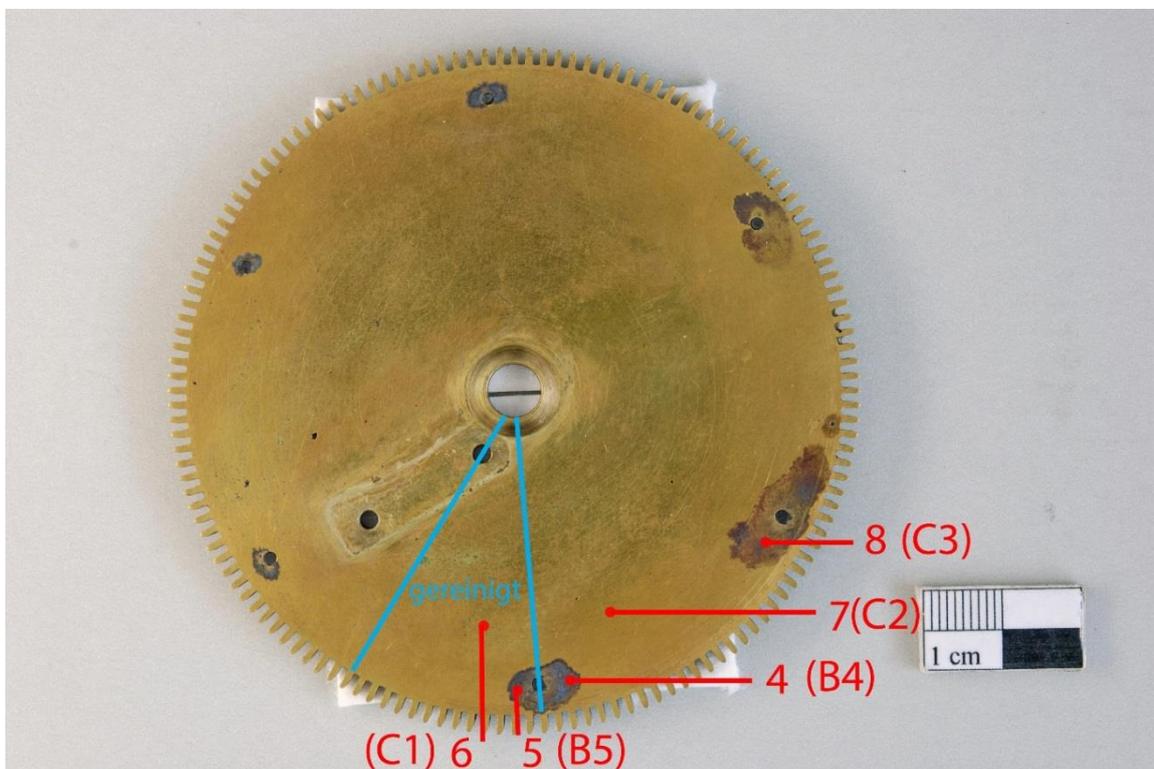
**25./26. Oktober 2016:**

Messung	Bezeichnung	Messpunkt-Bez.
1	SZB VS schwarze Verfärbung	B 1
2	SZB VS Vergoldung	B 2
3	SZB VS Einlagematerial	B 3
4	SZB RS schwarze Verfärbung	B 4
5	SZB RS schwarze Verfärbung auf gereinigter Stelle	B 5
6	SZB RS Vergoldung auf gereinigter Stelle	C 1
7	SZB RS Vergoldung	C 2
8	SZB RS braune Verfärbung	C 3
9	MZB VS braune Verfärbung	C 4
10	MZB VS schwarze Verfärbung	C 5
11	MZB VS schwarze Verfärbung	C 6
12	MZB RS Messing	C 7
13	Probepatte Versuch 2 schwarze Stelle gereinigt	D 1
14	Probepatte Versuch 2 Vergoldung	D 2
15	Grundplatte RS eingesetztes Blech Messing	F 1
16	Grundplatte RS Messing	F 2
17	Grundplatte VS Vergoldung	F 3
18	Platine Vergoldung	F 4
19	Platine braune Verfärbung	F 5
20	Fuß auf Grundplatte	F 6
21	Probepatte Messing, vergoldet	G 3

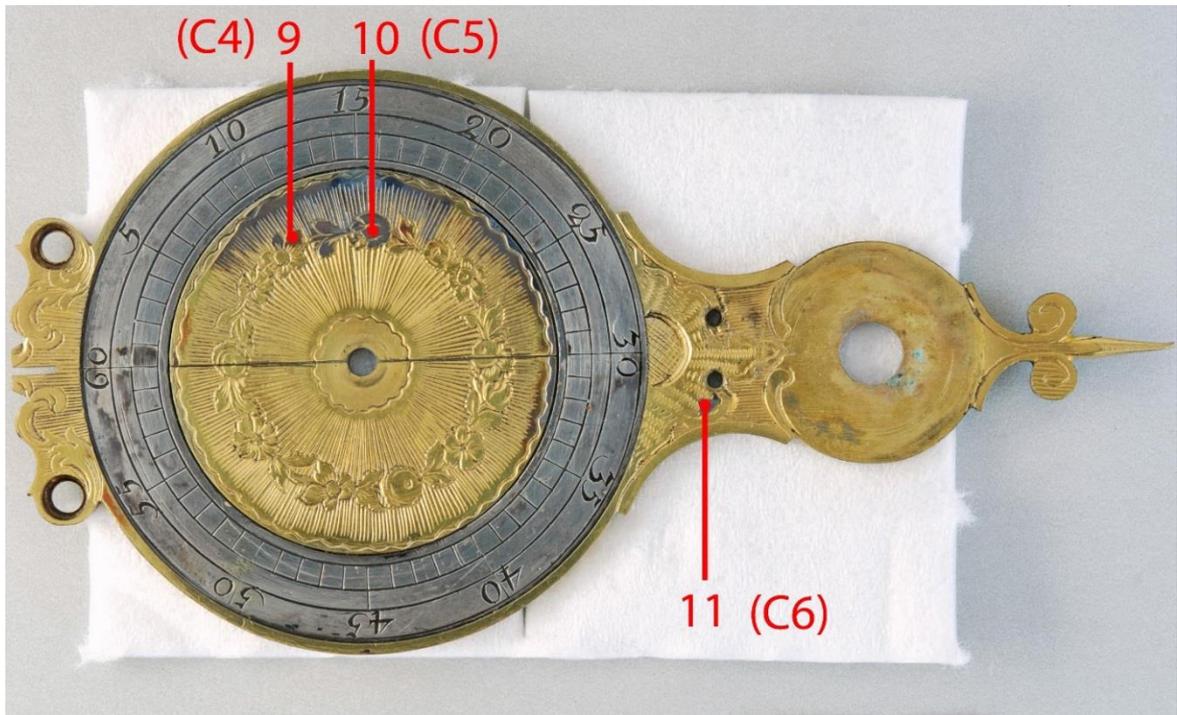
Stundenzifferblatt Vorderseite:



Stundenzifferblatt Rückseite:



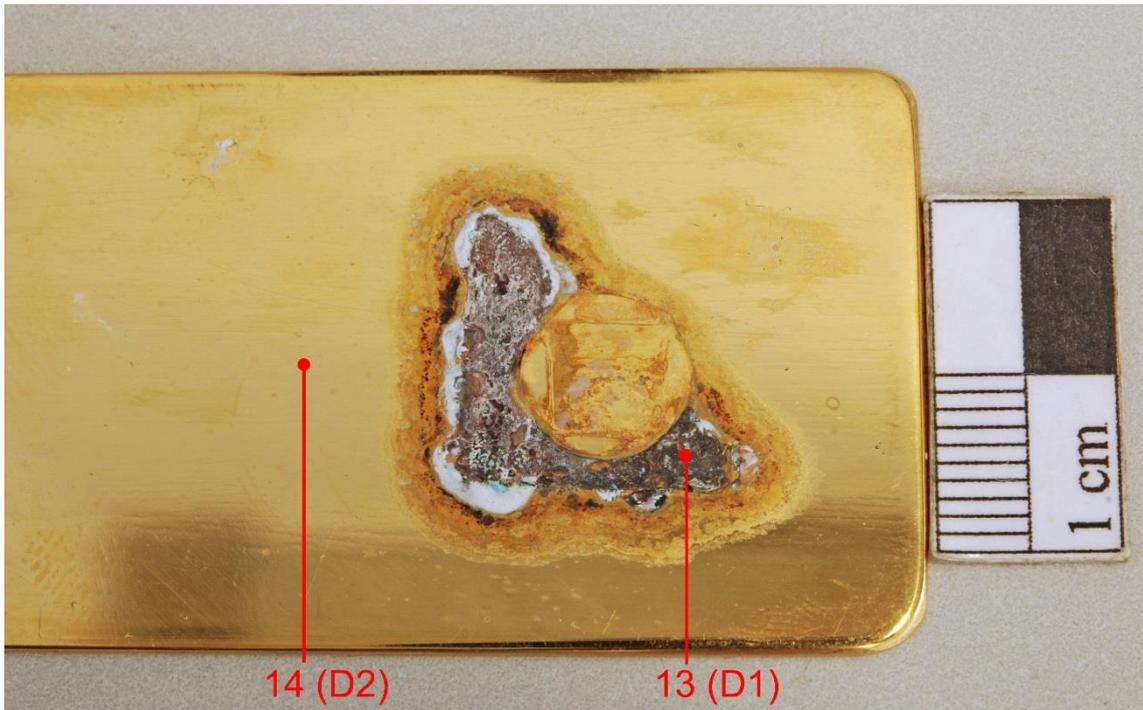
Minutenzifferblatt Vorderseite:



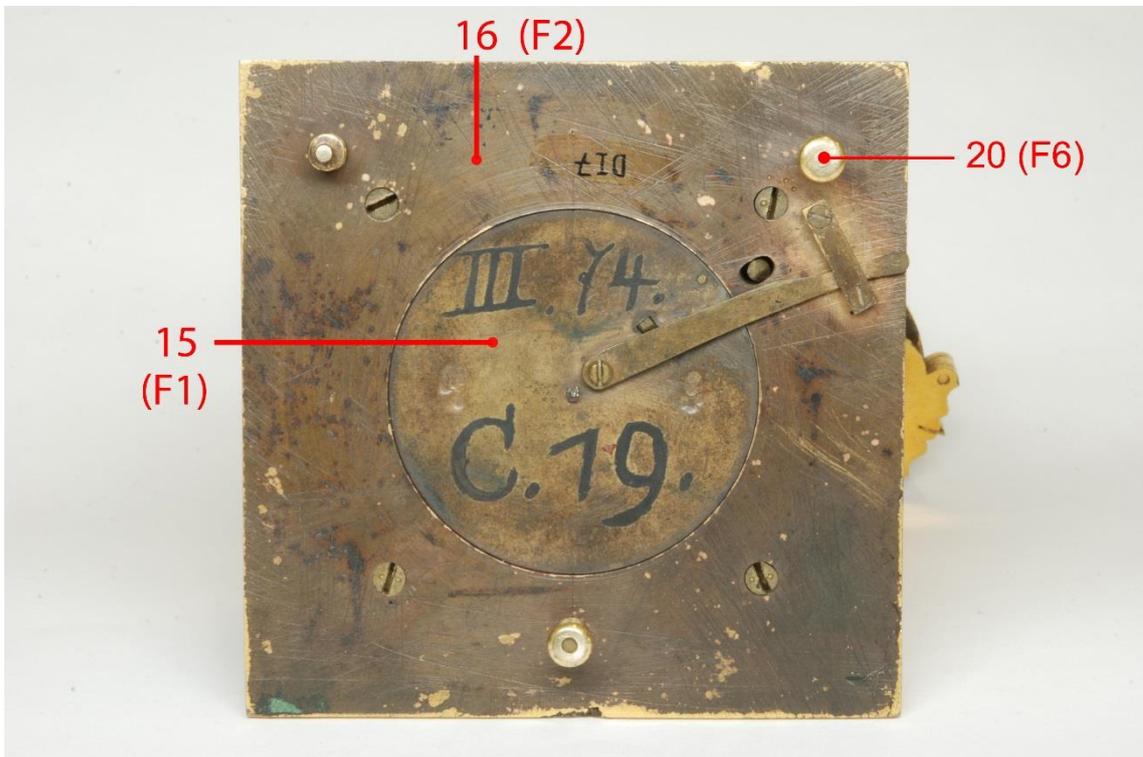
Minutenzifferblatt Rückseite:



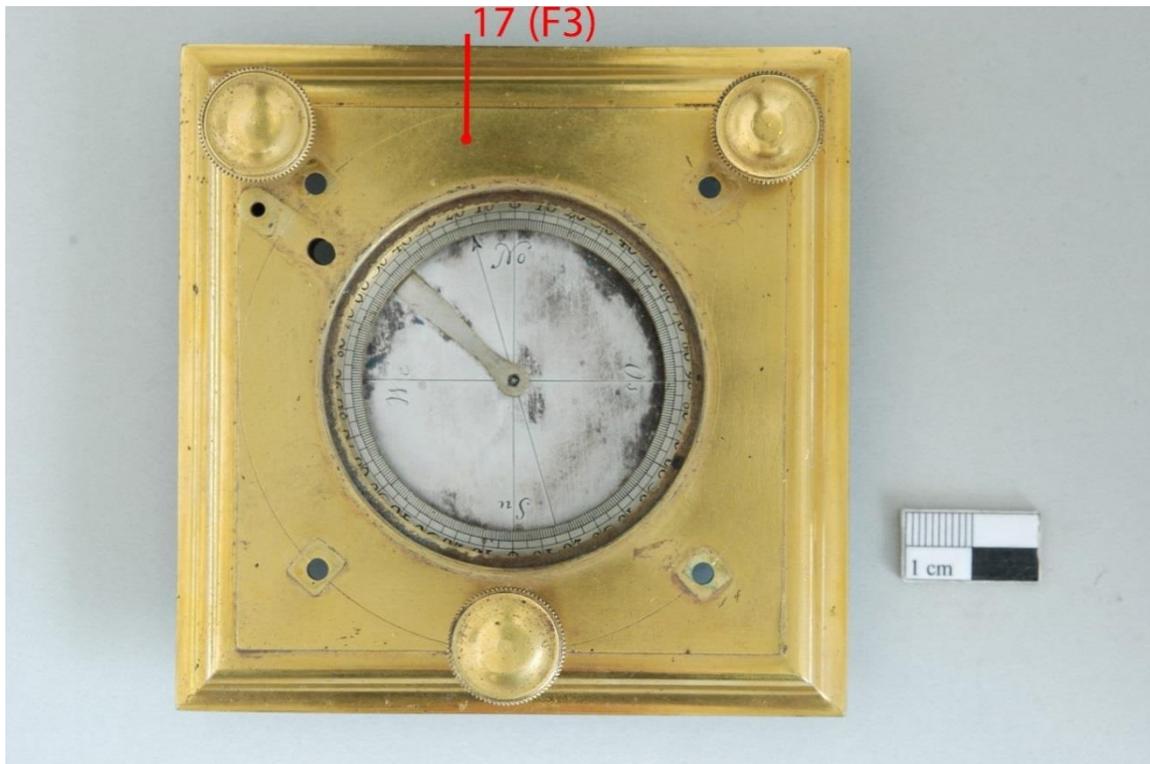
Probepatte Versuch 2:



Grundplatte Rückseite:



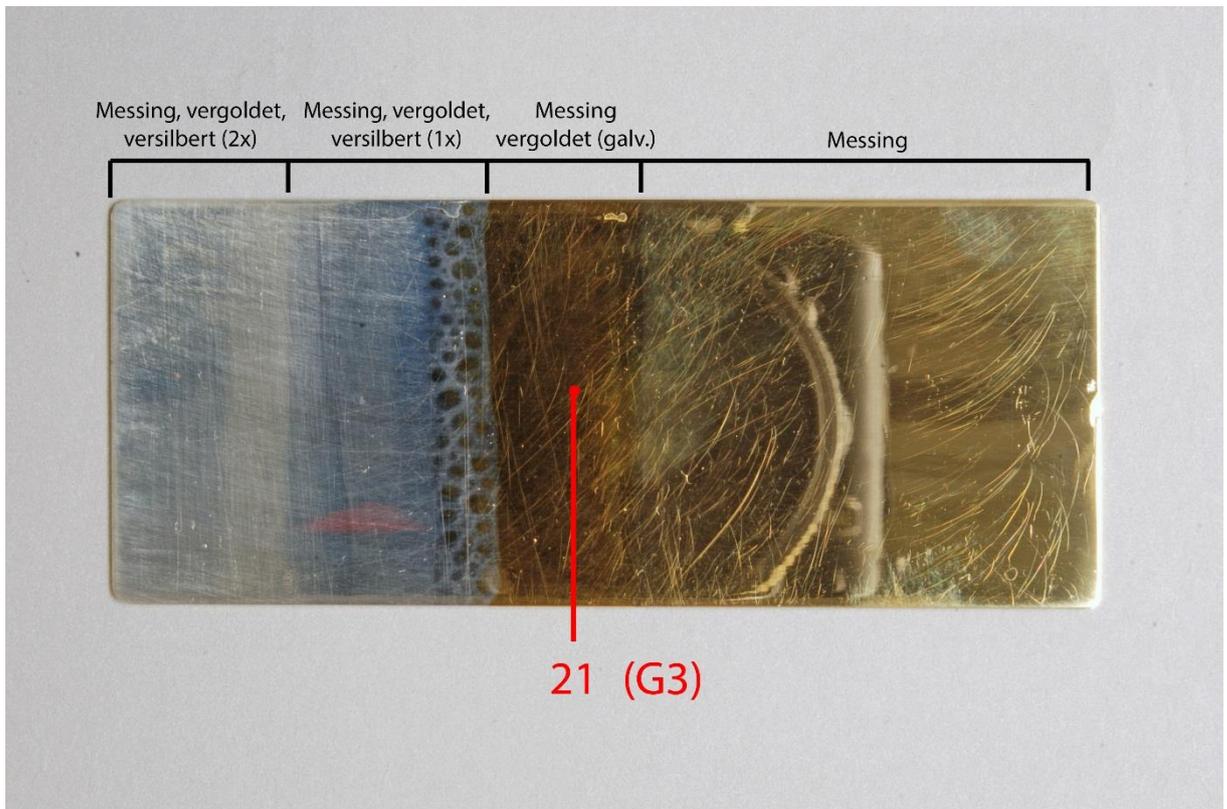
Grundplatte Vorderseite:



Platine:



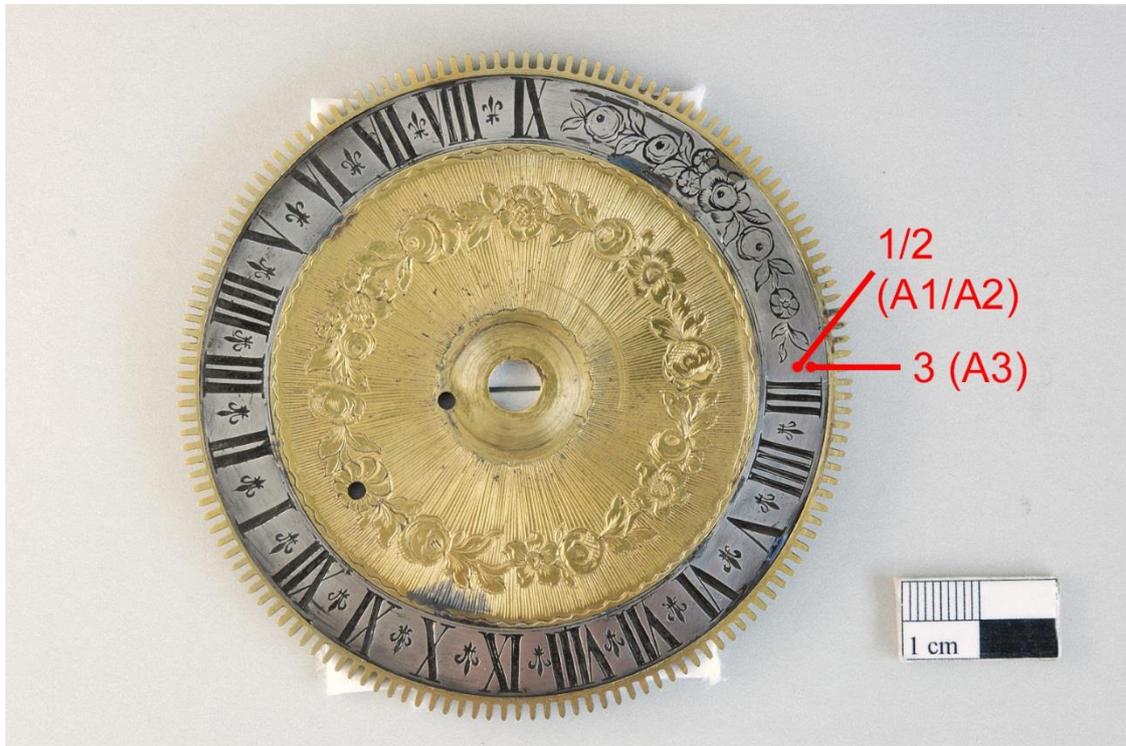
Probepatte:



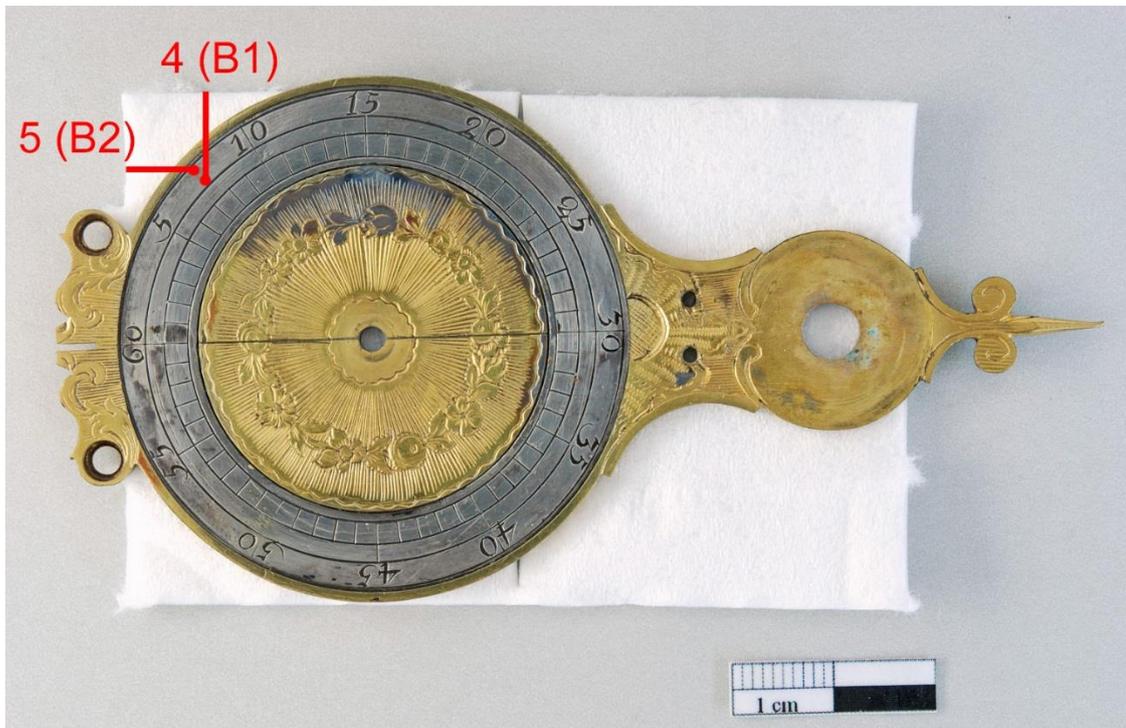
**29./30. November 2016:**

Messung	Bezeichnung	Messpunkt-Bez.
1	SZB VS Silber	A1
2	SZB VS Silber	A2
3	SZB VS Silber	A3
4	MZB VS Silber	B1
5	MZB VS Silber	B2
6	Probepatte Versuch 1	B3
7	Probepatte Versuch 1	B4
8	Probepatte Versuch 1	B5
9	Probepatte Versuch 1	B6
10	Probepatte Versuch 1	B7

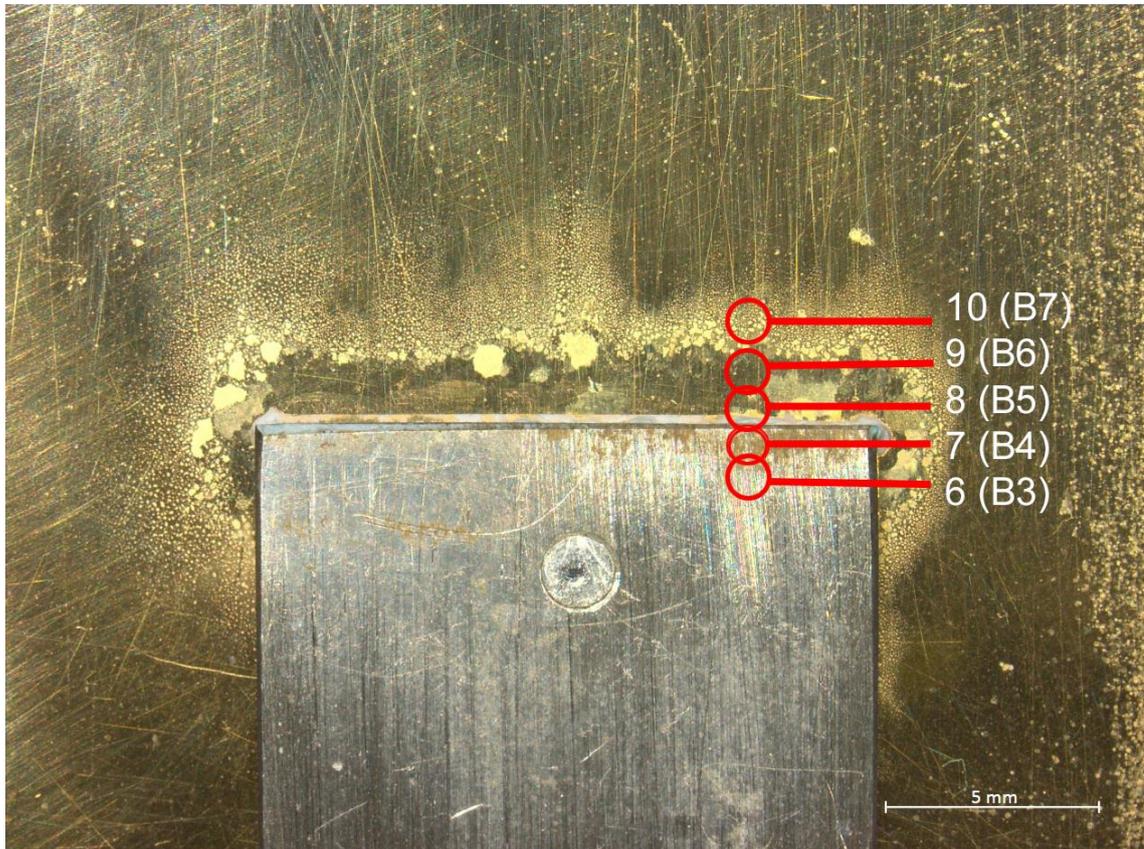
Stundenzifferblatt Vorderseite:



Minutenzifferblatt Vorderseite:

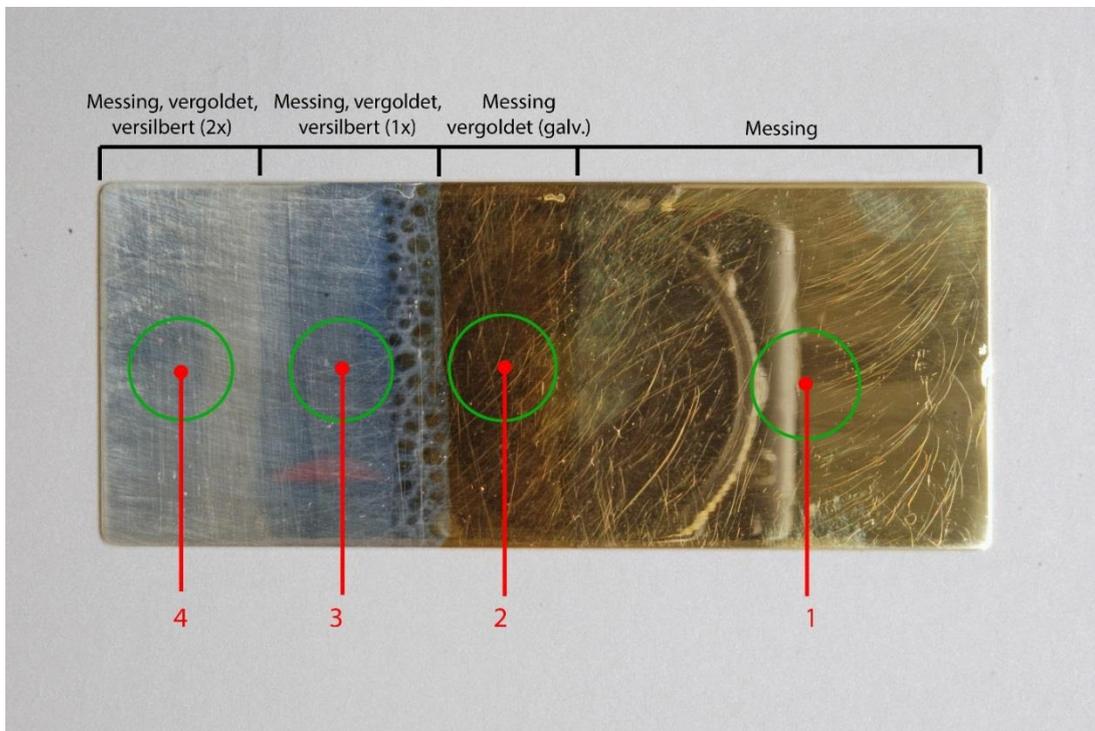


Probepatte Versuch 1:

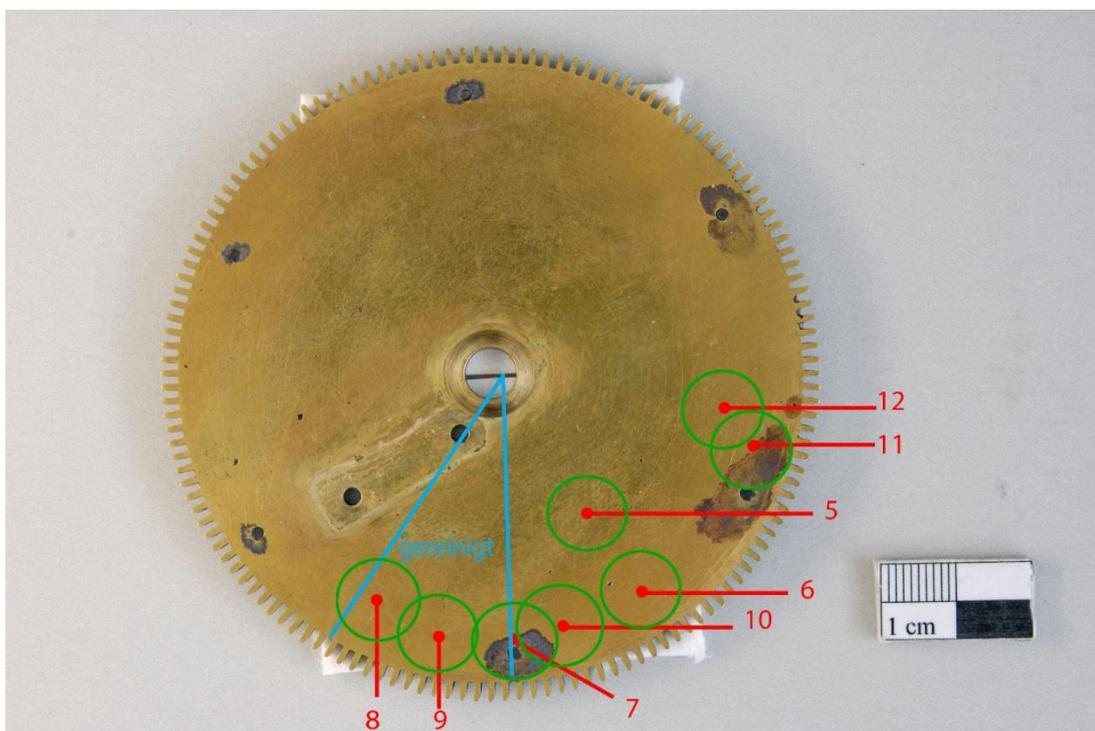


## 2. RFA-Messpunkte

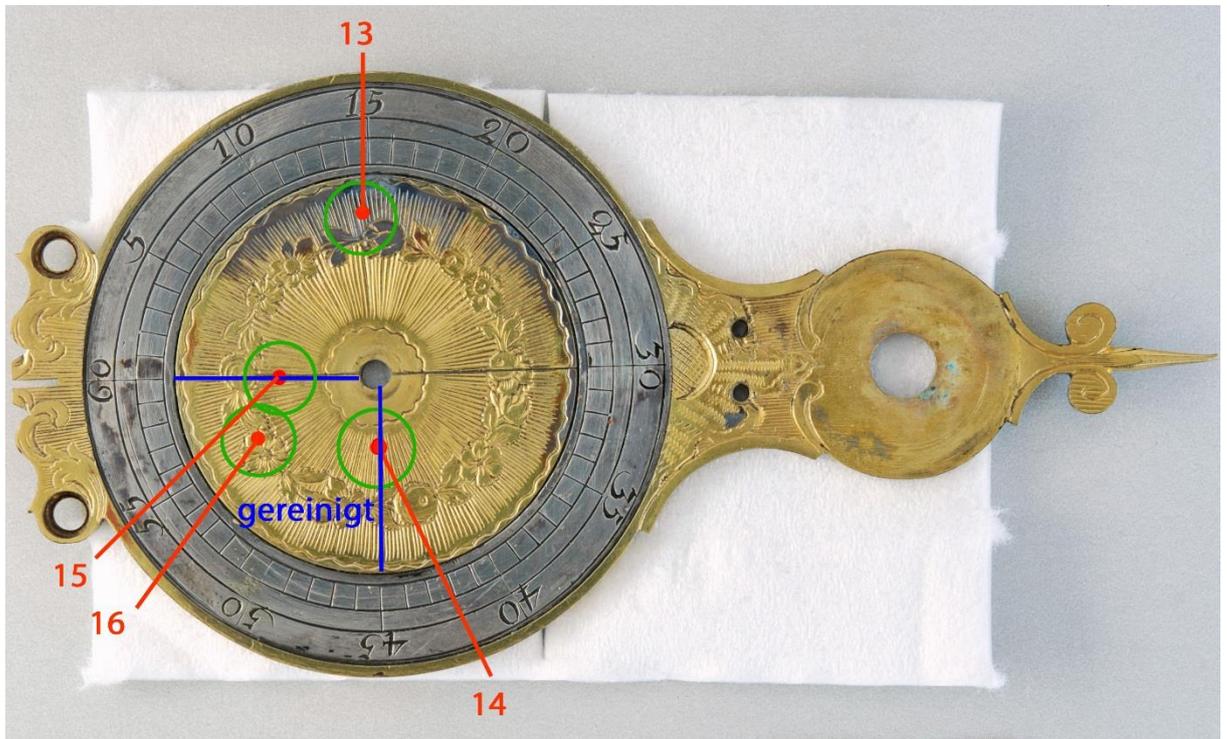
Probeplatte:



Stundenzifferblatt (Rückseite):



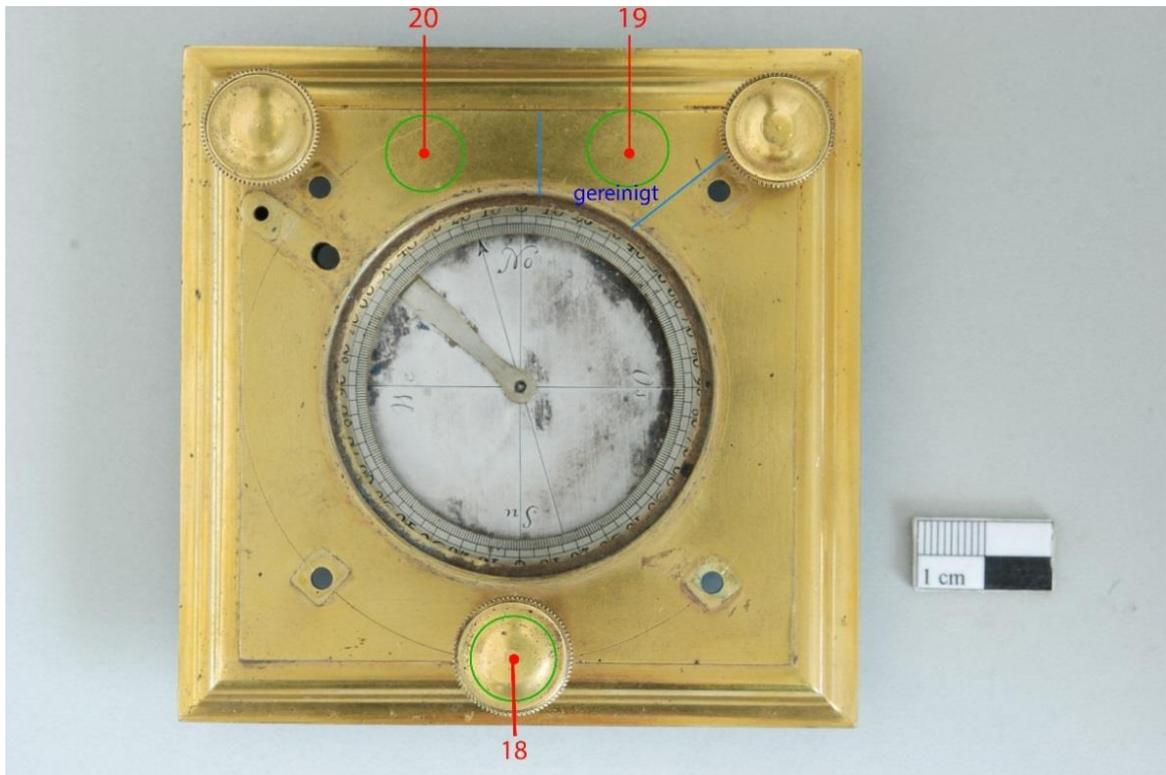
Minutenzifferblatt (Vorderseite):



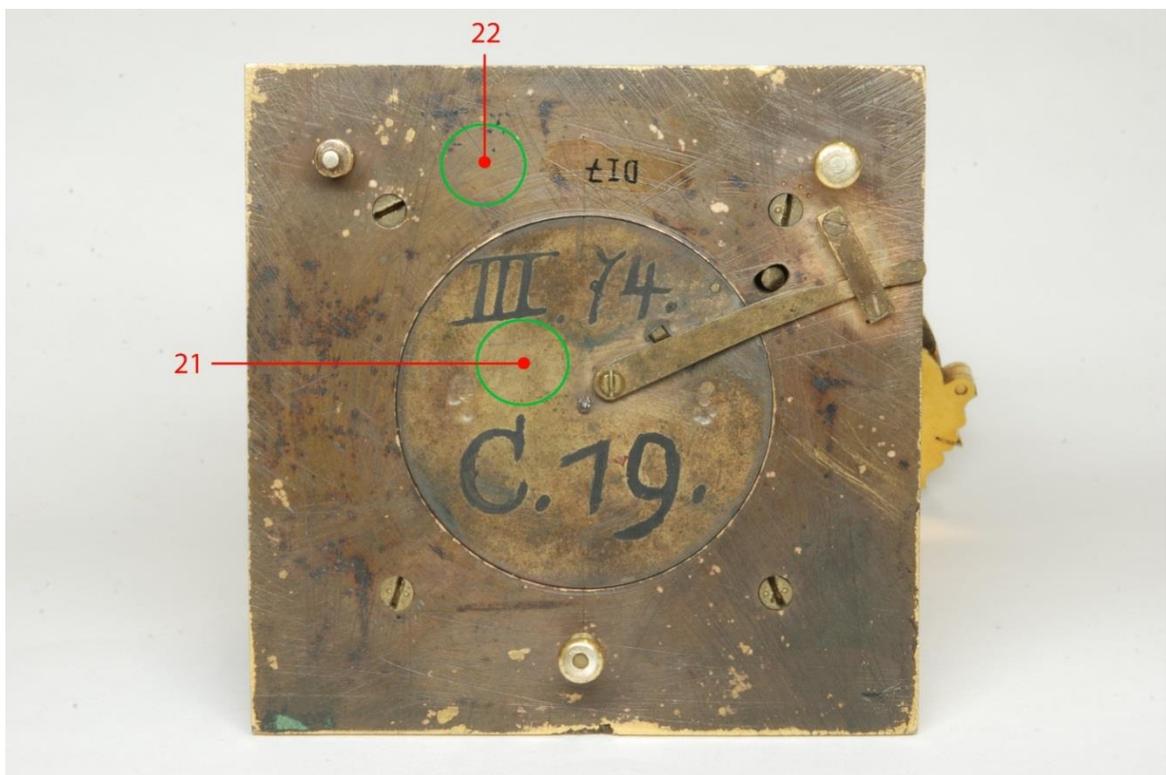
Minutenzifferblatt (Rückseite):



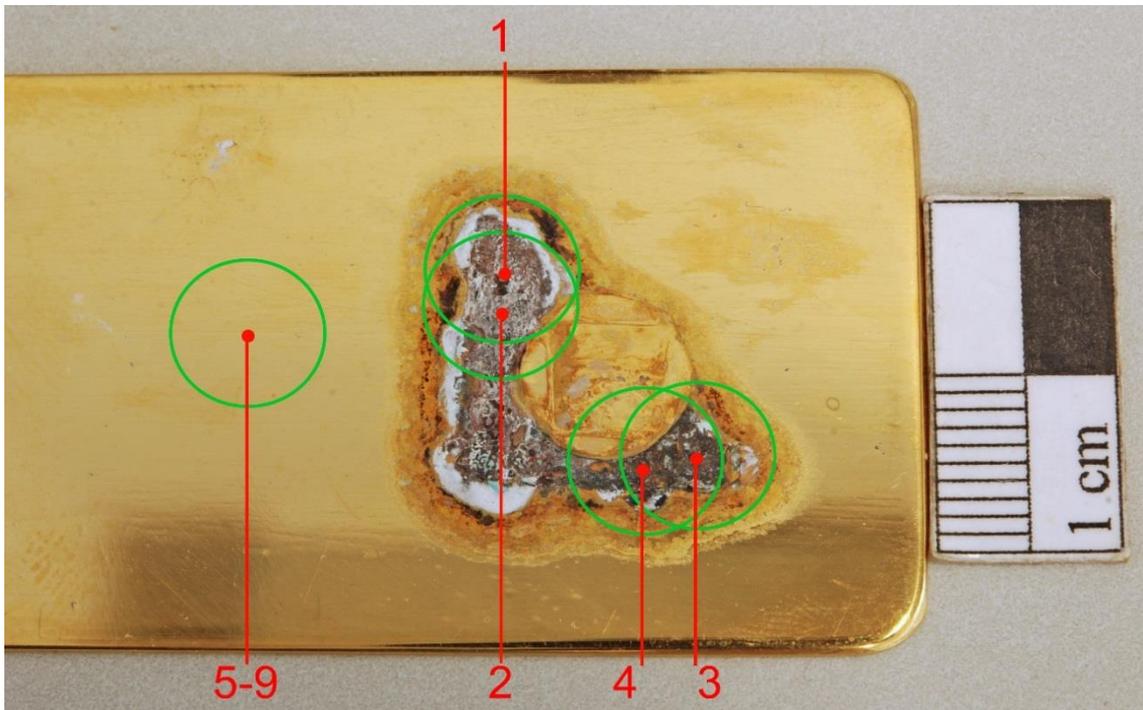
Grundplatte (Vorderseite):



Grundplatte (Rückseite):

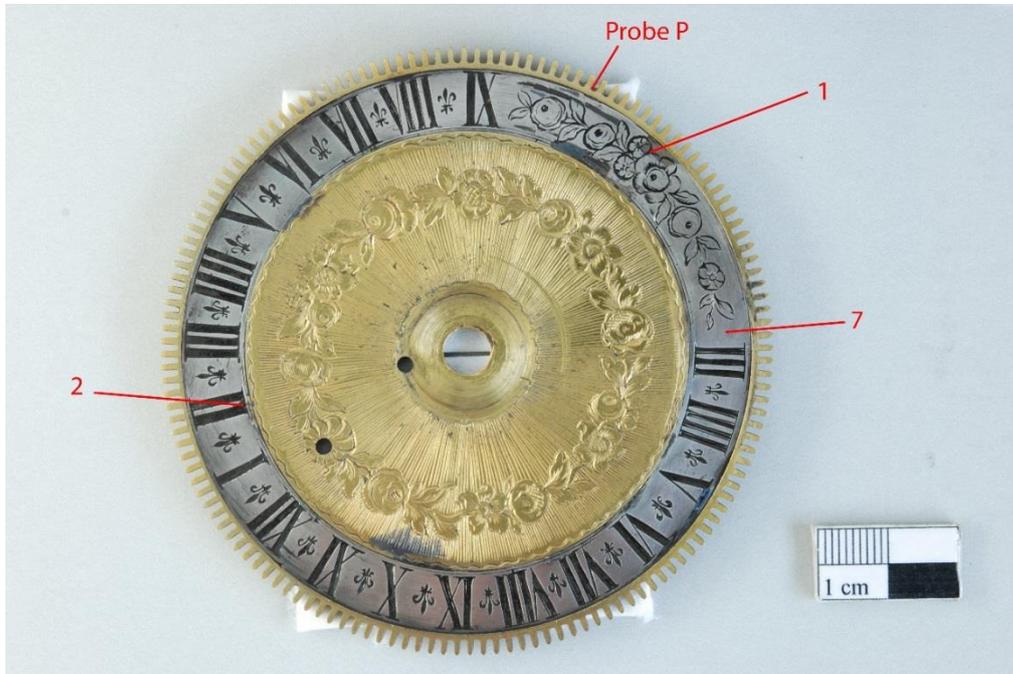


Probeplatte Versuch 2:



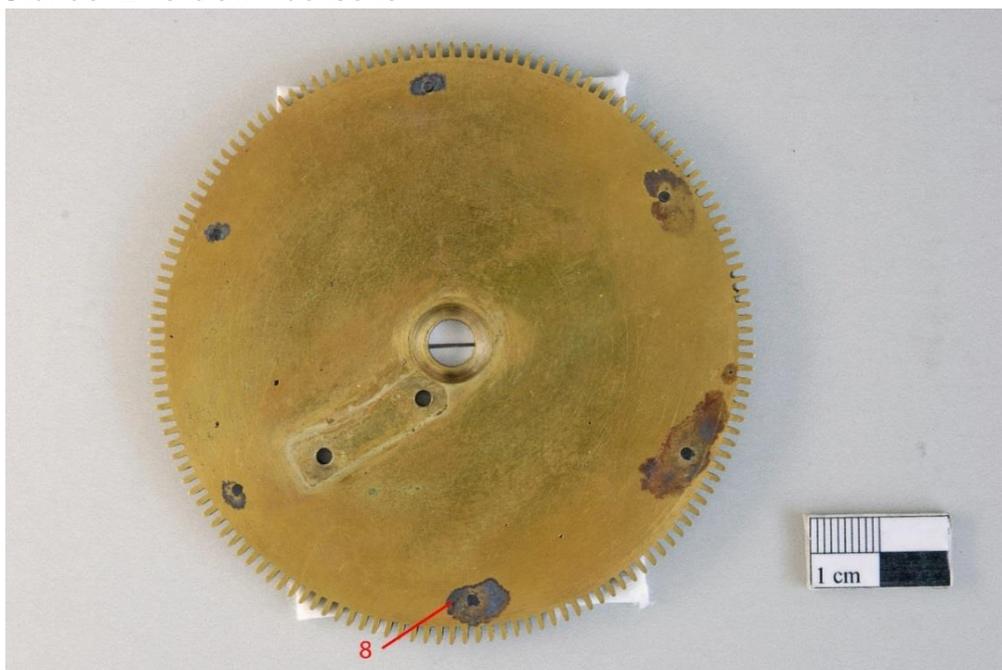
### 3. FTIR-Messpunkte

Stundenzifferblatt Vorderseite:



1: Schwarze Einlage (ohne Überzug) 2: Schwarze Einlage (ohne Überzug)  
7: transparenter Überzug Probe P: Rest Putzmittel

Stundenzifferblatt Rückseite:



8: Putzmittelfleck (?)

# Bachelor-Arbeit Lea Hahmann

## Anhang VII:

### E-Mail-Verkehr

#### Inhalt:

1. Michael Beck (Museumslandschaft Hessen-Kassel)	1
2. Michael Beck	2
3. Jens Dornheim (Münzkabinett Dresden)	3
4. Renate Freudenberger (Institut für Edelmetalle + Metallchemie)	4
5. Ulrich Klotz (Institut für Edelmetalle + Metallchemie)	5
6. Monika Bartsch (Münchner Stadtmuseum)	6
7. Thomas Doert (TU Dresden)	7
8. Thomas Doert	8
9. Marina De Fümel (Stiftung Stadtmuseum Berlin)	9
10. Edwin Kroke (TU Bergakademie Freiberg)	10

---

**Von:** Lea <Lea.Hahmann@...>  
**Gesendet:** ...  
**An:** ...  
**Betreff:** Wg: AW: Schwarze Verfärbungen auf Vergoldung  
**Anlagen:** tp80045.jpg

Sehr geehrte Frau Hahmann,

bisher habe ich noch kein Objekt, mit einem derartigen Schadensbild bearbeitet.  
In Zukunft wird aber ein solches zu bearbeiten sein. Deshalb habe ich großes Interesse an Ihren Untersuchungen.

In der Dauerausstellung des APK in der Orangerie befindet sich eine Kreuzschlaguhr mit ähnlichen Verfärbungen auf vergoldeten Flächen in unmittelbarer Nähe zu Silber.

Wir vermuten als Ursache auch Putzmittelreste evtl. auch Materialverschleppung beim Putzen.  
Im Anhang ein Foto des Objektes aus unserer Datenbank. Bei Interesse fertige ich Ihnen gern Detailaufnahmen.

Sehr geehrter ...

Im Rahmen meiner Bachelor-Arbeit, als Student im 6. Semester Metallrestaurierung an der Fachhochschule Potsdam, habe ich die Möglichkeit, am Mathematisch-Physikalischen Salon in Dresden eine Minuten-Rädersonnenuhr aus dem 18. Jh. zu untersuchen. Im Anhang lege ich Ihnen entsprechendes Bildmaterial der Schadensproblematik bei.

**Von:** Lea <Lea.Hahmann@...>  
**Gesendet:** ...  
**An:** ...  
**Betreff:** Wg: AW: AW: Schwarze Verfärbungen auf Vergoldung  
**Anlagen:** IMG\_9380.JPG; IMG\_9384.JPG; IMG\_9386.JPG; Flume Katalog.pdf

Sehr geehrte Frau Hahmann,

die Uhr befand sich seit den 50er Jahren in der Dauerausstellung.  
Im Hessischen Landesmuseum -1992 und in der Orangerie ab 1992 war die Uhr keinen ungewöhnlichen oder extremen Lagerbedingungen ausgesetzt.  
Ein Foto in einer Publikation von 1979 zeigt die Korrosion bei III noch nicht. Damals befand sich das Uhrwerk noch im Gehäuse.  
Die Trennung von Uhrwerk und Gehäuse erfolgte vermutlich in den 80er Jahren.  
Dabei könnte auch das Zifferblatt gereinigt worden sein. Vermutlich ohne den Zahlenreif von der Grundplatte zu trennen.

Ich habe keine Berichte aus dieser Zeit. In der Werkstatt befindet sich ein Katalog der Firma Flume – Technik in dem Reinigungsmittel angeboten werden.(siehe Scan)

Im Anhang noch 3 weitere Fotos des Zifferblattes.

Sehr geehrter ...

können Sie mir etwas über die Lagerungsbedingungen ihrer Uhr sagen?  
Gab es hohe Luftfeuchtigkeiten oder anderes?  
Gibt es zufällig eine Dokumentation einer ehemaligen Restaurierung, wo schädigende Putzmittel verwendet wurden?  
Bzw. haben Sie eine Vermutung über ein übliches Putzmittel?

Vielen Dank schon mal im Voraus!

Mit freundlichen Grüßen  
Lea Hahmann

---

**Von:** Lea <Lea.Hahmann@...>  
**Gesendet:** Freitag, 26. August 2016 14:54  
**An:** ...  
**Betreff:** Wg: AW: Schwarze Verfärbungen auf Vergoldungen

Liebe Frau Hahmann,

Objekte mit einem derartigen Schadensbild habe ich bisher nicht bearbeitet (tut mir leid, Ihnen an dieser Stelle nicht weiterhelfen zu können). Da es sich um vergoldetes Messing handelt, können ja sulfidische Verfärbungen nicht dieses Erscheinungsbild verursacht haben. Vielleicht haben doch Putzmittelrückstände für diese Verfärbungen gesorgt. Dankbar wäre ich, wenn Sie mir zu gegebener Zeit kurz mitteilen könnten, was die Untersuchungen ergeben haben.

Herzliche Grüße

Sehr geehrter Herr ...

Im Rahmen meiner Bachelor-Arbeit, als Student im 6. Semester Metallrestaurierung an der Fachhochschule Potsdam, habe ich die Möglichkeit, am Mathematisch-Physikalischen Salon in Dresden eine Minuten-Rädersonnenuhr aus dem 18. Jh. zu untersuchen. Im Anhang lege ich Ihnen entsprechendes Bildmaterial der Schadensproblematik bei.

Die Sonnenuhr besteht aus vergoldetem Messing und Silber. Auf einigen vergoldeten Flächen im Bereich der Zifferblätter sind schwarze Verfärbungen zu finden. Im Rahmen meiner Arbeit möchte ich diese Verfärbungen untersuchen; deren Entstehung, Ursache und mögliche Behandlungen. Eine mögliche Ursache könnten Rückstände von Putzmitteln, die sich noch unter den silbernen Aufplattungen befinden, sein. Diese Erscheinungen sind vermutlich in einem Zeitraum von über 30-40 Jahren entstanden.

Als erster Schritt sind zerstörungsfreie Materialanalysen mit Hilfe der Ionenstrahlmethoden im Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf geplant.

Möglicherweise bearbeiteten Sie ebenfalls ein Objekt mit einem ähnlichen Schadensbild. Es wäre sehr hilfreich andere Objekte mit der gleichen Problematik, Ergebnisse von Untersuchungen oder Maßnahmen zur Entfernung der Verfärbungen zu finden.

**Benutzer1, MPS -SKD**

---

**Von:** Freudenberger Renate <Renate.Freudenberger@fem-online.de>  
**Gesendet:** Mittwoch, 19. Oktober 2016 15:08  
**An:** Benutzer1, MPS -SKD  
**Betreff:** AW: Schwarze Verfärbungen auf Vergoldungen

Sehr geehrte Frau Hahmann,

aus dem Stegreif und ohne die Anwendung nicht zerstörungsfreier Prüfmethode ist eine Aussage schwierig. Aus Ihrer Beschreibung wird nicht ganz klar, ob die Zifferblätter nur vergoldet sind oder ob zwischen Gold und Substrat noch eine Silberschicht ist. Je nach Gold-Schichtdicke wären dann Diffusionsprozesse zu erwarten, so dass Silber an die Oberfläche gelangt und dort dunkel anläuft. Das großflächige Auftreten der Verfärbung könnte vielleicht auch eine Folge einer ungeeigneten Reinigung sein, indem das Silber-Reinigungsmittel mit aufgelöstem Silber auf das Gold „überschmiert“ wurde. Dagegen spricht allerdings, dass der Rand der Goldfläche zum Silber-Ring hin in einem scharf abgegrenzten Bereich (mit gerade Kante) heller aussieht (siehe Seite 3 oben). Oder wurde hier nachträglich die Anlaufschicht lokal entfernt?

Die analytische Untersuchung in Rossendorf wird sicher noch weitere Informationen liefern, vielleicht sogar noch über das Silber hinaus weitere Elemente. Gerne stehe ich Ihnen für Diskussionen zur Verfügung, sobald die Ergebnisse vorliegen.

Freundliche Grüße

Renate Freudenberger

---



fem Forschungsinstitut Edelmetalle + Metallchemie

Dr. Renate Freudenberger  
*Elektrochemie/Abteilungsleiterin*

Katharinenstraße 17  
73525 Schwäbisch Gmünd  
T +49 7171 1006-300  
F +49 7171 1006-900  
r.freudenberger@fem-online.de  
www.fem-online.de

---

**Von:** Benutzer1, MPS -SKD [mailto:MPS.Benutzer1@skd.museum]  
**Gesendet:** Mittwoch, 19. Oktober 2016 12:06  
**An:** Freudenberger Renate  
**Betreff:** Schwarze Verfärbungen auf Vergoldungen

Sehr geehrte Dr. Freudenberger,

**Benutzer1, MPS -SKD**

---

**Von:** Klotz Ulrich <Klotz@fem-online.de>  
**Gesendet:** Mittwoch, 19. Oktober 2016 14:01  
**An:** Benutzer1, MPS -SKD  
**Betreff:** AW: Schwarze Verfärbungen auf Vergoldungen

Sehr geehrte Frau Hahmann

Gold und Silber sind vollständig ineinander löslich (siehe binäres Phasendiagramm). Über längere Zeiträume kann es zu einer Diffusion von Silber durch die Goldschicht an die Oberfläche kommen. Einen entsprechenden Gradienten im Silber- bzw. Goldgehalt müssten Sie in einem FIB-Querschnitt (das meinen Sie ev. mit der „Ionenstrahlmethode“) sehen können. Ich empfehle Ihnen, eine Literaturrecherche zur Diffusionskonstante von Au in Ag durchzuführen. Als Startpunkt empfehle ich Ihnen das „Edelmetalltaschenbuch“ von Degussa, das Sie sicher in Ihrer Universitätsbibliothek ausleihen können. Dort finden Sie auch Hinweise auf weiterführende Literatur. Dann können Sie abschätzen, wie lange das Ag braucht, um durch die Au-Schicht zu diffundieren.

Viel Erfolg bei Ihrer Arbeit und freundliche Grüße  
Ulrich Klotz

---

**Von:** Benutzer1, MPS -SKD [mailto:MPS.Benutzer1@skd.museum]  
**Gesendet:** Mittwoch, 19. Oktober 2016 12:05  
**An:** Klotz Ulrich  
**Betreff:** Schwarze Verfärbungen auf Vergoldungen

Sehr geehrter Dr. Klotz,

ich studiere im 7. Semester Metallrestaurierung an der Fachhochschule Potsdam und habe im Rahmen meiner Bachelor-Arbeit die Möglichkeit, am Mathematisch-Physikalischen Salon in Dresden eine Minuten-Rädersonnenuhr aus dem 18. Jahrhundert zu untersuchen. Im Anhang lege ich Ihnen entsprechendes Bildmaterial der Schadensproblematik bei.

Die Sonnenuhr besteht aus vergoldetem Messing und Silber. Auf einigen vergoldeten Flächen im Bereich der Zifferblätter sind schwarze Verfärbungen zu finden. Im Rahmen meiner Arbeit möchte ich diese Verfärbungen untersuchen; deren Entstehung, Ursache und mögliche Behandlungen. Eine mögliche Ursache könnten Rückstände von Putzmitteln, die sich noch unter den silbernen Aufplattungen befinden, sein. Oft wurden Silbertauchbäder durchgeführt, die mit aggressiven Chemikalien arbeiteten. Diese Erscheinungen sind vermutlich in einem Zeitraum von über 30-40 Jahren entstanden. Durch erste Röntgenfluoreszenzanalysen konnten die Verfärbungen als Silber identifiziert werden. Weitere Untersuchungen sind durch zerstörungsfreie Materialanalysen mit Hilfe der Ionenstrahlmethoden im Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf geplant.

Vielen Restauratoren und mir ist unerklärlich wie sich Silber auf der Vergoldung niederschlagen konnte, da Gold als sehr passives Metall gilt, welches keine Verbindung mit Silber eingehen würde. Möglicherweise haben Sie ähnliche Phänomene gesehen bzw. untersucht oder können mir etwas über die Entstehung eines solchen Schadensbildes sagen.

Ich würde mich sehr über Ihre Hilfe freuen.

Mit freundlichen Grüßen  
Lea Hahmann

**Benutzer1, MPS -SKD**

---

**Von:** Monika Bartsch <monika.bartsch@muenchen.de>  
**Gesendet:** Dienstag, 8. November 2016 13:53  
**An:** Benutzer1, MPS -SKD  
**Betreff:** Re: Schwarze Verfärbungen auf Vergoldungen

Sehr geehrte Frau Hahmann,

unser Metallrestaurator, Andreas Zangenfeind, hat sich die Fotos angeschaut.

Hier seine Einschätzung:

"Die schwarzen Verfärbungen auf vergoldetem Silber entstehen durch Diffundieren und anschließendem Sulfidieren des Silbers durch eine partiell undichte Vergoldung.

Die dunklen Stellen und Kupferkorrosionen auf vergoldetem Messing

(Kupfer-, Zinklegierung) können in sauren Medium durch Bildung eines galvanischen Elementes entstehen; hier wirkt das unedlere Metall (Zink) als Lösungselektrode."

Mündlich sprachen wir noch darüber, dass die Undichtigkeit natürlich gerne an und um ehemaligen Schraublöcher entstehen.

Wir hoffen, dass wir Ihnen weiter helfen konnten!

Sollten Sie noch Fragen haben, können Sie sich gerne nochmals melden.

Alles Gute für Ihr Projekt  
wünscht Ihnen

mit freundlichen Grüßen

Monika Bartsch  
Diplom-Restauratorin  
Leiterin der Abteilung Restaurierung

Münchner Stadtmuseum  
St.-Jakobs-Pl. 1  
80331 München

Tel.: 089/233-26738  
Fax.: 089/233-28699  
e-mail.: monika.bartsch@muenchen.de  
Internet: <http://www.muenchner-stadtmuseum.de>

Bitte denken Sie an die Umwelt, bevor Sie diese E-Mail ausdrucken. Pro Blatt sparen Sie durchschnittlich 15g Holz, 260ml Wasser, 0,05 kWh Strom und 5g CO<sub>2</sub>.

Am 02.11.2016 13:56, schrieb Benutzer1, MPS -SKD:

> Sehr geehrte Frau Bartsch,

>

> Im Rahmen meiner Bachelor-Arbeit, als Student im 7. Semester

> Metallrestaurierung an der Fachhochschule Potsdam, habe ich die

> Möglichkeit, am Mathematisch-Physikalischen Salon in Dresden eine

**Benutzer1, MPS -SKD**

---

**Von:** Thomas Doert [thomas.doert@tu-dresden.de]  
**Gesendet:** Montag, 7. November 2016 21:41  
**An:** Benutzer1, MPS -SKD  
**Betreff:** AW: Schwarze Verfärbungen auf Vergoldungen

Liebe Frau Hahmann,

je länger ich darüber nachgedacht habe, desto einleuchtender finde ich eine Erklärung, die praktisch ohne Diffusionsvorgänge auskommt:

Bei der Reinigung der Uhr von den schwarzen Verfärbungen (Entfernung von Ag<sub>2</sub>S) in den 19xx Jahren wurde vermutlich mit einem Reinigungs-/Poliermittel agiert, das weitgehend mechanisch reinigt (Schlammkreide oder ähnliches). Dabei wird das Ag<sub>2</sub>S oberflächlich vom Silber-Ring abgerieben, aber gleichzeitig auch Ag. Dieses Ag wiederum wurde auch in den Spalt und auf die innere Goldplatte "geschmiert". Das fein verteilte Silber auf der Goldunterlage reagiert nach einer Weile wieder zu Ag<sub>2</sub>S. Das erklärt auch, warum die Verfärbungen vom Ag-Ring bzw. vom Spalt zwischen Ag und Au nach innen ausbreiten.

Das bringt ein Dilemma für die Zukunft mit sich: Solange sich Ag auf der Au-Unterlage befindet wird die Verfärbung an Luft wieder einstellen.

Im Übrigen ist das gleiche Szenario auch mit chem. Ag<sub>2</sub>S-Entfernung denkbar. Auch dann kann Ag auf die Au-Unterlage geschmiert worden sein und dort im Laufe der Zeit erneut zu Ag<sub>2</sub>S oxidiert werden.

Bei dem Szenario spielt die Diffusion keine Rolle, ein "Nachtransport" von Ag aus dem Spalt ist nicht nötig um die Verfärbungen zu erklären.

Untersuchungen zu Ag-Ionenleitfähigkeit in Silberchalkogeniden (Ag<sub>2</sub>O, Ag<sub>2</sub>S, Ag<sub>2</sub>Se), Silberhalogeniden (AgCl, AgBr und besonder AgI) oder anderen Verbindungen gibt es in rauen Mengen. Schwierig da die Übersicht zu behalten, zumal das meist in Originalarbeiten (Zeitschriftenartikel) beschrieben ist. Es gibt bestimmt auch Übersichtsartikel dazu, das müsste recherchiert werden.

Viele Untersuchungen beziehen sich auf höhere Temperaturen (< 200° C), das liegt aber auch daran, dass die Diffusionsvorgänge dann schneller verlaufen und besser messbar sind.

Ich hoffe, das hilft Ihnen erst mal weiter.

Viele Grüße

Th. Doert

---

**Von:** Benutzer1, MPS -SKD <MPS.Benutzer1@skd.museum>  
**Gesendet:** Dienstag, 1. November 2016 10:44  
**An:** Doert, Thomas  
**Betreff:** AW: Schwarze Verfärbungen auf Vergoldungen

Sehr geehrter Prof. Dr. Doert,

vielen Dank für Ihren Besuch am vergangenen Montag. Könnten Sie mir schriftlich noch einmal beschreiben, wie die schwarzen Verfärbungen (Silbersulfid) entstanden sein können? Ich würde mich dann gern auf diese Aussage stützen.

Vielleicht können Sie mir Literatur empfehlen, die sich mit so einer Ionenwanderung beschäftigt?

**Benutzer1, MPS -SKD**

---

**Von:** Thomas Doert <thomas.doert@tu-dresden.de>  
**Gesendet:** Donnerstag, 17. November 2016 22:30  
**An:** Benutzer1, MPS -SKD  
**Betreff:** AW: Schwarze Verfärbungen auf Vergoldungen

Liebe Frau Hahmann,

ich halte das für unwahrscheinlich.

Zunächst mal ist ziemlich unstrittig, dass gemäß der elektrochemischen Spannungsreihe Gold edler ist als Silber ( $\text{Au}^{3+}/\text{Au}$ : +1.6 V;  $\text{Ag}^{+}/\text{Ag}$ : +0.8 V), Ag ist edler als Cu und Cu edler als Zn. D.h. wenn wir nur Au/Ag betrachten: Von den beiden Silber wird bevorzugt oxidiert, Gold wird dagegen bevorzugt reduziert.

Und das bedeutet,  $\text{Ag}^{+}$  (in  $\text{Ag}_2\text{S}$ ) reagiert mit Au nicht zu Ag und  $\text{Au}^{3+}$ .  $\text{Au}^{3+}$  (woher auch immer das käme) hingegen würde mit Ag zu Au und  $\text{Ag}^{+}$  reagieren. Au scheidet sich also auf Ag ab, nicht umgekehrt. Das gleiche gilt für  $\text{Au}^{+}$  (statt  $\text{Au}^{3+}$ ) übrigens auch.

Wenn die Au-Schicht auf dem Messing intakt ist, „weiss“ das  $\text{Ag}^{+}$  auf der Oberfläche nichts vom Messing. Es bilden sich zwei Potentialdifferenzen an den jeweiligen Grenzflächen Messing/Au und Au/Ag.

Mal angenommen es gibt einen Kontakt zwischen Au/Ag/Messing wie in ihrer Skizze und es käme zur Korrosion wie Sie vorschlagen. Dann wird das unedelste Element zuerst oxidiert. Das wäre das Zink. Wenn also auf der Gold-Oberfläche  $\text{Ag}^{+}$  vorhanden wäre (als schwarzes  $\text{Ag}_2\text{S}$ ) könnte dies reduziert werden zu Ag, dabei würde dann Zink zu  $\text{Zn}^{2+}$  oxidiert. Durchgehende Leitungspfade für die Elektronen mal vorausgesetzt. Entweder verschwindet dann das schwarze  $\text{Ag}_2\text{S}$  mit der Zeit (das passiert aber offenbar nicht) oder der schwarze Belag ist nicht  $\text{Ag}_2\text{S}$ , sondern fein verteiltes elementares Ag. Da müsste man im RFA oder EDX nach Schwefel suchen.

Ich hoffe das hilft erst mal weiter

Viele Grüße

Th. Doert

---

**Von:** Benutzer1, MPS -SKD [mailto:MPS.Benutzer1@skd.museum]  
**Gesendet:** Donnerstag, 17. November 2016 12:08  
**An:** Doert, Thomas  
**Betreff:** AW: Schwarze Verfärbungen auf Vergoldungen

Sehr geehrter Prof. Dr. Doert,

Vielen Dank für Ihre vorangegangene Antwort!

ich recherchiere gerade über die Möglichkeit, ob sich Silber durch Potenzialunterschiede und bei Anwesenheit eines Elektrolyten auf die Vergoldung niederschlagen könnte. Ich bin der Meinung, dass sich durch Kontakt Ag-Au Silber auflösen und auf Au wandern kann.

Nach meinem Professor ist Au zu passiv um Silber aufzunehmen, bzw. würde sich eher Au auf Ag durch Potenzialunterschiede niederschlagen. Er könnte sich vorstellen, dass das unter der Vergoldung liegende Messing jedoch den Potenzialunterschied hervorruft und die dünne Vergoldung das Potenzial von Messing übernimmt. Dadurch kommt es zur Reaktion Ag-Messing, wodurch das Silber sich auf dem „vergoldeten“ Messing niederschlägt.

**Benutzer1, MPS -SKD**

---

**Von:** Fuemel, Marina [Fuemel@stadtmuseum.de]  
**Gesendet:** Montag, 7. November 2016 15:11  
**An:** Benutzer1, MPS -SKD  
**Betreff:** AW: Schwarze Verfärbungen auf Vergoldungen, Anhang

Sehr geehrte Frau Hahmann,

das ist ein sehr schönes Objekt.

Die Verfärbungen am Minutenzifferblatt beschreiben Sie als Silbersulfid, demnach ist das Minutenzifferblatt aus Silber gefertigt, die Feuervergoldung liegt darüber und ist vermutlich schon sehr dünn? Oft kann man davon ausgehen, dass das Silbersulfid durch schwefelhaltige Umweltbedingungen durch die Vergoldung hindurch diffundiert und sich über das Gold legt. Wie ich sehe sind die Gravuren mit einem Kitt ausgelegt, also nicht nur die Zahlen. Mit einer feinen Paste aus Champagnerkreide und einem aufgepuffertem Komplexon pH 10 lässt sich diese Verfärbung relativ einfach entfernen. Sie müssen im Nachhinein die Partie gut spülen bzw. mit dest. Wasser reinigen.

Sie sollten die Aufbewahrungsbedingungen auf schwefelhaltige Substanzen prüfen und diese entfernen bzw. ein Husse aus Aktivkohlegewebe für das Objekt anfertigen. Die Aktivkohle absorbiert die Schadstoffe. Es gibt auch speziell für Silberobjekte ein Aktivkohlegewebe mit einem Silberanteil als Opferanode.

Viel Erfolg und gutes Gelingen!

Marina de Fümel

---

**Von:** Benutzer1, MPS -SKD [mailto:MPS.Benutzer1@skd.museum]  
**Gesendet:** Mittwoch, 2. November 2016 13:58  
**An:** Fuemel, Marina  
**Betreff:** Schwarze Verfärbungen auf Vergoldungen, Anhang

Sehr geehrte Frau De Fumel,

ich vergaß den Bildteil anzuhängen. Jetzt kommt er.

MfG

Lea Hahmann

## Stiftung Stadtmuseum Berlin

Landesmuseum für Kultur und Geschichte Berlins

---

Marina Fuemel  
Abt. IV Org. | Restaurierung  
Hans-Poelzig-Str. 20  
13587 Berlin  
Telefon:  
+49 30 353059 320

<http://www.stadtmuseum.de>



**+++ Fünf Museen – ein Newsletter +++**  
Nichts mehr verpassen: [Jetzt Newsletter abonnieren!](#)

**Benutzer1, MPS -SKD**

---

**Von:** edwin.kroke@chemie.tu-freiberg.de  
**Gesendet:** Freitag, 18. November 2016 19:11  
**An:** Benutzer1, MPS -SKD  
**Cc:** Gerhard.heide@mineral.tu-freiberg.de  
**Betreff:** Re: Schwarze Verfärbungen auf Vergoldungen

Sehr geehrte Frau Hahmann,

vielen Dank für Ihre E-Mail. Ich bin zwar kein Experte für Gold- und Silber-Gegenstände, möchte Ihre Fragen aber gern beantworten:

"... Ich recherchiere gerade über die Möglichkeit, ob sich Silber durch Potenzialunterschiede und bei Anwesenheit eines Elektrolyten auf die Vergoldung niederschlagen könnte. Ich bin der Meinung, dass sich durch Kontakt Ag-Au Silber auflösen und auf Au wandern kann. Eine andere Theorie ist, dass durch eine mechanische Reinigung der Silberringe Silberionen gelöst und auf die Vergoldung transportiert wurden. Diese reagierten dann wiederum weiter zu Silbersulfid."

=> Beides ist aus meiner Sicht denkbar!

Kennen Sie ein Objekt mit einem ähnlichen Schadensbild?

=> Nein, leider nicht !

Können Sie sich eine Silberwanderung durch Potenzialunterschiede vorstellen?

=> Ja, das ist nicht unüblich!

Vielleicht haben Sie andere Erkenntnisse zur Entstehung oder Ursachen der Wanderung von Silberionen.  
=> Leider sind mir sonst keine weiteren Informationen dazu bekannt!

Ich werde Ihre E-Mail an meinen Kollegen Prof. Heide (Mineralogie) weiter leiten. Er hat gute Kontakte zu Restauratoren und kann Ihnen sicherlich ein paar Ansprechpartner nennen.

Beste Grüße  
edwin kroke

---

Am 18 Nov 2016 um 10:27 hat Benutzer1, MPS -SKD geschrieben:

Sehr geehrter Prof. Dr. Kroke,

Im Rahmen meiner Bachelor-Arbeit, als Student im 7. Semester Metallrestaurierung an der Fachhochschule Potsdam, habe ich die Möglichkeit, am Mathematisch-Physikalischen Salon in Dresden eine Minuten-Rädersonnenuhr aus dem 18. Jh. zu untersuchen. Im Anhang lege ich Ihnen entsprechendes Bildmaterial der Schadensproblematik, sowie eine Zeichnung zur Konstruktion bei.

Die Sonnenuhr besteht aus vergoldetem Messing und eingesetzten Silberringen. Auf einigen vergoldeten Flächen im Bereich der Zifferblätter sind schwarze Verfärbungen zu finden. Im Rahmen meiner Arbeit möchte ich diese Verfärbungen untersuchen; deren Entstehung, Ursache und mögliche Behandlungen. Diese Verfärbungen wurden bereits als Silber (-sulfid) identifiziert.

# Bachelor-Arbeit Lea Hahmann

## Anhang VIII:

## Datenblätter

### **Inhalt:**

1. Champagner Kreide
2. Rügener Kreide
3. Schwefelleber
4. Azuran Blau
5. Glanzsilberbad Wilaplat
6. Pantasolvergoldung
7. Ameisensäure
8. Natriumhydrogencarbonat
9. Thioharnstoff

Bachelor-Arbeit Lea Hahmann

Anhang IX:

Sonstiges

Bestandsaufnahme von Lothar Hasselmeyer vom 16.09.1994

Städtlicher Mathematisch-Physikalischer Salon Dresden

Gegenstand

Minuten-Rädersonnenuhr

Kisten-Nr.

11

Hersteller

Johann Gottfried Zimmer, Werkstatt des Reichsgrafen  
Hans von Löser, Schloß Reinharz, um 1760

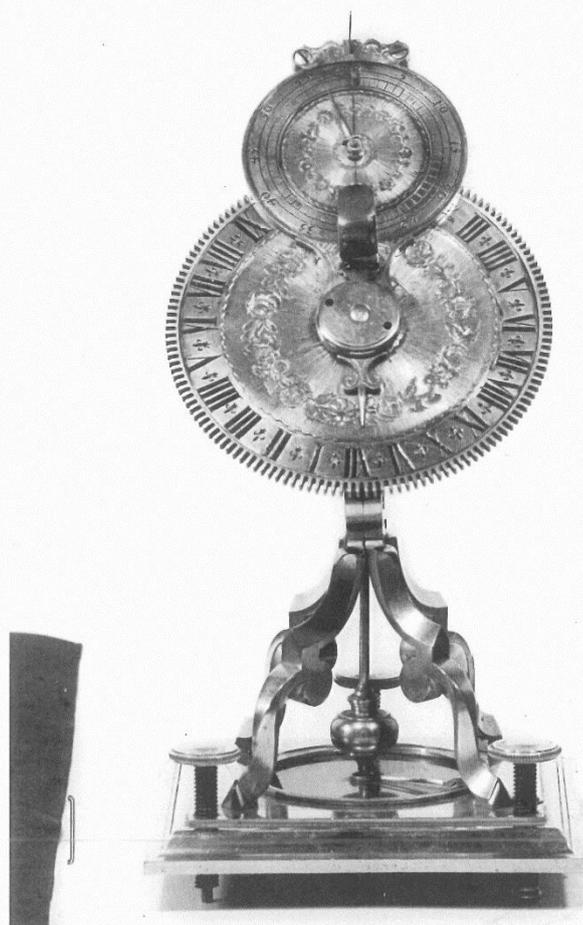
Inv.-Nr.

D I 7

Material  
und  
Maße

Messing vergoldet, Silber, Stahl  
L = 10 cm, B = 10 cm, H = 20 cm

Photo



(Bitte Rückseite beachten!)

d

Alle silbernen Bauteile sind zum Teil schwarz angelaufen. Die  
Messing vergoldeten Teile sind durch Abnutzung und Alterung an  
einigen Stellen beschädigt.

An einem der drei Stellfüße fehlt der kleine vergoldete Messing-  
fuß.

Dresden, den 16.9.94

L. Schmitt  
Restaurator

