

Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben

Entwicklung und modellhafte Umsetzung von Leitlinien zur präventiven Konservierung von wertvollem Museumsgut zur Vermeidung anthropogener Umweltschäden am Beispiel der Sammlungen des Herzog Anton Ulrich-Museums Braunschweig und der Domschatzkammer Minden

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück

Bearbeitungszeitraum	09/2011-06/2014
Aktenzeichen	29671-45
WKI-Projektnummern	109 541 (Teilprojekt Minden) 109 550 (Teilprojekt Braunschweig)

Ausführende Stelle:	Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI) Materialanalytik und Innenluftchemie (MAIC) Bienroder Weg 54E 38108 Braunschweig
---------------------	--

Projektleiterin:	Dr. Alexandra Schieweck
------------------	-------------------------

Braunschweig, September 2014

Entwicklung und modellhafte Umsetzung von Leitlinien zur präventiven Konservierung von wertvollem Museumsgut zur Vermeidung anthropogener Umweltschäden am Beispiel der Sammlungen des Herzog Anton Ulrich-Museums Braunschweig und der Domschatzkammer Minden

Projektförderung: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück

Aktenzeichen: 29671, Referat 45

Projektkreis Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Braunschweig

Projektleiterin Frau Dr. Dipl.-Rest. (FH) Alexandra Schieweck

Frau Dipl.-Rest. (FH) Juana Künne (06/2011-12/2013)

Projektkreis Herzog Anton Ulrich-Museum, Braunschweig

Frau Dipl.-Rest. (FH) Ursel Gassner (09/2011-08/2012; Elternzeit)

Frau Dipl.-Rest. (FH) Verena Herwig (08/2012-12/2012, in Vertretung)

Frau Dipl.-Rest. (FH) Nicole Thörner (01/2013-01/2014; Elternzeit)

Frau Dr. Regine Marth

Herr Dr. Alfred Walz

Projektkreis Domschatzkammer Minden

Herr Dipl.-Kfm. Stephan Kurze

Herr Dipl.-Ing. Rudolf Bilstein

Herr Dr. Frank Pauli

Frau Dipl.-Rest. (FH) Anke Freund (beratende Restauratorin,
Domschatzkammer Minden)

Fachbeirat

Herr Dipl.-Rest. Lars Klemm, Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP,
Holzkirchen

Herr Dipl.-Ing. Michael John, Staatliche Kunstsammlungen Dresden

Herr Prof. Volker Huckemann, Hochschule Bochum

Inhaltsverzeichnis

1	Anlass und Zielsetzung des Forschungsvorhabens	1
1.1	Zielsetzung des Verbundvorhabens	2
2	Struktur des Verbundvorhabens und Teilprojekte	3
TEIL I	Teilprojekt Domschatzkammer Minden	4
I.1	Vorstellung der Domschatzkammer Minden	4
I.1.1	Baumaßnahme an der Domschatzkammer Minden	5
I.1.2	Ausgangssituation für das geplante Forschungsvorhaben	6
I.1.3	Bereits vorhandene Schäden	7
I.1.4	Gefährdungsfaktoren	7
I.2	Darstellung der Inhalte und Ziele des Teilprojektes	8
I.3	Organisatorische Einbindung des Forschungsvorhabens in das Bauprojekt	9
I.3.1	Arbeitsabschnitte des Teilprojektes	9
I.4	Ergebnisse Arbeitsabschnitt I: Festlegung von Umfeldparametern	10
I.4.1	Bewertung des IST-Zustandes der bisherigen Domschatzkammer Minden	10
I.4.2	Kontinuierliche Erfassung von Klima und Beleuchtung	13
I.4.3	Arbeitspapiere	16
I.4.4	Konzepte zur Klimatisierung und Ausstellungsgestaltung	16
I.4.4.1	Klimakonzept - Bauphysikalische Simulation	16
I.4.4.2	Ausstellungskonzept	17
I.4.5	Musterrestaurierung des Armreliquiars der Heiligen Margarethe	17
I.4.6	Begutachtung und Inventarisierung der Paramente der Stiftung Dr. Nordhues	18
I.5	Ergebnisse Arbeitsabschnitt II: (teilweise) praktische Umsetzung der präventiven Anforderungen (Raum/Vitrine)	19
I.5.1	Vorbereitungen Musterraum	19
I.5.2	Musterraum: „Meditationsraum“, Dom Minden	20
I.5.3	Mustervitrinen	21
I.6	Ergebnisse Arbeitsabschnitt III: Langzeitbeobachtung/Monitoring	21
I.6.1	Ablauf des Monitorings	22
I.6.1.1	Ergebnisse Luftanalytik	23

I.6.1.2	Ergebnisse Metallcoupons	24
I.6.1.3	Ergebnisse Glassensoren	25
I.6.1.4	Ergebnisse visuelle Auswertung	26
I.6.2	Notwendige Nachbesserungen im Musterraum und in den Mustervitrinen	28
I.6.3	Weiterführende Überlegungen zur Auslagerung des Domschatzes während der zukünftigen Baumaßnahme	29
I.7	Ausblick	30
I.8	Zusammenfassung	30
TEIL II	Teilprojekt Herzog Anton Ulrich-Museum Braunschweig	32
II.1	Vorstellung des Herzog Anton Ulrich-Museums Braunschweig	32
II.1.1	Baumaßnahme am Herzog Anton Ulrich-Museum Braunschweig	33
II.1.2	Ausgangssituation für das geplante Forschungsvorhaben	34
II.1.3	Bereits vorhandene Schäden	35
II.1.4	Gefährdungsfaktoren	37
II.2	Darstellung der Inhalte und Ziele des Teilprojektes	37
II.3	Organisatorische Einbindung des Forschungsvorhabens in das Bauprojekt	38
II.3.1	Arbeitsabschnitte des Teilprojektes	38
II.4	Ergebnisse Arbeitsabschnitt I: Verhalten sensibler und/oder vorgeschädigter Materialien auf Umfeldeinflüsse	39
II.4.1	Zusammenfassung	47
II.5	Ergebnisse Arbeitsabschnitt II: Anforderungen an Ausstellungsmobiliar	47
II.5.1	Emissionsprüfungen	48
II.5.2	Kriterien Qualitätskontrolle	53
II.6	Ergebnisse Arbeitsabschnitt III: Evaluierung der Depots im Neubau	55
II.7	Zusammenfassung	58
III	Weiterführende, aus dem Forschungsvorhaben resultierende wichtige Hinweise für Baumaßnahmen in Museen	59
IV	Öffentlichkeitsarbeit	60
V	Abschlusskolloquium	64
VI	Übersicht über Projektsitzungen	65
VI	Literatur	68
ANHÄNGE		

1. Anlass und Zielsetzung des Forschungsvorhabens

Mit der Verlagerung der Schwerpunkte von rein konservatorischen und/oder restauratorischen Themen hin zu der Notwendigkeit vorbeugender Maßnahmen, ist die Präventive (vorbeugende) Konservierung im Bereich des Erhalts unseres kulturellen Erbes aktuell das beherrschende und auch zukünftig dominierende Thema.

Das Ziel dieser frühzeitig zu ergreifenden, vorbeugenden Maßnahmen ist die nachhaltige Vermeidung oder zumindest Minimierung von Schäden an Kunst- und Kulturgütern durch den Ausschluss von Einflussfaktoren, die Schäden an Objektmaterialien hervorrufen können. Die Handlungen sollen im Idealfall ausschließlich durch eine optimale Anpassung der Objektumgebung erfolgen. Ein direkter Eingriff am Sammlungsgut selbst durch konservatorisch-substanzerhaltende oder sogar restauratorisch-wiederherstellende Maßnahmen soll damit vermieden werden. Die derzeitige Ethik in der Restaurierung bewegt sich daher bewusst kontinuierlich weg von tiefgreifenden, restauratorischen Eingriffen, um den Einsatz von Gefahrstoffen und damit auch eine Veränderung der Originalsubstanz durch Einbringen von Fremdstoffen auf ein Minimum zu reduzieren und setzt einen neuen Schwerpunkt auf behutsame, vorbeugende Maßnahmen.

Eine umfassende Definition der Präventiven Konservierung formulierte der Direktor des Münchner Doerner Institutes anlässlich einer Tagung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU):

„Die Präventive Konservierung bündelt eine Vielzahl indirekter, auf den dauerhaften Erhalt von Kulturgut ausgelegte Maßnahmen und bemüht sich dabei um eine ganzheitliche, interdisziplinär getragene Sicht der Problematik des Erhaltes von Kulturgut. Durch die Schaffung von geeigneten Raumhüllen, verbesserten Klima-, Licht- und Raumlufumbedingungen oder der Optimierung von Transportprozessen u. a. trägt sie damit nachhaltig zum Erhalt ganzer Sammlungsbestände oder – komplexe bei. Im Vordergrund steht eine sorgsame Analyse, Bewertung und Minimierung aller Risiken. Die Präventive Konservierung ist ein wirksames und auf lange Sicht wirtschaftliches Mittel, intervenierende direkte Maßnahmen an einzelnen Objekten auf ein Minimum zu reduzieren. Die Präventive Konservierung bindet alle im Umgang mit dem Kulturgut Betraute verantwortlich ein [...]“ (Burmester, 2005).

Das zunehmende Bewusstsein gegenüber der Umwelt und das Wissen um anthropogen induzierte Schadensbilder an wertvollem Sammlungsgut haben dazu beigetragen, dass die Präventive Konservierung die derzeit in den Konservierungs- und Restaurierungswissenschaften vorherrschende Disziplin ist und diese Vorrangstellung auch in Zukunft beibehalten wird.

Die Problematiken und Fragestellungen, die in diesem Zusammenhang seitens museal genutzter Einrichtungen aufkommen und gestellt werden, sind im Kernaspekt häufig sehr ähnlich und zielen auf das Gelingen einer praktischen und effizienten Implementierung von Maßnahmen der Präventiven Konservierung ab, um das Sammlungsgut nachhaltig gegen umweltbedingte Schäden zu schützen.

Die Frage nach der aus konservatorischer Sicht zu vertretenden relativen Luftfeuchte und Temperatur stellt sich sowohl hinsichtlich des Mikroklimas, wie bei der Aufbewahrung von Sammlungsgut in Vitrinen und Schränken, als auch bezüglich des Makroklimas, wie es bei der derzeit häufig umgesetzten Architektur von weitläufigen, miteinander verbundenen Räumen mit darin frei aufgestellten Exponaten der Fall ist.

Angesichts der derzeitigen Grundsatzdiskussion über objektspezifische, korrekte Klimawerte bzw. –korridore (Ashley-Smith et al., 2012; Atkinson, 2014; Bickersteth, 2014; Staniforth, 2014; Stollow, 1988) erscheint die Vereinbarkeit von konservatorischen, finanziellen und umweltverträglichen Aspekten zusätzlich erschwert. Gerade für kleinere Museen und Sammlungen ohne restauratorisches Fachpersonal ist das Finden eines Lösungsweges kaum möglich.

Darüber hinaus üben klimatische Faktoren einen direkten Einfluss auf die Freisetzung von Schadstoffen aus Innenraumprodukten und Werkstoffen und damit auf die Luftqualität aus. Insbesondere die gestalterische Präsentation musealer Sammlungen ist von großer Bedeutung, um die Einzigartigkeit und Qualität der Ausstellungsstücke zu betonen und hervorzuheben und um dem Besucher ein optisches Erlebnis zu ermöglichen. Angesichts bekannter Schadensbilder auf Materialoberflächen von Exponaten ist eine umsichtige Auswahl emissionsarmer Werkstoffe von großer Bedeutung (Schieweck and Salthammer, 2014). Ästhetische und konservatorische Anforderungen scheinen einander aber häufig diametral und unvereinbar gegenüber zu stehen.

Zwar bestehen Bestrebungen, möglichst geringemittierende Produkte zu verbauen und damit die Luftqualität in Ausstellungsräumen und Vitrinen zu verbessern, allerdings verfügen sowohl die Anbieter von Museumsausstattungen als auch die Restauratoren häufig nicht über ausreichende Kenntnisse. Meistens wird daher auf bekannte oder in der Produktion bewährte Materialien gesetzt. Auch erfolgt eine Abstimmung dieser Materialauswahl nur in Ausnahmefällen mit der Aufbewahrung äußerst sensibler bzw. bereits vorgeschädigter Ausstellungsstücke. Dies wird besonders dadurch erschwert, dass bislang nicht bekannt ist, wie solche Exponate bei Schadstoffexposition reagieren. Auch die Aufbewahrung und Ausstellung heterogener Objektgruppen und Kompositobjekte mit unterschiedlichen konservatorischen Anforderungen birgt Schwierigkeiten, (raum-) klimatische Parameter und Kriterien für niedrigemittierende Werkstoffe zu definieren.

Es ist daher eine zielgerichtete Konzeption von Innenräumen für die museale Nutzung notwendig, um aktiv zur Vermeidung weiterer Schädigungen und folglich zum nachhaltigen Erhalt von Museumsobjekten beizutragen. Dabei gilt es rechtzeitig unter Absprache aller Entscheidungsebenen Aspekte der Präventiven Konservierung zu implementieren.

Es besteht somit eine große Notwendigkeit, entsprechende Planungen frühzeitig mit den konservatorischen Anforderungen abzustimmen. Angesichts sensibler und teilweise bereits vorgeschädigter Sammlungstücke müssen über die Definition klimatischer Parameter und die Auswahl möglichst emissionsarmer Materialien für Ausstellungsräume und Vitrinen hinaus, Kriterien für die geeignete Aufbewahrung dieser Objektmaterialien entwickelt werden. Die Aufbewahrungssituation sollte einen weiteren Verlauf des Schadensprozesses unterbinden und die Bewahrung des Erhaltungszustandes von Sammlungsgütern unterstützen. Dabei ist die Gestaltung der Ausstellungsräume mit der gesamtheitlichen ästhetischen Zielsetzung vor dem Hintergrund finanzieller Vorgaben in Einklang zu bringen.

1.1 Zielsetzung des Verbundvorhabens

Vor dem Hintergrund der aktuellen Entwicklungen (Kapitel 1) hatte das Verbundvorhaben die Zielstellung, die in zwei Museen bevorstehenden Neu- bzw. Umbaumaßnahmen zu begleiten, um Anforderungen der Präventiven Konservierung klar zu definieren, praktisch umzusetzen und mit architektonisch-ästhetischen

Kriterien zu vereinbaren. Darüber hinaus sollten die jeweiligen Entscheidungsebenen rechtzeitig einbezogen und miteinander abgestimmt werden.

Dies sollte modellhaft im Rahmen der Neugestaltung der Ausstellungsflächen im historischen Altbau des Herzog Anton Ulrich-Museums Braunschweig und der Domschatzkammer Minden erfolgen. Der Schwerpunkt im Herzog Anton Ulrich-Museum mit 3590 m² Ausstellungsfläche und einer vielfältigen Sammlung des Barock und der Renaissance wurde auf den Umgang mit Schadstoffemissionen bei bereits vorgeschädigten Exponaten gelegt. Im Gegensatz dazu standen bei der Neuausstattung der Domschatzkammer Minden, die mit derzeit 62 m² kleinere, auf liturgische Kunst und Geräte des Mittelalters konzentrierte Sammlung, (raum-) klimatische Parameter und Aspekte der Beleuchtung für den nachhaltigen Erhalt heterogener Materialgruppen und Verbundobjekte im Vordergrund.

Damit ergänzten sich beide Museen hinsichtlich ihrer Größe und Sammlungsvielfalt und hinsichtlich der im Projekt geplanten Forschungsschwerpunkte optimal, um die Implementierung von Aspekten der Präventiven Konservierung möglichst umfassend und allgemeingültig umsetzen zu können.

2 Struktur des Verbundvorhabens und Teilprojekte

Dem Verbundvorhaben wurde eine klare organisatorische Struktur zugrunde gelegt.

Interner und externer Arbeitskreis

Der interne Arbeitskreis wurde durch die unmittelbar in das Forschungsprojekt involvierten Mitarbeiter der Projektpartner, dem Herzog Anton Ulrich-Museum Braunschweig, der Domschatzkammer Minden und dem Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Braunschweig, gebildet. Durch die am Fraunhofer WKI angesiedelte Projektleitung und wissenschaftliche Begleitung der jeweiligen Bauvorhaben wurden diese verklammert.

Der interne Arbeitskreis stand in regelmäßigem Austausch mit den Personengruppen, die nicht direkt in das Projekt, aber in die jeweiligen Baumaßnahmen involviert waren. Dazu zählten die mit dem Hochbau und der Innenausstattung beauftragten Architektur- und Planungsbüros ebenso wie Lichtplaner und Ingenieure, am Standort Herzog Anton Ulrich-Museum Braunschweig zusätzlich das staatliche Baumanagement. Diese Personengruppen bildeten den externen Arbeitskreis, der bei Bedarf (Projektfortschritt, notwendige Absprachen zwischen Projektgruppe und übergeordneter Baumaßnahme) hinzugezogen wurde.

Fachbeirat

Gemäß der durch das Kuratorium der Deutschen Bundesstiftung Umwelt erlassenen (DBU) Bewilligungsaufgabe wurde ein aus drei Personen bestehender Fachbeirat eingerichtet, der mit folgenden Fachkollegen besetzt wurde:

- Dipl.-Ing. Michael John, Leiter der technischen Dienste, Staatliche Kunstsammlungen Dresden
- Dipl.-Rest. Lars Klemm, Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Holzkirchen
- Prof. Volker Huckemann, Hochschule Bochum

Sitzungen

Die Sitzungen fanden in einem Rhythmus von 3-6 Monaten statt, bei Bedarf trafen sich einzelne Projektgruppen auch innerhalb dieses Sitzungsintervalls. Der Fachbeirat wurde mindestens einmal jährlich

und darüber hinaus bei aktuellen Fragestellungen hinzugezogen, bei denen die Fachbeiratsmitglieder wichtige fachliche Unterstützung bieten konnten. Eine Auflistung der Sitzungen findet sich unter Punkt VI.

Teilprojekte

Beide Bauvorhaben bildeten eigene Teilprojekte mit eigenen Forschungsschwerpunkten, die zwecks fachlichen Austausches und Spiegelung von Vorgehensweisen, Inhalten, Fortschritten, Fragestellungen etc. miteinander im internen Arbeitskreis verbunden wurden. Die Teilprojekte jedes Bauvorhabens wurden in einzelne Arbeitsabschnitte untergliedert, um eine klare Gliederung und Bearbeitung der Projektinhalte zu ermöglichen. Die Projektinhalte und Ergebnisse werden im Folgenden gemäß der Teilprojekte aufgeführt.

TEIL I Teilprojekt Domschatzkammer Minden

I.1 Vorstellung der Domschatzkammer Minden

Der Mindener Dom St. Gorgonius und St. Petrus diente als Bischofskirche des Bistums Minden, das um 800 von Karl dem Großen gegründet wurde. Nach der Säkularisierung und Aufhebung des Bistums wurde der Dom in der Mitte des 19. Jahrhunderts zur Propsteikirche erhoben. Die beim Gottesdienst im Dom verwendeten liturgischen Geräte, Gewänder und Reliquiare befinden sich in der Domschatzkammer. Die derzeitige Domschatzkammer wurde 1980 beim Bau des Gemeindezentrums HAUS AM DOM eingerichtet (Abbildung I-1). Sie befindet sich etwas versteckt im ersten Stock des Gemeindezentrums und stellt auf 62 m² den Domschatz in einfach gehaltenen Vitrinen aus. Dabei werden die vier Schwerpunkte Reliquiare, liturgische Geräte, Kreuze und Paramente präsentiert (Abbildung I-1).

Zu den herausragenden Exponaten zählen das Mindener Kreuz (vermutlich um 1125), mit einer Höhe von 1,19 m eines der ältesten bronzenen Großkreuze der Geschichte, der Petrischrein und das Armreliquiar der Heiligen Margarethe, beides aus dem Jahr 1070. Die im Stil der 1980er Jahre schlicht und knapp gehaltenen Objektbeschriftungen erschließen sich dem Besucher nicht in ihrem Kontext und ihrer Bedeutung für die Geschichte des Bistums. Zum Verständnis muss ein schriftlicher Museumsführer hinzugezogen werden, so dass die derzeitige Situation der Schatzkammer nicht den heutigen Bedürfnissen der Besucher entspricht (Abbildung I-2). Das Dommuseum Minden verfügt über keine eigene Restaurierungswerkstatt und holt sich daher bei Bedarf externen Sachverstand hinzu.

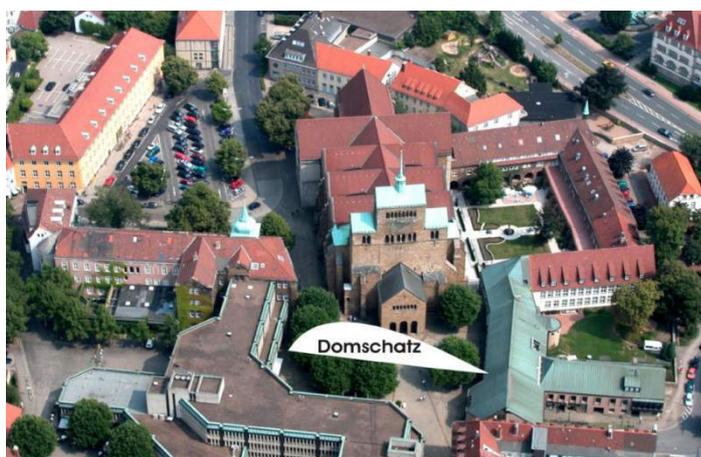


Abbildung I-1.

Domschatzkammer Minden,
Luftaufnahme (Foto: Arnold
Weigelt).

**Abbildung I-2.**

Domschatzkammer Minden,
Innenaufnahme (Foto: Arnold
Weigelt).

I.1.1 Baumaßnahme an der Domschatzkammer Minden

Angesichts der derzeit geringen Ausstellungsfläche, die die Präsentation nur eines Bruchteils der Sammlung in didaktisch unzeitgemäßer Form ermöglicht, soll die Domschatzkammer Minden umgebaut werden. Die zur Verfügung stehende Ausstellungsfläche ist dabei von derzeit 62 m² auf 274 m² zzgl. eines Depots von 53 m² und eines Empfangsbereiches von ca. 130 m² zu vergrößern. Ziel der Neukonzeption ist die Präsentation des Selbstverständnisses der heutigen Dompropsteigemeinde anhand der auszustellenden Kunstwerke, mittels derer auch das Geschichtsbewusstsein wachgehalten und weitergegeben werden soll. Neben einer Verbesserung der Verständlichkeit der Sammlung für Museumsbesucher soll eine attraktive Bauhülle unter Nutzung der am Domplatz vorhandenen Substanz unter Berücksichtigung von Kriterien zur modernen energetischen Sanierung gestaltet werden. Gleichzeitig gilt es, die Aufbewahrungsbedingungen für die Exponate unter Berücksichtigung der Grundsätze der Präventiven Konservierung zu optimieren.

Das Gesamtkonzept des Bauvorhabens sieht den Bau einer neuen Gebäudehülle der Domschatzkammer vor, die durch Umnutzung und Ertüchtigung von vorhandener Bausubstanz und Erweiterung in Leichtbauweise bei Benutzung der vorhandenen Gründung geschaffen werden soll. Unter dem Kriterium der Nachhaltigkeit ist auch eine energieeffiziente Klimatisierung zwecks Einsparung von Energie und Kohlenstoffdioxid (CO₂) vorgesehen. Durch die Nutzungsänderung vorhandener Bausubstanz und der Schaffung zusätzlichen Raums oberhalb des vorhandenen Gebäudes unter Verwendung von Leichtbauelementen, handelt es sich beim Bauvorhaben Domschatzkammer sowohl um einen Um- als auch um einen Neubau.

Neben dem Schaffen der Bauhülle und der damit verbundenen technischen Ausrüstung ist der neugeschaffene und bisherige Ausstellungsraum neu zu gestalten. In diesem Zusammenhang sind Fragen nach geeigneten klimatischen Parametern, Beleuchtungsstärken und Emissionen der zu verwendenden Innenraumprodukte zu beantworten. Die besondere Herausforderung stellt in diesem Zusammenhang die heterogene Materialzusammensetzung der Sammlung da, die von Textilien (Paramenten) über liturgische Metallgefäße bis hin zu Verbundobjekten aus Holz und Metall reichen und die materialspezifisch unterschiedliche Umgebungsbedingungen für die optimale Erhaltung erfordern.

I.1.2 Ausgangssituation für das geplante Forschungsvorhaben

Die Sammlung der Domschatzkammer Minden verfügt über eine große Anzahl liturgischer Geräte, Gewänder und Reliquiare und damit über Werkstoffe, die als sehr sensibel einzustufen sind. Metalle und Textilien gelten als äußerst anfällig gegenüber einer Exposition organischer Säuren. Des Weiteren beanspruchen anorganische und organische Materialien unterschiedliche Optima der relativen Luftfeuchte. Während Metalle in einem vorzugsweise trockenen Klima gelagert werden, werden für den hygroskopischen Werkstoff Holz allgemein 50-60% relative Luftfeuchte empfohlen (Stolow, 1988). Diese unterschiedlichen Anforderungen werden meistens durch getrennte Aufbewahrung der jeweiligen Materialgruppen in separaten Mikroklimata umgesetzt. Die Sammlung der Domschatzkammer Minden zählt allerdings einen großen Anteil so genannter Verbundobjekte, in denen unterschiedlichste Werkstoffe vereint sind. Dazu gehören drei der bedeutendsten Exponate der Sammlung, das Mindener Kreuz (um 1125), das Armreliquiar der Heiligen Margarethe (1070 n. Chr., Abbildung I-3) und der Petrischrein (1070 n. Chr.).



Abbildungen I-3 und I-4: Armreliquiar der Hl. Margarethe (links) und Petrischrein (rechts), beides 1070 (Fotos: Domschatzkammer Minden).

Bei dem Armreliquiar und dem Petrischrein handelt es sich um Objekte, die aus einem mit Metall ummantelten bzw. beschlagenen Holzkern bestehen. Eine separate Aufbewahrung ist daher nicht möglich, so dass ein geeigneter Kompromiss zu finden ist. Nach dem bisherigen Konzept ist eine Ausstellung des Armreliquiars und des Schreins in einer Vitrine vorgesehen, deren Klimatisierung, ebenso wie das Klimakzept für das gesamte Gebäude, von diesen Überlegungen abhängt.

Ein weiterer Aspekt betrifft die Paramente, die entsprechend der Bauplanung in einer Paramentenkammer aufbewahrt werden sollen. Diese soll eine Zugänglichkeit und Präsentation gewährleisten bei gleichzeitiger Vorbeugung umweltbedingter Schäden. Auch hier stellt sich angesichts der aktuellen

Diskussionen die Frage nach der richtigen Klimatisierung und den entsprechenden, zulässigen Toleranzbereichen.

Eine besondere, aber für viele Museen exemplarische Schwierigkeit beim Bauvorhaben Domschatzkammer Minden ist der Umstand, dass das Katholische Dompropstei-Pfarramt Minden über keine eigene Restaurierungswerkstatt und damit nicht über eine/n hauseigene/n Spezialisten/in verfügt. Das Personal des Pfarramtes muss daher bislang versuchen, die Problematiken eigenständig zu erkennen und mögliche Handlungswege zu entwickeln. Bei Problemen werden externe Sachverständige bzw. die Fachstelle des erzbischöflichen Generalvikariats in Paderborn eingeschaltet. Eine fachliche Unterstützung in dieser besonderen Problematik ist daher dringend erforderlich.

I.1.3 Bereits vorhandene Schäden

In der derzeitigen Ausstellung wird nur ein Bruchteil der Sammlung gezeigt. Die Ausstellungssituation stammt aus den 1980er Jahren, bei der präventive Aspekte keine Berücksichtigung gefunden haben.

Umweltbedingte Materialschäden sind insbesondere an dem so genannten Margarethenarm sichtbar. Dieses als Reliquiar kulturhistorisch wichtige Exponat ist ein sehr gutes, repräsentatives Beispiel für weitere Objekte der Sammlung, die aus Holz und Metall sowie mineralischen Bestandteilen (Edelsteinen) kombiniert sind. Der Holzkern des Armreliquiars wurde im Zweiten Weltkrieg teilweise durch Brand zerstört, durch das unterschiedliche Dehnungsverhalten des Holzes und des ihn ummantelnden Metalls ist es zu einer Vielzahl von Spannungsrissen gekommen. Diese führen zu einer starken Instabilität des Objektes. Bei nicht fachgerechtem Handling und weiterer Aufbewahrung unter ungeeigneten Umgebungsbedingungen ist in naher Zukunft mit Substanzverlust zu rechnen.

Neben dieser geplanten Ausstellung in Vitrinen sollen die Textilien und verschiedene Vasa sacra in einer Paramentenkammer gezeigt werden. Die Paramente wurden nach einer Katalogisierung und einer kurzen Zustandserfassung durch externe Restauratorinnen vorerst in Kartonagen fachgerecht eingelagert. Nur einige liturgische Gewänder sind in der derzeitigen Ausstellung zu sehen. Aufgrund der Positionierung der betreffenden Vitrine direkt gegenüber eines Fensters, das weder die Möglichkeiten einer Verdunkelung noch eine Schutzfolie gegen ultraviolette Strahlung aufweist, wurde in den vergangenen Jahrzehnten ein deutlicher Farbverlust der eingefärbten textilen Fasern dokumentiert. Es ist weiterhin zu vermuten, dass die Fasern versprödet sind und neben den bereits jetzt sichtbaren Gebrauchsspuren weitere mechanische Schäden bei Öffnung der Vitrine verursacht werden können.

I.1.4 Gefährdungsfaktoren

In der Domschatzkammer Minden lassen sich, wie oben angesprochen, im Wesentlichen drei Gefährdungsfaktoren identifizieren:

- Raum- und Mikroklima (Temperatur, relative Luftfeuchte=
- Lichteinwirkung
- Materialemissionen (Schadstoffe)

Messungen der Klimawerte wurden erstmals im Jahr 2005 durchgeführt und zeigten Schwankungen der relativen Luftfeuchte (27-50%) und der Temperatur (16-25°C), die sich mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine fehlende Klimatisierung und ungehinderten Lichteinfall durch das angesprochene Fenster

zurückführen lassen. Es ist leider nicht dokumentiert, in welchem Zeitraum diese Schwankungen gemessen wurden. Dennoch ist hier für den durch Verkohlung und Spannungsrisse bereits vorgeschädigten Margarethenarm ein erheblicher Gefährdungsfaktor zu sehen.

Der ungehinderte Lichteinfall durch das Fenster, das der, die liturgischen Gewänder aufbewahrenden Vitrine direkt gegenüber liegt, hat sich laut mündlicher Aussagen von Museumsmitarbeitern in den vergangenen Jahren als ein Hauptrisiko für die Textilien herausgestellt. Unkontrollierte Beleuchtung (maximale Beleuchtungsstärken, -dauer, Spektralbereiche etc.) kann daher als Schadensfaktor angesehen werden.

Angesichts der Bauweise der Vitrinen aus Holzwerkstoffen, teilweise mit Stoff bespannt, ist von einer gewissen Schadstoffbelastung auszugehen. Feinmetalle, Bleche und Textilien gehören zu den gegenüber einer Schadstoffexposition empfindlichsten Materialien.

I.2 Darstellung der Inhalte und Ziele des Teilprojektes

Das geplante Ausstellungskonzept sieht eine Präsentation der Verbundobjekte in Vitrinen vor, während die Aufbewahrung der Textilien in einer Paramentenkammer umgesetzt werden soll. Somit muss sowohl ein Mikro- als auch ein Raumklimakonzept erstellt werden, da sowohl bei der Präsentation in Vitrinen als auch im Raum die Umgebungsbedingungen direkt auf das Sammlungsgut einwirken. Das zu erstellende Aufbewahrungskonzept soll eine umweltbedingte Schädigung der Exponate verhindern und das Fortschreiten vorhandener Schadensprozesse unterbinden oder zumindest erheblich verlangsamen. Neben den zu wählenden klimatischen Bedingungen Temperatur, relative Luftfeuchte und Licht, ist in diesem Kontext auch die Emission von luftgetragenen Schadstoffen und somit die Schadstoffimmission zu berücksichtigen, da diese Parameter in direkter Beziehung zueinander stehen und sich gegenseitig beeinflussen.

Im Vorfeld sind daher mögliche, umweltbedingte Risikofaktoren für die einzelnen Kunstwerke der Sammlung zu identifizieren (Bestandsaufnahme) und notwendige Umgebungsbedingungen für den nachhaltigen Erhalt zu definieren. Dabei sollen aktuelle Diskussionen aufgegriffen und reflektiert werden. Hierzu gehören vor allem derzeitige Überlegungen zum Umgang mit klimatischen Parametern, die teilweise weg von klar festgelegten Werten hin zu einem fließenden Übergang raumklimatischer Bedingungen gehen.

Das Ziel des geplanten Forschungsprojektes ist es, die für den Erhalt der Exponate notwendigen Anforderungen hinsichtlich der Präventiven Konservierung mit den für die Bauhülle geplanten Eigenschaften in Einklang zu bringen und dabei den Kontext der Ausstellung ansprechend für Besucher aufzubereiten und zu vermitteln. Dafür soll beispielhaft an zwei für die Sammlung charakteristischen und hinsichtlich der Anforderungen an die Aufbewahrungsbedingungen schwierigen Objektgruppen ein tragfähiges Handlungskonzept entwickelt werden. Zu den Verbundobjekten gehören der Petrischrein und der Margarethenarm als zwei der bedeutendsten Sammlungsstücke. Hier sind geeignete Bedingungen festzulegen, die einen sinnvollen Kompromiss der materialspezifischen Anforderungen darstellen.

Innerhalb des geplanten Forschungsprojektes ist auch eine sachgerechte Restaurierung des Margarethenarms als eines für die Sammlung repräsentativen Objektes vorgesehen. Das Reliquiar soll nach Abschluss der Restaurierung in eine Mustervitrine/Musterraum verbracht werden. Anhand des

Zustands des Armreliquiars ist eine längerfristige, zeitlich über das Forschungsprojekt hinausgehende Beobachtung geplant, um die Nachhaltigkeit und Effizienz der im Forschungsprojekt entwickelten, definierten und umgesetzten raumklimatischen Bedingungen zu überprüfen.

I.3 Organisatorische Einbindung des Forschungsvorhabens in das Bauprojekt

Das Forschungsvorhaben der Domschatzkammer Minden musste sich in das Gesamtbauvorhaben eingliedern und sich diesem unterordnen. Mit Beginn des Forschungsvorhabens befand sich das eigentliche Bauprojekt in der Planungsphase, insbesondere bezüglich der zukünftigen Ausstellungsgestaltung. Mit Ende des Vorhabens im Juli 2014 hatte das Bauprojekt noch nicht begonnen, ein Beginn wurde für Ende 2014 anvisiert. Während des Forschungsprojektes war die Domschatzkammer angesichts der Ausstellungsfläche als kleines Museum anzusehen, das rein ehrenamtlich geführt wurde. Dies bedeutet, dass es seitens der Bauverantwortlichen in Minden externes Fachpersonal zum Klären fachspezifischer Fragestellungen hinzugezogen werden musste.

I.3.1 Arbeitsabschnitte des Teilprojektes

Das Teilprojekt gliederte sich in drei Arbeitsabschnitte analog Abbildung I-5.

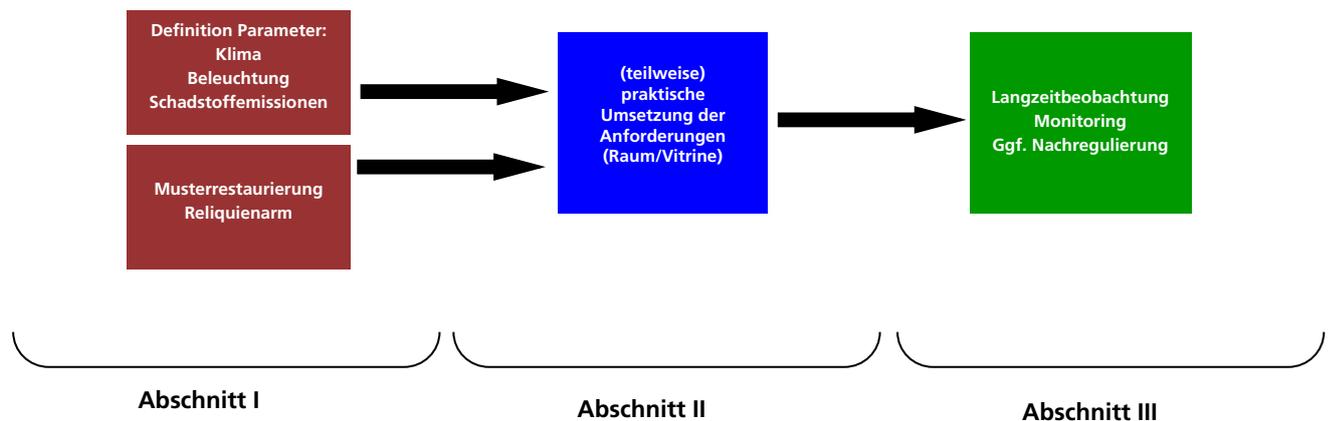


Abbildung I-5: Abschnitte des Teilprojektes Domschatzkammer Minden.

Abschnitt I

Da die Domschatzkammer Minden bislang ehrenamtlich geführt wird, sollten in Abschnitt I die wesentlichen Aspekte der Präventiven Konservierung vermittelt und Notwendigkeiten hinsichtlich der Auswahl und Definition klimatischer Parameter, Beleuchtungskörper und Ausstattungsmaterialien diskutiert werden. Soweit in Abhängigkeit vom Planungsstand des zukünftigen Gebäudes und der zukünftigen Ausstellungssituation möglich war, sollten die Umfeldparameter, wie sie unter konservatorischen und finanziellen Aspekten als umsetzbar und sinnvoll erachtet wurden, definiert werden. Parallel zu diesen grundlegenden Überlegungen sollte in Abschnitt I zusätzlich die Musterrestaurierung des Reliquienarms der Heiligen Margarethe erfolgen.

Abschnitt II

Die in Abschnitt I festgelegten Anforderungen sollten in Abschnitt II praktisch (teilweise) umgesetzt werden, insofern es angesichts der noch nicht begonnenen Baumaßnahme möglich war. Die Umsetzung war anhand eines Musterraums, der mit neuen, gemäß den Vorgaben aus Abschnitt I gefertigten Mustervitrinen eingerichtet wurde, vorgesehen.

Abschnitt III

In direktem Anschluss an die Einrichtung des Musterraums mit den Mustervitrinen erfolgte eine Langzeitbeobachtung (Monitoring) von Klima und Luftqualität, um die vorher festgelegten Umfeldparameter zu überprüfen und Möglichkeiten für ggf. notwendige Nachregulierungen zu haben. Neben der messtechnischen Erfassung der genannten Parameter sollte auch der restaurierte Margarethenarm in eine neue Mustervitrine verbracht werden und hinsichtlich möglicher Oberflächenveränderungen in das Monitoring einbezogen werden.

I.4 Ergebnisse Arbeitsabschnitt I: Festlegung von Umfeldparametern

Da die Baumaßnahme Minden von Ehrenamtlichen geleitet wird, dienten viele Sitzungen und Gespräche zur Klärung der aus bauphysikalischer, konservatorischer und finanzieller Sicht sinnvollen Möglichkeiten und Notwendigkeiten hinsichtlich Klima, Beleuchtung und Materialauswahl. Die Überlegungen erfolgten eng anhand der Entwürfe und Konzepte zum zukünftigen Baukörper und der zukünftigen Ausstellungssituation. In den Gesprächen erwies sich der Austausch mit den Kolleginnen und Kollegen vom Herzog Anton Ulrich-Museum als sehr hilfreich, da dort das Bauprojekt bereits begonnen hatte und viele der in Minden anstehenden Überlegungen auch dort in der Vergangenheit bereits thematisiert worden waren. Auch die Hinweise und Ratschläge der Fachbeiratsmitglieder erwiesen sich für die Kollegen der Domschatzkammer Minden als äußerst wertvoll.

I.4.1 Bewertung des IST-Zustandes der bisherigen Domschatzkammer Minden

Da es bisher keine konkreten Anhaltspunkte über die Umfeldsituation in der derzeitigen Domschatzkammer Minden gab, wurde in einem ersten Schritt eine Bestandsaufnahme dieser vorgenommen. Es erfolgten Untersuchungen der Raum- und Vitrineninnenluft auf flüchtige organische Verbindungen (VOCs), leichtflüchtige Aldehyde (C_1 - C_4) und auf Ameisen- und Essigsäure. Darüber hinaus wurden Partikel und deren Verteilung erfasst. Die Messungen erfolgten bei geöffneter Tür (Tresortür) der Domschatzkammer, die während der Öffnungszeiten immer geöffnet ist. Somit entsprachen die Messbedingungen dem realen Szenario. Die Messungen wurden im Februar 2012 durchgeführt. Es wurden zwei Messpunkte im Raum festgelegt (1: Raum vorne, 2: Raum hinten) und die Luft in den Vitrinen Margarethenarm, Kaseln und Türklopfer gemessen (Abbildungen I-6 und I-7). Genaue Angaben zu den analytischen Verfahren sind Anhang I zu entnehmen.



Abbildung I-6.

Messungen von Luftqualität in Raum und Vitrinen sowie Erfassen der Partikelverteilung im Ausstellungsraum. Domschatzkammer Minden. Februar 2012.

Die Ergebnisse der Untersuchung auf flüchtige organische Verbindungen (VOCs) wurden für eine bessere Veranschaulichung als farbiges Balkendiagramm umgesetzt (Abbildung I-7). Dies erlaubt ein schnelles Erfassen von Leitsubstanzen und Vergleiche der Luftqualität an verschiedenen Messpunkten ohne fundierte wissenschaftliche Kenntnisse.

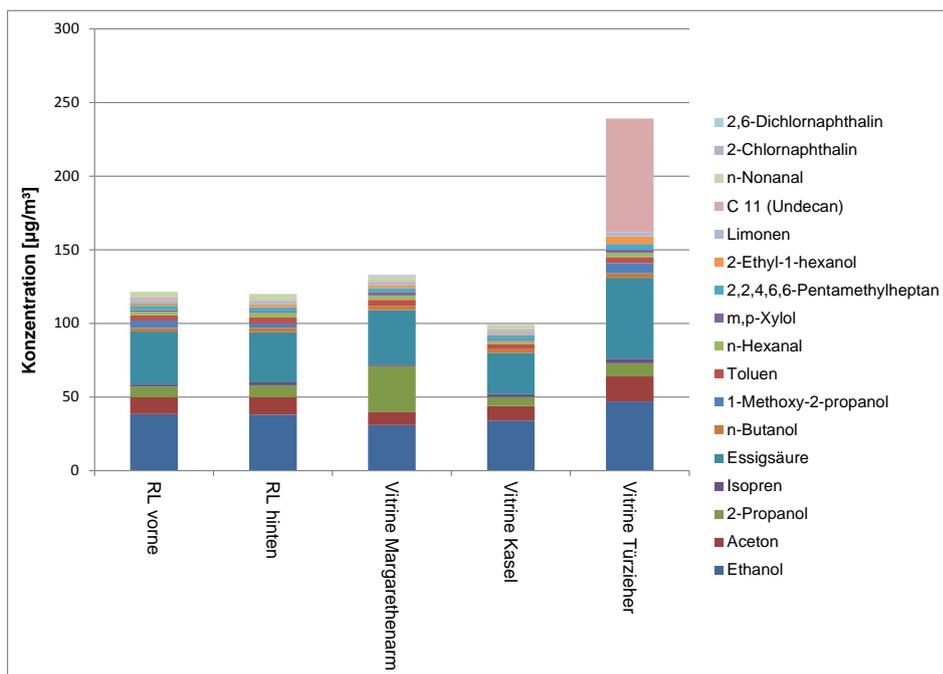


Abbildung I-7.

Graphische Darstellung der Messergebnisse auf flüchtige organische Verbindungen (VOCs). Domschatzkammer Minden. Februar 2012.

Die Raumluft zeigte eine geringe Hintergrundkonzentration von flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) mit einem Summenwert Σ VOC von $<100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bei den identifizierten Verbindungen handelte es sich um klassische Lösemittel, die in Spuren- bzw. geringen Konzentrationen nachgewiesen werden konnten. Gleiches gilt für die drei untersuchten Vitrinen. In Spurenkonzentrationen konnte hier bereits chloriertes Naphthalin detektiert werden. Zur Erfassung von polychlorierten Naphthalinen (PCN) in der Innenraumluft wird üblicherweise ein gesondertes analytisches Verfahren angewendet. Die Tatsache, dass bereits bei der Untersuchung auf VOCs chlorierte Naphthaline in Spurenkonzentrationen nachgewiesen wurden, deutet auf eine Primärquelle in den Vitrinen hin. Im musealen Umfeld wurden PCN von den

1920er bis in die 1970er Jahre gegen Befall durch Insekten und Mikroorganismen und somit zum Schutz der Sammlungen eingesetzt (Schieweck and Salthammer, 2014).

Die nachgewiesenen Konzentrationen von Formaldehyd in der Raumluft ($\sim 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und im Vitrininnen (12-17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sind als gering zu bewerten. Gleiches gilt für Ameisensäure (Raumluft: 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), die nur in einer Vitrine („Armreliquiar Hl. Margarethe“) mit 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nachgewiesen werden konnte. In der Vitrine „Bischofsinsignien“ lag die Konzentration unterhalb der analytischen Nachweisgrenze, in der Vitrine „Türzieher“ konnte die Messung nicht durchgeführt werden. Die Konzentration von Essigsäure ist sowohl im Raum als auch in den Vitrinen mit gering bis moderat zu bewerten. Die Werte schwanken hier zwischen 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und 89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die Konzentration an Feinpartikeln ($0,3 \mu\text{m}$ - $20 \mu\text{m}$) war nicht auffällig und liegt im Bereich normaler Hintergrundbelastungen (Abbildung I-8). Gleiches gilt für Konzentration ultrafeiner Partikel (6 nm-523 nm) und deren Spektrum der Partikelgrößenverteilung (Abbildung I-9). Die Konzentrationsspitze der ultrafeinen Partikel am Messtag (Uhrzeit: ca. 14:20h) ist durch die Öffnung der Außentür des Haus am Doms zu erklären. Wenn die Hauptzugangstür im EG, die direkt auf den Domvorplatz führt, geöffnet wird, erhöht sich kurzzeitig die Konzentration an ultrafeinen Partikeln. Der Windstoß verläuft dann durch das Treppenhaus und ist auch noch im hinteren Bereich des Hauses am Dom, 1. OG, in dem sich die Domschatzkammer befindet, geringfügig zu bemerken.

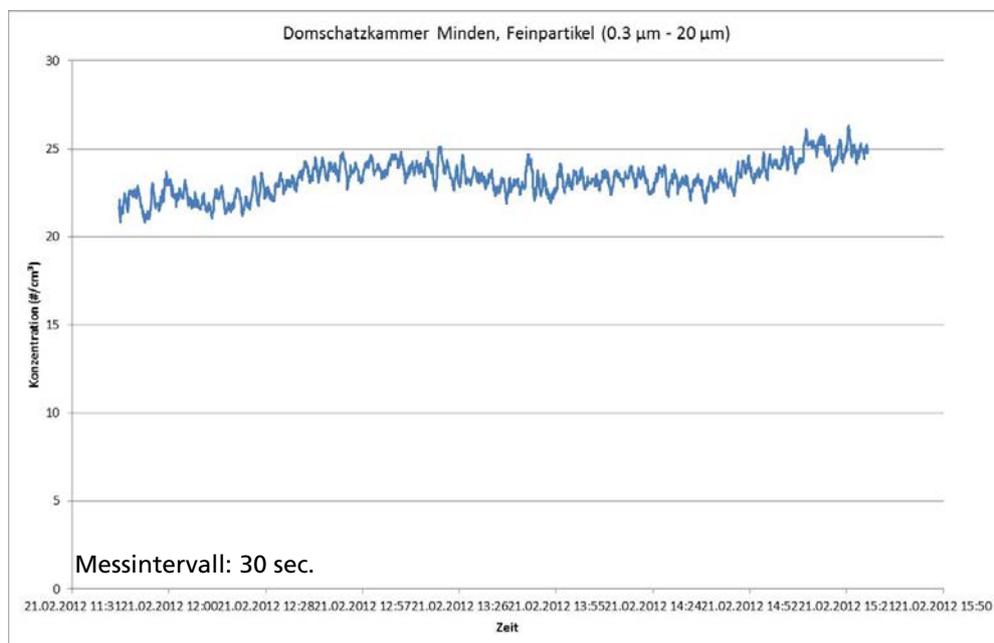


Abbildung I-8. Graphische Darstellung der Konzentration an Feinpartikeln. Messintervall: 30 sec. Domschatzkammer Minden. Februar 2012.

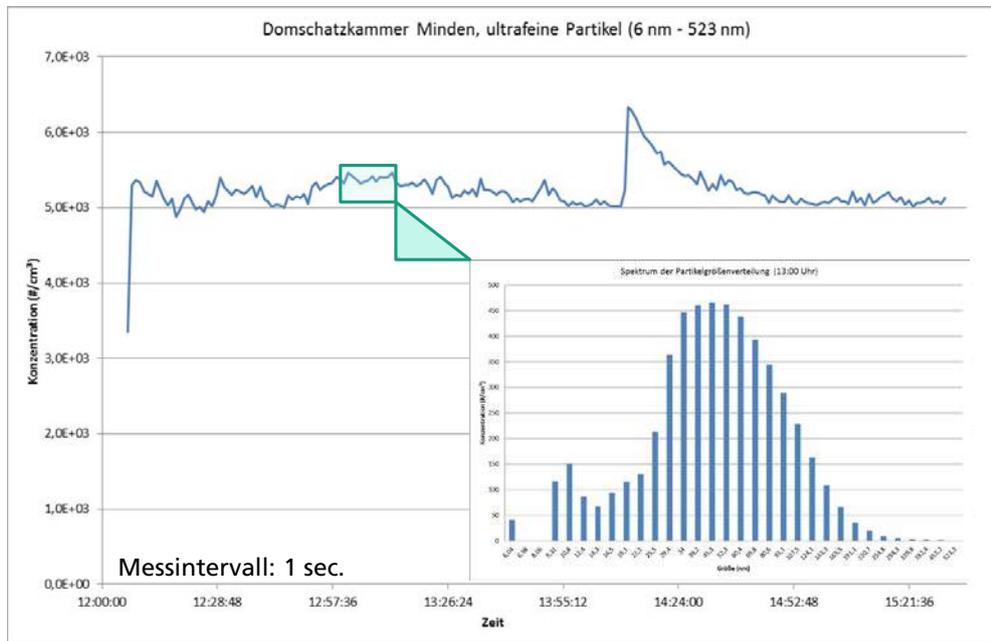


Abbildung I-9. Graphische Darstellung der Konzentration an ultrafeinen Partikeln. Messintervall: 1 sec. Domschatzkammer Minden. Februar 2012.

Nach dem im Februar 2012 erfassten IST-Zustand ist von keinem Gefahrenpotential für die Sammlung auszugehen. Da dennoch Schäden an den Kaseln erkennbar sind, wurden Sensoren für eine kontinuierliche Erfassung von Klima und Beleuchtung installiert.

I.4.2 Kontinuierliche Erfassung von Klima und Beleuchtung

Zur kontinuierlichen Erfassung von Klima und Beleuchtung wurden Datenlogger in der Kaselvitrine und vor dem Mindener Kreuz (Fensterachse) im Zeitraum 05/2012-09/2013 positioniert (Abbildungen I-10 und I-11).

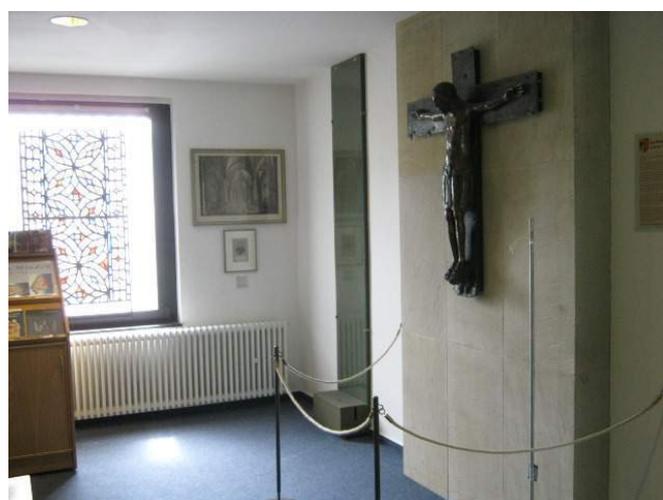


Abbildung I-10 (links), I-11 (rechts). Datenlogger zur kontinuierlichen Erfassung von Klima und Lichtintensität. Domschatzkammer Minden, Messzeitraum: 05/2012-09/2013, Messintervall: 1 min.

Wie Abbildungen I-12 und I-13 (unten) zeigen, schwanken die Temperatur und relative Luftfeuchte im Ausstellungsraum der Domschatzkammer saisonal. Die Temperatur erreicht in den Sommermonaten maximal 25°C, im Winterhalbjahr sinkt sie auf ca. 20°C mit vereinzelt Mindestwerten von 15°C. Die relative Luftfeuchte schwankt im Sommer um 55%, im Winter um 35%. Dieser saisonale Verlauf kann auf die fehlende Isolierung/Dämmung der Gebäudehülle zurückgeführt werden. Das Klima im Gebäudeinneren wird daher von den äußeren Klimabedingungen beeinflusst. Zudem verfügt die Domschatzkammer über keine Vorrichtungen zur künstlichen Klimatisierung, weder zentral noch dezentral. Im Jahresmittel liegen die Werte bei ~20°C und ~47% RH.

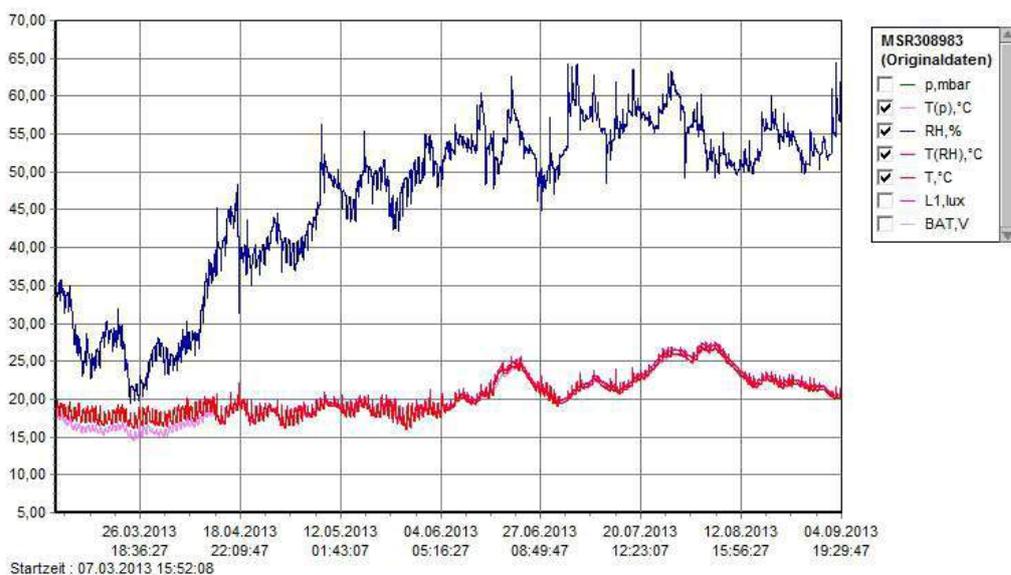
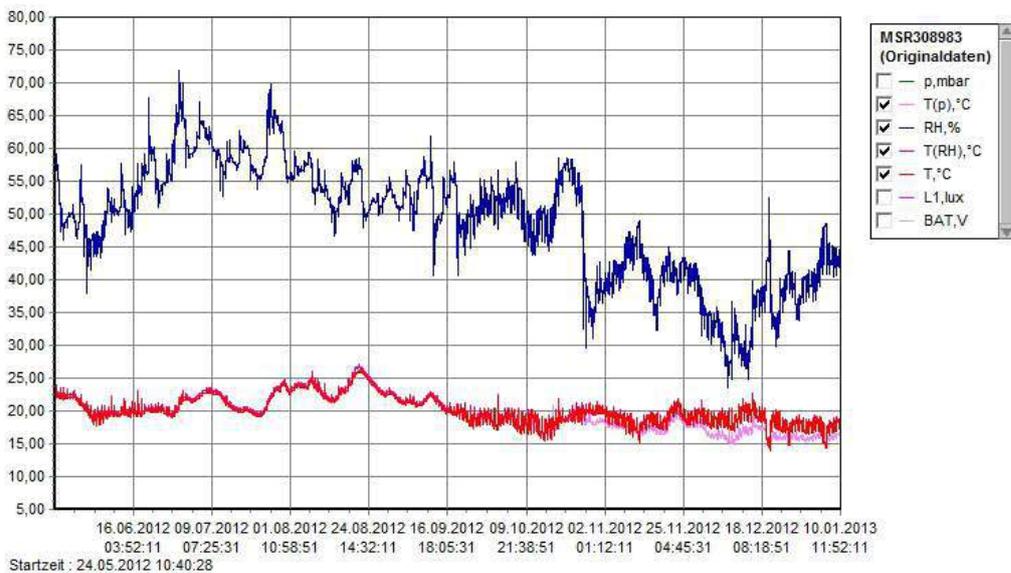


Abbildung I-12 (oben), I-13 (unten). Graphische Darstellung von Temperatur (T) und relativer Luftfeuchte (RH) über die Messzeiträume 05/2012-01/2013 (oben) und 02/2013-09/2013 (unten) im Ausstellungsraum. Messpunkt: Fensterachse, Nähe Mindener Kreuz. Messintervall: 1 min. Domschatzkammer Minden.

Die im Ausstellungsraum in unmittelbarer Nähe zum Fenster gemessenen Werte der Lichtintensität (~30.000 lx bei Sonneneinstrahlung) konnten im Ausstellungsraum nicht bestätigt werden. Hier lag die Lichtintensität bei ~50 lx. Auch in der Kasel-Vitrine bestätigten sich die vermuteten hohen Werte der Lichtintensität nicht (~10-30 lx). Auch in Abhängigkeit von den Jahreszeiten konnten ebenso wie im Raum keine sehr hohen Spitzenwerte erfasst werden, da die schmalen Fenster aufgrund ihrer Größe und Positionierung an weit hinten an den Seitenwänden zu wenig Licht einlassen bzw. dieses nicht auf die Exponate fallen kann (Ausnahme: Kruzifix). Es ist daher zu vermuten, dass die in der Vitrine ursprünglich angebrachten Leuchtstoffröhren für die Lichtschädigung der Textilien verantwortlich sind.

Wie Abbildungen I-14 und I-15 (unten), ist in der Kasel-Vitrine ein ähnlich saisonales Schwanken der klimatischen Bedingungen wie im Ausstellungsraum zu dokumentieren. Auch hier bewegen sie die Werte von Temperatur und relativer Feuchte im Sommerhalbjahr um max. 25°C und 55%, im Winterhalbjahr um 18°C und 35%. Im März ist ein einmaliges Minimum von 25% Luftfeuchte zu verzeichnen. Im Jahresmittel liegen die Werte bei ~20°C und ~48% RH. Auch diese Werte und Schwankungen sind auf eine nicht vorhandene Isolierung des Innenraums zum Außenklima zurückzuführen. Die Vitrinen sind kaum abgedichtet, durch offene Spalte in Verglasung und zwischen Verglasung und Holzrahmen ist ein ungehinderter Luftaustausch zwischen Ausstellungsraum und Vitrineninnenluft möglich. Darüber hinaus stoßen die Vitrinen rückseitig entweder direkt an die unverputzte Außenwand oder an die Innenwand, die den Ausstellungsraum von einem benachbarten Veranstaltungsraum trennt. Auch dieser ist nicht klimatisiert, vor Veranstaltungen (ca. 4mal pro Jahr) wird er aufgeheizt. Das dann entstehende Klima hat durch eine mangelnde Absperrung direkten Einfluss auf die benachbart liegende Domschatzkammer.

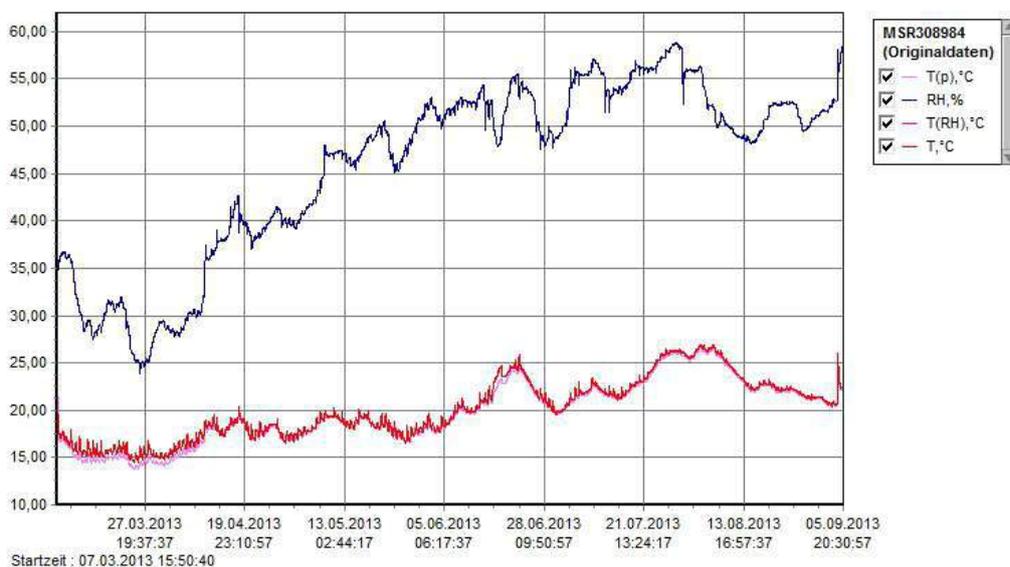


Abbildung I-14. Graphische Darstellung von Temperatur (T) und relativer Luftfeuchte (RH) über den Messzeitraum 05/2012-01/2013 in der Kaselvitrine. Messpunkt: Kaselvitrine, mittig vor den Kaseln. Messintervall: 1 min. Domschatzkammer Minden.

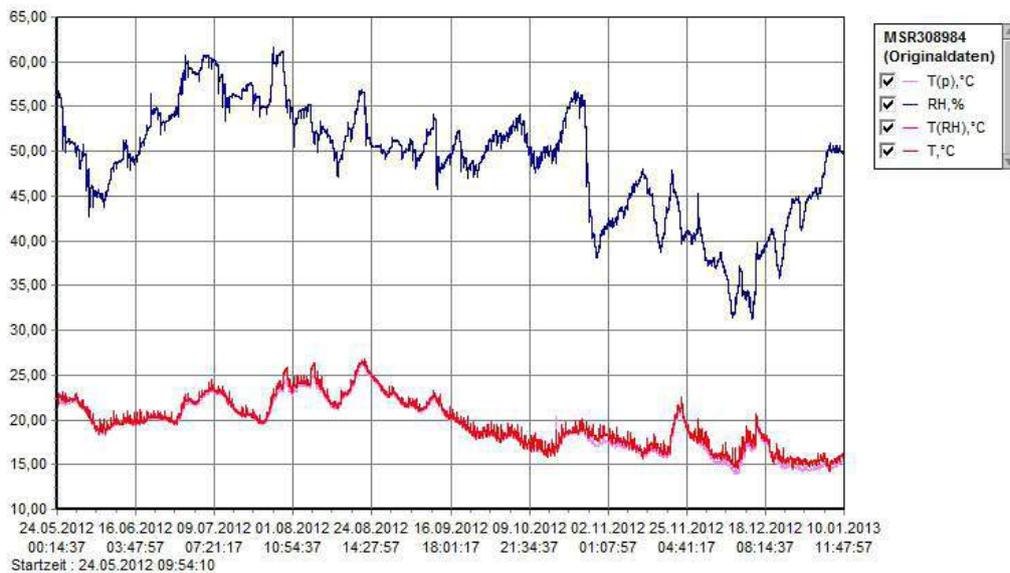


Abbildung I-15. Graphische Darstellung von Temperatur (T) und relativer Luftfeuchte (RH) über die Messzeiträume 02/2013-09/2013 in der Kaselvitrine. Messpunkt: Kaselvitrine, mittig vor den Kaseln. Messintervall: 1 min. Domschatzkammer Minden.

I.4.3 Arbeitspapiere

Als Arbeitsgrundlage für die Überlegungen zu den Umfeldparametern in der zukünftigen Domschatzkammer Minden und damit vor allem als Entscheidungshilfe für die für die Baumaßnahme Verantwortlichen wurden seitens des Fraunhofer WKI Arbeitspapiere für die Themenfelder Klima und Beleuchtung erstellt. Die Papiere wurden auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche erarbeitet und fassten die jeweils wichtigen Hintergrundinformationen der Themenbereiche unter Berücksichtigung des aktuellen Stands der Wissenschaft zusammen.

I.4.4 Konzepte zur Klimatisierung und Ausstellungsgestaltung

I.4.4.1 Klimakzept - Bauphysikalische Simulation

Ein erstes Klimakzept sah zu Projektbeginn den Einbau einer Fußbodenheizung im EG aufgrund des wahrscheinlichen Eintrags von Feuchtigkeit durch die Besucher vor. Als Lüftungskonzept war eine gerichtete Lüftung angedacht, indem Luft von außen dem Gebäude zugeführt und die Abluft wieder nach außen abgeleitet wird. Dies hätte z.B. durch Quellluftauslässe im Boden eine Absaugung im oberen Raumbereich ermöglicht werden können. Durch Installation einer raumluftechnischen (RLT-) Anlage sollten aus konservatorischer Sicht einzuhaltende Klimawerte erreicht werden. Die Regelung wurde auf verhältnismäßig geringe Besucherströme ausgerichtet, die auf Basis der Besucherzahlen in der bisherigen Domschatzkammer kalkuliert wurden. Dies würde zwangsläufig bedeuten, dass ein gleichzeitiger Aufenthalt größerer Besucherzahlen bei konstanten klimatischen Bedingungen nicht möglich wäre.

Im Rahmen der gemeinsam mit dem Fachbeirat stattfindenden Sitzungen des internen Arbeitskreises wurde die Notwendigkeit einer RLT-Anlage stark diskutiert, da sich diese an der zu erwartenden

Besucherzahl orientiert. Die Besucherzahlen in der alten Schatzkammer sind als niedrig zu bewerten, nach Umbau und Neueröffnung würden jedoch deutlich erhöhte Besucherzahlen angestrebt werden. Da dies schwer kalkulierbar ist, wurde als Alternative zu einer RLT-Anlage (hohe Anschaffungs- und Wartungskosten) eine großzügigere Klimatisierung der Gebäudehülle, d.h. ein weiter gefasstes zulässiges Klimaintervall, vorgeschlagen, da die Objekte nahezu ausschließlich in klimatisierten Vitrinen untergebracht werden sollen. Um einen möglichst geringen Anteil an Klimatechnik aufzuwenden, wurde der Einbau von Feuchte adsorbierenden und somit hygroskopischen Materialien vorgeschlagen. Anstelle einer RLT-Anlage wurde das Einbringen einer Lüftungsanlage in das EG für sinnvoll erachtet. Dieses könnte auch als Klimaschleuse genutzt werden. Darüber hinaus seien auch statische Heizflächen im Raum vorstellbar. Zur Belüftung der Ausstellungsräume wurde ein passives Konzept mit gezieltem Einsatz von mobilen Luftbefeuchtern befürwortet.

Aus den genannten Gründen wurde daher seitens des Projektarbeitskreises aufgrund des zu schwer kalkulierbaren Besucherszenarios von einer RLT-Anlage abgeraten. Es wurde dringend empfohlen, vor der endgültigen Entscheidung einer Klimatechnik für den Neubau eine thermische Simulation für das geplante Gebäude durchführen zu lassen, um die Notwendigkeiten einer technischen Klimatisierung abzusehen.

Herr Prof. Huckemann, der bereits viele Museen während energetischer Sanierungsmaßnahmen begleitet hat, konnte Einschätzungen zu bauphysikalischen Aspekten, insbesondere der Frage nach einer technischen Klimatisierung geben. Diese war ursprünglich seitens der Verantwortlichen der Domschatzkammer Minden fest eingeplant, wurde innerhalb des Projektes aber zugunsten einer Bauteiltemperierung verworfen. Prof. Huckemann wird voraussichtlich nach Projektende mit einer bauphysikalischen Berechnung und Simulation der Gebäudehülle und der im Gebäude zu erwartenden klimatischen Parameter (T, RH) seitens der Domschatzkammer Minden beauftragt. Während des Projektes war dies nicht möglich, da aufgrund städtischer Auflagen Änderungen in der Planung der Gebäudehülle und deren Außengestaltung vorgenommen wurden und auch das zu Projektbeginn vorliegende Ausstellungskonzept komplett geändert wurde.

I.4.4.2 Ausstellungskonzept

Mit Projektbeginn lag ein fertig ausgearbeiteter Entwurf für ein Ausstellungskonzept vor. Das nach dem Verfasser Herrn Dr. phil. Jochen Roessle, Toisdorf, sogenannte „Roessle-Konzept“ formulierte als wichtigstes Ziel der zukünftigen Ausstellungsgestaltung *„[...] einen anregenden abwechslungsreichen und informativen Museumsbesuch für möglichst viele unterschiedlich interessierte Menschen zu ermöglichen. Dabei wird angestrebt, durch gezielte Sonderveranstaltungen auch neue Besuchergruppen für das Museum zu erschließen. Inhaltlich soll der teils überragende Kunstwert der Sammlung ebenso anschaulich gemacht werden wie der theologische Hintergrund und der liturgische Gebrauch der Objekte.“* (Roessle, 2006). Dabei sollte vor allem die Geschichte des Bistums anhand der kulturhistorisch wertvollen Objekte der Schatzkammer vermittelt werden. Das Konzept umfasste auch erste Kostenschätzungen für den Umzug und die Zwischenlagerung der Objekte, für den Um- und Ausbau der Räumlichkeiten sowie für Restaurierungsarbeiten und Unterhaltskosten. Mit der Entwicklung eines Konzeptes zur Gestaltung der Ausstellungsräume und der Vitrinen wurde Frau Ingrid Bussenius, Köln, beauftragt, die bereits die Kölner Domschatzkammer gestaltet hat.

Das noch auf den alten Baukörper zugeschnittene „Roessle-Konzept“ (inkl. Ausstellungskonzept von Frau Bussenius) wurde von einem Mitarbeiter der Domschatzkammer Minden auf die neue Gebäudehülle und die veränderte Raumsituation angepasst. Demzufolge war geplant, insgesamt 150 Exponate (Reliquiare, Paramente, gefasste Holzskulpturen, Steinskulpturen und liturgische Geräte) in 11 Abteilungen zu präsentieren. Die Abteilungen und Exponate sollten sich dem Besucher durch einen Rundgang erschließen. Im Erdgeschoss sollte eine lebensgroße Bischofsfigur in einer Einzelvitrine die Besucher begrüßen. Im 1. OG sollten sich die Abteilungen 2-9 befinden, die durch 16 Wandtafeln pädagogisch erarbeitet werden sollten. Die vorgesehene Ruhezone sollte später möglicherweise für Sonderausstellungen genutzt werden. Die beiden letzten Abteilungen 10 und 11 waren für das 2. OG vorgesehen. Gemäß des Konzeptes sollten die Objekte in 44 Vitrinen mit insgesamt 4 verschiedenen, an die spezifischen Kunstgegenstände angepassten Mikroklimata ausgestellt werden.

Das sogenannte „Roessle-Konzept“ wurde in den Sitzungen des internen Arbeitskreises vorgestellt und diskutiert. Aufgrund der kunsthistorisch herausragenden Sammlung, unter denen sich beispielsweise mit dem Mindener Kreuz und den Armreliquaren auch Stücke mit Alleinstellungsmerkmalen für diese Epoche befinden, wurde eine Änderung des Ausstellungskonzeptes angeregt. Auf Vermittlung des Fachbeiratsmitglieds Herrn Dipl.-Ing. Michael John konnte Herr Prof. Dr. Dirk Syndram, Direktor und stellvertretender Generaldirektor der Rüstkammer der Staatlichen Kunstsammlungen Dresden, für eine Besichtigung und Einschätzung der Wertigkeiten des Mindener Domschatzes gewonnen werden. Im Nachgang zu diesem durchweg positiven Besuch im April 2013 wurde seitens der Verantwortlichen der Domschatzkammer Minden entschieden, die Ausstellungskonzeption grundlegend zu ändern und das von Herrn Prof. Dr. Syndram vorgeschlagene Konzept mit der Orientierung auf die hochwertigsten Objekte (ca. 11 Exponate) umzusetzen. Ein neues Konzept wurde von Frau Miersch-Süß, freie Architektin, Dresden, erarbeitet. Die endgültigen Planungen dauerten über die Projektlaufzeit an.

I.4.5 Musterrestaurierung des Armreliquars der Heiligen Margarethe

Ebenfalls im ersten Arbeitsabschnitt des Teilprojektes wurde das Armreliquiar der Heiligen Margarethe einer Musterrestaurierung unterzogen. Die Auftragsvergabe an einen Goldschmiedebetrieb wurde im internen Arbeitskreis abgelehnt und für die Vergabe an qualifizierte Restauratoren mit akademischem Abschluss plädiert. Die Vergabe erfolgte daraufhin an die Restauratorinnen-Partnerschaft Beier, Freund und Kühler aus Köln. Die Restaurierung wurde von Frau Dipl.-Rest. (FH) Anke Freund vorgenommen. Die Dokumentation der Musterrestaurierung befindet sich in Anhang II.

I.4.6 Begutachtung und Inventarisierung der Paramente der Stiftung Dr. Nordhues

Ebenfalls im Rahmen des ersten Arbeitsabschnitts des Teilprojektes wurden die Paramente der Stiftung Dr. Nordhues konservatorisch begutachtet und einer Kosteneinschätzung für eine spätere Restaurierung unterzogen. Die derzeit in der Domschatzkammer Minden ausgestellten Paramente gelten als lichtgeschädigt. Die gesamte Sammlung soll nach einer Restaurierung ausgestellt und somit der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Die Zustandserfassung befindet sich ebenfalls in Anhang II.

I.5 Ergebnisse Arbeitsabschnitt II: (teilweise) praktische Umsetzung der präventiven Anforderungen (Raum/Vitrine)

Auf Einladung von Herrn Dipl.-Ing. Michael John hatten die Projektpartner die Gelegenheit, die Staatlichen Kunstsammlungen Dresden an einem Schließtag und somit ohne Besucherverkehr zu besichtigen. Der Termin diente primär dazu, den Mindener Partnern die Funktionsweise eines Museumsbetriebes und die notwendigen präventiven Aspekte, die bei der Ausstellungsgestaltung und Vitrinenplanung zwingend zu berücksichtigen sind, zu veranschaulichen.



Abbildung I-16. Die Partner des DBU-Verbundprojektes zu Gast in den Staatlichen Kunstsammlungen Dresden, Historisches Grünes Gewölbe, auf Einladung von Dipl.-Ing. Michael John (rechts). Juli 2012 (Foto: A. Weigelt).

I.5.1 Vorbereitungen Musterraum

Im Idealfall ist ein Musterraum in dem ursprünglichen Umfeld anzusiedeln (derzeitiger und späterer Ausstellungsraum), so dass die äußeren Bedingungen (Gebäudehülle, Baukörper, Innenraumklima) bereits dem späteren Zustand entsprechen. Da während der Projektlaufzeit der konkrete Baubeginn an der Domschatzkammer Minden noch nicht kalkulierbar war, u.a. aufgrund der durch das Projekt vorgenommenen Änderungen von Gebäudearchitektur und Ausstellungsgestaltung, und erst nach Ende des Forschungsvorhaben zum Abschluss kommen wird, war dies nicht realisierbar. Die Vitrinen hätten während der Baumaßnahme umgesetzt werden müssten. Auch ein in der jetzigen Domschatzkammer eingerichteter Musterraum hätte nicht bestehen bleiben können. Ein anderer Raum im Haus am Dom und in dessen unmittelbarer Nähe war nicht verfügbar. Es wurde daher entschieden, die im späteren Ausstellungsraum herrschenden Bedingungen in einem von den Baumaßnahmen unbeeinflussten Musterraum nachzustellen. Hierfür wurde der sogenannte „Meditationsraum“ ausgewählt.

I.5.2 Musterraum: „Meditationsraum“, Dom Minden

Der 32 m² große Raum befindet sich im nordöstlichen Anbau des Mindener Domes im 1. OG (Abbildungen I-9 und I-10). Der Boden besteht aus Eichenparkett. Von den insgesamt drei Fenstern zeigen zwei schmale Fenster (Buntglasscheiben) nach Norden, eines zur Ostseite. Das Mauerwerk besteht aus Bruchstein und ist ca. 60-70 cm dick. Die Temperierung des Raumes erfolgt über eine Fußbodenheizung. Aufgrund der ursprünglichen Nutzung des Raumes ist kein weiteres Mobiliar vorhanden. Um den Raum an die geplante, spätere Ausstellungssituation anzupassen, waren einige Umbaumaßnahmen notwendig.

- Verschattung der Fenster und Sicherung gegen Einbruch durch verzinkte Lochbleche
- Sicherung der Tür gegen Einbruch
- Klärung der Zugangsregelungen zum Raum bei Nutzung als Musterraum
- Überprüfung der Raumluftqualität durch das Fraunhofer WKI
- Positionieren eines Datenloggers zwecks Aufzeichnen von Temperatur und relativer Luftfeuchte
- Einbringen der Objekte (Kasel, Margarethenarm) in die Mustervitrinen und Monitoring der Exponate durch die Restauratorinnen-Partnerschaft Beier-Freund-Kühler, Köln

Gestalterische Aspekte im Sinn der präventiven Konservierung hinsichtlich der späteren Ausstellungssituation können durchgespielt werden, auch wenn eine direkte Übertragung nur eingeschränkt möglich ist:

- Erproben verschiedener Verschattungsmöglichkeiten für die Fenster
- Erproben verschiedener Beleuchtungsarten für die Exponate
- Klimatisierung des Raumes durch die Fußbodenheizung und unterstützend durch Luftbe-/entfeuchter



Abbildungen I-17 (links) und I-18 (rechts). Der sog. „Meditationsraum“ im Westriegel des Mindener Doms. Ansicht nach Süden (links) und nach Norden (rechts).

I.5.3 Mustervitrinen

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden zwei Mustervitrinen zur Aufbewahrung des konservierten und restaurierten Reliquienarms der Hl. Margarethe und der Kaseln angeschafft (Abbildungen I-11 und I-12). Die Mustervitrinen wurden in einer vergleichbaren Positionierung zu jener im späteren Ausstellungsraum aufgestellt und ausgerichtet (Wandnähe, Zugänglichkeit, Beleuchtungswinkel). Beide Vitrinen wurden mit einer Klimaschublade zur passiven Klimatisierung ausgestattet, der Anschluss eines Klimamoduls ist bauseits vorbereitet und möglich.

Für die Ausstattung des Musterraums und den Ankauf sowie die Aufstellung der Mustervitrinen wurde im Projekt ein Informationspapier für die Mindener Projektpartner erstellt, das wesentliche Aspekte und Überlegungen zusammenfasst und bereits die Auslagerung der Objekte während der Bauphase berücksichtigt. Darüber hinaus wurden Polstermaterialien für die für die Kaseln eigens anzufertigende Figurine durch das Fraunhofer WKI auf Emissionen geprüft, so dass seitens der Restauratorinnen das emissionsärmste Material ausgewählt werden konnte.



Abbildungen I-19 (links) und I-20 (rechts). Mustervitrinen im sog. „Meditationsraum“ im Westriegel des Mindener Doms. Vitrine für Kasel (links) und Armreliquiar der Hl. Margarethe (rechts). Auf den Podesten in den Vitrinen sind bereits die Dosimeter für das Monitoring zu sehen, die jeweils im linken Bildrand zu sehenden Schläuche dienen zur Luftprobenahme.

I.6 Ergebnisse Arbeitsabschnitt III: Langzeitbeobachtung/Monitoring

Die Mustervitrinen wurden im Dezember 2013 von der seitens Minden beauftragten Fa. Reier, Lauta, angeliefert und aufgrund des engen Zugangs (Treppenhaus) zum Musterraum vor Ort endmontiert.

Nach Fertigstellung der Vitrinen erfolgte eine erste Luftanalytik der Mustervitrinen (inkl. Musterraum) vor Bestückung mit den Exponaten (analytische Details siehe Anhang I). Die Bestückung der Vitrinen wurde von Frau Dipl.-Rest. (FH) Freund und Frau Dipl.-Rest. (FH) Beier vorgenommen. Zu diesem Zeitpunkt

wurden die Vitrinen auch mit sogenannten Korrosionsdosimetern ausgestattet. Diese reagieren sensibel gegenüber Umfeldfaktoren, insbesondere klimatische Schwankungen und Luftfremdstoffen, und sollen daher das Gefährdungspotential der Umgebungseinflüsse auf Sammlungsgut abbilden. Folgende Korrosionsdosimeter wurden ausgewählt:

Metallcoupons

Zur Einschätzung der korrosiven Gesamtbelastung der Innenraumluft wurden Metallstreifen in unmittelbarer Umgebung der Exponate aufgestellt. Sichtbare Veränderungen des Oberflächenglanzes bzw. auf der Oberfläche angelagerte Korrosionsprodukte sollen einen indirekten Hinweis auf mögliche Schadensprozesse geben. Die Zeitspanne bis zum Auftreten einer sichtbaren Veränderung dient als Indikator. Die Auswertung erfolgt rein makroskopisch durch Vergleich mit Metallcoupons, die in einer unbelasteten Atmosphäre aufbewahrt wurden (Schieweck and Salthammer, 2014).

Aufgrund der bekannten Empfindlichkeit gegenüber spezifischen Luftfremdstoffen wurden jeweils Streifen aus Blei (Pb), Kupfer (Cu) und Silber (Ag) (Größe: 1*5 cm) auf Stahlhalterungen in den Vitrinen und im Musterraum für 90 Tage positioniert.

Glassensoren des Fraunhofer-Instituts für Silicatiforschung ISC, Würzburg

Als weiterer Dosimeter wurden neben den Metallcoupons auch Glassensoren des Fraunhofer ISC über einen Zeitraum von 90 Tagen aufgestellt. Der Dosimeter besteht aus einem speziell präparierten Kalk-Kalisilicatglas, das in einen stabilen Diarahmen eingesetzt ist. Das Glas reagiert aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung sehr empfindlich auf äußere Einflüsse, wie klimatische Schwankungen, Kondensationsfeuchte, Schadgase und Wärmeeinstrahlung. Die durch diese Parameter hervorgerufene Oberflächenkorrosion des Modellglases werden laboratorisch mittels IR-Spektroskopie ausgewertet und das Korrosionspotential der Ausstellungssituation bewertet (Schieweck and Salthammer, 2014). Nähere Informationen zur Analytik und zum Bewertungsschema sind dem im Anhang III befindlichen Untersuchungsbericht zu entnehmen.

Visuelle Bewertung

Neben der messtechnischen Erfassung erfolgte auch eine visuelle Bewertung des Armreliquiars der Hl. Margarethe. Aufgrund der stark reflektierenden Metallaufgaben des Objektes erschien eine makroskopische Beurteilung möglicher Veränderungen am sinnvollsten. Die Bewertung wurde seitens Frau Dipl.-Rest. (FH) Freund, Köln, vorgenommen, die bereits zuvor mit der Konservierung und Restaurierung des Reliquiars beauftragt worden war und daher eine fundierte Einschätzung des Reliquiars gewährleisten konnte.

Alter Aufbewahrungsort Armreliquiar der Hl. Margarethe, Domschatzkammer Minden

Wie der Restaurierungsdokumentation (Anhang II) zu entnehmen ist, zeigten die Metallaufgaben des Armreliquiars vor der Konservierung und Restaurierung Korrosionserscheinungen. Der alte Standort des Objektes in der Domschatzkammer Minden wurde daher in das Monitoring einbezogen, um einen Vergleich mit der neuen Aufbewahrungssituation im Musterraum herstellen zu können.

I.6.1 Ablauf des Monitorings

Das Monitoring wurde in zwei Phasen unterteilt. Erste Messungen (Januar 2014; Monitoring-Phase I) erfolgten mit Lieferung der Vitrinen zur Überprüfung der Luftqualität in den Vitrineninnenräumen. Nach

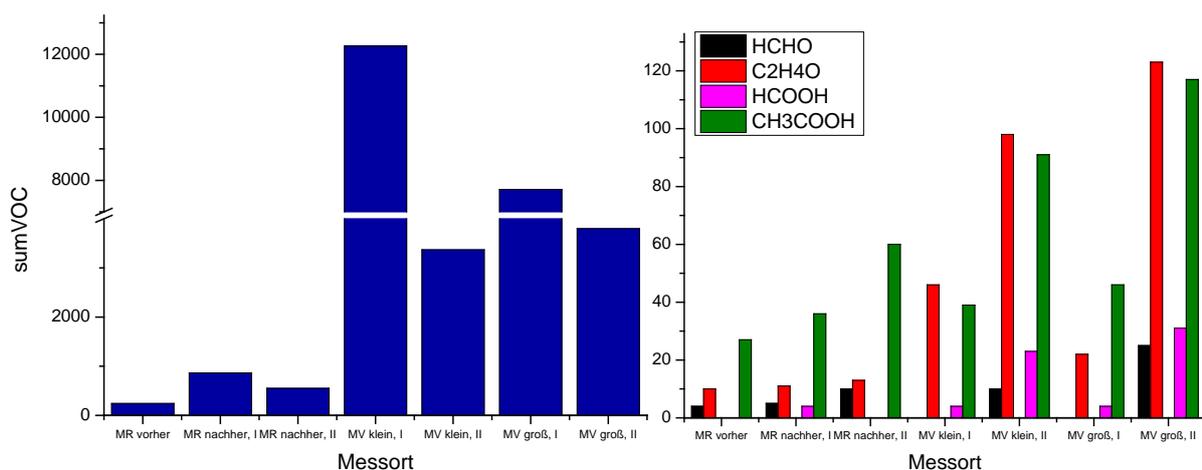
einer Lüftungsperiode zur Minderung der Konzentrationen luftgetragener Verbindungen (siehe unten) wurde das Monitoring mit Stationieren der Korrosionsdosimeter und erneuter Luftanalytik im März 2014 gestartet (Monitoring-Phase II) und im Juni 2014 beendet.

Der Margarethenarm wurde nach der Restaurierung im November 2012 an den Domschatz Minden ausgeliefert und bis Februar 2014 und damit bis zum Beginn des Monitorings an seinem ursprünglichen Aufstellungsort in der Domschatzkammer Minden präsentiert. Er wurde zuvor und nach der Verbringung in die Mustervitrine einer visuellen Betrachtung unterzogen, zuletzt im Juni 2014 zum Ende des Monitorings.

I.6.1.1 Ergebnisse Luftanalytik

Die Messergebnisse im sog. „Meditationsraum“ waren unauffällig und sprachen nicht gegen die zukünftige Nutzung als Musterraum. Der Summenwert flüchtiger organischer Verbindungen (sumVOC) lag unter $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es konnten klassische Lösemittelverbindungen in geringen bzw. moderaten Konzentrationen nachgewiesen werden. Die im musealen Umfeld aufgrund bekannter Schadensmechanismen als korrosiv geltende Substanzen Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure konnten in geringen bzw. in Spurenkonzentrationen detektiert werden.

Wie Abbildung I-21 veranschaulicht, lagen nach der Umnutzung des Raumes und Aufstellen der Mustervitrinen die Konzentrationen ca. 3,5mal so hoch wie zuvor. Dies ist eindeutig auf den Aufbau und die Endmontage der Vitrinen zurückzuführen, durch die primär Emissionen der Dichtstoffe (verschiedene Siloxanverbindungen) in die Raumluft eingetragen wurden. Die Konzentrationen leichtflüchtiger Aldehyde und der organischen Säuren Ameisen- und Essigsäure lagen über den gesamten Zeitraum des Monitorings weiterhin in sehr niedrigen Bereichen, auch wenn sich die Essigsäure-Konzentration in der zweiten Monitoring-Phase (Frühjahr 2014) erhöht hatte (Vergleich Abbildung I-22).

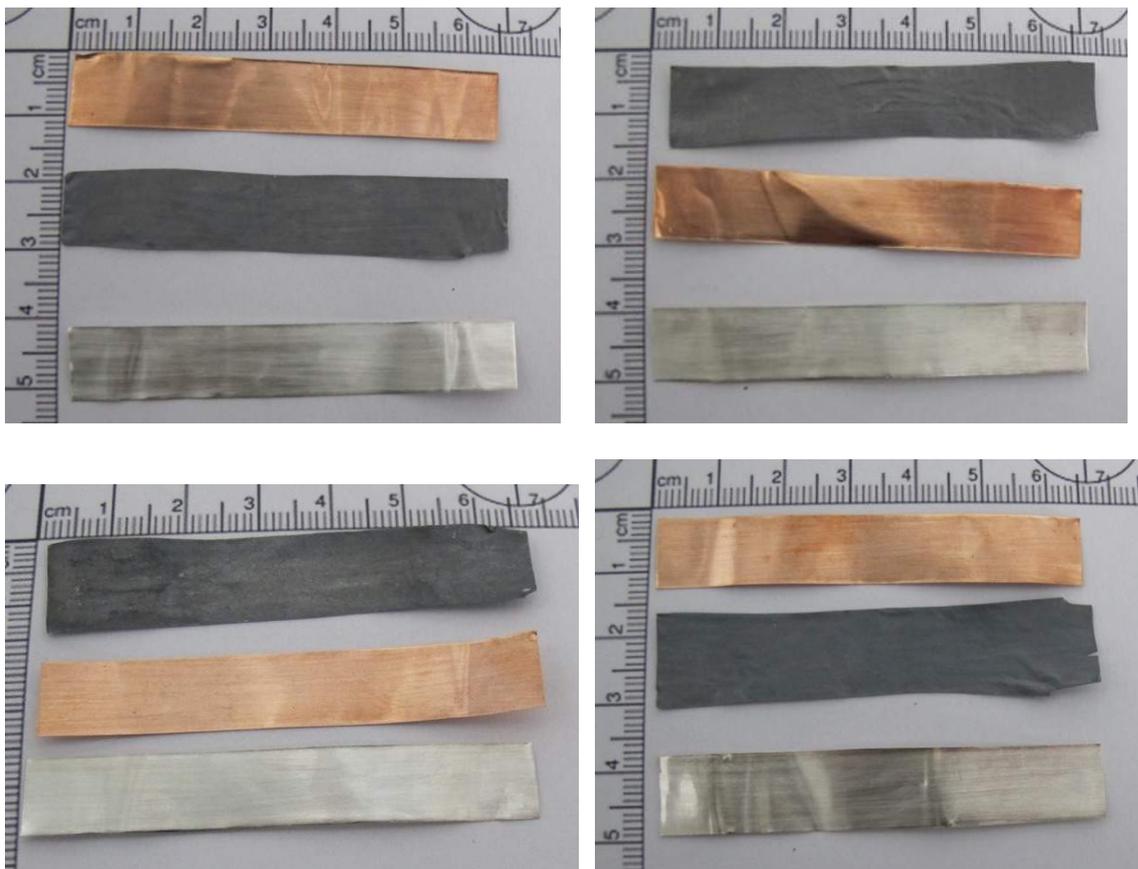


Abbildungen I-21 (links) und I-22 (rechts). Messergebnisse des Musterraums (MR) vor und nach der Einrichtung sowie der Mustervitrinen (MV) klein und groß für beide Monitoring-Phasen (I und II). Abbildung I-13 zeigt die Summenwerte flüchtiger organischer Verbindungen (sumVOC), Abbildung I-14 die gemessenen Konzentrationen von Formaldehyd (HCHO), Acetaldehyd (C₂H₄O), Ameisensäure (HCOOH) und Essigsäure (CH₃COOH).

Die Konzentration an Luftfremdstoffen in den Mustervitrinen war nach der Endmontage erwartungsgemäß mit sumVOC [Mustervitrine (MV) klein] $\sim 12200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und sumVOC [Mustervitrine (MV) groß] $\sim 7700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sehr hoch. Das Ergebnis war auf klassische, aus Farbbeschichtungen (Lackierungen) und Dichtmassen resultierenden Emissionen zurückzuführen (Schieweck, 2011; Schieweck and Salthammer, 2009). Die Vitrinen und der Raum wurden daher für mehrere Wochen vor der Bestückung gelüftet. Die erneuten Messungen (Monitoring-Phase II, Frühjahr 2014) ergaben zwar niedrigere sumVOC-Werte, allerdings stiegen die Konzentrationen von Acetaldehyd, Ameisen- und Essigsäure leicht an. Es wurde daher die Empfehlung ausgesprochen, die Konzentrationen durch Lüften und vor allem durch das Einbringen von Adsorbentien (Aktivkohle) weiter zu minimieren.

I.6.1.2 Ergebnisse Metallcoupons

Die der Raumluft und jeweiligen der Vitrinenluft exponierten Metallcoupons zeigten keine Veränderungen, siehe Abbildungen I-23 bis I-26.



Abbildungen I-23 bis I-26. Metallcoupons nach Exposition (23, oben links) in der kleinen Mustervitrine, (24, oben rechts) in der großen Mustervitrine, (25, unten links) im Musterraum und (26, unten rechts) in der alten Vitrine in der Domschatzkammer. Alle Coupons ohne korrosive Oberflächenveränderungen.

I.6.1.3 Ergebnisse Glassensoren

Der Untersuchungsbericht des Fraunhofer ISC befindet sich in Anhang III. Wie aus der dem Bericht entnommenen Abbildung I-27 zu entnehmen ist, wird aufgrund geringer Extinktionswerte (ΔE), die aus der Analyse mittels IR-Spektroskopie resultieren und als Bewertung für die Korrosivität dienen, die Umgebungsluft im Musterraum und den beiden Mustervitrinen als annähernd unbedenklich bewertet. Der in der alten, bislang als Aufbewahrungsort für den Reliquienarm der Hl. Margarethe dienende Vitrine in der bisherigen Domschatzkammer positionierte Sensor zeigte allerdings deutliche Korrosionserscheinungen und lässt auf eine leicht erhöhte Klima- bzw. Schadstoffbelastung schließen.

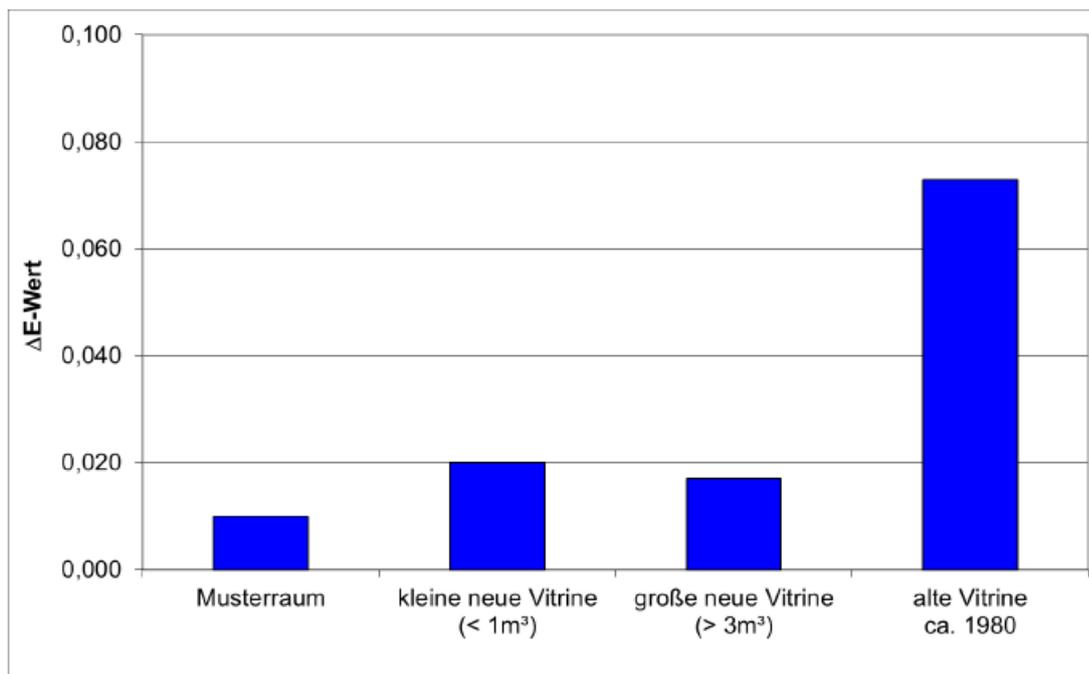


Abbildung I-27. Auswertung der Glassensoren anhand von Extinktionsdifferenzen (ΔE -Werte). Musterraum und Mustervitrinen können als fast unbedenklich bewertet werden, während der erhöhte Messwert in der Vitrine der Domschatzkammer auf eine erhöhte Korrosivität der Umgebungsluft hindeutet. Vergleich Untersuchungsbericht, Anhang III (©Fraunhofer ISC, Bronnbach).

Die Ergebnisse der Luftanalytik haben, wie oben dargelegt, hohe VOC-Konzentrationen sowie leicht erhöhte Werte an Essigsäure in den Vitrinen ergeben. Die Luftbelastung in der alten Vitrine in der bisherigen Domschatzkammer zeigte eine deutlich geringere Belastung mit VOCs im Vergleich zu den neuen Vitrinen, die Essigsäure-Konzentration lag in einem vergleichbaren Bereich.

Dies steht auf dem ersten Blick in einem gewissen Widerspruch zueinander. Der Glassensor reagiert auf Schwankungen in Temperatur und Feuchtigkeit sowie auf direkte Einwirkung von Feuchte oder Wärme. Darüber hinaus können sich auch aufgrund saurer Schadgase oder oxidierender Luftbestandteile Korrosionsschichten auf dem Glas bilden. Flüchtige organische Verbindungen (VOC), die heutzutage die größte Gruppe an Fremdstoffen in der (Innen-)Raumlufte aufgrund des Eintrags durch Bauprodukte bilden, werden nicht abgebildet, konnten aber in hohen Konzentrationen nachgewiesen werden. Dies erklärt zu einem Teil die abweichenden Interpretationen der unterschiedlichen Messergebnisse. Darüber hinaus ist

zu berücksichtigen, dass im Rahmen der Messkampagnen des Forschungsvorhabens, die in der Domschatzkammer durchgeführt wurden, keine oxidierenden Gase erfasst wurden. Hierzu zählen unter anderem Ozon (O_3) und Stickoxide (NO_x). Diese könnten möglicherweise für das schlechtere Ergebnis der Glassensoren im Vergleich zu denen der Mustervitrinen verantwortlich sein.

I.6.1.4 Ergebnisse visuelle Auswertung

Nach Konservierung/Restaurierung, November 2012

Abbildung I-28a-d zeigt das Armreliquiar in vier Teilansichten nach Abschluss der konservatorisch-restauratorischen Arbeiten im November 2012 vor Auslieferung in die Domschatzkammer Minden. Bei der Konservierung/Restaurierung wurden u.a. die Korrosionsschichten der Silberummantelung entfernt, bei denen es sich nach makroskopischer Beurteilung um Silbersulfid-Schichten (Ag_2S) gehandelt haben könnte. Die schwarzbraunen und gelblichen Schichten werden umgangssprachlich als „Anlaufen“ des Silbers bezeichnet.



Abbildung I-28a-d. Vier Hauptansichten des Armreliquars der Hl. Margarethe nach Konservierung/Restaurierung. (a) linke Seite, (b) rechte Seite, (c) Rückseite, (d) Vorderseite. November 2012 (Fotos: Anke Freund, Köln).

Standort: linke Wandvitrine, Domschatzkammer Minden, Februar 2014 (Beginn des Monitorings)

Auch wenn aufgrund der starken Reflexion der Metallbeschläge reproduzierbare Fotoaufnahmen von Metallobjekten schwer anzufertigen sind, so ist bereits anhand der Aufnahmen zu erkennen, dass das Reliquiar im Bereich des Unterarms und der Finger gelblich-bräunliche Verfärbungen der Silberoberfläche aufweist (siehe Abbildungen I-29a-d).



Abbildung I-29a-d. Vier Hauptansichten des Armreliquars der Hl. Margarethe nach Aufbewahrung am alten Standort in der Domschatzkammer (November 2012-Februar 2014). (a) linke Seite, (b) rechte Seite, (c) Rückseite, (d) Vorderseite. Februar 2014 (Fotos: Anke Freund, Köln).

Ende des Monitorings, Juni 2014

In der Zeit des Monitorings und damit von Februar 2014 bis zum Ende im Juni 2014 konnten rein visuell keine weiteren Veränderungen an der Oberfläche des Armreliquars wahrgenommen werden. Auf der Abbildung I-30a-d ist das Reliquiar in der kleinen Mustervitrine zum Ende des Monitorings zu sehen, aufgrund der geänderten Aufstellung in einer deutlich anderen Beleuchtungssituation, die keinen Vergleich rein anhand der Fotografien erlaubt.



Abbildung I-30a-d. Vier Hauptansichten des Armreliquars der Hl. Margarethe am Ende der Monitoringphase am neuen Standort in der Mustervitrine, Musterraum. (a) linke Seite, (b) rechte Seite, (c) Rückseite, (d) Vorderseite. Juni 2014 (Fotos: Anke Freund, Köln).

Die Ergebnisse der visuellen Bewertung stehen im Einklang mit den Ergebnissen der anderen Untersuchungsmethoden. Auch anhand der Metallstreifen konnten keine Veränderungen in der neuen

Umgebungssituation im Musterraum sowie in den Mustervitrinen festgestellt werden. Die Ergebnisse der Luftanalytik haben zwar hohe VOC-Werte ergeben, allerdings geringe Konzentrationen an bekanntermaßen korrosiven Verbindungen wie Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure. Auch die Glassensoren zeigten ein geringes korrosives Potential der Umgebungsluft in Musterraum und Mustervitrinen an.

Im Gegensatz dazu ist das korrosive Potential in der bisherigen Domschatzkammer am ursprünglichen Aufbewahrungsort des Reliquiars, einer Wandvitrine aus der Zeit der Erbauung des Haus am Dom (~1980), als deutlich höher einzuschätzen. Dieses Ergebnis wird von der visuellen Beurteilung des Silberbeschlags bestätigt. Während der Zeit, in der das Reliquiar nach der Restaurierung wieder am alten Standort in der Domschatzkammer aufbewahrt wurde, haben sich deutlich sichtbare neue Korrosionsschichten auf der Oberfläche des Silbers ausgebildet. Mit Verbringen in die Mustervitrine konnte kein Fortschreiten dieser Veränderung festgestellt werden.

Somit ist die neue Aufbewahrungssituation im Musterraum mit Mustervitrinen, die auf Basis der im Projekt erlangten und vermittelten Kenntnisse umgebaut bzw. angekauft wurden, aus präventiver Sicht deutlich besser als die alte Präsentationsform geeignet, um sensibles Sammlungsgut vor einer (weiteren) Schädigung zu bewahren.

1.6.2 Notwendige Nachbesserungen im Musterraum und in den Mustervitrinen

Auf Grundlage einer gemeinsamen Begehung des Musterraums mit dem Fachbeirat und auf Basis der Messergebnisse wurden folgende Maßnahmen zur Nachbesserung empfohlen:

- **Sicherungstechnik**

Ausstattung des Raums mit einer Brand- und Einbruchsmeldeanlage (Bewegungsmelder mit Türüberwachung), um die bereits im Raum befindliche Kunst zu sichern. Es sollte keine materielle Abwägung hinsichtlich des Sicherungskonzeptes vorgenommen werden.

- **Nachbesserung Mustervitrinen**

In Rücksprache mit dem Vitrinenhersteller soll der Verschlussmechanismus überarbeitet werden, da das Ent- und Verriegeln erhebliche Erschütterungen im Präsentationsbereich der Vitrinen verursacht. Auch ist für den späteren Ankauf der Ausstellungsvitrinen zu klären, ob die Scheiben mit einem besseren UV-Schutz ausgerüstet werden können. Darüber hinaus soll die Luftfeuchte nicht im Sockelbereich der Vitrine, in dem die Technik und das Silikagel untergebracht sind, gemessen werden, sondern auf mittlerer Höhe im Ausstellungsbereich. Angesichts des schmalen Schlitzes um die Bodenplatte herum ist fraglich, ob eine komplette Luftdurchmischung bzw. einheitliche Klimatisierung des gesamten Luftvolumens erreicht werden kann. Dies soll durch erste Vergleichsmessungen der Luftfeuchte im Sockel- und im Ausstellungsbereich erfolgen und kann später durch bildgebende Verfahren (z.B. IR-Thermographie) genau untersucht werden.

Angesichts der großen Scheiben bei der großen Mustervitrine empfiehlt Herr John, über einen Öffnungsmechanismus an der Schmalseite nachzudenken. Die Bestückung der Vitrine könnte dann bei einem auf Rollen gelagerten, ausziehbaren Bodenblech sehr einfach erfolgen. Dies wäre aus Gründen der Sicherheit und Handhabbarkeit einer Flügeltür an der Breitseite, wie momentan umgesetzt, vorzuziehen.

- **Materialauswahl Mustervitrinen**

Die Vitrinen weisen hohe Werte an flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) auf, die bei neu hergestellten Vitrinen durchaus auftreten können. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die Lackierung und die Silikondichtmasse die Hauptemissionsquellen sind. Es soll bei dem Vitrinenhersteller nachgefragt werden, welche Lackierung eingesetzt wurde und ob diese bauteilabhängig variiert. Ggf. sollte auch über eine andere Dichtmasse nachgedacht werden, dies ist allerdings seitens des Herstellers aufgrund technisch-ästhetischer Anforderungen nicht immer möglich (u.a. Klebung/Dichtung soll nicht sichtbar sein, ausreichende Scher- und Zugfestigkeit muss gegeben sein). Die Materialauswahl sollte im Rahmen der Vitrinenplanung nochmals überdacht werden. Die Werte von Formaldehyd und Ameisen- sowie Essigsäure sind dagegen sehr niedrig. Der Umstand, dass die große Mustervitrine aufgrund der Scheibengrößen vor Ort aufgebaut werden musste, wird zu den hohen Konzentrationen beigetragen haben. Es wird empfohlen, den Musterraum gründlich zu lüften. Dadurch, dass die Zeit zwischen Vitrinenaufbau und Bestückung zum Lüften genutzt wurde, wurden die Emissionen in den Musterraum hineingelüftet, so dass auch dieser erhöhte Hintergrundkonzentrationen aufweist. Auch ist eine geruchliche Auffälligkeit deutlich merkbar.

1.6.3 Weiterführende Überlegungen zur Auslagerung des Domschatzes während der zukünftigen Baumaßnahme

Eine sehr wichtige Frage, die im Rahmen des Forschungsvorhabens bereits intensiv besprochen wurde, ist die des Umgangs mit dem Domschatz während der Baumaßnahme, da in Minden derzeit kein Depot existiert.

Grundlegend ist zu entscheiden, ob die Objekte in einer anderen Sammlung während der Bauzeit präsentiert werden können oder ob eine Zwischenlagerung notwendig wird. Diesbezüglich muss erörtert werden, ob eine Verpackung und ein Verbleib in Umhüllungen, Transportboxen etc. sinnvoll und konservatorisch möglich sind oder ob die Objekte ausgepackt in einem Depot gelagert werden können. Hier sind Fragen nach dem Aufbewahrungsort und den dort herrschenden klimatischen Parametern bzw. deren Modifikation gemäß konservatorischer Anforderungen zwingend zu beantworten.

Im Projekt hat sich herauskristallisiert, dass seitens der Mindener Verantwortlichen die Ausstellung eines Teils oder der gesamten Sammlung für die Zeit der Baumaßnahme bevorzugt wird. Wenn dies nicht realisiert werden kann, sollen die Objekte im Musterraum zwischengelagert werden. Dieser würde dann zusätzlich auch als Depot dienen. Der Vorteil dieser Variante wäre, dass der Raum aufgrund seiner Funktion als Musterraum bereits für Klimatisierung und Diebstahlsicherung ausgerüstet wurden. Alternativ existieren zwei Kellerräume, die zum Zeitpunkt des Projektendes als Abstellräume vom Hausmeister bzw. vom DJK Minden (DJK: Deutsche Jugendkraft, katholischer Sportverband in Deutschland) genutzt werden und auch zukünftig als Depot bzw. für die Museumspädagogik genutzt werden sollen. Eine doppelte Umlagerung der Objekte soll aber vermieden werden (während Bauphase/Während Umbau Kellerräume).

I.7 Ausblick

Mit Abschluss des Projektes war das neue Ausstellungskonzept von Frau Miersch-Süß, Dresden, fertiggestellt und lag dem Erzbistum Paderborn zur Genehmigung vor. Ein Treffen mit potentiellen Fachplanern fand Mitte März 2014 bei den Staatlichen Kunstsammlungen, allerdings außerhalb des Projektes, statt. Sobald das Erzbistum Paderborn das Einverständnis für die neuen Planungen erteilt hat, soll die bereits im Teilprojekt mehrfach besprochene und geplante Simulation des Gebäudeklimas soll beauftragt werden. Da für die Simulation ein Zeitfenster von mindestens 2 Monaten benötigt wird und diese als Grundlage für die Fachplaner dienen soll, muss dieser Zeitraum in der zeitlichen Bauplanung berücksichtigt werden. Auch soll auf Rat des internen Arbeitskreises und Fachbeirat eine Übergangsphase zwischen Abschluss der Bauphase und Beginn der Ausstellungseinrichtung berücksichtigt werden, in der u.a. notwendige Überprüfungen der Technik, des Klimas etc. stattfinden und die Einrichtung vorbereitet werden können.

Mit Abschluss des Forschungsvorhabens war der offizielle Baubeginn für September 2014 vorgesehen. Die Bauphase sollte im Februar 2015 abgeschlossen werden, für die Einrichtung der Ausstellung waren zwei Monate (März/April 2015) vorgesehen.

I.8 Zusammenfassung

Der im Projektantrag verfasste Ablaufplan konnte im Teilprojekt Minden erfolgreich bearbeitet werden. Grundlagen der Präventiven Konservierung, basierend auf dem aktuellen Wissensstand, wurden zu den Themenbereichen Klima, Licht und Materialemissionen erarbeitet und als Informationsgrundlage für die Projektpartner in Minden aufbereitet. Darüber hinaus wurden die notwendigen, wünschenswerten und realisierbaren Möglichkeiten der Präventiven Konservierung hinsichtlich der Bauphase und der zukünftigen neuen Domschatzkammer Minden ausführlich diskutiert und erste Parameter festgelegt, die mit dem Musterraum und den beiden Mustervitrinen bereits praktisch umgesetzt werden konnten. Der Raum und die Vitrinen bieten den Projektpartner in Minden auch nach Abschluss des Forschungsvorhabens weiterhin einen sehr guten Spielraum, um verschiedene Szenarien für die zukünftige Domschatzkammer zu durchdenken und zu erproben. Weiterhin konnte mit dem Armreliquiar der Hl. Margarethe eins der wertvollsten Ausstellungsstücke der Domschatzkammer Minden konserviert und restauriert werden. Das über ein halbes Jahr durchgeführte Monitoring zeigt, dass es deutliche Unterschiede zwischen verschiedenen, für Präsentationszwecke genutzten Aufbewahrungsformen geben kann. In der Regel sind neben klimatischen Parametern und natürlichen bzw. künstlichen Lichtquellen immer die für den Vitrinenbau und die Raumausstattung verwendeten Bauprodukte und Dekorationsstoffe von entscheidender Bedeutung. Im Gegensatz zu älterem Mobiliar können neue Vitrinen höhere Anfangsemissionen aufweisen, da die eingesetzten Werkstoffe noch vermehrt flüchtige Verbindungen in die Umgebungsluft abgeben. Sollte es sich hierbei nicht um Produkte handeln, die aus unerwünschten chemischen Reaktionen stammen oder kontinuierlich von der Quelle nachgebildet werden, nehmen diese in der Regel über die Zeit ab. Materialien, die für sensible Objektgruppen korrosiv wirkende Emissionen freisetzen, sind aufgrund des von ihnen ausgehenden Schädigungspotentials ungeeignet, wie dies im Rahmen des Monitorings anhand des restaurierten Margarethenarms gezeigt werden konnte.

Das Teilprojekt Domschatzkammer Minden kann abschließend als sehr erfolgreich bewertet werden. Auf das gesamte Forschungsvorhaben bezogen war dieses Teilprojekt zu Anfang aufgrund der Konstellation

als das mit der größeren Herausforderung zu betrachten. Die Domschatzkammer Minden ist rein ehrenamtlich organisiert. Bei den Ehrenämtern und auch bei den für die Baumaßnahme Verantwortlichen (Dombauverein) war kein Hintergrundwissen über die Planung und den Betrieb eines Museums vorhanden. Somit lag der Kernaspekt des Teilprojektes in der Wissensvermittlung und Sensibilisierung der Verantwortlichen gegenüber Fragen der Präventiven Konservierung, deren Umsetzung und den Aufgaben eines laufenden Museumsbetriebs. Die Zusammensetzung des internen Arbeitskreises und des Fachbeirats war für alle Seiten eine große Bereicherung, von denen die Mindener Kollegen nachhaltig profitiert haben. Die bereits bei den Mitarbeitern des Herzog Anton Ulrich-Museums vorhandenen Erfahrungswerte, sowohl aus der dort bereits laufenden Baumaßnahme als auch aus dem langjährigen Berufsalltag in einem der ältesten deutschen Kunstmuseen, resultierten in äußerst wertvollen fachlichen Hinweisen, Ratschlägen und Gedankenanstößen für das Teilprojekt Minden. Auch die fachliche Expertise des Fachbeirats und deren umfassender Erfahrung stellten einen großen Gewinn für das Gesamtvorhaben und insbesondere für das Teilprojekt Minden dar. Die dortigen, zu Beginn des Projektes bereits detailliert ausgearbeiteten Planungen, konnten durch das Forschungsvorhaben auf die Herausforderung Museumsbau fokussiert, gelenkt und auf ein fachliches Fundament gestellt werden. Als wesentliches Ergebnis des Teilprojekts sind daher die Umplanungen des Baukörpers hinsichtlich Architektur und Klimatisierung sowie die Entscheidung zugunsten eines komplett neuen, durch Anstoß des Projektes beauftragten Ausstellungskonzeptes zu sehen. Auch die Begleitung des Teilprojektes Minden durch eine externe akademische Restauratorin, die zukünftig auch die Auslagerung des Domschatzes und die Rückbringung in die neue Ausstellung betreuen wird, ist als Erfolg zu bewerten.

Die im Projekt gegebenen Denkanstöße und Hinweise wurden auf Seiten der Mindener Projektpartner mit Offenheit aufgenommen und detailliert weiter verfolgt, so dass mit Abschluss des Projektes dort eine

Die im Projekt gegebenen Denkanstöße und Hinweise wurden auf Seiten der Mindener Projektpartner mit Offenheit aufgenommen und detailliert weiter verfolgt, so dass mit Abschluss des Projektes dort eine Museumsausstellung auf technisch und fachlichem hohem Niveau geplant ist.

TEIL II Teilprojekt Herzog Anton Ulrich-Museum Braunschweig

II.1 Vorstellung des Herzog Anton Ulrich-Museums Braunschweig

Das Herzog Anton Ulrich-Museum, benannt nach Anton Ulrich, Herzog von Braunschweig-Wolfenbüttel (1633-1714), ist mit Gründungsdatum 1754 eines der ältesten Museen Deutschlands mit einer überregional bedeutenden Sammlung alter Kunst (Abbildungen II-1 und II.2). Deren Kernbestand stammt aus den Sammlungen der Herzöge zu Braunschweig und Lüneburg des Hauses Wolfenbüttel.

Die Sammlung, die hauptsächlich Werke der Renaissance und des Barock umfasst, ist aufgeteilt in die Bereiche Gemälde, Kupferstichkabinett, Skulpturen, Angewandte Kunst, Außereuropäische Kunst und Münzen. Ihre wissenschaftliche Betreuung obliegt vier kunsthistorisch ausgebildeten Kustoden und einem Kustoden mit geschichtswissenschaftlicher Ausbildung (Münzen). Für die konservatorisch-restauratorische Betreuung der Sammlung sind insgesamt vier Fachrestauratorinnen in drei Restaurierungsabteilungen zuständig, einer Gemälde-, einer Lackmöbel- und einer Textilrestaurierung.

Innerhalb der fünf klassischen Museumsaufgaben des Sammelns, Bewahrens, Erforschens, Präsentierens und Vermittelns nahmen in den letzten drei Jahrzehnten die Erfassung und Dokumentation der Bestände einen breiten Raum ein. Beginnend mit dem Erscheinungsjahr 1979 erschienen in diesem Zeitraum 15 wissenschaftlich erarbeitete Bestandskataloge. Zurzeit sind vier weitere Bestandskataloge in Bearbeitung. Im Vorfeld der umbaubedingten Auslagerung der Kunstgegenstände wurde vom Museum ein Projekt zur Erfassung aller Kunstobjekte mit Ausnahme derjenigen des Kupferstichkabinetts und der Münzsammlung ins Leben gerufen, das von zusätzlich eingestellten RestauratorInnen betreut wurde. Dank dieser Maßnahme sind inzwischen die Objekte in einer EDV-Datei (FileMaker) erfasst und entsprechend ihres Schadensbildes bzw. Erhaltungszustandes kategorisiert. Neben der Bestandserfassung widmete sich das Museum im Rahmen von Kolloquien oder Sonderausstellungsprojekten wiederholt Fragen der Materialbeschaffenheit und Konservierung von bestimmten Kunstgegenständen.



Abbildung II-1. Historischer Museumsbau des Herzog Anton Ulrich-Museums Braunschweig vor der Sanierung (Foto: C. Cordes).



Abbildung II-2. Ausstellungsraum des Herzog Anton Ulrich-Museums Braunschweig vor der Sanierung (Foto: C. Cordes).

II.1.1 Baumaßnahme am Herzog Anton Ulrich-Museum Braunschweig

Aufgrund umfassender Umbauarbeiten ist das Herzog Anton Ulrich-Museum Braunschweig seit April 2009 geschlossen. Die Wiedereröffnung ist derzeit für Mitte 2016 geplant. Die Baumaßnahme gliedert sich in zwei Etappen. In der ersten Phase wurde ein moderner Erweiterungsbau errichtet, der parallel zum historischen Museumsbau verläuft und neben Verwaltungsbüros die Werkstätten, das Kupferstichkabinett, die Museumspädagogik, die Bibliothek und eine Cafeteria beinhaltet. Der Erweiterungsbau wurde im Dezember 2009 fertiggestellt. In der zweiten Phase wird das von 1887 stammende Altgebäude saniert. Herausragende Stücke der Sammlung werden zwischenzeitlich in der Burg Dankwarderode im Zentrum Braunschweigs gezeigt, damit das Museum während der langen Schließungsphase nicht in Vergessenheit gerät. Das denkmalgeschützte, historistische Gebäude wird auf seinen Ursprungszustand der architektonischen Strukturen entsprechend der Pläne des damaligen Architekten Sommer und des damaligen Direktors Riegel zurückgebaut. Diese Architektur soll zukünftig einen dem Charakter der Sammlung angemessenen Rahmen für die neue Präsentation der Exponate in den Räumen der Schau- und Wechselausstellung bieten. Seitens des Museums sind die Kustoden mit der Planung und Organisation der Neueinrichtung beauftragt. Als Bauherr und Aufsichtsbehörde der Umbaumaßnahmen fungiert das Staatliche Baumanagement Braunschweig. Mit der Sanierung des Gebäudes ist das Architekturbüro Kleineberg & Pohl, Braunschweig, beauftragt, mit der Lichtplanung das Büro Flegel, Berlin, und mit der Ausstellungsgestaltung das Architekturbüro KuehnMalvezzi, Berlin. Im Rahmen der Sanierung werden Wand- und Deckeneinbauten des 20. Jahrhunderts wieder entfernt, um rund 800 m² an zusätzlicher Ausstellungsfläche zu schaffen. Das Gebäude soll zukünftig auf allen drei Geschossen ausschließlich für Ausstellungen dienen (HAUM, 2014).

Dem Umbau ist eine gestalterische Zielsetzung zur optimalen Betonung der sinnlichen und ästhetischen Qualität der Kunstwerke übergeordnet. Demzufolge sollen die Ausstellungsräume gemeinsam mit der Ausstellungseinrichtung und den Exponaten zu einer ansprechenden künstlerischen Gesamtform verbunden werden.

II.1.2 Ausgangssituation für das geplante Forschungsvorhaben

Die Wechselwirkungen zwischen spezifischen luftgetragenen Schadstoffen und sensiblen Materialoberflächen von musealem Sammlungsgut sind durch das Auftreten charakteristischer Schadensbilder bekannt. Dazu gehören insbesondere Korrosionsschichten auf Metalloberflächen sowie kristalline Ausblühungen auf kalkhaltigen Objektmaterialien und Gläsern. Diese sind auf Exposition gegenüber organischen Säuren zurückzuführen, im Wesentlichen auf das Einwirken von Ameisensäure und Essigsäure. Das Gefährdungspotential von Formaldehyd, eine ebenfalls im Museumsumfeld als korrosiv eingestufte Verbindung, ist allerdings noch umstritten und derzeit aus wissenschaftlicher Sicht nicht endgültig geklärt (Raychaudhuri and Brimblecombe, 2000).

Angesichts dieser Problematik wurde in den letzten Jahrzehnten versucht, Werkstoffe, die entsprechende Verbindungen in die Gasphase freisetzen können, bei der Ausstattung von Museumsräumen und dem Bau von Museumsvitrienen zu eliminieren. Es zeigte sich allerdings, dass trotz eines umfassenden Wechsels in der Werkstoffauswahl nach wie vor eine deutliche Luftbelastung mit Schadgasen gegeben ist. Neben einer großen Bandbreite typischer Lösemittel lässt sich auch Essigsäure weiterhin nachweisen, die als Sekundäremission aus den derzeit im Vitrienenbau verwendeten Lacksystemen freigesetzt wird. Diese Hauptemittenten können sich aufgrund des stark verringerten Luftwechsels insbesondere in Vitrienen aufkonzentrieren (Schieweck, 2009; Schieweck and Salthammer, 2009; Schieweck and Salthammer, 2011).

Da es für das museale Umfeld keine eigenen Produktentwicklungen gibt, müssen Ausstellungsarchitekten und Betriebe für Museumsausstattung bei der Planung und Produktion auf kommerziell erhältliche Werkstoffe zurückgreifen, die für dieses Einsatzgebiet nicht zwangsläufig geeignet sind. Gerade die Anwendung in Museen, in denen Exponate von großer Materialvielfalt in sehr klimastabilen Räumlichkeiten mit den daraus resultierenden verringerten Luftwechselraten präsentiert werden, erfordert strengere Anforderungen als der Einsatz in normalen Innenräumen mit den entsprechend höheren Luftwechselraten.

Unter konservatorischen Gesichtspunkten ist eine umsichtige Materialauswahl allerdings von entscheidender Bedeutung, um den Eintrag von Schadstoffemissionen zu minimieren und einen nachhaltigen Schutz der Sammlung zu gewährleisten. Entsprechende Entscheidungsprozesse sind angesichts eng gesteckter Zeitpläne nicht realisierbar. Die dabei notwendige, enge Verzahnung mit naturwissenschaftlichen Materialuntersuchungen, die eine wesentliche Entscheidungshilfe darstellen, wird ebenfalls aus organisatorischen und gerade auch aus finanziellen Gründen häufig nicht umgesetzt. Nach Eintreten von Materialschädigungen an Exponaten oder anderen Auffälligkeiten (u.a. Geruch, Materialverarbeitungsqualität) entsteht daher Aktionismus, ohne dass die Beteiligten über alternative Lösungsvorschläge und –möglichkeiten verfügen. Nicht selten kommen daher auf Museen kostenintensive Nachbesserungen zu, um bei einer falschen Produktauswahl oder bei ungeeigneten Ausstellungskonzepten die konservatorischen Bedingungen zu optimieren.

Es ist daher notwendig, dass entsprechende Planungen frühzeitig mit den konservatorischen Anforderungen abgestimmt werden. Da die gestalterische Präsentation musealer Sammlungen von großer Bedeutung ist, um die Einzigartigkeit und Qualität der Ausstellungsstücke zu betonen und hervorzuheben, ist eine enge Zusammenarbeit der beteiligten Personenkreise unabdingbar. Nur mit einer verbesserten Kommunikation kann das Ziel der Konstruktion von Ausstellungsmobiliar sowohl unter Berücksichtigung

sensibler und/oder vorgeschädigter Exponate als auch unter Berücksichtigung ästhetischer Aspekte erreicht werden.

II.1.3 Bereits vorhandene Schäden

Im Herzog Anton Ulrich-Museum Braunschweig waren mit Ausnahme der frei hängenden Gemälde, der Bronzen und Kabinettschränke die Kunstobjekte in der alten Präsentation ausschließlich in Vitrinen untergebracht. Neben traditionellen Vollholz-Vitrinen aus dem 19. Jahrhundert, die zur Entstehungszeit des Museumsgebäudes gehören, stammen die meisten Vitrinen aus den 1980er Jahren mit innenliegendem Spanplattenaufbau und aufgeklebter Seidenbespannung. Beim Öffnen der Vitrinen ist ein beißender Geruch bemerkbar. Die in diesen Vitrinen aufbewahrten Kleinobjekte bestehen überwiegend aus sensiblen Materialien, wie Metalle, Feinmetallaufgaben und Emails.

Die Oberflächen der Metalle, insbesondere des Fein- bzw. Goldsilbers, zeigen auffällige Veränderungen. Es haben sich Sulfidschichten ausgebildet, die auf eine Exposition gegenüber schwefeligen Verbindungen schließen lassen. Von diesem Schadensbild sind die Objektgruppen der Kunstuhren, die so genannte „Gruppe der Kostbarkeiten“ (Feinmetallobjekte, wie z.B. Schalen, Pokale und Trinkgefäße) sowie die Kabinette mit Metallaufgaben betroffen. Durch die aufliegenden Korrosionsschichten lassen sich die künstlerisch implizierten Differenzierungen von Gold- und Silberkontrasten nicht mehr erkennen. Der ästhetische Ausdruck der Sammlungsstücke ist somit gravierend beeinträchtigt. Die Abbildungen II-3a und II-3b zeigen stellvertretend für diese Objektgruppe die Applikation eines Elfenbeinkreuzes aus Feinmetall. Insbesondere die Höhen des reliefartig gearbeiteten Medaillons sind stark verschwärzt und dominieren das Erscheinungsbild. Auch der Hintergrund der Vorderseite ist schwarz angelaufen, ebenso die Rückseite.



Abbildungen II-3a und II-3b: Medaillon aus Feinmetall, Applikation eines Elfenbeinkreuzes, um 1703. Schwarze Korrosionsschichten auf Vorder- (a) und Rückseite (b), insbesondere auf den Höhen der reliefartig gearbeiteten Darstellung (Fotos: Ursel Gaßner).

Materialschäden lassen sich auch an der Gruppe des Limogesser Maleremails nachweisen, die mit einer Stückzahl von ca. 230 die größte derartige Sammlung Deutschlands bildet (Abbildungen II-4a, b). Die

Kupferplatten der Emails zeigen deutliche Oxidationsschichten, bei denen es sich nach makroskopischer Betrachtung um Grünspan handeln könnte. Der Schaden wäre folglich auf Essigsäure-Exposition zurückzuführen. Bei vielen Emails sind die Glasschmelzen selbst bereits craqueliert, wobei das Craquelée von Korrosionszentren aus verläuft. Die Schmelzen verlieren dadurch zunehmend die Haftung zum Träger und splintern bei klimatischen Schwankungen oder mechanischen Einflüssen ab.



Abbildungen II-4a und II-4b: Medaillon mit Darstellung der Büste des Claudius Caesar V., Mitte 17. Jh., Limoger Maleremail. Die Emailschicht ist am oberen Rand vorderseitig abgeplatzt (a), darunter kommt eine Korrosionsschicht zum Vorschein, deren Ausmaß auf der Rückseite sichtbar ist (b) (Fotos: Ursula Gerloff).

Eine besondere Problematik stellt in diesem Kontext die Präsentation verschiedenster Objekte in Art einer Kunstammer dar. Das Herzog Anton Ulrich-Museum präsentiert in einem so genannten „Kunstammer-Schrank“ unterschiedlichste Materialgruppen (organisch und anorganisch). Die einzelnen Stücke wurden bislang, einem Setzkasten gleich, in Behältnissen aus furnierter Spanplatte aufbewahrt, die mit Glasscheiben luftdicht abgeschlossen waren. Die Feinsilberfolien der in diesem Schrank aufbewahrten Kleinobjekte zeigen ebenfalls charakteristische Verschwärzungen. Wenn auch die Ausstattungsmaterialien des Schrankes für die neue Präsentation ersetzt werden sollen, so soll die Aufbewahrung verschiedenster Objektgattungen in diesem „Kunstammer-Schrank“ beibehalten werden. Neben den verwendeten Ausstattungsmaterialien können in solch einer Aufbewahrungssituation auch die Exponate als Emissionsquelle fungieren und benachbarte, sensible Materialien gefährden.

Eine weitere Herausforderung stellen darüber hinaus sowohl die geplante Weiternutzung der historischen Vollholz-Vitrinen als auch die neu einzurichtende Skulpturengalerie dar, in der die besten Werke in Bronze, Elfenbein, Stein und Holz freistehend präsentiert werden sollen. Das Ausstellungskonzept soll hier prominenten Beispielen, wie dem des Dresdner Historischen Grünen Gewölbes, dem Berliner Bodemuseum oder dem Frankfurter Liebighaus, folgen. Bei einer freien Aufstellung sind besonders hohe Anforderungen an die im Raum großflächig verlegten Werkstoffe zu stellen. Eine falsche Materialauswahl kann zu restauratorischen Eingriffen und kostenintensiven Nachbesserungen führen. Wie bereits in anderen Sammlungen festgestellt wurde, muss bei einer freien Präsentation in den betreffenden Räumlichkeiten auch eine geringe Staubbelastung gewährleistet werden, um unerwünschte Staubablagerungen und folglich abrasiv wirkende, kontinuierliche Reinigungsmaßnahmen der Exponate zu vermeiden.

II.1.4 Gefährdungsfaktoren

Es ist davon auszugehen, dass es bei weiterer Präsentation unter ungünstigen klimatischen Bedingungen und Einwirken von Luftschadstoffen, zukünftig zu einer Verstärkung des Schadensbildes kommt, die möglicherweise in einem Substanzverlust mündet. Für die schwefel- und säureinduzierte Korrosion ist davon auszugehen, dass die Adsorption der Schadgase in den den Materialoberflächen anhaftenden Feuchtigkeitsfilmen eine entscheidende Rolle spielt, in denen es zu Zersetzungsprozessen kommen kann (Grzywacz and Tennent, 1994; Schieweck et al., 2009). Eine gemeinsame Präsentation heterogener Materialgruppen, von denen ein Teil Emissionsquelle und damit Gefährdungsfaktor für den anderen Teil darstellt, ist von besonderer Herausforderung. Aufgrund einer thematischen Zugehörigkeit ist eine Trennung der Exponate kaum möglich. Hier müssen nachhaltige Konzepte für die Präsentation unter Einbeziehung aktueller Forschungserkenntnisse, insbesondere hinsichtlich der Installation adsorptiver Materialien, erstellt werden.

Frei präsentierte Exponate sind den Umgebungseinflüssen ungeschützt ausgesetzt. Neben den klimatischen Parametern, Schadgasen und Licht kommt Staub und Partikeln eine besondere Relevanz zu. Diese können u.a. mit der Außenluft (Verkehr, Abgase etc.) eingetragen werden, sind aber auch auf interne Quellen zurückzuführen. Daneben zählen neben Heizungsanlagen in der Ausstattung verwendete Baustoffe (z.B. Putz, Stuck) als auch die Besucher, die durch ihre Kleidung und Straßenschmutz an den Schuhen Partikel eintragen können. Durch Ablagerungen von Staub und Partikeln auf Materialoberflächen wird nicht nur die ästhetische Erscheinung beeinträchtigt, sondern es besteht auch die Gefahr der Materialschädigung. Die Oberflächen erfordern eine regelmäßige Reinigung, bei der es zur Abrasion originaler Substanz kommen kann, insbesondere bei unsachgemäßer Reinigung. Darüber hinaus können im Staub und auch durch die Partikel Schadgase auf die Oberflächen transportiert werden. Dies kann zu einem Kompressen-Effekt des sedimentierten Staubes führen.

II.2 Darstellung der Inhalte und Ziele des Teilprojektes

Die Sanierungsarbeiten beinhalten neben der Neugestaltung der Ausstellungsflächen auch die Konzeption auch den Ankauf neuer Museumsvitrinen. Im Rahmen der Bauplanungen wurden in einem Pflichtenheft alle Anforderungen, sowohl ästhetisch-gestalterisch, funktionell als auch materialbezogen, an den Umbau zusammengefasst. Dabei zeigte sich, dass insbesondere bezüglich der Auswahl von Bauprodukten und Dekorationsstoffen für Ausstellungsräume und Vitrinen eine große Unsicherheit herrscht und viele offene Fragen von grundsätzlichem, allgemeinem Interesse bestehen.

Sowohl bei der Aufbewahrung in Vitrinen als auch bei der freien Präsentation im Ausstellungsraum wirken die Umgebungsparameter unmittelbar auf die Exponate ein. Als Reaktion auf die bereits eingetretenen Schädigungen objektimmanenter Materialien muss eine sehr umsichtige Materialauswahl der in direkter Umgebung einzusetzenden Bauprodukte und Dekorationsstoffe erfolgen. Dafür sind Reaktionsprozesse von sensiblen und/oder vorgeschädigten Materialien auf Luftfremdstoffe und klimatische Bedingungen zu untersuchen und der Verlauf von Schadensprozessen zu dokumentieren. Auf dieser Basis sind Anforderungen an die Konstruktion der Ausstellungsmöblierung zu formulieren. Die Zielsetzung ist, durch geeignetes Mobiliar den weiteren Verlauf des Schadensprozesses zu unterbinden und die Bewahrung des überlieferten Erhaltungszustandes zu unterstützen. Dies ist von besonderer Wichtigkeit, da es für das museale Umfeld keine eigenen Produktentwicklungen gibt und die strengen konservatorischen

Anforderungen an die Umgebungsbedingungen hohe Maßstäbe bei der Ausstellungsmöblierung bedingen.

II.3 Organisatorische Einbindung des Forschungsvorhabens in das Bauprojekt

Ebenso wie das Teilprojekt der Domschatzkammer Minden musste sich auch das dieses Teilvorhaben in das Gesamtbauprojekt eingliedern und diesem unterordnen. Mit Beginn des Forschungsvorhabens war das Haupthaus bereits geschlossen und vollständig leergeräumt. Das mit der Ausstellungskonzeption beauftragte Architekturbüro KuehnMalvezzi, Berlin, war zu dem Zeitpunkt mit den Planungen zur Gestaltung von Ausstellungsflächen und Vitrinen beschäftigt, so dass das Projekt sehr gut in die Baumaßnahme eingeordnet werden konnte.

Im Gegensatz zur Baumaßnahme Minden waren die Anzahl an beteiligten Personenkreisen und Behörden bei der Baumaßnahme Braunschweig und damit die Entscheidungswege und Strukturen deutlich größer und komplexer. Um das Forschungsvorhaben gut mit dem Bauprojekt verknüpfen und einen gegenseitigen Austausch gewährleisten zu können, wurde die Vorsitzende des im monatlichen Rhythmus tagenden Bauausschusses auch in den internen Arbeitskreis des Projektes einberufen.

II.3.1 Arbeitsabschnitte des Teilprojektes

Das Teilprojekt gliederte sich analog zum Mindener Teilprojekt ebenfalls in drei Abschnitte analog Abbildung II-5.

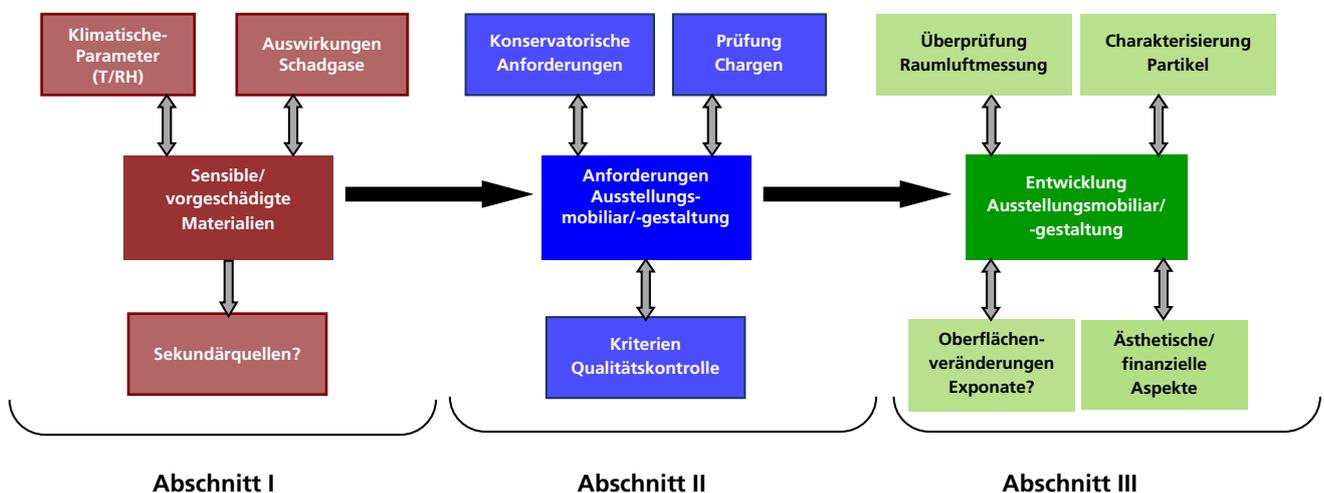


Abbildung II-5: Abschnitte des Teilprojektes Herzog Anton Ulrich-Museum Braunschweig.

Abschnitt I

Gemäß des Fokus des Teilprojektes auf dem Umgang mit Materialemissionen bei der neuen Ausstellungskonzeption und Vitrinenplanung, wurde im ersten Abschnitt das Verhalten von sensiblen und/oder bereits anthropogen geschädigten Objektgattungen in Abhängigkeit von den

Umgebungsbedingungen untersucht. Dabei war von Interesse, ob vorgeschädigte Materialien sensibler auf Umfeldparameter, wie organische Luftfremdstoffe, Temperatur und relative Feuchte reagieren als nicht geschädigte, sensible Werkstoffe. Darüber hinaus sollte untersucht werden, ob vorgeschädigte Exponate unter bestimmten Bedingungen auch als Sekundärquellen fungieren können, indem sie vormals adsorbierte Schadgase wieder freisetzen (desorbieren).

Abschnitt II

Im Abschnitt II sollten, basierend auf den Ergebnissen aus Abschnitt I und auf der Ausstellungsplanung der Architekten, Kriterien für den Einsatz von Bauprodukten in unmittelbarer Umgebung sensibler und/oder vorgeschädigter Objekte formuliert werden.

Abschnitt III

Im dritten Abschnitt des Teilprojektes sollte gemäß Projektantrag die Entwicklung der Ausstellungsmöblierung unter Wahrung der gestalterischen Zielsetzungen und Berücksichtigung finanzieller Aspekte erfolgen. Die Möblierung sollte dabei eng auf die unter I und II zusammengefassten Erfordernisse abgestimmt werden. Als Qualitätskontrolle waren Luftmessungen in den fertiggestellten neuen Ausstellungsräumen und den neu angeschafften Vitrinen vorgesehen. Darüber hinaus sollte in den Räumen, in welchen eine freie Präsentation der Exponate im Raum (ohne Vitrinen) vorgesehen ist, eine Charakterisierung und Bewertung der Staubbelastung erfolgen.

Änderungen

Angesichts der Verzögerungen in der Baumaßnahme wurde mit Zustimmung der DBU der dritte Projektabschnitt durch die Evaluierung der neuen Depoträume ersetzt. Die Ausstellungsplanung inklusive Gestaltung der Vitrinen wurde erst zu Beginn 2014 fertiggestellt. Die Hochbauarbeiten wurden zum offiziellen Projektende Mitte 2014 fertiggestellt, so dass die Ausstellungsräume voraussichtlich Mitte 2015 fertiggestellt sein werden. Eine messtechnische Überprüfung von Ausstellungsflächen und Mobiliar war daher im Rahmen des Projektes nicht mehr realisierbar. Stattdessen wurden die Depoträume, die sich in dem Ende 2009 fertiggestellten Neubau befinden, hinsichtlich der Luftqualität und des Partikelauftkommens untersucht und bewertet.

II.4 Ergebnisse Arbeitsabschnitt I: Verhalten sensibler und/oder vorgeschädigter Materialien auf Umfeldeinflüsse

Im ersten Arbeitsabschnitt wurden die bekanntermaßen als sensible Materialien verschiedenen Konzentrationen an Luftfremdstoffen ausgesetzt. Ausgewählt wurden dafür die Metalle Blei (Pb), Silber (Ag) und Kupfer (Cu), die aufgrund ihrer Sensibilität gegenüber Carbonylverbindungen (Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure) sowie gegenüber schwefligen Verbindungen für Korrosionsversuche, wie dem Oddy-Test, und Versuchsreihen zum Korrosionsverhalten dieser Materialien bereits eingesetzt werden. Als Zielsubstanzen, denen die Metalle in wechselnden Atmosphären ausgesetzt werden sollen, wurden daher Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure ausgewählt. Reaktionsmechanismen zwischen diesen Verbindungen und den genannten Metallen sind durch bekannte Schadensbilder an Sammlungsgut weitgehend bekannt. Dies war von Vorteil, da sich nicht mehr die Frage stellte, ob eine Schädigung eintritt und wie diese aussieht, sondern nun Belastbarkeitsgrenzen in verschiedenen Atmosphären ausgelotet werden konnten.

Versuchsaufbau

Die Metalle wurden in Streifen von 2*5 cm geschnitten und die Oberflächen analog zum Oddy-Test mittels eines Glasradierers angeraut. Mittels einer emissionsarmen Kunststoffschnur wurden die Metalle an Stahlrohren (\varnothing 0,5 cm) befestigt. Die Atmosphären wurden in Exsikkatoren (V ~24l) simuliert, wofür insgesamt 175 Metallstreifen, davon jeweils 24 Cu-, 24 Ag- und 8 Pb-Coupons, in jeweils einen Exsikkator gehängt wurden. Insgesamt wurden 5 Exsikkatoren für die Exposition der Metalle gegenüber (1) Formaldehyd, (2) Ameisensäure, (3) Essigsäure, (4) Formaldehyd+Ameisensäure+Essigsäure sowie (5) Blindversuch verwendet. Die künstlichen Atmosphären wurden durch Vorlegen einer Lösung der jeweiligen Zielsubstanz(en) in einer Petrischale erreicht. Die Petrischalen wurden jeweils auf den Boden der Exsikkatoren gestellt, durch eine Lochplatte aus Keramik von den aufgehängten Metallen getrennt, so dass diese nicht direkt mit der Lösung in Berührung kommen konnten. Zwecks Erreichen einer Gleichgewichtskonzentration im Gasraum der Exsikkatoren erfolgten die Luftprobenahmen der Zielsubstanzen nach 14 Tagen. Die Analytik der Luftprobenahmen war dieselbe, wie sie im gesamten Forschungsvorhaben für die Nachweis von Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure angewendet wurde. Die Exsikkatoren standen über den gesamten Versuchszeitraum (2012-2014) in einem klimatisierten Laborraum, um konstante klimatische Bedingungen zu gewährleisten (23 °C, 50% RH).



Abbildung II-6: Versuchsaufbau. In Exsikkatoren über einer Dotierlösung befestigte Metallcoupons.

Versuchsablauf

In der Versuchsreihe wurde ein immer gleicher Ablauf eingehalten:

- 1 Dotierung der Exsikkatoren (Anstieg der Konzentrationen über den Versuchszeitraum)
- 2 Belassen der Metallcoupons in den Atmosphären für 14 Tage
- 3 nach 14 Tagen: Luftprobenahmen auf die dotierten Zielsubstanzen, um die genaue Konzentration in der Gasphase zu ermitteln
- 4 nach 14 Tagen: Entnahme der Metallcoupons nach erfolgter Luftprobenahme und Untersuchung auf Veränderungen

Konzentrationen der Zielsubstanzen in den Exsikkatoren (künstliche Atmosphären)

Tabelle II-1 gibt eine Übersicht über die Konzentrationen der Zielsubstanzen in den Exsikkatoren im Versuchsverlauf.

Tabelle II-1. Konzentration der gewählten Zielsubstanzen in den Exsikkatoren im Versuchsverlauf.

Versuchsphase-Nr.	Exsikkator-Nr.			
	I	II	III	IV
	Formaldehyd	Ameisensäure	Essigsäure	Formaldehyd/Ameisensäure/Essigsäure
Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
I	17	16	25	< 2/ < 6/ 17
II	71	67	59	24/ 358/ 75
III	143	633	89	50/ 142/ 92
IV	1290	479	674	285/ 2142/ 467
V	~ 3500	~ 9700	~ 5300	964/ 7633/ 2600

Eine linear verlaufende Steigerung der Konzentrationen über den Versuchszeitraum war trotz vieler Vorversuche kaum möglich. Dies kann dadurch begründet werden, dass die Coupons als Senke wirken, indem sie dotierten Substanzen aufnehmen, die teilweise in chemischen Reaktionen auch umgesetzt werden, und dass aufgrund des geringen Volumens der Exsikkatoren nur ein geringes Volumen für die Probenahme zur Verfügung stand. Dadurch sind messtechnische Unsicherheiten nicht vollkommen auszuschließen.

Untersuchungsmethoden

Zur Detektion möglicher Veränderungen der Coupons wurden folgende Untersuchungsmethoden ausgewählt:

- Makroskopische Betrachtung
- Mikroskopische Betrachtung (Auflicht-/Polarisationsmikroskop; Rasterelektronenmikroskop)
- Gravimetrie
- Reflexionsmessung der Oberflächen

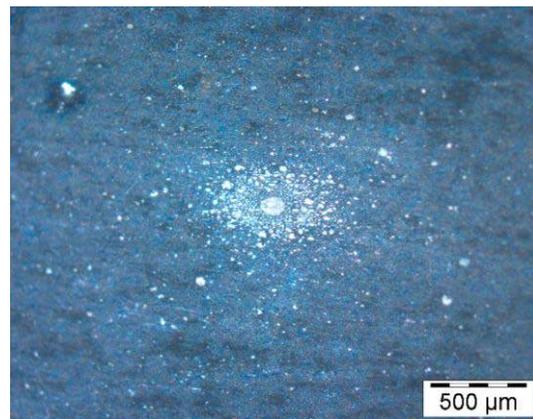
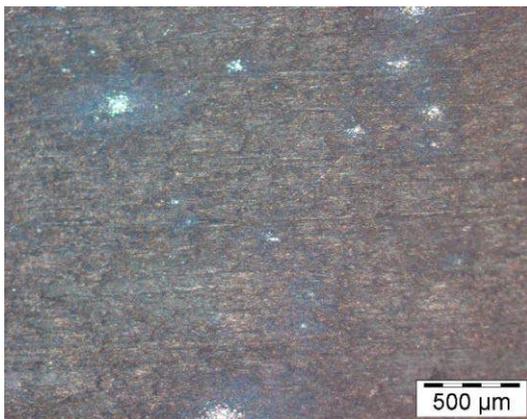
Dabei erfolgte immer der Vergleich zur Blindprobe, bei der Metallcoupons in einem Exsikkator ohne Zugabe von Dotierlösungen über den gleichen Zeitraum und unter den gleichen Bedingungen aufbewahrt wurden.

Ergebnisse

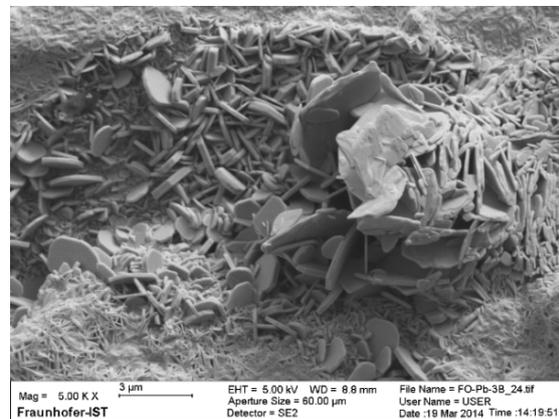
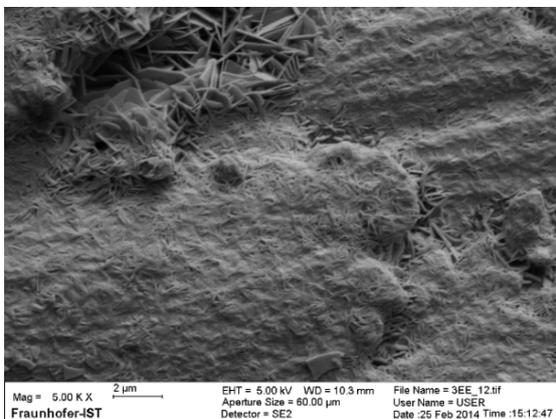
Die aufschlussreichsten und am besten ablesbaren Ergebnisse wurden mit Hilfe mikroskopischer Untersuchungstechniken erzielt. Nachfolgend sind die prägnantesten und aussagekräftigsten Ergebnisse aufgeführt. Nach Projektabschluss wird eine weitere Auswertung und Aufbereitung der erzielten Ergebnisse vorgenommen, um die Versuchsreihen in einem internationalen Fachjournal zu veröffentlichen. Die Publikation wird voraussichtlich im Jahr 2015 erscheinen können.

Blei (Pb) - Exposition gegenüber Formaldehyd

Das gegenüber exponierte Blei zeigte bereits bei geringen Konzentrationen (Phase Nr. I; $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$) erste punktuell auftretende Korrosionsherde von weiß-pudriger Oberfläche, deren Ausprägung mit steigenden Konzentrationen zunahm. Unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) ist eine von Ausblühungen übersäte Oberfläche erkennbar, die infolge des fortschreitenden Korrosionsprozesses immer stärker zerklüftet.



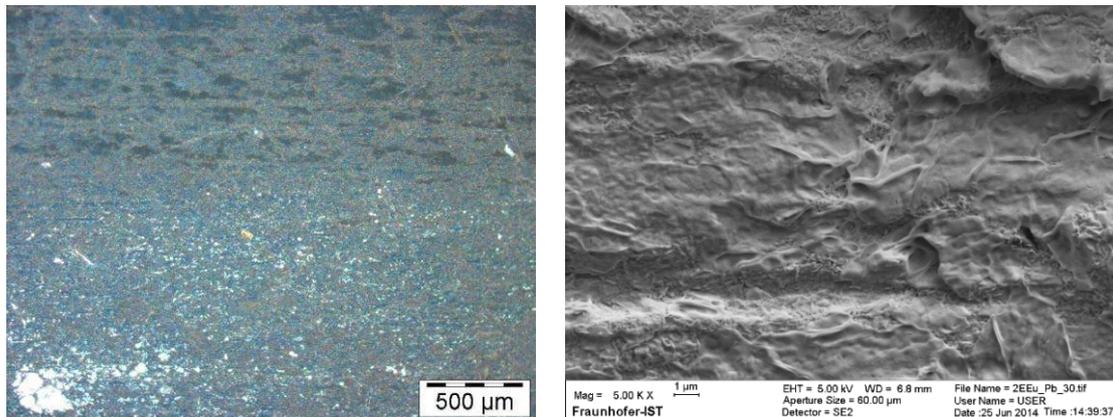
Abbildungen II-7 und II-8. Weiße, runde Korrosionsherde bei Exposition gegenüber geringen Formaldehyd-Konzentrationen (Versuchsphase Nr. I, links und II, rechts). Auflichtmikroskop.



Abbildungen II-9 und II-10. Von Ausblühungen übersäte, verklüftet aufbrechende Oberfläche bei Exposition gegenüber erhöhten Formaldehyd-Konzentrationen (jeweils Versuchsphase Nr. III). Rasterelektronenmikroskop.

Blei (Pb) - Exposition gegenüber Ameisensäure

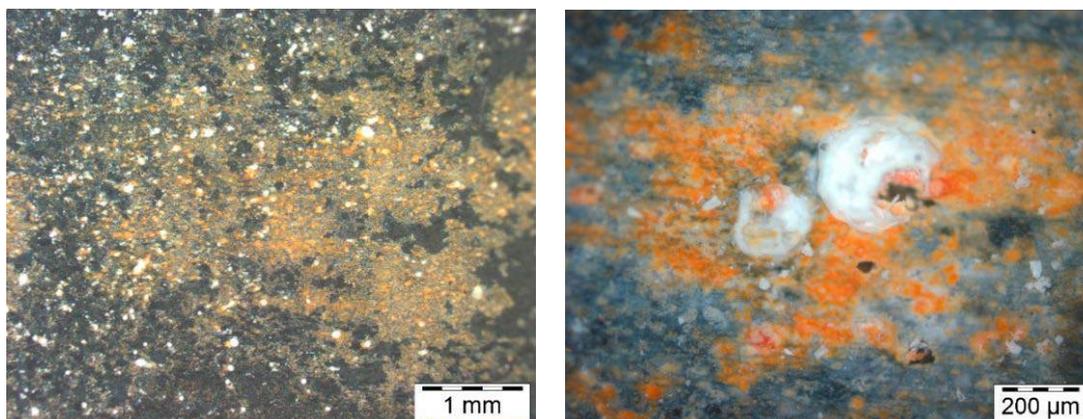
Auch gegenüber Ameisensäure bilden sich schon bei geringen Konzentrationen deutlich Ausblühungen (Phase I, $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Die Oberfläche erscheint in den Tiefen teils schwarz verfärbt (Abbildung II-11, links), teils liegen weiß-pudrige Korrosionsprodukte auf der Oberfläche auf, ähnlich dem durch Formaldehyd hervorgerufenen Schadensbild. Unter dem Rasterelektronenmikroskop wirkt die Oberfläche bei sehr hohen Ameisensäure-Konzentrationen (Phase V, $\sim 9700 \mu\text{g}/\text{m}^3$) faltig zusammengelaufen (Abbildung XII-12, rechts).



Abbildungen II-11 und II-12. Blei gegenüber Ameisensäure-Exposition (Versuchsphase Nr. I, links und V, rechts), Auflichtmikroskop (links) und Rasterelektronenmikroskop (rechts).

Blei (Pb) - Exposition gegenüber Essigsäure

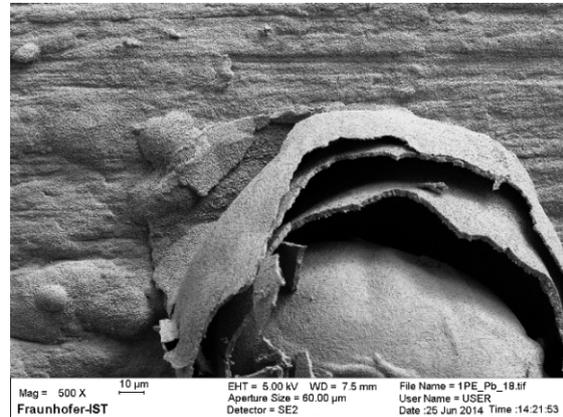
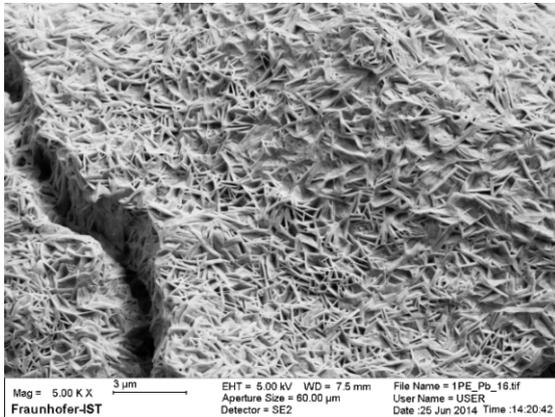
Auch gegenüber Essigsäure-Exposition zeigt Blei ein Schadensbild, das sehr denen bei Exposition gegenüber Formaldehyd und Ameisensäure ist, allerdings deutlich stärker ausgeprägt ist und in dieser Ausprägung bereits bei geringen Konzentrationen zu beobachten ist. Abbildungen II-13 (links) zeigt weiß-pudrige Korrosionsprodukte auf der Bleioberfläche, darüber hinaus sind flächige orange Korrosionsprodukte zu erkennen. Die weißen Korrosionsherde scheinen sich in das Blei hineinzufressen (Abbildung II-14, rechts).



Abbildungen II-13 und II-14. Blei gegenüber Essigsäure-Exposition (Versuchsphase Nr. I, links und II, rechts), Auflichtmikroskop.

Unter dem Rasterelektronenmikroskop sind die typischerweise bei Essigsäure-Exposition auftretenden spitz-nadelförmigen Ausblühungen auf der Bleioberfläche erkennbar (Abbildung II-15, links). Darüber hinaus sind blasenförmige Strukturen zu beobachten, die aufplatzen und komplett von kristallinen Ausblühungen bedeckt sind (Abbildung II-16, rechts). Es ist zu vermuten, dass die Struktur des Bleis zerfressen und durch die infolge der Korrosion vergrößerten Oberfläche gesprengt wird. Diese Phänomene sind besonders gut bei sehr hohen Essigsäure-Konzentrationen, aber auch bereits bei

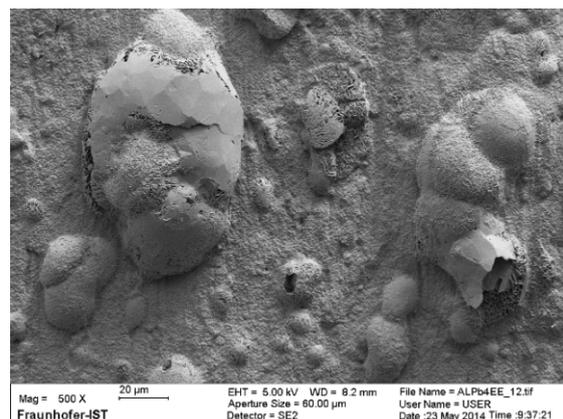
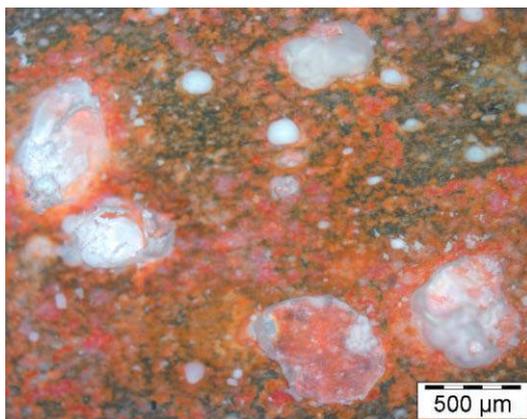
geringen Anfangskonzentrationen zu beobachten. Mit steigender Schadstoffkonzentration nimmt die Ausbildung des Schadensbildes deutlich zu.



Abbildungen II-15 und II-16. Blei gegenüber Essigsäure-Exposition (jeweils Versuchsphase Nr. V), Rasterelektronenmikroskop.

Blei (Pb) - Exposition gegenüber Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure

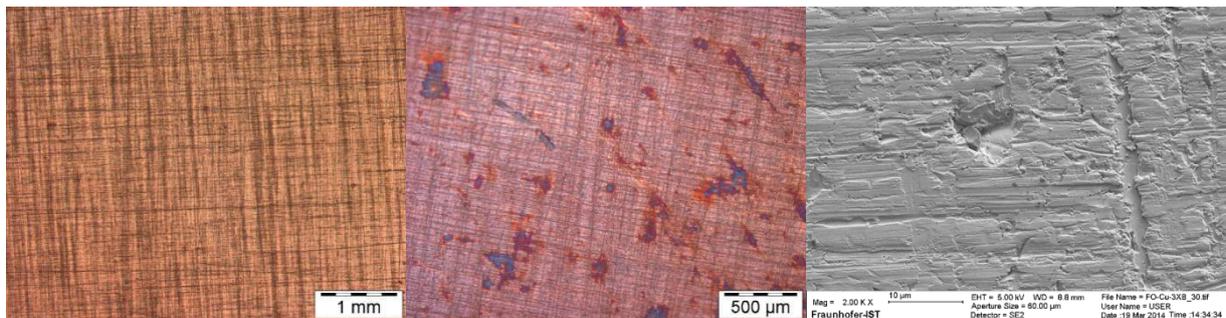
Die Ausprägungen sind analog den anderen Atmosphären, allerdings verläuft die Ausbildung des Schadensbildes am schnellsten und stärksten infolge synergistischer Effekte. Abbildung II-17 (links) zeigt wiederum sich in die Oberfläche hineinfressende Korrosionsherde, umgeben von orangefarbenen Korrosionsprodukten. Unter dem Rasterelektronenmikroskop sind wiederum aufplatzende Blasen und von einem dichten Korrosionsrasen bedeckte Oberflächen zu erkennen (Abbildung II-18, rechts).



Abbildungen II-17 und II-18. Blei gegenüber Exposition von Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure (Versuchsphase Nr. I, links und V, rechts), Auflichtmikroskop (links) und Rasterelektronenmikroskop (rechts).

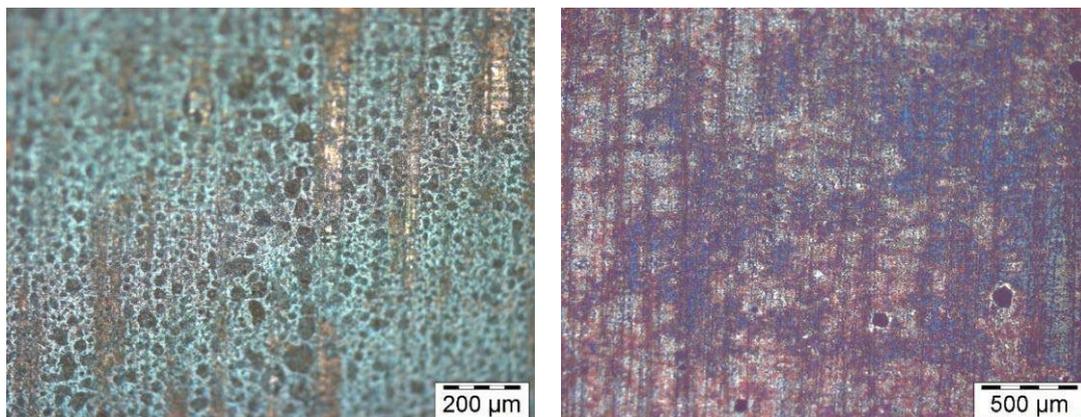
Kupfer (Cu) - Exposition gegenüber Zielsubstanzen

Im Vergleich zu Blei, das auf die Carbonylverbindungen bereits in geringen Konzentrationen erste Korrosionserscheinungen zeigte, verblieben die Kupferoberflächen sehr stabil und zeigten nur wenige Veränderungen, siehe Abbildungen II-19 bis II-21.



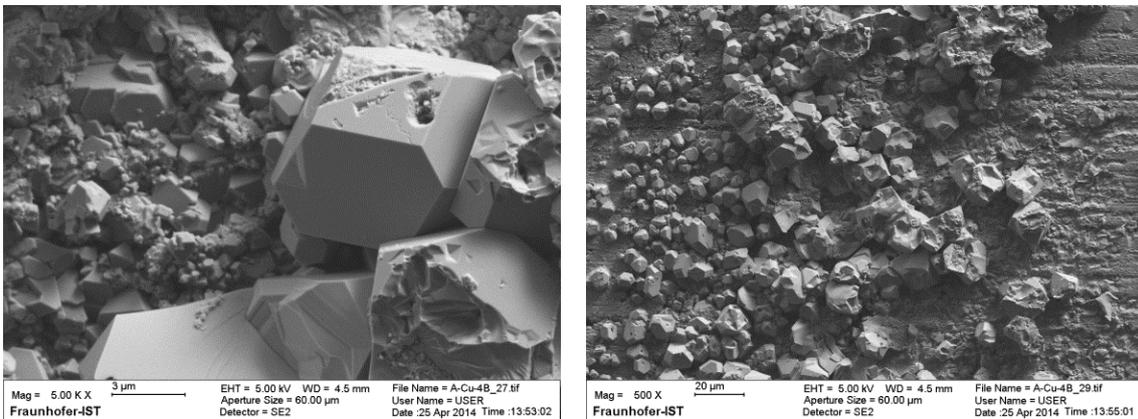
Abbildungen II-19 bis II-21. Bei geringer Formaldehyd-Konzentration ist die Kupferoberfläche unverändert (Versuchsphase Nr. I, links), erst mit ansteigender Konzentration (Versuchsphase Nr. II, Mitte und rechts) konnten erste schwarze Veränderungen detektiert werden, die unter dem Rasterelektronenmikroskop als kraterähnliche Beschädigungen der Oberfläche erscheinen. Auflichtmikroskop (links, Mitte), Rasterelektronenmikroskop (rechts).

Starke Korrosionserscheinungen konnten allerdings bei Aufbewahrung der Coupons in dem Exsikkator mit drei Carbonylverbindungen (Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure) beobachtet werden. Die Oberflächen hatten sich komplett schwarz verfärbt unter Ausbildung schwarzer krustenartiger Ablagerungen auf den Oberflächen (Abbildungen II-22 und II-23).



Abbildungen II-22 und II-23. Schwarze Verfärbung mit krustenartigen Ablagerungen auf den Kupferoberflächen Exposition von Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure (jeweils Versuchsphase Nr. IV), Auflichtmikroskop.

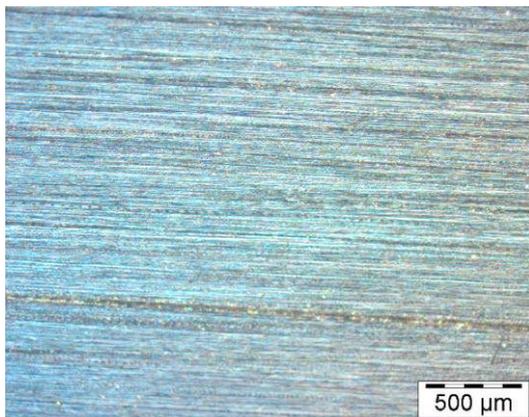
Unter dem Rasterelektronenmikroskop sind diese Ablagerungen als sehr charakteristische, orthorhombische Strukturen erkennbar.



Abbildungen II-24 und II-25. Kupfer gegenüber Exposition von Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure (jeweils Versuchsphase IV), Rasterelektronenmikroskop.

Silber (Ag) - Exposition gegenüber Zielsubstanzen

Silber blieb in allen Versuchen stabil und zeigte keinerlei Oberflächenveränderungen (Abbildung II-26).



Abbildungen II-26. Silber zeigte in allen Versuchen eine gleichbleibend glänzende Oberfläche ohne Korrosionserscheinungen. Auflichtmikroskop.

II.4.1 Zusammenfassung

Erwartungsgemäß erwies sich Blei als empfindlichstes Metall gegenüber Carbonylverbindungen. Sehr überraschend war der offenbar starke synergetische Effekt eines Gemisches aus Carbonylverbindungen nicht nur auf Blei, sondern auch auf Kupfer. Derzeit wird davon ausgegangen, dass Kupfer lediglich sensibel gegenüber Chloriden und schwefligen Verbindungen reagiert, dies muss allerdings auf Basis der gewonnenen Ergebnisse revidiert werden. Bei den Korrosionsprodukten auf Blei handelt es sich um Bleiformiat $[Pb(HCOO)_2]$ bei Einwirken von Ameisensäure und um basisches Bleiacetat $[Pb(CH_3COO)_2]$ infolge einer Exposition gegenüber Essigsäure. Um welche Verbindungen es sich bei den orangefarbenen Korrosionsprodukten und bei den schwarzen Ablagerungen auf Kupfer handelt, konnte nicht abschließend geklärt werden. Eine Elementanalyse mittels EDX (energiedispersiver Röntgenanalyse) erbrachte keine weiterführenden Hinweise. Auch die häufig für entsprechende Versuchsreihen herangezogene Gravimetrie, die Erfassung von Gewichtsänderungen, zeigte zwar eine Zunahme der korrodierten Metallstreifen. Allerdings waren diese Differenzen nur sehr gering und nicht von linearem

Verlauf, so dass sie keine Bewertungsgrundlage bilden konnten. Gleiches gilt für die Reflexionsmessungen, deren Ergebnisse aufgrund der stark reflektierenden Metalloberflächen kaum auswertbar waren. In den Versuchen erwies sich die rein mikroskopische Erfassung als die beste Bewertungsmethode.

Es kann aus den Versuchen geschlossen werden, dass ein Gemisch verschiedener Luftfremdstoffe synergetische Effekte auslöst und folglich zu einer Verstärkung von Korrosionsprozessen führt. Die Schädigung scheint nicht bei Erreichen einer bestimmten Schadstoffkonzentration langsamer fortzuschreiten oder zu stoppen, so dass in jedem Fall korrosive Luftbestandteile auszuschließen sind, um zumindest Schadensprozesse zu verlangsamen. Stark schwankende klimatische Parameter (hohe/niedrige Temperatur/relative Luftfeuchte) blieben in den Versuchsreihen ohne Auswirkung auf die Schadensbilder.

II.5 Ergebnisse Arbeitsabschnitt II: Anforderungen an Ausstellungsmobiliar

Die Fragen nach den richtigen Anforderungen an Ausstellungsmobiliar, insbesondere an Museumsvitrinen, und damit verbunden nach der geeigneten Materialauswahl stellte den Schwerpunkt im Teilprojekt Herzog Anton Ulrich-Museum dar. Zum Zeitpunkt des Projektbeginns (09/2011) hatte das beauftragte Architekturbüro bereits Detailzeichnungen von der geplanten Ausstellungsarchitektur angefertigt und erste Materiallisten ausgearbeitet, unterteilt nach Einbaubereichen:

Einbaubereich 01: Mikroklima Vitrineninnenraum

Einbaubereich 02: Makroklima Vitrinenaussenraum mit Exponaten im Aussenraum/Ausstellungsraum

Einbaubereich 03: Makroklima Vitrinenaussenraum ohne Exponate im Aussenraum (z.B. Foyer oder Shop)

Die Materiallisten wurden kontinuierlich seitens des Architekturbüros aktualisiert und die jeweils aktuelle Version dem Projektkreis zur Verfügung gestellt. Abbildung II-27 zeigt einen Ausschnitt einer Materialliste.

KUEHN MALVEZZI						
HERZOG ANTON ULRICH-MUSEUM NEUPRÄSENTATION DER SAMMLUNG						
MATERIALLISTE STAND: 15.02.2013						
Änderungen zu letzterem Stand sind in dieser Farbe markiert!						
Legende zu Einbaubereichen: Einbaubereich 01= Mikroklima Vitrineninnenraum Einbaubereich 02= Makroklima Vitrinenaussenraum mit Exponaten im Aussenraum (z.B. Ausstellungsräume) Einbaubereich 03= Makroklima Vitrinenaussenraum ohne Exponate im Aussenraum (z.B. Foyer oder Shop)						
MATERIALTYP-NR	OBERFLÄCHE	Brandschutzanf. an das Bauteil	Einbaubereich	Bauteil beispielhaft	Elementaufbau	Material
01 ANSTRICH						
01.1	ANSTRICH AUF WÄNDEN MIT TRÄGERMATERIAL = GIPSFASERPLATTEN TYP "RIGIPS RIGIDUR H"	B1	02	Vorsatzschale im EG, Ausstellungswände (= Wandvitrinen= VW) im EG	Oberfläche	= 1-facher Endanstrich im Wandfarbton als Oberflächen-Schutz-Finish 2-facher, deckender Anstrich im Wandfarbton mit Kunststoffdispersionsfarbe, stumpfmatt Anstrichvlies als Zellulose-Polylestervlies, eingebettet in Gewebekleber Gewebekleber Spachtelung (gespachtelt und geschliffen, Oberflächenqualität Q4) Trägermaterial = Gipsfaserplatten 2 x 12,5 mm Unterkonstruktion = bei Wänden: Metallständerkonstruktion Verbindungsmittel = Metall geschraubt / geschweißt
01.2	ANSTRICH AUF PODESTEN UND SOCKELN MIT TRÄGERMATERIAL = GIPSFASERWERKSTOFFPLATTEN TYP "KNAUF GIFAtec/ floor"	B1	02	Ausstellungspodeste und -sockel in den Ausstellungsräumen EG	Oberfläche	= Oberflächen-Schutz-Finish gemäß 01.1, Anstrich gemäß 01.1 Anstrichvlies in Gewebekleber Spachtelung (gespachtelt und geschliffen in Oberflächenqualität Q4) Trägermaterial = Gipsfaserwerkstoffplatten 1 x 12, 16, 18, 25, 28 oder 32 mm Dicke gemäß statischer Erfordernis, Dichte= 1500kg/ m3

Abbildung II-27: Materialliste als Planungsgrundlage für die Vitrinenkonstruktion/-ausstattung. Ausschnitt. Herzog Anton Ulrich-Museum Braunschweig (Quelle: KuehnMalvezzi, Berlin).

Gemeinsam mit den Projektpartnern des Herzog Anton Ulrich-Museums und in Abstimmung mit dem Architekturbüro wurde entschieden, die Emissionen der für die Einbaubereiche 01 und 02 vorgesehenen Materialien und damit solche mit der höchsten Priorität im Projekt zu untersuchen. Die Werkstoffe umfassten Wandfarben, Plattenmaterialien, Spachtelmassen, Klebstoffe, Lacke und Beschichtungen, Textilien und Leder.

Die Ergebnisse der Emissionsprüfungen sollten als Entscheidungsgrundlage für die Materialauswahl und folglich für das Architekturbüro und für die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des Herzog Anton Ulrich-Museums dienen. Seitens des Fraunhofer WKI wurden auf Basis der Ergebnisse Empfehlungen für den (Nicht-)Einsatz bestimmter Werkstoffe bzw. für deren korrekten Umgang abgeleitet und letztendlich Kriterien für eine Qualitätskontrolle entwickelt.

II.5.1 Emissionsprüfungen

Angesichts der Anzahl der zu untersuchenden Werkstoffe wurde ein dreifacher Untersuchungsansatz gewählt:

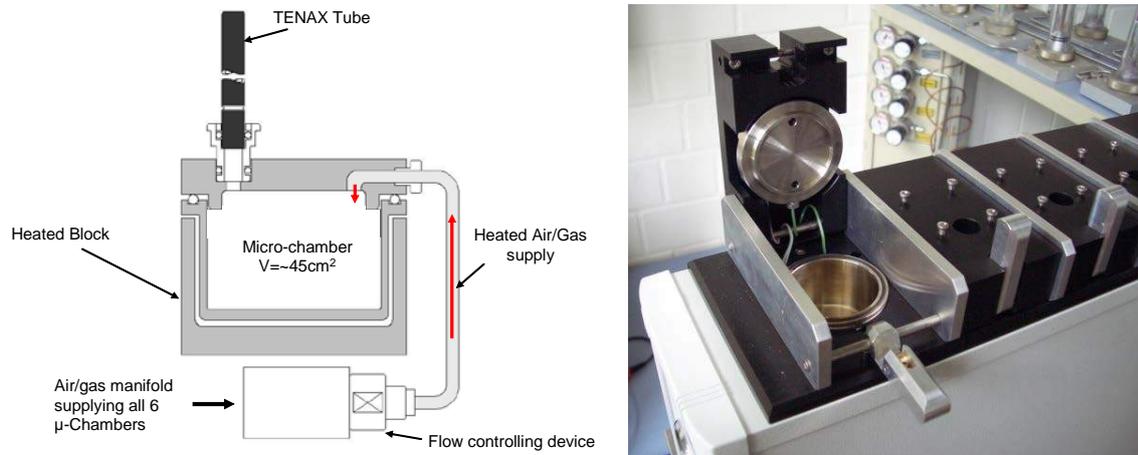
1 Mikrokammer

In einem ersten Schritt wurden alle Materialien in einer sogenannten Mikrokammer (μ -CTE, Markes International) untersucht. Im Gegensatz zu der Emissionsprüfkammer bietet die Mikrokammer eine vergleichsweise zeiteffektive und kostengünstige Methode, die aus einem Prüfstück freigesetzten Emissionen zu untersuchen. Die rein quantitativen Ergebnisse erlauben eine Aussage hinsichtlich des Emissionspotentials und der Art freigesetzter Verbindungen. Ausführliche Studien ergaben eine z.T. gute qualitative Korrelation der festgestellten Emissionen im Vergleich zu entsprechenden Prüfkammeruntersuchungen (Scherer et al., 2006; Schripp et al., 2007).

Die Mikrokammer (Microchamber/Thermal Extractor, μ -CTE; Markes International) besteht aus sechs separaten Edelstahlinsätze mit einem jeweiligen Volumen von ca. 45 ml. Die Einsätze sind in einem elektronisch geregelten Heizblock gelagert (23-130°C) und werden durch eine gemeinsame Gasversorgung mit synthetischer Luft versorgt (Reinheit 5.0 KW-frei, Fa. Air Liquide). Die synthetische Luft tritt aus dem beheizten Deckel in die Edelstahlkammer ein, umspült die Probe und wird anschließend über einen Auslass im Deckel angegeben. An diesem wird ein Adsorptionsröhrchen befestigt, so dass der Gasstrom über dieses geleitet wird. Die Abbildungen II-28 und II-29 zeigen einen schematischen Aufbau und ein Foto der Mikrokammer.

Die mit der Mikrokammer erzielten Ergebnisse werden quantitativ als flächen- bzw. massenspezifische Emissionsraten angegeben (SER_A [$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$] bzw. SER_m [$\mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{h}$]), in Abhängigkeit davon, ob es sich um zweidimensionales Plattenmaterial oder um eine plastische Probe (z.B. Dichtmasse) handelt.

Im vorliegenden Teilprojekt des Forschungsvorhabens diente diese Prüfung als eine Art „Emissionsschnelltest“, um innerhalb einer kurzen Zeitspanne eine große Anzahl an Werkstoffen zu untersuchen.



Abbildungen II-28 und II-29. Schema und Foto µ-CTE (Microchamber, Markes International).

2 Emissionsprüfkammer

Auf Basis des ersten Untersuchungsschrittes wurden repräsentativ ausgewählte Materialien in einer Emissionsprüfkammer untersucht. Diese Prüfung erlaubt eine zeitabhängige Quantifizierung identifizierter Verbindungen unter kontrollierten klimatischen, innenraumnahen Bedingungen. Die Untersuchungen erfolgten in Glaskammern von 1 m^3 -Volumen gemäß DIN EN ISO 16000-9.

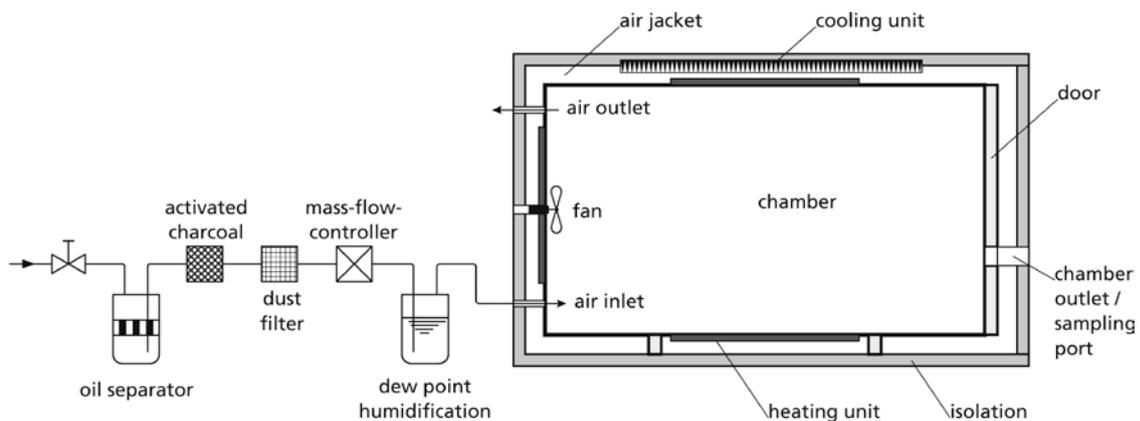
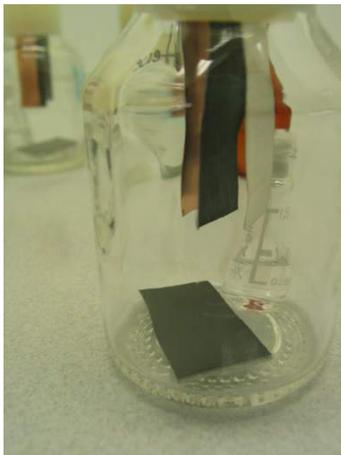


Abbildung II-30 und II-31. Schema (oben) und Foto (unten) einer Emissionsprüfkammer.

3 „Oddy-Test“

Von einem Großteil der zu untersuchenden Werkstoffe wurde auch der sogenannte „Oddy-Test“ durchgeführt. Dieser Test wird von Restauratoren häufig als vergleichsweise „einfache“ Methode angesehen. Ursprünglich in Großbritannien entwickelt (Robinet and Thickett, 2003), wird er mittlerweile von einigen wenigen Laboren auch in Deutschland angeboten und als Entscheidungsgrundlage für die Materialauswahl von Architekten und Restauratoren herangezogen. Er wurde daher zu Vergleichszwecken hinsichtlich der Aussagekraft der mit dieser Methode zu erzielenden Ergebnisse durchgeführt.

Bei dem Oddy-Test handelt es sich um einen beschleunigten Korrosionstest, der sich bekannte korrosive Wechselwirkungen zwischen Metallen und spezifischen Luftschadstoffen zu Nutze macht (Schieweck and Salthammer, 2014). Das Probenmaterial wird in einem verschlossenen Behälter geringen Volumens unter verschärften Bedingungen (sehr hohe relative Luftfeuchte, hohe Temperaturen) über einen Zeitraum von 28 Tagen aufbewahrt (Abbildungen II-32 und II-33). Ebenfalls in dem Behälter befindliche Metallcoupons (Blei, Silber, Kupfer) können nach dieser Versuchszeit unterschiedliche Grade von Korrosionserscheinungen zeigen, die rein visuell bewertet werden. Bei sichtbaren Oberflächenreaktionen kann ein indirekter Rückschluss auf die verursachenden, korrosiv wirkenden Schadgase möglich sein.



Abbildungen II-32 und II-33. Fotos des Oddy-Tests.

Ergebnisse

Die Besprechung der Ergebnisse erfolgte mit den Partnern des Herzog Anton Ulrich-Museums Braunschweig und einer Mitarbeiterin des Architekturbüros bei einer separaten Sitzung im März 2013 am Fraunhofer WKI. Die Ergebnisse wurden zusammenfassend graphisch dargestellt und erläutert. Bei auffälligen Prüfergebnissen erfolgte die Nennung der Emittenten und eine Einschätzung ihrer Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und auf Sammlungsobjekte gemäß des aktuellen Stands der Wissenschaft.

Textilien, Einbaubereich 01 (Mikroklima Vitrineninnenraum)

Die ausgewählten Textilien werden von einem Unternehmen bezogen, das selbst als Maßnahme der Qualitätssicherung den Oddy-Test durchführt/durchführen lässt. Es wurden drei unterschiedliche Stoffqualitäten untersucht, wovon zwei Qualitäten in jeweils zwei verschiedenen Färbungen vorlagen. Gemäß der in der Mikrokammer erzielten Prüfergebnisse sind die untersuchten Textilien als vergleichsweise hoch-emittierend einzustufen. Das Spektrum an freigesetzten Verbindungen ließen vermuten, dass die Stoffe chemisch behandelt bzw. chemisch ausgerüstet worden sind. Die im musealen Umfeld als korrosiv einzustufende Verbindung Essigsäure wurde von zwei der untersuchten Stoffqualitäten freigesetzt. Die Ergebnisse des Oddy-Tests stimmten nicht mit denen des Herstellers überein.

Es wurde empfohlen, Textilien zu verwenden, die weder hohe Konzentrationen an Substanzen, die u.a. als Lösemittel und Weichmacher eingesetzt werden, noch bekannte korrosive Verbindungen (insbesondere Formaldehyd, Ameisen-, Essigsäure) freisetzen. Es sollten daher weitere Stoffqualitäten überprüft werden, bevor eine endgültige Auswahl getroffen wird.

Mineralwerkstoffplatten (Einbaubereiche 02, 03, Vitrinenaussenraum mit/ohne Exponaten im Aussenraum/Ausstellungsraum)

Seitens des Architekturbüros wurden acrylgebundene Mineralwerkstoffe verschiedener Hersteller ausgewählt. Das Emissionsspektrum war hinsichtlich der Materialgruppe und insbesondere nach Produktart sehr ähnlich. Die Platten konnten grundsätzlich als gering-emittierend eingestuft werden. Allerdings gab es Platten, die ein breiteres Spektrum freigesetzter Verbindungen aufwiesen. Auch konnte teilweise Essigsäure in geringen Konzentrationen nachgewiesen werden. Bezüglich dieser Ausnahme war keine Systematik zu erkennen. Möglicherweise bestand ein Zusammenhang zwischen dem Emissionsverhalten und dem Farbton, der Modifikationen in der Formulierung erforderte, dies konnte allerdings nicht eindeutig messtechnisch bestätigt werden. Es wurde daher empfohlen, bei endgültiger Festlegung auf ein Farbkonzept Muster verschiedener Chargen in einer Emissionsprüfkammer erneut untersuchen zu lassen. Die Ergebnisse des Oddy-Tests standen nicht im Widerspruch zu den Prüfkammerergebnissen und wurden als geeignet für temporäre bzw. langfristige Verwendung bewertet.

Plattenwerkstoffe (Einbaubereiche 02, 03, Vitrinenaussenraum mit/ohne Exponaten im Aussenraum/Ausstellungsraum)

Unter den Plattenwerkstoffen wurden Gipsfaser- und Gipskartonplatten sowie mitteldichte Faserplatten (MDF) untersucht. Die Gipskartonplatten wurden als gering-emittierende Produkte bewertet. Verbindungen, die klassischerweise als Lösemittel eingesetzt werden, wurden nur in geringen bzw. vernachlässigbaren Mengen freigesetzt. Im Gegensatz dazu wurde die untersuchte MDF-Platte als hoch-emittierender Werkstoff eingestuft, der unter Prüfkammerbedingungen hohe Konzentrationen an organischen Säuren (u.a. Ameisen-, Essigsäure), Aldehyden und Terpenen freisetzte. Das MDF war für die Unterkonstruktionen der Wandbespannungen und Besucherbänke sowie als Trägermaterial für Podeste und Sockel vorgesehen.

Klebstoffe (Einbaubereiche 01, 02, 03, Mikroklima Vitrineninnenraum, Vitrinenaussenraum mit/ohne Exponaten im Aussenraum/Ausstellungsraum)

Bei den untersuchten Proben handelte es sich überwiegend um Klebstoffe, die für die Verklebung von Mineralwerkstoffen spezifischer Hersteller bestimmt sind. Gemäß der Farben des Mineralwerkstoffes gibt es den für das Plattensystem passenden Klebstoff ebenfalls in verschiedenen Farben. Bei den Klebstoffen handelte es sich um Formulierungen auf Acrylat-Basis, weshalb Methylmethacrylat als Hauptemittent in stark erhöhten Konzentrationen nachgewiesen werden konnte. Darüber hinaus wurden wenige, als Lösemittel eingesetzte Substanzen in geringen Konzentrationen identifiziert. Eine Ausnahme bildete allerdings ein Produkt, das sowohl im Emissionsspektrum als auch im Emissionspotential von den vergleichbaren Klebstoffen abwich. Hier konnte eine weite Spanne an verschiedensten Verbindungen identifiziert werden, die teilweise in deutlich erhöhten Mengen in die Gasphase freigesetzt wurden. Dieses Ergebnis zeigt, dass nicht von einem Einzelprodukt auf andere Produkte (hier: Klebstoffe gleichen Herstellers und Systems, aber unterschiedlicher Farbgebung) geschlossen werden kann, sondern das jedes Produkt einer Emissionsprüfung bedarf, bevor eine endgültige Entscheidung hinsichtlich des Einsatzes im musealen Umfeld und hier im spezifischen Einsatzbereich getroffen werden kann und darf. Auch ein niedrig-emittierender Werkstoff kann im Verbund zu einem hoch-emittierenden Material werden (Beispiel hier: Mineralwerkstoffplatte und passender Systemklebstoff).

Dass nicht nur die Konzentration an freigesetzten Verbindungen relevant ist, sondern auch, welche Substanzen emittiert werden, zeigte das Beispiel eines Gewebeklebers, der auf Vorsatzschalen, Ausstellungswänden, Sockeln und Podesten eingesetzt werden sollte. Zwar konnte das Material als moderate Quelle für flüchtige organische Verbindungen (VOCs) bewertet werden, jedoch wurde unter den Emissionen die toxische Substanz Bromoform in Spurenkonzentrationen detektiert. Darüber hinaus setzte es hohe Konzentrationen der im musealen Umfeld als korrosiv eingestuft und aus präventiven Gründen daher auszuschließenden Verbindungen Formaldehyd und Essigsäure frei. Aus den genannten gesundheitlichen und präventiven Gründen erfolgte daher die dringende Empfehlung an das Architekturbüro, dieses Material sofort von der Liste zu nehmen. Auch wurde empfohlen, einen klassischen Weißleim, der für die konstruktive Verklebung vorgesehen war, von der Liste zu nehmen, da er eine starke Quelle für Essigsäure darstellt.

Oberflächenbeschichtungen (Einbaubereiche 02, 03, Vitrinenaussenraum mit/ohne Exponaten im Aussenraum/Ausstellungsraum)

Für die Oberflächenbeschichtungen in den Einbaubereichen 02 und 03 waren seitens der Architekten ausschließlich Nasslackierungen vorgesehen. Bei allen Produkten handelte es sich um lösemittel-basierende Beschichtungssysteme mit dem entsprechenden Emissionspotential (Freisetzung verschiedener Lösemittel und Additive in teils hohen Konzentrationen).

II.5.2 Kriterien Qualitätskontrolle

Auf Basis der durchgeführten Emissionsprüfungen wurden folgende Aspekte deutlich:

Übertragung von Einzelergebnissen auf vergleichbare Materialien

Hinsichtlich des Emissionspotentials eines Werkstoffes darf nicht von dem Ergebnis eines Einzelproduktes auf das Verhalten anderer Produkte (hier: Klebstoffe gleichen Herstellers und Systems, aber unterschiedlicher Farbgebung) geschlossen werden, da deutliche Abweichungen und Unterschiede möglich sind.

Jedes Produkt muss einer Emissionsprüfung unterzogen werden

Jedes Produkt bedarf einer Emissionsprüfung, bevor eine endgültige Entscheidung hinsichtlich des Einsatzes im musealen Umfeld und hier im spezifischen Einsatzbereich getroffen werden kann und darf. Durch die Prüfungen können Abweichungen innerhalb einer Produktgruppe und Charge identifiziert werden. Das bedeutet, dass das Prüfergebnis nur für die Produkte einer bestimmten Charge gültig ist. Bei Verwendung eines Materials aus einer anderen Charge, ist wiederum eine Prüfung notwendig.

Aktualität der Ergebnisse

Emissionsprüfungen sind regelmäßig durchzuführen, um unerwünschte Emissionen durch chargen- oder produktionsbedingte Modifikationen ausschließen zu können. Das Prüfzeugnis sollte immer so aktuell wie möglich sein, aber keinesfalls älter als maximal 2 Jahre. Auch dieses Maximum sollte nur in Ausnahmefällen akzeptiert werden.

Auf Basis von Prüfzeugnissen können Materialentscheidungen unter Beachtung folgender Aspekte vorgenommen werden:

Ausschließen von Produkten, die gesundheitsschädliche Verbindungen enthalten/freisetzen

Es sollten keine Materialien eingesetzt werden, die Verbindungen enthalten und/oder freisetzen, die als toxische Substanzen (sehr giftig, giftig) oder als sogenannten KMR-Substanzen eingestuft sind (**k**anzerogen, **m**utagen, **r**eproduktionstoxisch).

Ausschließen von Produkten, die korrosive Verbindungen enthalten/freisetzen

Es sollten keine Materialien eingesetzt werden, die Verbindungen enthalten und/oder freisetzen, die bekanntermaßen korrosiv auf sensible Objektmaterialien wirken oder chemisch reaktiv sind. Dazu zählen Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure, organische Ester, Oxime, schweflige Verbindungen

Datensicherheitsblätter und technische Informationsblätter geben KEINE Auskunft

Datensicherheitsblätter und technische Informationsblätter erlauben keine Aussage über das Emissionsverhalten eines Materials. Dies betrifft sowohl das zeitliche Emissionsverhalten, das Emissionspotential (gering-mittel-hoch) als auch die Zusammensetzung des emittierten Substanzspektrums. Auch geben Datensicherheitsblätter und technische Informationsblätter keine Informationen über das Freisetzen von Geruchsstoffen und sogenannten Sekundäremissionen. Darunter sind Substanzen zu verstehen, die nicht ursprünglich (durch den Produktionsprozess) im betreffenden Material enthalten sind, sondern erst während der Nutzung durch unerwünschte chemische Reaktionen gebildet und freigesetzt werden. Diese Reaktionen können zwischen verschiedenen

Ausgangsverbindungen im Material, an der Grenzfläche von Material und Gasphase oder in der Gasphase ablaufen (Schieweck, 2011).

Werkstoffe auswählen, die möglichst gering-emittierend sind

Grundsätzlich sollten, wenn möglich, für einen Einsatzbereich verschiedene Werkstoffe vergleichend untersucht und das Material ausgewählt werden, welches die o.g. Anforderungen einhält und hinsichtlich des Spektrums an freigesetzten Verbindungen als auch hinsichtlich der Konzentration als gering-emittierend bewertet werden kann. Da bislang nicht bekannt ist, ob bestimmte Schadstoffkonzentrationen Schwellbereiche für eine Objektschädigung darstellen können, sollten Materialien gemäß des im Innenraumbereich akzeptierten ALARA-Konzeptes (*emissions should kept as low as reasonable achievable*) ausgewählt werden.

Messmethoden

Neben den auf dem Gebiet der Innenraumhygiene entwickelten Messmethoden, die reproduzier- und standardisierbar sind und in diesem Projekt in Form von Mikro- und Prüfkammeruntersuchungen mit der jeweils nachgeschalteten Analytik zum Einsatz kamen, existieren eine Reihe sogenannter „einfacher“ Nachweismethoden. Diese wurden im Museumsbereich entwickelt, da sich Restauratoren häufig für den Nachweis von Luftfremdstoffen verantwortlich fühlen und diese Verfahren ein selbständiges Handeln ohne Hinzuziehen eines akkreditierten Fachlabors ermöglichen sollen (Schieweck and Salthammer, 2014). Viele dieser Verfahren basieren auf korrosiven Wechselwirkungen, wie der in diesem Arbeitsabschnitt eingesetzte Oddy-Test.

Die Ergebnisse von Kammeruntersuchungen und Oddy-Test zeigen, dass sie in der Regel miteinander kaum vergleichbar sind. Dies ist zum einen in der völlig unterschiedlichen Konzeption begründet. Erlauben Kammeruntersuchungen eine genaue Identifizierung und Quantifizierung freigesetzter Verbindungen, so will der Oddy-Test eine korrosive Wechselwirkungen zwischen Emissionen und Objektmaterial erfassen. Allerdings sind auch diese Ergebnisse untereinander nicht vergleichbar, da der Test ausschließlich makroskopisch ausgewertet wird und diese damit sehr subjektiv ist. Außerdem existieren häufig sehr unterschiedliche Versuchsaufbauten. Auch hat sich gezeigt, dass der Test auch bei Freisetzung korrosiver Substanzen durch die Materialprobe nicht zwangsläufig eine Wechselwirkung anzeigt und umgekehrt. Somit kann er nicht mehr als einen ersten Anhaltspunkt bieten.

Auch insbesondere angesichts der komplexen Thematik der Luftfremdstoffe ist es zu empfehlen, ein mit der Thematik vertrautes Fachlabor hinzuzuziehen. Nur so sind belastbare Ergebnisse zu erzielen, die auch bei rechtlichen Auseinandersetzungen verwert- und beurteilbar sind.

Hinweise für die Bauphase

Für die Bauphase wurden folgende Hinweise formuliert und an die Projektpartner des Herzog Anton Ulrich-Museums und das Architekturbüro gegeben:

Überprüfung von Musteraufbauten

Das Emissionsverhalten von Einzel- und Verbundmaterialien kann voneinander abweichen. Es sollten daher auch immer Musteraufbauten geprüft werden. Besonders wichtig wird dies bei den Vitrinen, die vor Festlegung auf einen Anbieter bemustert werden sollten. Seitens der Architekten sollten in der Ausschreibung (Leistungsverzeichnis) die Emissionsprüfung aller für den Bau der Vitrinen eingeplanten

Materialien sowie die Prüfung der Luftqualität in Mustervitrinen vorgesehen sein. Entsprechend des Vorbilds anderer großer Kunstsammlungen in Deutschland sollte sich der Auftraggeber auch vorbehalten, die gelieferten Vitrinen mit oder ggf. ohne Kenntnis des Auftragnehmers erneut prüfen zu lassen, um die kontinuierliche Einhaltung der gewünschten Qualität und Anforderungen überprüfen zu können.

Überprüfung der Luftqualität während und nach der Bauphase

Da auch durch den Hochbau neue Werkstoffe und Materialien eingebracht werden und hinsichtlich der Ausstellungsgestaltung aus ästhetischen und finanziellen Gründen Kompromisse bei der Materialauswahl eingegangen werden müssen, sollte die Luftqualität während und nach der Bauphase überprüft werden. Dies erlaubt die Identifizierung starker Emissionsquellen und eine Beobachtung des zeitlichen Emissionsverlaufes. Auf dieser Grundlage kann die Notwendigkeit nach zusätzlichen, immissionsmindernden Maßnahmen eingeschätzt werden (bspw. erhöhte Lüftung und Einbringen adsorptiver Materialien vor Bestückung der Räume und Vitrinen mit Exponaten).

II.6 Ergebnisse Arbeitsabschnitt III: Evaluierung der Depots im Neubau

Wie bereits aufgeführt, konnte aufgrund der zeitlichen Verzögerungen in der Baumaßnahme am Herzog Anton Ulrich-Museum (Sanierung Hauptgebäude) der dritte Projektabschnitt nicht gemäß des Projektantrags bearbeitet werden. Die Einrichtung und Wiedereröffnung der Ausstellungsräume waren zum Projektende für das Jahr 2016 geplant und lagen damit weit außerhalb der Projektlaufzeit. Nach Zustimmung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) wurden daher die neu eingerichteten Depots im vor der Sanierung des Altgebäudes errichteten Neubau hinsichtlich Luftqualität und Partikelgrößen sowie –verteilung vorgenommen. Gegenstand der Messungen waren die zum Projektzeitpunkt bisher eingerichteten Depots des Kupferstichkabinetts und der Gemäldegalerie. Um Hinweise für die zukünftige Ausstellungsgestaltung zu erhalten und die im Projektantrag für die neuen Ausstellungsräume geplante Umsetzung von Raumluft- und Partikelmessungen mit/ohne Besucher zu realisieren, wurden auch die Museumsräume in der Burg Dankwarderode untersucht, in der während der Schließzeit des Museums die wichtigsten Exponate und Wechselausstellungen gezeigt werden.

Luftqualität in den Depots (Neubau)



Abbildungen II-34 und II-35. Raumluft- und Partikelmessungen im Depot des Kupferstichkabinetts (links) und der Gemäldegalerie (rechts).

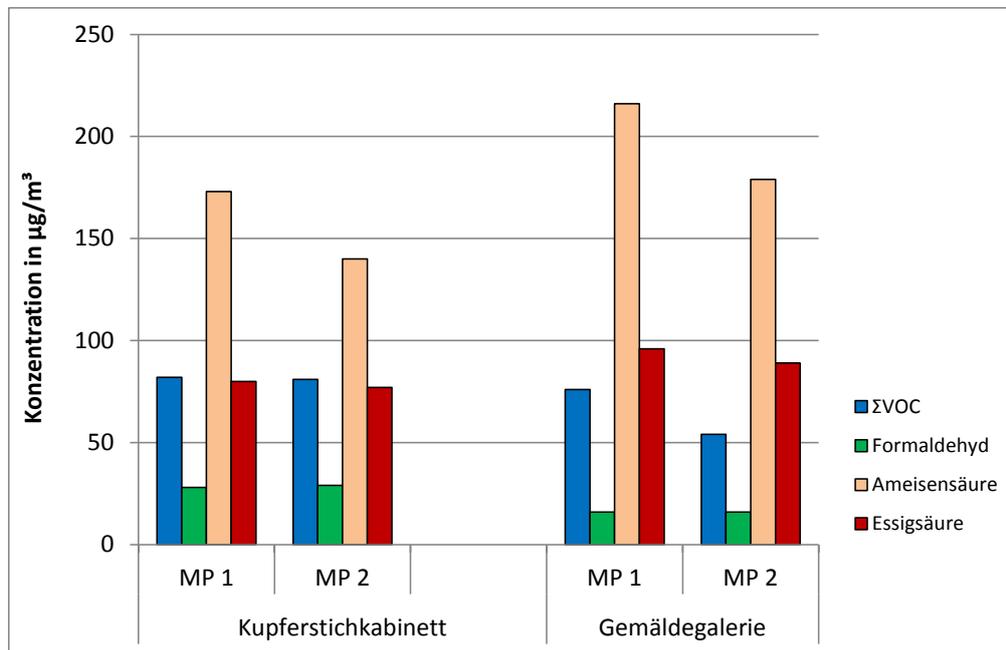


Abbildung II-36. Ergebnisse der Raumluftmessung. Graphische Darstellung.

Die Ergebnisse zeigten sehr geringe Hintergrundbelastungen beider Depots (jeweils zwei Messpunkte: MP 1 und MP 2). Die Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (ΣVOC) lagen bei $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Gemäldedepot, MP 2) bis $82 \text{ mg}/\text{m}^3$ (Kupferstichdepot, MP 1). Auch die Konzentration von Formaldehyd war mit $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Kupferstichdepot) und $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Gemäldedepot) als niedrig zu bewerten. Gleiches galt für die Essigsäure-Werte (jeweils $<100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Überraschenderweise waren die Konzentrationen von Ameisensäure mit $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Kupferstichdepot, MP 2) bis $216 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Gemäldedepot, MP 1) verhältnismäßig hoch. In der Regel ist Essigsäure in Innenräumen in höherer Konzentration als Ameisensäure nachzuweisen.

Die unabhängig davon allgemein als sehr niedrig zu bewertenden Messergebnisse in beiden Räumen wies auf eine zentrale Klimatisierung hin und wies sich dadurch begründen. Ohne eine Klimatisierung wären Unterschiede in den Messwerten und dem Spektrum identifizierter Verbindungen zu erwarten gewesen. Eine Quelle für die ungewöhnlich hohen Werte von Ameisensäure ließ sich während des Projektes nicht identifizieren. Da die Konzentrationen in beiden Depots ähnlich hoch sind, ist der Eintrag der Ameisensäure durch die Klimaanlage zu vermuten.

Auch die Hintergrundkonzentration von Partikeln war in beiden Depots als sehr niedrig zu bewerten und ist wahrscheinlich wiederum auf die Klimatisierung zurückzuführen. Die gemessenen Partikel wiesen eine Größe $<100\text{nm}$ auf, auch konnte keine Auffälligkeit in der Partikelverteilung festgestellt werden (Abbildung II-37).

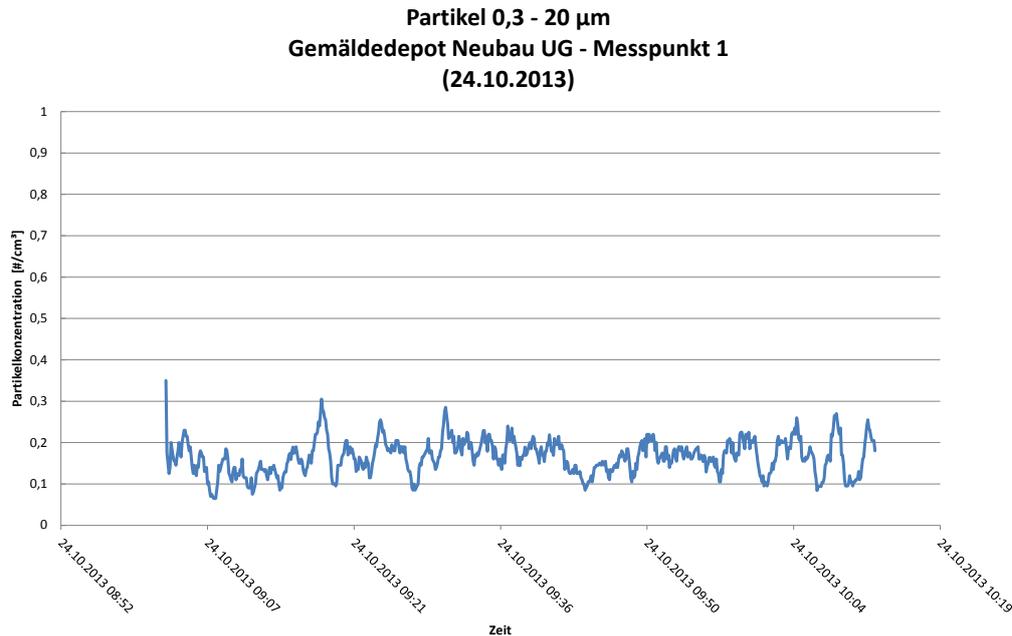


Abbildung II-37. Ergebnisse der Partikelverteilung in der Raumluft der Depots.

Luftqualität in den Ausstellungsräumen der Burg Dankwarderode

Um den Einfluss des Besucherverkehrs auf die Luftqualität und Partikelverteilung zu untersuchen, wurden in den Ausstellungsräumen der Burg Dankwarderode Raumluft- und Partikelmessungen an zwei aufeinanderfolgenden Tagen vorgenommen. Am ersten Tag (Schließtag) wurden die genannten Parameter ohne Besucherverkehr erfasst, am darauffolgenden Tag während des normalen Museumsbetriebs bei unterschiedlichem Besucheraufkommen. Die Ergebnisse sind in Abbildung II-38 zusammenfassend graphisch dargestellt.

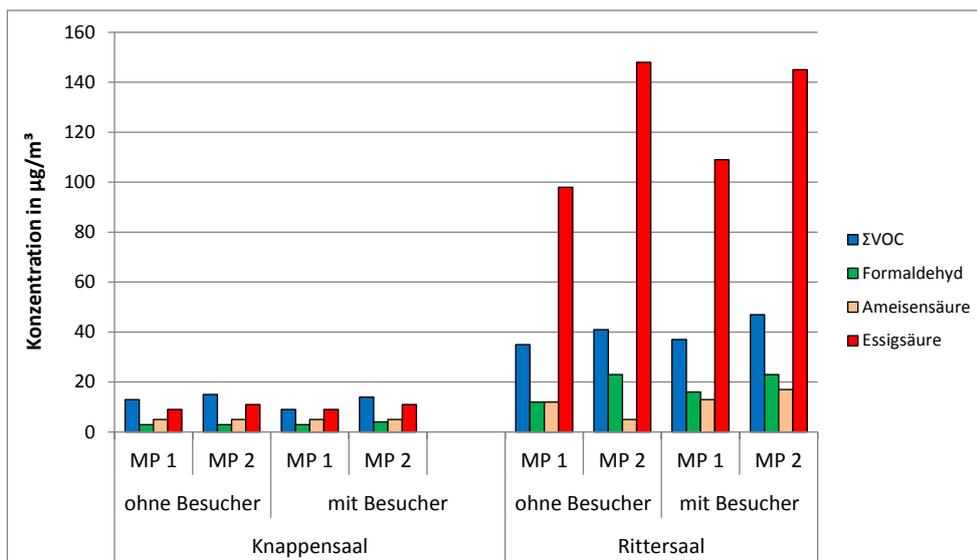


Abbildung II-38. Ergebnisse der Raumluftmessungen in der Interims-Ausstellung des Herzog Anton Ulrich-Museums, Burg Dankwarderode.

Wie die Graphik zeigt, konnten auch die Hintergrundwerte in den Ausstellungsräumen der Burg Dankwarderode (Knappen- und Rittersaal) als sehr gering bewertet werden. Die Konzentrationen von

Luftfremdstoffen waren im Knappensaal noch geringer als im Rittersaal und konnten mit der unterschiedlichen Raumausstattung begründet werden. Während der Knappensaal einen Steinfußboden und verputzte Wände aufweist, verfügt der Rittersaal über eine historisierende Ausstattung mit Parkettfußboden und Deckengebälk. Darüber hinaus wurden zur Umgestaltung des Raums in eine Ausstellungsfläche für die Zeit der Schließung des Haupthauses des Herzog Anton Ulrich-Museums aus Holzwerkstoffen bestehende Kuben im Raum aufgestellt, die das Erschließen des Raumes in unterschiedliche Segmente unterteilt ermöglichen sollen. Beide Räume konnten angesichts der niedrigen Werte als konservatorisch unbedenklich bewertet werden.

Wie ebenfalls der Graphik zu entnehmen ist, wirkte sich der Besucherverkehr nahezu gar nicht auf die Luftqualität aus. Dies war mit dem trockenen Außenwetter und eines nicht zu großen Besucheraufkommens zu begründen. Daher sind diese Ergebnisse keinesfalls auf andere Ausstellungsräume zu übertragen! In Abhängigkeit von der Besucherdichte und der Außenwitterung werden deutlich Einflüsse auf das Innenklima (Luftqualität, Partikelverteilung) zu erwarten sein und auch gemessen werden können. Mit der Neueinrichtung des Museums wird mit einem deutlich höheren Besucherstrom als in der Burg zu rechnen sein, insbesondere kurz nach der Wiedereröffnung. In den Räumen, in denen eine frei Aufstellung der Exponate ohne Schutz hinter Glas geplant ist, sollten daher zwingend Messungen vorgenommen werden. Die Ergebnisse unterscheiden sich nicht hinsichtlich Partikelgröße und -verteilung, so dass die Interpretation hierfür uneingeschränkt zu übernehmen ist.

II.7 Zusammenfassung

Der im Projektantrag verfasste Ablaufplan konnte im Teilprojekt Braunschweig erfolgreich bearbeitet werden. Im Gegensatz zum Teilprojekt Minden, in welchem Grundlagen geschaffen und auf diesen aufgebaut werden musste, fokussierten sich die Arbeiten auf einen bereits im Vorfeld als schwierig eingestuften Themenkomplex, dem der Luftfremdstoffe in Ausstellungsbereichen und vor allem in Museumsvitrinen. Diesem wurde durch eine umfassende laboratorische Versuchsreihe Rechnung getragen, in welcher der Versuch unternommen wurde, Schadensbilder in Abhängigkeit von der einwirkenden Konzentration spezifischer Zielsubstanzen zu erfassen und zu bewerten. Diese Versuchsreihe stellte eine große Herausforderung dar und wird auch noch nach Ende des Forschungsvorhabens weiter bearbeitet und die Ergebnisse in einer Publikation zusammengetragen werden. Darüber hinaus konnten alle der seitens der Architekten vorgeschlagenen Materialien im Rahmen des Teilprojektes auf Emissionen geprüft und Empfehlungen für die Materialauswahl erarbeitet werden. Auf dieser Basis wurden auch wichtige Kriterien für die Vorgehensweise bei der Materialauswahl, rechtliche Verankerungen in Ausschreibungstexten und für den Umgang mit Materialemissionen während und nach der noch ausstehenden Bauphase Ausstellungseinrichtung entwickelt werden. Abschließend erlaubten die Messreihen im Projektabschnitt III Einblicke in die Luftqualität und Partikelverteilung der Interimsausstellung und der neu gestalteten Depots. Hier konnten keine Auffälligkeiten detektiert werden, was hinsichtlich der Depots mit der zentralen Klimatisierungsanlage zu begründen ist. Eine Übertragbarkeit der gewonnenen Ergebnisse auf die zukünftige, neue Dauerausstellung ist allerdings nicht zulässig, die Ergebnisse können lediglich Informationen und Impulse für die dortige Vorgehensweise liefern. Dies liegt darin, dass sich die neuen Ausstellungsräume hinsichtlich der Klimatisierung,

Raumausstattung und Vitrinengestaltung ebenso wie hinsichtlich des Besucherverkehrs deutlich von der Interimsausstellung und von den Depots unterscheiden wird.

Das Teilprojekt Herzog Anton Ulrich-Museum Braunschweig kann abschließend ebenfalls als sehr erfolgreich bewertet werden. Hinsichtlich der Konstellation völlig unterschiedlich zum Teilprojekt Domschatzkammer Minden gelagert, stellte es gerade aufgrund der komplexen Kommunikations- und Entscheidungsstrukturen und der damit notwendigen Prozesse angesichts der Vielzahl an unterschiedlichen Personenkreisen, die in die sehr große Baumaßnahme eingebunden sind und verantwortlich zeichnen, die möglicherweise größere Herausforderung dar. Eine gleichberechtigte Einbindung des Forschungsvorhabens in den Bauablauf war angesichts dieser unterschiedlich gelagerten und zugeteilten Verantwortlichkeiten und des bestehenden Zeitrahmens – sowohl der Baumaßnahme als auch des Forschungsvorhabens – nicht möglich. Das Forschungsvorhaben konnte Zuarbeiten sowie für die Mitarbeiter äußerst wichtige Fragestellungen diskutieren und Lösungswege anbieten, hatte aber selbstverständlich keine rechtliche Handhabe. Im Projekt erarbeitete Vorschläge und Empfehlungen mussten daher nicht zwingend von den Bauverantwortlichen berücksichtigt werden.

Auch für die Mitarbeiter des Herzog Anton Ulrich-Museums stellte die fachliche Expertise des Fachbeirats und der regelmäßige Austausch mit den Kollegen eine große Bereicherung dar, die neue Überlegungen, Blickwinkel und Gedankenanstöße eröffneten. Auch über das Forschungsvorhaben hinaus werden fachliche Hinweise und Ratschläge weiter verfolgt werden, so dass von einer Berücksichtigung der präventiven Aspekte und hier insbesondere der Emissionsprüfungen im Rahmen der Ausstellungsgestaltung auszugehen ist. Die Sensibilisierung beteiligter Fachgruppen, die bisher noch keine Berührungen oder Überschneidungen mit präventiven Themen hatten, ist als großer Erfolg des Teilprojektes zu bewerten.

III Weiterführende, aus dem Forschungsvorhaben resultierende wichtige Hinweise für Baumaßnahmen in Museen

Baumaßnahmen in Museen stellen grundsätzlich eine besondere Herausforderungen für alle Beteiligten dar und können, unabhängig von der Größe, Zusammensetzung und Struktur beteiligter Personengruppen, viele Fragestellungen und Konflikte aufwerfen. In dem vorliegenden Forschungsvorhaben konnte erstmals die Möglichkeit genutzt werden, zwei hinsichtlich ihrer Größe und Organisationsstruktur vollkommen unterschiedliche Häuser bei diesen Herausforderungen temporär zu begleiten. Aus diesem Prozess hervorgegangene allgemeine Überlegungen und Beobachtungen sollen nachfolgend zusammengefasst werden.

Kontinuierliche Priorität der Präventiven Konservierung

Um während einer Baumaßnahme Aspekte der Präventiven Konservierung kontinuierlich zu verfolgen und zu berücksichtigen, ist es wichtig, diese Priorität bereits von Beginn und damit von den ersten Planungen an festzulegen und bis zum Ende der Baumaßnahme aufrechtzuerhalten. Dabei müssen alle in die Maßnahme involvierten Personenkreise gemeinsam eine Priorität auf die Präventive Konservierung legen und dürfen sie während der laufenden Bauarbeiten nicht mehr anzweifeln. Im Idealfall wird einer Person die federführende Zuständigkeit für alle mit der Prävention verbundenen Aspekte übertragen, um personelle Konflikte und inhaltliche Abweichungen zu vermeiden.

Nachweispflicht klären

Bei Baumaßnahmen im musealen Umfeld sollten zwingend die Nachweispflichten geklärt werden und zur Vermeidung späterer Konflikte zum Planungsbeginn schriftlich dokumentiert werden. Zu klärende Aspekte sind wo die Zuständigkeiten bei notwendigen Prüfungen liegen und wer hierfür in der Nachweispflicht ist:

- WER muss prüfen und nachweisen?
- WANN ist zu prüfen und nachzuweisen?
- WIE ist zu prüfen und nachzuweisen?
- WIE sind die Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten im Regressfall?

Dies sollte VOR Beginn einer Baumaßnahme geklärt und eindeutig einzelnen Personen oder Personengruppen zugeordnet werden.

Entscheidungs- und Kommunikationswege festlegen

Auch sind Entscheidungs- und Kommunikationswege rechtzeitig festzulegen:

- WIE, WANN und MIT WEM sollen Absprachen getroffen werden? Wer muss eingebunden werden?

Verantwortlichkeiten und Haftung

Ein wesentlicher Aspekt betrifft dabei die Verantwortlichkeiten und die Haftung:

- WER ist WOFÜR verantwortlich?
- WER trifft welche Entscheidung?
- WER haftet?

„Plan B“

Von großer Relevanz ist es auch, eine Alternative und damit einen „Plan B“ für Notfälle bzw. für unvorhergesehene Schwierigkeiten, Konflikte u.ä. zu haben. Was passiert, wenn eine Kompromissfindung zwischen verschiedenen Interessen (z.B. Ästhetik, Konservierung, Finanzrahmen) nicht möglich ist? Wenn Unvorhergesehenes eintritt?

IV Öffentlichkeitsarbeit

Das Forschungsvorhaben wurde in der regionalen und fachlichen Presse sowie auf einer internationalen Fachtagung vorgestellt.

Schätze für die Zukunft bewahren

Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) unterstützt Domschatzkammer

Minden (awe). Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, eine der größten Stiftungen in ganz Europa, unterstützt die Domschatzkammer in Minden mit 50 000 Euro.

Die Domschatzkammer ist einer der Kulturschätze der Stadt Minden und ein Kulturgut von internationalem Rang. Um die wertvollen und empfindlichen Exponate vor schädlichen Umwelteinflüssen wie Licht, Temperatur, Luftfeuchte oder Schadstoffen zu schützen, werden in einem gemeinsamen Projekt mit dem Fraunhofer-Institut für Holzforschung und dem Herzog Anton Ulrich-Museum (beide Braunschweig) präventive Maßnahmen bei der Gestaltung der Ausstellungsräume und des Mobiliars, wie Vitrinen, ergriffen.

Ziel der Neugestaltung ist es, die Sammlung einer noch breiteren Öffentlichkeit zugänglich zu machen. „Dank des Engagements der Deutschen Bundesstiftung Umwelt und unserer beiden Projektpartner können wir unsere Kunstschätze nicht nur besser präsentieren, sondern auch nachhaltig bewahren“, sagt Dompropst Roland Falkenhahn.

Die Domschatzkammer Minden wird ihre ursprüngliche Ausstellungsfläche von 68 Quadratmeter durch eine bauliche Erweiterung auf mehr als 200 Quadratmeter vergrößern, um



MdB Steffen Kampeter, Rendant Stephan Kurze, Kirchenvorstand Rudolf Bilstein, Propst Roland Falkenhahn, Domschatzkammerleiter Dr. Frank Pauli und Architekt Peter Korth präsentieren das Modell der neuen Domschatzkammer. Foto: Weigelt

die Sammlung neu konzeptioniert zu präsentieren. Bei der baulichen Erweiterung der Domschatzkammer Minden stehen (raum-)klimatische Parameter und Aspekte der Beleuchtung im Vordergrund.

Rund 2,5 Millionen Euro wird die Katholische Domgemeinde Minden mit Unterstützung von weiteren Geldgebern, u. a. dem Dombauverein Minden, in die Erweiterung und Neugestaltung der Domschatzkammer investieren. Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) wird ein in die Baumaßnahme eingebettetes Forschungsprojekt mit 50 000 Euro unterstützen. Steffen Kampeter, heimischer Bundestagsabgeordneter und DBU-Kuratoriumsmitglied: „Viele

Museen stehen vor ähnlichen Herausforderungen. Von diesem Modellprojekt werden viele Häuser und Sammlungen profitieren können.“

Der Schwerpunkt des zweijährigen Forschungsprojektes liegt auf dem Umgang mit Materialemissionen bei der Ausstattung von Ausstellungsräumen, insbesondere bei der Konstruktion von Vitrinen. In einigen Sammlungsbereichen ist die Präsentation wertvoller Exponate frei im Raum geplant, sodass hier auch eine mögliche Belastung durch Partikel zu berücksichtigen ist. Neue Aufbewahrungsformen sollen helfen, einer weiteren Destabilisierung bereits vorgeschädigter Kunstwerke des Mindener Domschatzes entgegenzuwirken.

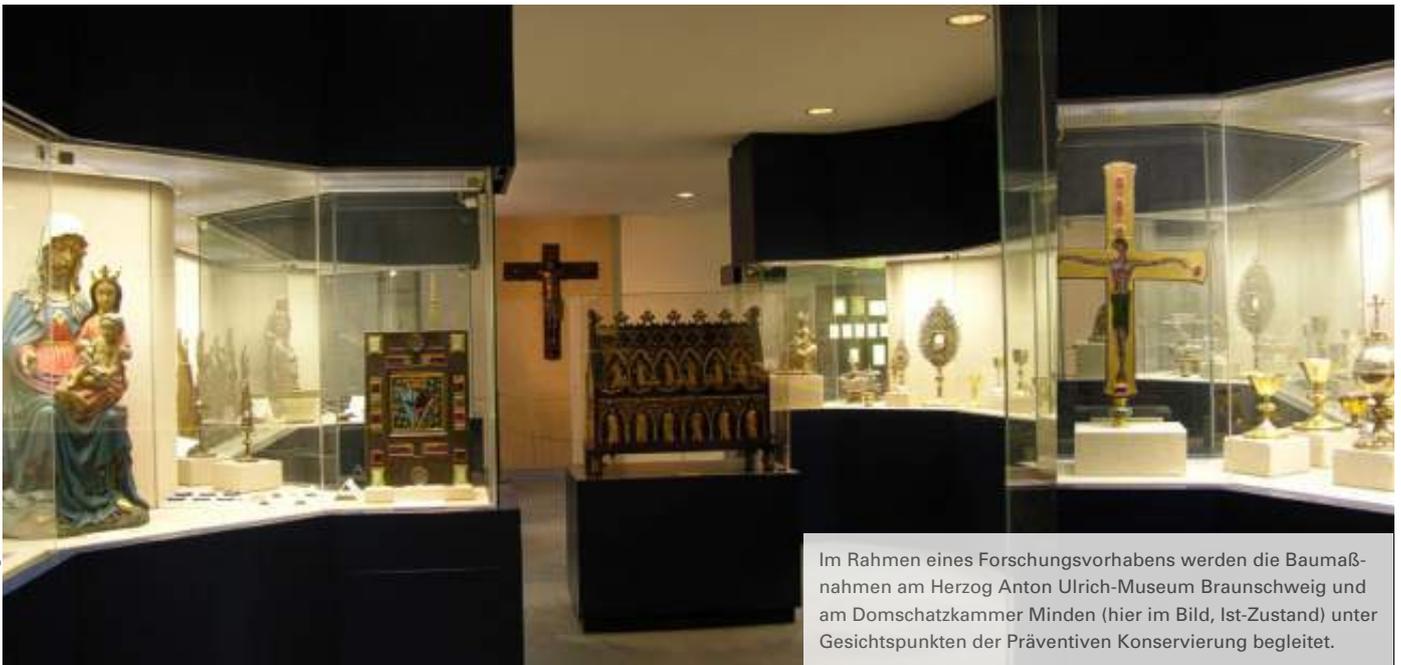


Foto: © A. Weigelt

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens werden die Baumaßnahmen am Herzog Anton Ulrich-Museum Braunschweig und am Domschatzkammer Minden (hier im Bild, Ist-Zustand) unter Gesichtspunkten der Präventiven Konservierung begleitet.

Präventive Konservierung bei Baumaßnahmen in Museen

Das zunehmende Bewusstsein gegenüber der Umwelt und das Wissen um anthropogen induzierte Schadensbilder an wertvollem Sammlungsgut haben dazu beigetragen, dass die Präventive Konservierung seit einigen Jahren einen neuen Schwerpunkt in den Konservierungs- und Restaurierungswissenschaften bildet. Das Ziel dieser frühzeitig zu ergreifenden, vorbeugenden Maßnahmen ist die nachhaltige Vermeidung oder zumindest Minimierung von Schäden an Kunst- und Kulturgut durch den Ausschluss von schädigenden Einflussfaktoren. Diese Maßnahmen sollen im Idealfall ausschließlich durch eine optimale Anpassung der Objektumgebung erfolgen, indem durch sorgfältige Prüfung aller einwirkenden Umfeldfaktoren bereits im Vorfeld Gefahrenpotenziale erkannt und wirkungsvoll ausgeschlossen werden.

Gerade im Rahmen von Baumaßnahmen stellen sich viele Fragen, die auf das Gelingen einer praktischen und effizienten Implementierung von Maßnahmen der Präventiven Konservierung abzielen. Auch die Vereinbarkeit von konservatorischen, finanziellen und umweltverträglichen Aspekten erscheint oft als zusätzlich erschwerend. Gerade für kleinere Museen und Sammlungen ohne restauratorisches Fachpersonal ist es kaum möglich, einen Lösungsweg zu finden.

In einem zweijährigen Forschungsvorhaben werden daher die Baumaßnahmen an zwei Museen begleitet, dem Herzog Anton Ulrich-Museum in Braunschweig und der Domschatzkammer in Minden. Die Zielset-

zung dabei ist es, Anforderungen der Präventiven Konservierung zu definieren, diese praktisch umzusetzen und mit architektonisch-ästhetischen Kriterien zu vereinbaren, wobei auch die finanziellen Möglichkeiten Berücksichtigung finden. Partner des Projekts, das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert wird, sind das Herzog Anton Ulrich-Museum in Braunschweig, die Domschatzkammer in Minden und das Fraunhofer Institut für Holzforschung WKI Braunschweig, das die Baumaßnahmen wissenschaftlich begleitet.

Die zwei Museen unterscheiden sich sowohl in den lokalen Gegebenheiten als auch in ihrem Sammlungskonzept.

Die Baumaßnahme am Herzog Anton Ulrich-Museum hat bereits mit dem Umzug der Sammlung, der Restaurierungswerkstätten und der Büros in einen Neubau begonnen. Derzeit wird der denkmalgeschützte historische Altbau im Sinne des ursprünglichen Architekturkonzepts umgebaut. Die bedeutende Sammlung der Kunstwerke der Antike bis zur Moderne, aufgeteilt in die Bereiche Gemälde, Kupferstichkabinett, Skulpturen, Angewandte Kunst, Außereuropäische Kunst und Münzen wird auf einer Ausstellungsfläche von rund 3600 m² neu konzipiert.

Die Domschatzkammer Minden wird ihre ursprüngliche Ausstellungsfläche von 68 m² durch eine bauliche Erweiterung vergrößern, um die Sammlung sakraler Kunst mit den vier Schwerpunkten auf liturgischem Gerät, Paramenten, Vortragekreuzen und

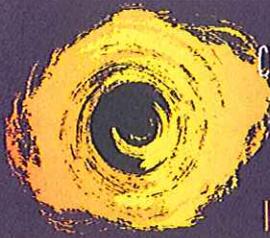
Reliquiaren neu konzeptioniert zu präsentieren.

Der Projektschwerpunkt am Herzog Anton Ulrich-Museum Braunschweig liegt auf dem Umgang mit Materialemissionen bei der Ausstattung von Ausstellungsräumen und dem Bau von emissionsarmen Vitrinen. In einigen Sammlungsbereichen ist die Präsentation wertvoller Exponate frei im Raum geplant, so dass hier auch eine mögliche partikuläre Belastung zu berücksichtigen ist.

Bei der baulichen Erweiterung der Domschatzkammer Minden stehen (raum-)klimatische Parameter und Aspekte der Beleuchtung im Vordergrund.

In beiden Teilprojekten sind daher geeignete Aufbewahrungsformen für sensible bzw. bereits durch luftgetragene Schadstoffe vorgeschädigte Exponate zu entwickeln, um einer weiteren Destabilisierung bereits vorgeschädigter Kunstwerke entgegen zu wirken. Ein weiteres Ziel ist die enge Verflechtung der Entscheidungsträger wie Planer und Nutzer, um konservatorische Anforderungen bereits zu einem frühen Zeitpunkt einzubringen. Dabei sind architektonisch-gestalterische Konzepte und finanzielle Vorgaben zu berücksichtigen. Durch die enge Verzahnung des Verbundprojektes mit den übergeordneten Baumaßnahmen sollen die im Projekt erzielten Ergebnisse und getroffenen Entscheidungen die reale Umsetzung unmittelbar ermöglichen. Bereits im Vorfeld der Neukonzeption können somit exemplarische Vorgehensweisen und Entscheidungswege aufgezeigt und vermittelt werden.

Alexandra Schieweck und Juana Künne



PREVENTIVE CONSERVATION STRATEGIES DURING MUSEUM CONSTRUCTION PROJECTS

Fraunhofer Institute for Wood Research
Wilhelm-Klauditz-Institut WKI
Juana Künne, Dr. Alexandra Schieweck

Introduction

The Fraunhofer WKI performs a two years project funded by the *Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)* to integrate preventive conservation aspects at an early stage into museum construction work. Two museums with different collections have been accompanied.

The *Herzog Anton Ulrich-Museum (HAUM)* in Braunschweig, opened in 1754, belongs to the oldest art museums throughout Europe. Important cultural objects from the medieval to contemporary times of nearly all artistic domains are presented on 3600 m² exhibition space. In contrast, the *Domschatzkammer zu Minden* is a small-sized museum for sacred art mostly from the middle ages, which was founded in 1980. The presentation includes objects which were used for the church service.

Project content and aim

The project targets on the implementation of preventive conservation issues into practice. Depending on the specific needs and requirements of each museum site, different priorities have been set within the project.

The main focus of the renovation work at the HAUM is to return the listed building into its previous condition according to the original architectural design. New exhibition galleries including interior decoration and furnishing have therefore to be planned. Hence, a special focus is on the showcase design which has to meet both architectural and conservation requirements. In order to obtain pollution levels within the showcases as low as possible, materials suggested by the architects have been emission tested. Based on these results, recommendations were developed and alternative materials proposed. The success of the preventive measures will be examined after completion of the construction works by on-site emission measurements.

Concerning the *Domschatzkammer zu Minden* a more comprehensive approach was needed as the current small exhibition with 62 m², which is mainly run by volunteers, shall be enlarged and professionalized. Thus, a comprehensive research including climatic parameters, lighting and pollutants has been performed to formulate specific preventive conservation demands. The defined parameters are checked in a model room and two showcases to simulate the later interior equipment. The monitoring results will give important advices concerning the environmental conditions in the new exhibition before opening it to the public.

In both museum collections, object damages induced mainly from lighting, pollution and climate fluctuations can be observed. In order to gain knowledge about the sensitivity of damaged materials towards further pollution impact or fluctuating environmental conditions, corrosion tests are currently performed. Copper, lead and silver, which are known to be sensible against pollutants, are exposed to formic acid, acetic acid and formaldehyde. Changes in the corrosion layers depending on pollutant concentrations and climatic parameters will be observed.

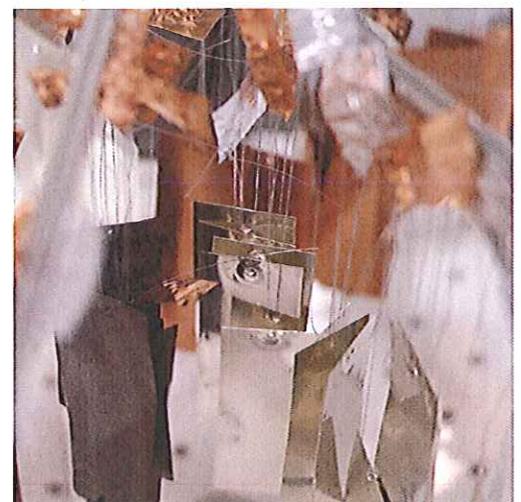
The project results are intended to provide practically oriented assistance in creating procedures and in decision making during museum building projects taking into account architectural and conservation requirements as well as budget restrictions.



Image on top: HAUM historically building – renovation measure (© C. Cordes)
Image below: Domschatzkammer zu Minden – current situation (© A. Weigelt)



Arm reliquary of Saint Margaret – pollution damaged (© A. Freund)



Desiccator with metal coupons inside – corrosion test (© M. Lingner)

V Abschlusskolloquium

Das Abschlusskolloquium zum Forschungsvorhaben fand am 18. Juni 2014 im Fraunhofer WKI, Braunschweig, statt. Gemäß Projektantrag war als Veranstaltungsort das neu eröffnete Herzog Anton Ulrich-Museum vorgesehen. Angesichts der noch laufenden Baumaßnahmen und des noch zum Zeitpunkt des Projektabschlusses im Rohbau befindlichen Altgebäudes konnte dies nicht realisiert werden.

Insgesamt nahmen 42 Personen an dem Kolloquium teil. Das Auditorium setzte sich überwiegend aus Restauratoren, Ingenieuren und Architekten zusammen. Angesichts der Teilnehmerzahl wurde das Kolloquium in Absprache mit der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) als Workshop konzipiert. Die Teilnehmer hatten so die Möglichkeit, im Vorfeld Fragen zum Veranstaltungsthema „Das Museum im Bau“ einzureichen. Dies wurde als sehr positiv aufgenommen, da dadurch die Veranstaltung einen direkten und persönlichen Charakter bekam und auf ein sehr gutes Echo stieß. Bei dem Workshop wurde bereits die im Projekt erarbeitete Handlungshilfe vorgestellt, die nach Druck den Teilnehmern als kostenlose Gabe zugeschickt wurde.

Dem vorliegenden Abschlussbericht sind ebenfalls gedruckte Exemplare der Handlungshilfe beigefügt. Zukünftig wird die Publikation auf der Homepage des Fraunhofer WKI als kostenloser Download bereitgestellt werden.



Abbildungen V-1 und V-2. Impressionen des Abschlusskolloquiums am 18.06.2014 (Fotos: Manuela Lingnau).

VI Übersicht über Projektsitzungen

26.10.2011 (Fraunhofer WKI, Braunschweig)

Erste, konstituierende Sitzung des internen Arbeitskreises, die dem gegenseitigen Kennenlernen der Projektpartner sowie der Besprechung von Projektstruktur, -inhalt und -verlauf diente. Weiterhin wurden die ersten Projektschritte festgelegt.

12.01.2012 (Domschatzkammer Minden)

Treffen mit den Partnern der Domschatzkammer Minden vor Ort, um die derzeitige Situation (Umfeldbedingungen) in der Schatzkammer zu besprechen und erste Messungen zu planen.

14.02.2012 (Domschatzkammer Halberstadt)

Treffen der Projektpartner beider Projekte, die seitens der DBU auf dem Gebiet der Präventiven Konservierung gefördert werden. Vorstellung der jeweiligen Vorhaben und Arbeitsinhalte sowie Diskussion zu übergreifenden Fragen und Lösungsansätzen. Besprechung des Erfahrungsaustausches der Projekte untereinander.

22.02.2012 (Herzog Anton Ulrich-Museum, Braunschweig)

Treffen mit den Projektpartnern des Herzog Anton Ulrich-Museums Braunschweig, der in die Baumaßnahme eingebundenen Architekturbüros und des Staatlichen Baumanagements. Detaillierte Absprache über den derzeitigen Stand der Baumaßnahme, die Einbindung des Projektes, Kommunikationswege und gegenseitige Zuarbeit. Planung einer ersten Messreihe.

06.03.2012 (Fraunhofer WKI, Braunschweig)

Sitzung des internen Arbeitskreises, die der Vorstellung der bis dahin durchgeführten Arbeiten inklusive Ergebnisse sowie der Besprechung der weiteren Projektschritte diente. Darüber hinaus diente das Treffen dem Vorbereiten des Kick off-Meetings, das einen Tag später stattfand.

07.03.2012 (Fraunhofer WKI, Braunschweig)

Kick off-Meeting. Dieses Treffen fand als offizieller Projektauftritt in großem Rahmen statt. Neben dem stellvertretenden Institutsleiter des Fraunhofer WKI, Herrn Prof. Dr. Salthammer, war Herr Lutz Töpfer von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt anwesend. Neben den Projektpartnern, die auch den internen Arbeitskreis bilden, waren alle Personengruppen, die an den Bauvorhaben des Herzog Anton Ulrich-Museums Braunschweig mitwirken bzw. teilhaben sowie die Mitglieder des Fachbeirats eingeladen. Bei dem Treffen wurden Anlass, Inhalte und Zielsetzung des Projektes sowie die Projektpartner, die Domschatzkammer Minden und das Herzog Anton Ulrich-Museum Braunschweig, vorgestellt. Die Mitglieder des Fachbeirats präsentierten ihre Erfahrungen und Kenntnisse auf dem Forschungsgebiet. Darüber hinaus bot das Treffen ausreichend Platz für Diskussionen.

28.03.2012 (Herzog Anton Ulrich-Museum, Braunschweig)

Herr Bilstein von der Domschatzkammer Minden informierte sich vor Ort in der Außenstelle Burg Dankwarderode des Herzog Anton Ulrich-Museums Braunschweig über die eingebaute Klimaanlage.

03.07.2012 (Staatliche Kunstsammlungen Dresden)

Auf Einladung des Fachbeirat-Mitglieds Michael John, Leiter des Technischen Dienstes der Staatlichen Kunstsammlungen Dresden, reisten die Projektpartner nach Dresden, um sich über die Einrichtung der dortigen Museen nach Aspekten der Präventiven Konservierung zu informieren.

08.08.2012 (Domschatzkammer Minden)

Sitzung des internen Arbeitskreises, die der intensiven Besprechung des derzeitigen Projektstandes in beiden Liegenschaften und dem weiteren Verlauf diene. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Domschatzkammer Minden angesichts der noch ungeklärten Situation des Baubeginns, der Auftragsvergaben für das Bauvorhaben und der Realisierung der Mustervitrine und ggf. eines Musterraums.

17.10.2012 (Domschatzkammer Minden)

Sitzung mit dem Mindener Projektpartner und Herrn Prof. Volker Huckemann, die der intensiven Besprechung des derzeitigen Projektstandes in Minden und dem weiteren Verlauf diene. Der Schwerpunkt lag dabei auf der noch ungeklärten Situation des Baubeginns, der Auftragsvergaben für das Bauvorhaben und der Realisierung der Mustervitrinen sowie eines Musterraums.

01.11.2012 (Herzog Anton Ulrich-Museum, Braunschweig)

Besprechung mit den Projektpartnern des HAUM in Verbindung mit dem Architekturbüro Kuehn Malvezzi die Materialauswahl, die Probenbeschaffung und die Emissionsprüfungen betreffend.

14.11.2012 (Herzog Anton Ulrich-Museum, Braunschweig)

Gemeinsamer Termin der Mitglieder des DBU-Verbundprojektes mit dem Team des Projektes am Halberstädter Domschatz zum gegenseitigen Austausch. Vorstellung der jeweiligen Projekte unter Erläuterung des aktuellen Standes mit anschließender produktiver Diskussionsrunde und gegenseitigem Erfahrungsaustausch.

10.12.2012 (Domschatzkammer Minden)

Treffen zur Besprechung der Klimatisierung des Neubaus der Domschatzkammer. Thematisiert wurde auch das bereits vorliegende Ausstellungskonzept von Herrn Rössle, einer möglichen Modifizierung dieses und die Erstellung eines neu ausgerichteten Konzeptes.

22.01.2012 (Herzog Anton Ulrich-Museum, Braunschweig)

Begehung der Räumlichkeiten des Museums, in denen bereits Musterflächen zur Abnahme der späteren Wandfassung und zum neuen Oberflächenaufbau angelegt wurden. Die Begehung erfolgte durch das Fraunhofer WKI, Vertreter des Museums, des Architekturbüros Kleineberg und des Staatlichen Baumanagements Braunschweig. Ziel des Termins war die Festlegung von Räumen beziehungsweise Bereichen um Emissionsmessungen des Wandaufbaus durchzuführen.

07.03.2013 (Domschatzkammer Minden)

Gemeinsames Projekttreffen aller Projektpartner und des Beirats. Thematisiert wurde der aktuelle Stand der Planungen und Baumaßnahmen in beiden Häusern. Anstehende Entscheidungen zum Fortgang des Projektes wurden diskutiert und deren zeitnahe Umsetzung beschlossen.

21.03.2013 (Fraunhofer WKI, Braunschweig)

Vorstellung der Prüfmethode und Materialprüfergebnisse des Fraunhofer WKI. Eine Diskussion der Ergebnisse und daraus resultierender möglicher Änderungen schloss sich mit den Architekten Kuehn Malvezzi und den von Seiten des Herzog Anton Ulrich-Museums Beteiligten an. Abschließend kurze Besichtigung der Laboratorien und verschiedener Prüfeinrichtungen.

18.06.2013 (Fraunhofer WKI, Braunschweig)

Internes Arbeitskreistreffen zur Besprechung des weiteren Projektverlaufs. Verständigung über den Fortgang der Baumaßnahmen und die offenen Arbeitspakete bis zum Projektende.

04.09.2013 (Domschatzkammer Minden)

Internes Treffen mit dem Mindener Projektpartner und externen Restauratorinnen um die Auslagerung der Sammlungsobjekte und den Umbau des Musterraums sowie die Aufstellung der Mustervitrinen zu planen.

02.12.2013 (Fraunhofer WKI, Braunschweig)

Internes Arbeitskreistreffen inklusive des Beirats zur Besprechung des weiteren Projektverlaufs. Verständigung über den Fortgang der Baumaßnahmen und die offenen Arbeitspakete bis zum Projektende.

26.02.2014 (Domschatzkammer Minden)

Besichtigung des Musterraums mit den bereits aufgestellten Mustervitrinen gemeinsam mit dem Fachbeirat. Besprechung notwendiger Nachbesserungen an Musterraum und Mustervitrinen.

VII Literatur

Ashley-Smith, J., Burmester, A., Melanie, E., 2012. *Climate for collections: standards and uncertainties*. Archetype Books, London.

Atkinson, J.K., 2014. Environmental conditions: background to the current debate on the control of relative humidity and temperature. *Studies in Conservation* 59, 205-212.

Bickersteth, J., 2014. Environmental conditions for safeguarding collections: what should our set points be? *Studies in Conservation* 59, 218-224.

Grzywacz, C.M., Tennent, N.H., 1994. Pollution monitoring in storage and display cabinets: carbonyl pollutant levels in relation to artifact deterioration, in: Roy, A., Smith, P. (Eds.), *IIC, Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress, Preventive Conservation - Practice, Theory and Research*. The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Ottawa, pp. 164-170.

Raychaudhuri, M.R., Brimblecombe, P., 2000. Formaldehyde oxidation and lead corrosion. *Studies in Conservation* 45, 226-232.

Robinet, L., Thickett, D., 2003. A new methodology for accelerated corrosion testing. *Studies in Conservation* 48, 263-268.

Scherer, C., Schmohl, A., Breuer, K., Sedlbauer, K., Salthammer, T., Schripp, T., Uhde, E., Wensing, M., 2006. Praktische Erfahrungen mit Thermoextraktion als Schnelltestmethode für die Emissionsuntersuchung von Bauprodukten und Kunststoffmaterialien. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* 66, 87-93.

Schieweck, A., 2009. Airborne pollutants in museum showcases. Material emissions, influences, impact on artworks. Hochschule für Bildende Künste Dresden, Dresden.

Schieweck, A., 2011. Materialemissionen und Luftqualität in Museumsvitrinen. *Restauro* 5, 21-29.

Schieweck, A., Salthammer, T., 2009. Emissions from construction and decoration materials for museum showcases. *Studies in Conservation* 54, 218-235.

Schieweck, A., Salthammer, T., 2011. Indoor air quality in passive-type museum showcases. *Journal of Cultural Heritage*.

Schieweck, A., Salthammer, T., 2014. *Schadstoffe in Museen, Bibliotheken und Archiven*. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

Schieweck, A., Salthammer, T., Watts, S.F., 2009. Indoor pollutants in the museum environment, in: Salthammer, T., Uhde, E. (Eds.), *Organic indoor air pollutants. Occurrence, measurement, evaluation*. WILEY-VCH, Weinheim, pp. 273-300.

Schripp, T., Nachtwey, B., Toelke, J., Salthammer, T., Uhde, E., Wensing, M., Bahadir, M., 2007. A microscale device for measuring emissions from materials for indoor use. *Anal Bioanal Chem* 387, 1907-1919.

Staniforth, S., 2014. Environmental conditions for the safeguarding of collections: future trends. *Studies in Conservation* 59, 213-217.

Stolow, N., 1988. *Conservation and Exhibitions*. Butterworths, London.

Luftanalytik

Nachweis von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC)

Luftprobenahme auf Tenax-gefüllten Probenröhrchen, die nachfolgend thermisch desorbiert und gaschromatographisch analysiert werden. Die Röhrchen werden in einem automatischen Thermodesorption/Purge&Trap-Injektor (Perkin-Elmer ATD 400) bei 330°C thermodesorbiert, die Fokussierung der dabei freigesetzten Substanzen erfolgt in einer Kühlfalle bei -30°C. Nach Transfer auf eine GC-Kapillare (HP-5, 60 m) werden die Komponenten gaschromatographisch getrennt (Hewlett-Packard 6890 GC) und massenspektrometrisch nachgewiesen (Hewlett-Packard 5972 MSD). Die Identifizierung der Substanzen wird mit Hilfe von Spektrenbibliotheken, unter anderem der Wiley-275 mit 275000 Substanzeinträgen vorgenommen. Das beschriebene Verfahren hat eine Nachweisgrenze (NWG) von ca. 1 µg/m³. Die Messungen werden gemäß DIN EN ISO 16000 Teil 6, 9 und 11 durchgeführt.

Nachweis von flüchtigen Aldehyden (C₁-C₄)

Flüchtige Aldehyde werden auf DNPH-Kartuschen gesammelt und nach Elution mit Acetonitril mittels HPLC/UV analysiert. Bei einem Probenahmenvolumen von 75l liegt die Bestimmungsgrenze (BG) für Formaldehyd bei 3 µg/m³ und für Acetaldehyd, Propanal und Butanal bei 2 µg/m³ bzw. 1 µg/m³.

Nachweis von Ameisen- und Essigsäure

Ameisensäure und Essigsäure werden durch aktive Probenahme auf mit Silicagel gefüllten Röhrchen und anschließender Analyse mittels Ionenchromatographie nachgewiesen. Bei einem Probenahmenvolumen von 100l liegt die Bestimmungsgrenze (BG) bei jeweils 5 µg/m³.

Emissionsprüfung von Werkstoffen in einer Mikrokammer

Ein Stück des Probenmaterials wird in eine Mikrokammer eingebracht. Die Prüfung findet in der Regel bei 23°C mit trockener synthetischer Luft statt. Eine Prüfung bei anderen Temperaturen ist ebenfalls möglich. Die am Kammerauslass austretende Luft wird auf Adsorptionsröhrchen (Tenax TA) gesammelt. Die Analytik erfolgt wie oben beschrieben.

Emissionsprüfung von Werkstoffen in einer Emissionsprüfkammer

Das Probenmaterial wird in einer Prüfkammer ohne vorherige Konditionierung unter definierten Bedingungen (z.B. 23°C, 50 % relative Luftfeuchte) geprüft. Nach definierten Zeiten werden Luftproben auf verschiedene Zielsubstanzen nach o.g. Verfahren genommen.

Restaurierungsdokumentation

Ein Armreliquiar der heiligen Margarete Katholische Dompropsteigemeinde St. Gorgonius und Petrus Domschatz Minden



Beier, Freund und Kühler
Restauratorinnen – Partnerschaft
Wißmannstr.36
50823 Köln

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete		Seite: 2/48
Eigentümer: Domschatz Minden		Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln

1 Objektidentifikation

Objekt:	Armreliquiar hl. Margarete	Inventar-Nr.:	
Maße (max.):	Gesamt: Höhe: 405 mm Ø _{Fuß} : 88 mm Horizontale Zierleiste: Breite: 28 mm Vertikale Zierleiste: Breite: 14-17 mm Sockelleiste: Breite 15 mm	Materialien:	Mit Silberblechen ummantelter Holzkern mit gefülltem Reliquienfach, vergoldete Silberfiligranleisten mit Schmucksteinbesatz
Herkunft / Künstler:	Westfalen ? ¹	Datierung:	Reliquienarm: letztes Viertel 11. Jh. Filigranleisten: 2. Viertel 13. Jh. ²
Eigentümer:	Katholische Dompropsteigemeinde St. Gorgonius und Petrus Großer Domhof 10, 32423 Minden	Versicherungswert:	1 500 000,00 €
Übernahme:	06.06.2012	Übergabe:	28.11.2012

2 Objektbeschreibung

Das Reliquiar besteht aus einem mit Silberblechen ummantelten, vermutlich mehrteiligen Holzkern. Dargestellt ist ein schlanker, sich nach oben verjüngender Arm mit ausgestreckter Hand und parallel verlaufenden Fingern. Die Standfläche bildet ein runder leicht ausgezogener Sockel. Das Reliquienfach befindet sich im unteren Viertel des Armes.³

Zwei horizontal umlaufende Filigranleisten an Handgelenk und oberhalb des Sockels sind auf der Arminnenseite durch eine schmalere, senkrecht über die Arminnenseite verlaufende Filigranborte verbunden.

¹ „Canossa 1077- Erschütterung der Welt“ Band II Katalog, Hrsg. Stiegemann/Wemhoff, Hirmer Verlag München, 2006, S.332

² dito

³ CT- Untersuchung, St. Vincenz Krankenhaus Paderborn, Feb. 2007, vgl. Videodatei se001, se002 und se003 auf beiliegendem Datenträger (CD-ROM)

Bei der innenliegenden Reliquie handelt es sich vermutlich um ein Stück eines Wadenbeines, vgl. Protokoll des Ortstermins am 19.02.2007 im Anhang

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete		Seite: 3/48
Eigentümer: Domschatz Minden		Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln

Die Zierbänder sind aus vergoldetem Silberfiligran in A-jour-Technik gearbeitet und mit unterschiedlichen Schmucksteinen und Glashalbschalen in einfachen Kastenfassungen besetzt. Eine Gemme mit weiblichem Brustbild⁴ bildet den zentralen Stein der Armmanschette. Die Filigrandrähte sind ornamental gestaltet und bilden ineinander verschlungene Ranken mit granulierten Blüten. Die Enden sind spiralförmig aufgedreht und zu einer Art „Bienenkorb“ geformt. *vgl. Abb. 13*

Die horizontalen Bänder sind jeweils aus drei Teilen und die vertikale Borte aus zwei Teilen zusammengesetzt. Unterhalb der umlaufenden breiten Filigranborte des Handgelenks und der schmalen senkrecht verlaufenden Borte der Arminnenseite sind vergoldete Silberbleche unterlegt. So weit einsehbar, sind die Bleche jeweils einteilig. *vgl. Kart. 1 bis 4*

Das umlaufende Filigranband oberhalb des Sockels liegt direkt auf der Silberblechummantelung. Der von der Borte überdeckte Bereich ist hier vergoldet.

vgl. Abb. 25

In das umlaufende Silberblech des Sockels ist die Majuskelschrift „BRACHIUM SANTE MARGARETE“ eingraviert. *vgl. Abb. 10, 20, 22, 23*

Die Silberbleche sind mit feinen Silbernägeln am Holzkorpus fixiert. Die verschiedenen Blechabschnitte sind, soweit einsehbar, in den *Kartierungen 1 bis 4* und *Röntgenbildern 1 bis 3* verzeichnet. Die Silberblechummantelung des Armabschnitts (Handgelenk bis Oberkante Sockel) ist zweiteilig. Die Nähte verlaufen auf Vorder- und Rückseite vertikal. Die Naht der Arminnenseite (Vorderseite) ist durch die schmale Zierleiste überdeckt. *vgl. Abb. 1 und 2*

Die Fixierung der Filigranborten erfolgt in zweifacher Weise. Zum einem sind auf der Rückseite der Schmucksteinfassungen Dorne befestigt, die in den Holzkorpus gesteckt werden (*vgl. Abb. 25*). Unterstützt wird diese Verbindung durch meist größere Silbernägel mit breitem Flachkopf, die die Drähte an den Untergrund drücken. *vgl. Abb. 16, 17, 19, 20, 22 und 23*

⁴ „Die Gemme mit weiblichem Brustbild wird als Darstellung der Livia (58 v. Cg.- 29 n. Chr.), der Gemahlin des kaisers Augustus gedeutet.“ Zitat aus: „Der Mindener Domschatz, Zeugnisse christlicher Kunst“, Paul Jakobi, 2005

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete		Seite: 4/48
Eigentümer: Domschatz Minden		Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln

An der unteren umlaufenden Filigranborte sind an der Schauseite drei dunkelrubinrote Glashalbschalen eingefasst. Zwei davon sind mit einfachem strichartigem Kerbschnittdekor verziert. *vgl. Abb. 19 und 21*

Die Glassteine sind in der Fassung mit einem leimgetränkten leinwandbindigen Gewebe unterfüttert.⁵ *vgl. Abb. 26*

3 Zustand vor der Restaurierung

Das Objekt befindet sich aufgrund des stark geschrumpften Holzkerns und eines annähernd rundum laufenden Horizontalrisses im Silberblech in einem fragilen Erhaltungszustand. Zudem ist der Ringfinger stark gelockert und nur provisorisch mit einem Wachspfropfen an den Mittelfinger geheftet. *vgl. Abb. 5, 6 und Kart. 5, 6*

Der umlaufende Riss verläuft oberhalb der unteren Filigranmanschette. Nur ein ca. 30 mm langer Bereich ist noch nicht vollständig durchgerissen. Die Risskanten klaffen zum Teil weit auseinander und sind wie auch die angrenzenden Bereiche deformiert. Zahlreiche Fehlstellen unterschiedlicher Größe haben sich entlang der Kanten gebildet. Auch sind viele Rissverzweigungen festzustellen. Das Silber ist in diesem Bereich sehr stark versprödet und entlang der Kanten extrem brüchig.

vgl. Abb. 19, 20, 22, 23 und Kart. 5 bis 9

Der Riss ist nicht neueren Ursprungs. Historische Bilder dokumentieren schon Anfang des 20. Jh. diesen Schaden. *vgl. historische Abb. 1 bis 8*

Ursache für die Beschädigung ist sicherlich die Handhabung des Reliquienarmes. Dort wo sich der umlaufende Riss befindet, wird das Reliquiar hauptsächlich angefasst. Durch das starke Schrumpfen des Holzkerns ist ein Hohlraum entstanden, so dass die dünnen Silberbelche Druck ungebremst ausgesetzt sind. Die offenliegenden Holzbereiche zeigen keine Anzeichen einer Verkohlung.

⁵ Vermutlich handelt es sich um Leinenfasern, z-gedreht (augenscheinliche Untersuchung)

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete		Seite: 5/48
Eigentümer: Domschatz Minden		Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln

Auch aufgrund des geschrumpften Holzkerns greifen die feinen Silbernägel nicht mehr weit genug in das Holz und sind stellenweise lose. Zahlreiche Silbernägel der Blechummantelung und der Filigranborten sind ausgefallen und fehlen. Viele Bereiche der Silberummantelung sind dadurch gelockert. *vgl. Kart. 5 bis 9*

Der Verlust der Nägel ist besonders deutlich bei der vertikalen Nahtstelle der Armrückseite zu sehen. Hier sind nur noch zwei der insgesamt zwanzig Nägel (im sichtbaren Bereich) vorhanden. Das überlappende Blech steht unter Spannung und ist stark aufgewölbt (bis zu 8 mm). Ein scharfer Knick und zahlreiche Eindellungen haben sich im Laufe der Zeit gebildet. *vgl. Abb. 14, 15 und Kart. 6*

Zum Fixieren der oberen und unteren Filigranborte wurde im Zuge einer früheren Reparatur an der Oberkante jeweils ein Eisennagel eingeschlagen. Diese sind korrodiert und stecken fest im Untergrund. In der unteren Manschette ist an der Oberkante zusätzlich eine längliche Silberöse in ein leeres Nagelloch eingeklemmt.

vgl. Abb. 5, 22, 23 und Kart. 5 bis 9

Von den Silbernägeln der Unterseite ist keiner mehr erhalten. Die Nagellöcher sind leer. Daneben wurden neue Eisennägel eingeschlagen. *vgl. Abb. 24 und Kart. 9*

Das diese Nagelung im Zusammenhang mit einer Öffnung des Reliquienfaches stehen könnte, ist zu vermuten. Die Reliquie selbst scheint lose in dem innenliegenden Fach eingelegt zu sein. Beim Handhaben des Armes sind klappernde Geräusche zu hören.

Reparaturbleche aus Silber im Übergangsbereich zum Zeige-, Mittel- und Ringfinger weisen deutlich auf weitere empfindliche Partien des Reliquiars hin. Röntgenaufnahmen⁶ belegen, dass der Mittelfinger im Innern zusätzlich mit einem doppelkonischen Dübel (vermutlich Eisen) verstärkt ist. *vgl. Röntgenabb. 1 und 3*

Die Reparaturbleche waren vermutlich ursprünglich nur durch Silbernägel mit dem Untergrund verbunden. Heute sind einige Nagellöcher unbesetzt. Am kleinen Finger ist ein Eisennagel eingeschlagen. *vgl. Abb. 5 und 9, Kart. 5*

Das Reparaturblech am Ringfinger ist nur auf der Rückseite genagelt und auf der Vorderseite mit Weichlot angesetzt. Diese Weichlotverbindung ist nicht mehr intakt.

⁶ Röntgenaufnahmen, St. Vincenz Krankenhaus Paderborn, Feb. 2007

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete		Seite: 6/48
Eigentümer: Domschatz Minden		Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln

Deutlich wird hier, dass der Holzkern des Fingers keine Verbindung mehr zur Hand hat und nur durch das ummantelnde Silberblech in Position gehalten wird. Das Blech wird nur noch mit wenigen Nägeln auf der Rückseite fixiert. Die Blechenden der Fingerummantelung werden von dem Blech des Handrückens abgedeckt. Dessen Oberkante ist im Bereich des Ringfingers stark deformiert. Die Kante ist ausgerissen und zahlreiche Nägel fehlen. *vgl. Abb. 9 bis 12*

Aufnahmen aus den 1960-er Jahren zeigen diesen Bereich noch in einem besseren Erhaltungszustand. Hier ist die Blechkante des Handrückens noch vollständig mit Nägeln dokumentiert. Auch die vertikale Naht der Armrückseite zeigt deutlich mehr Nägel. *vgl. historische Abb. 6*

Am vorderen Manschettenabschnitt des Handgelenks steht am linken Ende der einrahmende Filigrandraht ab. Hier haben sich die Punktlötungen zum Rankenwerk gelöst. *vgl. Abb. 13*

Die gesamte Silberoberfläche weist starke Gebrauchspuren in Form von Dellen, Knicken, Einkerbungen und Kratzern auf. Die auffälligsten Schäden sind in den *Kartierungen 5 bis 8* gekennzeichnet.

Die Silberoberfläche ist zudem extrem stark verschmutzt. Weiße Putzmittelreste sind vor allem in den unzugänglichen Filigranbereichen festzustellen. Die mit Schmutz durchsetzten Anlaufschichten des Silbers (hauptsächlich bestehend aus Silbersulfid) sind unterschiedlich stark ausgeprägt und variieren von gelblich-braun bis hin zu blau-schwarz und irisierend. Deutlich sind Fingerabdrücke festzustellen. Teilweise sind diese schon in die Oberfläche einkorrodieren *vgl. Abb. 1 bis 24*

Die zwei Glashalbkugeln der unteren Filigranborte sind beschädigt. Die mittlere Glasschale ist in drei Teile zerbrochen und im Zuge einer früheren Maßnahme mit einem bräunlichen Klebemittel zusammengesetzt worden. Entlang den Bruchkanten sind kleinere Materialausbrüche zu verzeichnen. Die zusammengesetzte Glasschale wurde anschließend nicht mehr in der richtigen Position (d.h. um 180° gedreht) in Fassung zurückgesetzt. Dies belegen die *historischen Abbildungen. 1 bis 3, 5, 6 und 8.*

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete		Seite: 7/48
Eigentümer: Domschatz Minden		Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln

Die Klebung ist gelockert und die Bruchstücke befinden sich lose in der Fassung. Die Glasschale links davon ist mit Rissen durchzogen, macht aber einen stabilen Eindruck. *vgl. Abb. 19 und 21*

Der unterste Schmuckstein im oberen Abschnitt der vertikalen Filigranborte sitzt gelockert in seiner stark deformierten und mit Rissen durchzogenen Kastenfassung. Der Stein ist aber dennoch ausreichend fixiert. *vgl. Abb. 16 und 18*

4 Restaurierungsziel

Das Armreliquiar ist Teil eines Kirchenschatzes, der museal genutzt und geschützt in Vitrinen gezeigt wird. Die Maßnahmen können daher auf einen objektgerechten Umgang und Aufbewahrungsgegebenheiten abgestimmt werden und besitzen einen konservatorischen Charakter, dessen Fokus auf der Bewahrung der originalen Substanz liegt.

Der beste Schutz für den umlaufenden Riss ist eine mit dem fragilen Erhaltungszustand abgestimmte Handhabung. Auf ein Unterfüttern bzw. Unterlegen des umlaufenden Risses wird daher verzichtet, da hierfür Bleche abgenommen werden müssten. Auch ist fraglich, ob in diesem Fall eine Unterlegung den gewünschten stabilisierenden Effekt erzielen kann, da der Kontakt zum Holzkern nicht gegeben ist. Eine stabilisierende Wirkung dieses fragilen Bereiches kann möglicherweise auch durch das Wiederfestnageln der losen Blechummantelung des Armes erreicht werden.

Um Verlust bzw. weiteren Schädigungen vorzubeugen, muss der lose Ringfinger wieder zuverlässig an der Hand befestigt werden. Hierzu müssten eventuell am Handrücken originale Silbernägel gezogen werden.

Um lose, abstehende Silberbleche und Filigranborten wieder sicher am Korpus zu befestigen und so zu stabilisieren, sollen in diesen relevanten Bereichen die fehlenden Silbernägel ergänzt werden. In diesem Zuge ist es auch geplant, die Klemmöse der unteren Filigranborte gegen einen Silbernagel auszutauschen. Des Weiteren ist es notwendig, die gelockerten Originalnägel zur Sicherung klebetechnisch zu fixieren.

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete		Seite: 8/48
Eigentümer: Domschatz Minden		Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln

Wünschenswert wäre das Entfernen der Eisennägel, die vor allem schädigend auf das Holz einwirken können. Da die Nägel aber im Holz feststecken (vermutlich festkorrodiert) müssten diese vermutlich ausgebohrt werden. Diese Maßnahme würde aber eine hohe Belastung bedeuten und unweigerlich zu Verlusten bzw. Schädigung der originalen Substanz führen. Dies würde in keinem Verhältnis zum Nutzen stehen. Daher verbleiben die Eisennägel bis auf den gelockerten Nagel am Reparaturblech des Zeigefingers im Objekt.

Die losen Bruchstücke der gefassten Glashalbschale müssen neu verklebt werden. Bei dieser Gelegenheit soll die Halbschale beim Rückplatzieren in ihre ursprüngliche Position gebracht werden.

Um dem Betrachter wieder einen einheitlichen und gepflegten Gesamteindruck zu präsentieren sollen die Schmutz- und Anlaufschichten mittels organischen Lösungsmitteln und mechanischem Abtragen reduziert werden.

Die Filigranmanschetten können hierzu leider nicht abgenommen werden. Da diese bis auf einen Abschnitt der unteren Manschette nicht abgenommen werden können. Umgeknickte Kanten und Ecken sollten soweit es das Material zulässt rückgeformt werden.

5 Durchgeführte Restaurierungsmaßnahmen

Zunächst erfolgte das Freilegen und Reinigen der Oberfläche in einem Arbeitsschritt. Eine Kombination aus organischen Lösungsmitteln und einer leicht abrasiv wirkenden Reinigungspaste aus Champagnerkreide erzielten die besten Ergebnisse. Da die aufgesetzten Filigranmanschetten bis auf einen kleinen Abschnitt der unteren Borte nicht abgenommen werden konnten, ist eine Reduzierung der Silberkorrosionsschicht wie auch das Ablösen der festhaftenden Verschmutzung nur bedingt möglich.

vgl. Abb. 29 bis 51

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete		Seite: 9/48
Eigentümer: Domschatz Minden		Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln

Um den Ringfinger lösen zu können, wurden auf der Rückseite, entlang der Oberkante des Handrückenblechs zwei Nägel gezogen, die das Fingerblech fixieren. Leider musste festgestellt werden, dass es noch eine weitere Nagelung gibt die unterhalb des Handrückenblechs liegt. Diese Nagelung kann aber nur gelöst werden, wenn das überdeckende Blech abgenommen wird. Dies ist aus konservatorischer Sicht nicht vertretbar. Aus diesem Grund wurde entschieden, den Finger klebetechnisch zu fixieren. Genügend Klebefläche bietet hierfür der Bereich der alten Weichlötung auf der Handvorderseite. Verwendung fand eine pigmentierte Kittmasse aus dem Acrylharz Paraloid™ B44 und Füllstoffen. Nach dem Richten der deformierten Oberkante wurden neben den originalen Nägeln zum Stabilisieren noch weitere neue Nägel in die vorhandenen Löcher eingesetzt.

vgl. Abb. 37, 38 und Kart. 10

Die fast vollständig geöffnete Nahtstelle der Blechummantelung der Rückseite konnte durch ergänzende Silbernägel gut stabilisiert werden. Auch die stark verformte, unter Spannung stehende Partie ließ sich durch diese Maßnahme gut niederlegen. Die Nägel wurden aus 835er Silber gefertigt und jedem Nagelloch individuell angepasst, so dass sie ohne viel Druck in das Holz eingedrückt werden konnten.

vgl. Abb.40 und 41, Kart. 11

Auch auf der Unterseite konnte ein größeres Nagelloch mit Riss durch das Einsetzen eines Silbernagels gesichert werden.

vgl. Abb. 51 und Kart. 14

Der Eisennagel des Reparaturblechs am kleinen Finger konnte gezogen und durch einen Silbernagel ersetzt werden.

vgl. Abb. 37 und Kart. 10

Auch an der oberen Filigran-Manschette musste ein Nagel zum Niederdrücken eines abstehenden Bereiches ergänzt werden. Der Nagelkopf wurde hier länglich gestaltet damit beide Abschnitte niedergedrückt werden konnten.

vgl. Abb. 39, Kart. 12

Um das abstehende untere Ende des oberen Abschnitts des schmalen Filigrans zu fixieren musste hier ebenfalls ein Nagel ergänzt werden.

vgl. Abb. 42, Kart. 10

An der unteren Manschette konnte die Silberklemme gelöst und gegen einen Silbernagel ausgetauscht werden. In dem Zuge war es möglich diesen Filigranabschnitt ganz abzunehmen und zu dokumentieren. Für einen zusätzlichen Halt wurden bei diesem Abschnitt noch zwei weitere Nägel ergänzt

vgl. Abb. 25, 49, Kart. 11 und 12

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete		Seite: 10/48
Eigentümer: Domschatz Minden		Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln

Die Bruchstücke der Glashalbschale konnten aus der Fassung entnommen werden. Vor dem Neuverkleben mussten die alten, dunkelbraunen Klebstoffreste entfernt werden. *vgl. Abb. 27 und 28*

Der Klebstoff ließ sich mit Aceton anquellen und mit Skalpell und Holzschaber entfernen. Die Bruchstücke wurden durch infiltrieren des Zweikomponenten-Epoxidharzes Araldit®2020 neu verklebt. Anschließend wurde die Halbschale in der richtigen Position in die Fassung wieder eingesetzt. Ein Festsetzen der Glashalbschale durch Andrücken des Fassungsrandes war aufgrund der Druckausübung auf das darunterliegende fragile Silberblech nicht möglich. Daher wurde die Halbschale im Randbereich mit einer pigmentierten Kittmasse aus Acrylharz (Paraloid®B44 und Füllstoffen) fixiert. *vgl. Abb. 46 und 47*

6 Verwendete Materialien

6.1 Konservierung / Restaurierung

Korrosionsabtrag: Paste aus Champagnerkreide und Ethanol-Wassergemisch (1:1)

Reinigung: Aceton, Methylethylketon, Siedegrenzbenzin 100-140

Kleben Metall: Paraloid™ B44 Methyl-Methacrylat-Copolymer, gelöst in Ethylacetat, Siliciumdioxid Acematt®HK125, Pigmente

Silbernägel: Silber 835

Kleben Glas: Araldit®2020 (Zweikomponenten-Epoxidharz)

Einkitten Glas: Paraloid™ B44 Methyl-Methacrylat-Copolymer, gelöst in Ethylacetat, Siliciumdioxid Acemat®HK125, Pigmente

(Bezugsquelle: Kremer Pigmente, D-Aichstetten)

6.2 Dokumentation

Papier: Museumspapier weiß, säurefrei, (Walter Klug GmbH & Co. KG, Immenstadt)

Canon ink cartridge, black, magenta, cyan, yellow, (Canon Inc., Japan)

Aufnahmen: Digitale Spiegelreflexkamera: Nikon D200 und 5001

Objektiv: Nikon Micro Nikkor 60 mm

Datenträger: CD-R 700MB, (Memo printable)

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete		Seite: 11/48
Eigentümer: Domschatz Minden		Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln

7 Konservatorische Hinweise

Der Reliquienarm sollte in einem konstanten Klima bei max. 50 % relativer Luftfeuchtigkeit und einer Temperatur von 18-20°C aufbewahrt werden.

Der Arm kann nur in bestimmten Bereichen angefasst werden. Der stark geschädigte Bereich oberhalb der unteren Filigran-Manschette darf nicht belastet werden. Der Arm sollte am besten an der Handfläche leicht angekippt und von der Unterseite her mit der anderen Hand unterstützend angehoben werden.

Bei der Handhabung sind unbedingt Handschuhe aus Latex oder Nitril zu tragen.

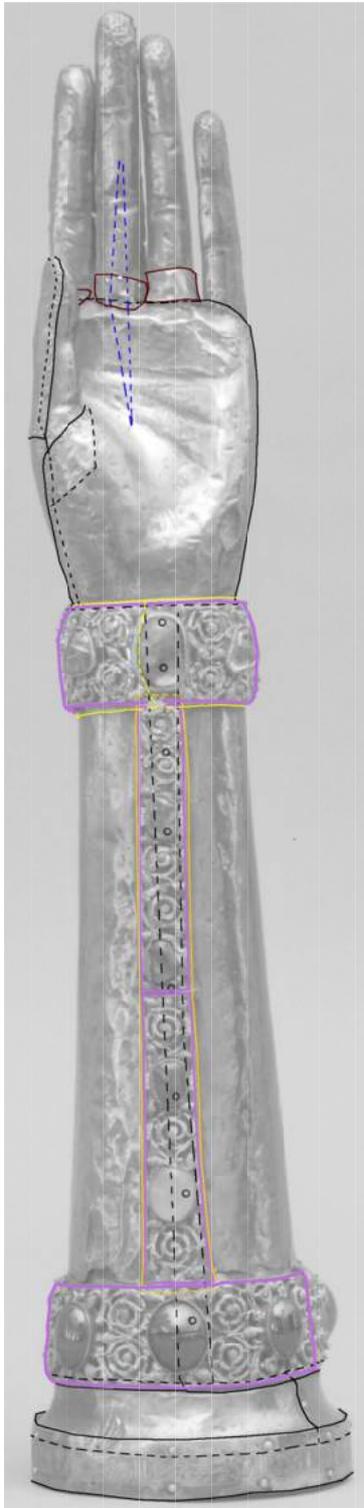
Um ein erneutes Anlaufen, d. h. ein erneutes Ausbilden von Silbersulfidschichten zu vermeiden bzw. diesen Prozess stark zu verlangsamen ist es notwendig, für eine adäquate Umgebung zu sorgen. Dies bedeutet, dass neben den oben genannten Klimabedingungen auch für eine staub- und schadstofffreie Atmosphäre gesorgt werden muss.

Eine regelmäßige Wartung durch eine restauratorische Fachkraft ist zu empfehlen.

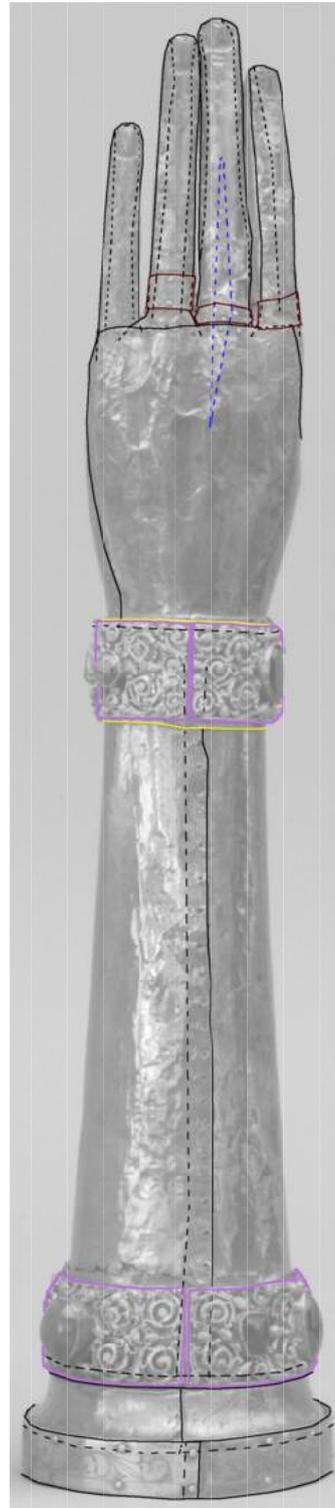
Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete		Seite: 12/48
Eigentümer: Domschatz Minden		Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln

8 Kartierungen

8.1 Blechabschnitte und Reparaturen



Kartierung 1 Vorderseite



Kartierung 2 Rückseite

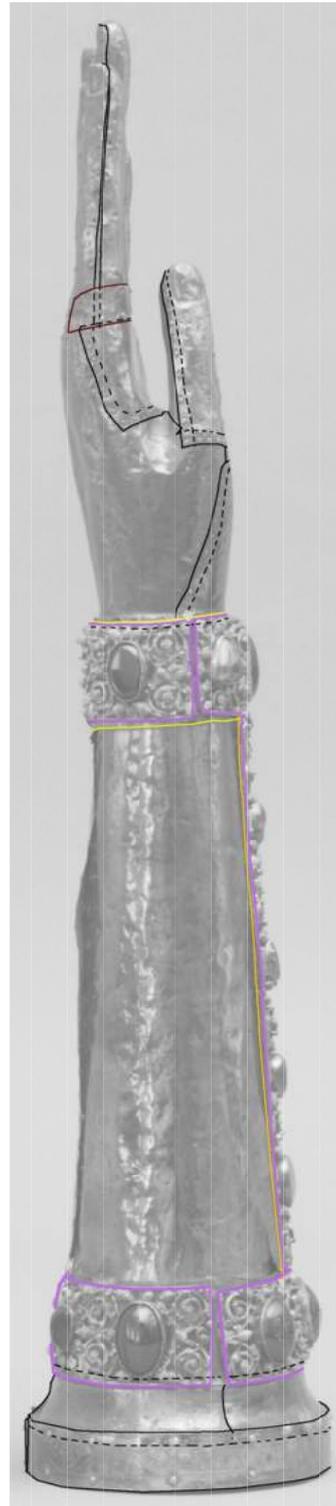
Legende Blechabschnitte

■ Konturen Silberblechabschnitte	■ Konturen Filigranleistenabschnitte (vertikal und horizontal)
■ ■ Konturen Silberblechabschnitte verdeckt	■ Reparatur-Silberblech
■ Konturen Goldblech vertikal	○ Nagellöcher (hypothetisch)
■ Konturen Goldblech horizontal	■ Alte Reparatur (doppelkonischer metalledübel)

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete		Seite: 13/48
Eigentümer: Domschatz Minden		Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Kartierung 3 Rechte Seite



Kartierung 4 Linke Seite

Legende Blechabschnitte

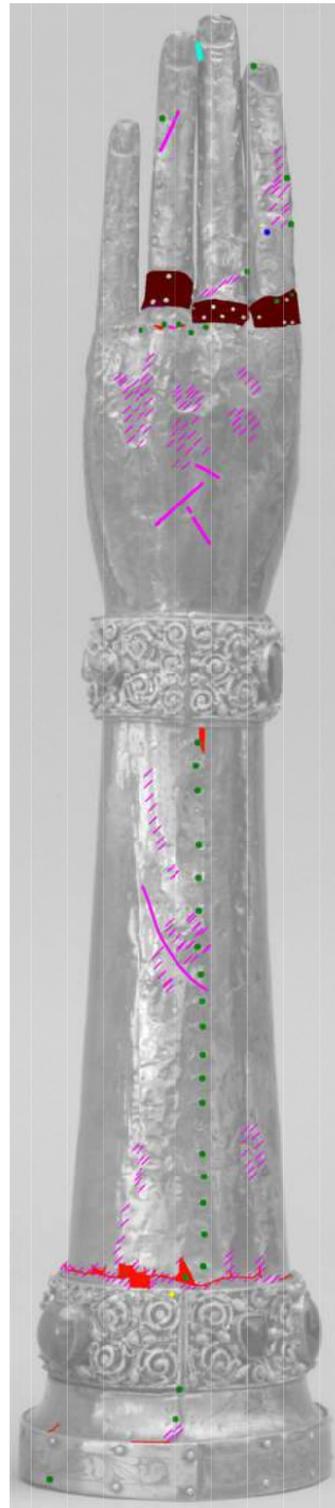
■ Konturen Silberblechabschnitte	■ Konturen Silberblechabschnitte verdeckt	■ Konturen Filigranleistenabschnitte (vertikal und horizontal)
■ Konturen Goldblech vertikal	■ Konturen Goldblech horizontal	■ Reparatur-Silberblech
○ Nagellöcher (hypothetisch)	■ Alte Reparatur (doppelkonischer metalldübel)	

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 14/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln

8.2 Zustand



Kartierung 5 Vorderseite



Kartierung 6 Rückseite

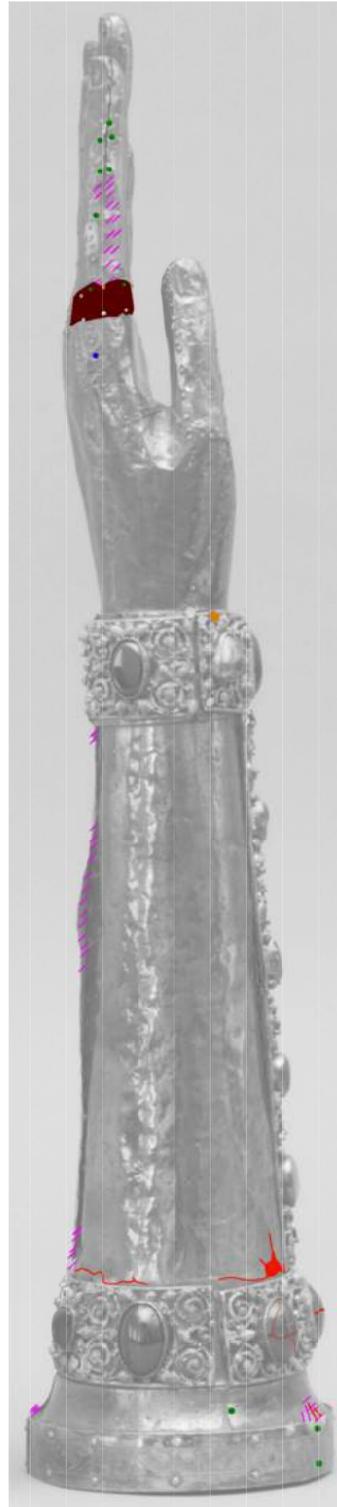
Legende Zustand

Risse und Fehlstellen	Wachspropfen
Auffällige Deformierungen/Knicke	Reparatur-Silberblech
Leere Nagellöcher	Weichlot
Eisennägel	Silberrose

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 15/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Kartierung 7 Rechte Seite

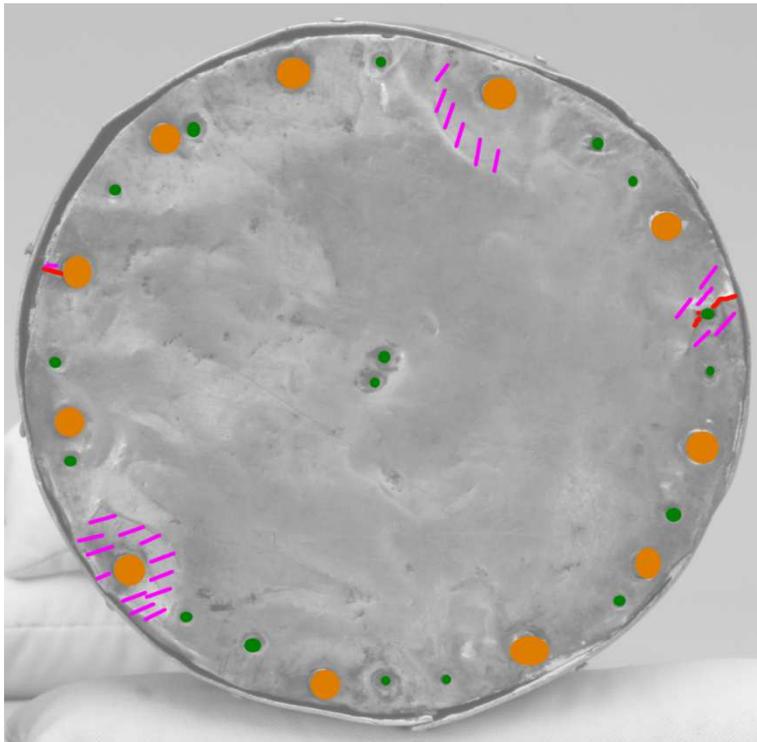


Kartierung 8 Linke Seite

Legende Zustand

Risse und Fehlstellen	Wachspfropfen
Auffällige Deformierungen/Knicke	Reparatur-Silberblech
Leere Nagellöcher	Weichlot
Eisennägel	

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete		Seite: 16/48
Eigentümer: Domschatz Minden		Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Kartierung 9 Unterseite

Legende Zustand

Risse und Fehlstellen	Wachspfropfen
Auffällige Deformierungen/Knicke	Reparatur-Silberblech
Leere Nagellöcher	Weichlot
Eisennägel	

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 17/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln

8.3 Maßnahmen



Kartierung 10 Vorderseite

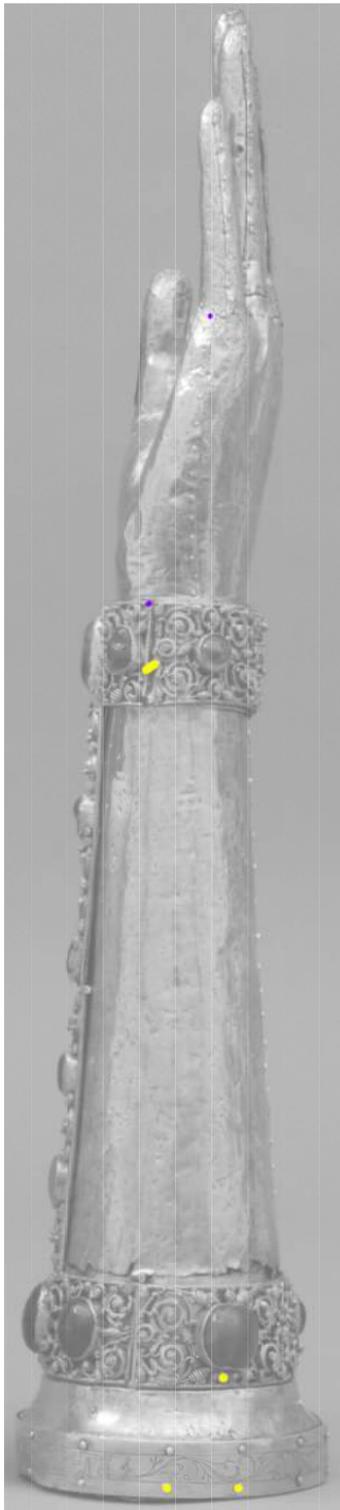


Kartierung 11 Rückseite

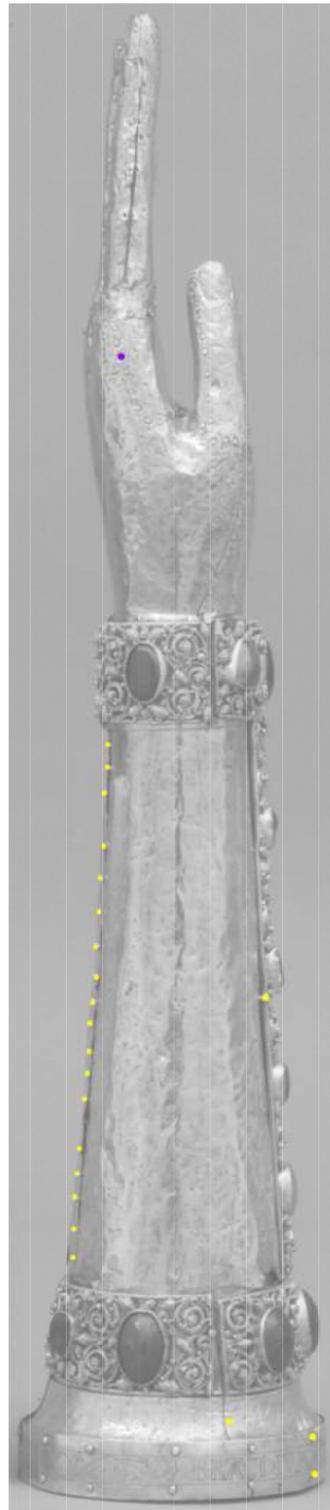
Legende Maßnahmen

 Klebung	
 Silbernägel, ergänzt	

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 18/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Kartierung 12 Rechte Seite



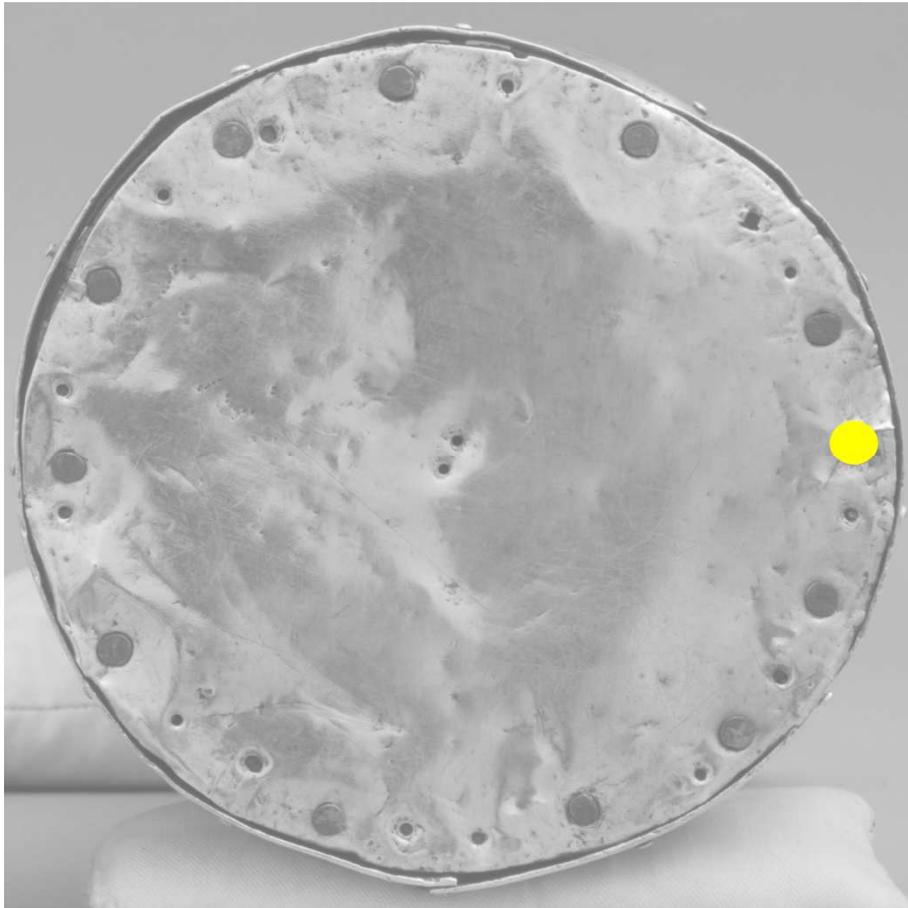
Kartierung 13 Linke Seite

Legende Maßnahmen

■ Klebung

● Silbernägel, ergänzt

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete		Seite: 19/48
Eigentümer: Domschatz Minden		Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Kartierung 14 Unterseite

Legende Maßnahmen

 Klebung	
 Silbernägel, ergänzt	

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete		Seite: 20/48
Eigentümer: Domschatz Minden		Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln

9 Fotodokumentation

9.1 Historische Abbildungen⁷



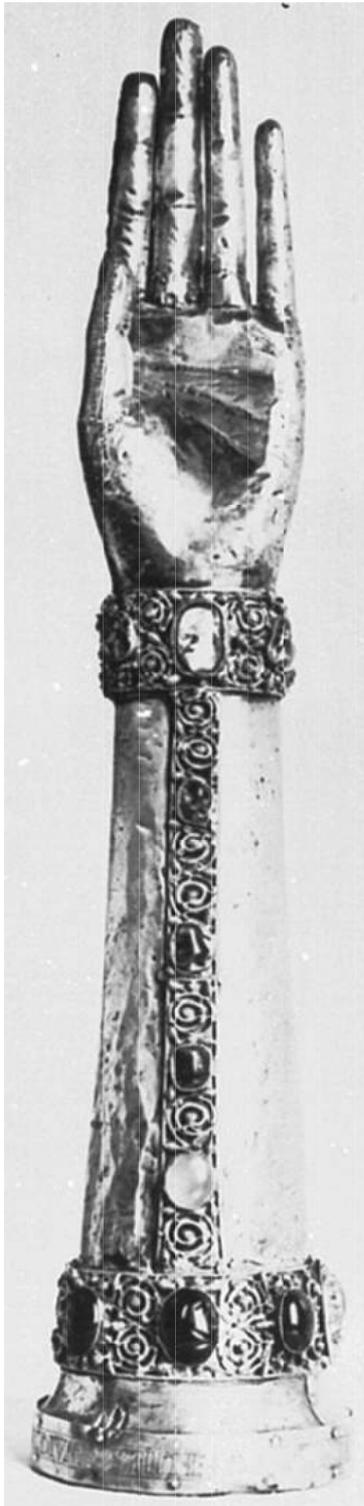
Historische Abbildung 1
Zwischen 1900 und 1940



Historische Abbildung 2
1919

⁷ Historische Aufnahmen aus dem „Bildindex für Kunst und Architektur“, Marburg Archiv Foto, www.bildindex.de.

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete		Seite: 21/48
Eigentümer: Domschatz Minden		Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Historische Abbildung 3
Wohl 1927?



Historische Abbildung 4
Wohl 1927?

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete		Seite: 22/48
Eigentümer: Domschatz Minden		Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Historische Abbildung 5
1966 (?)



Historische Abbildung 6
1966

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete		Seite: 23/48
Eigentümer: Domschatz Minden		Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



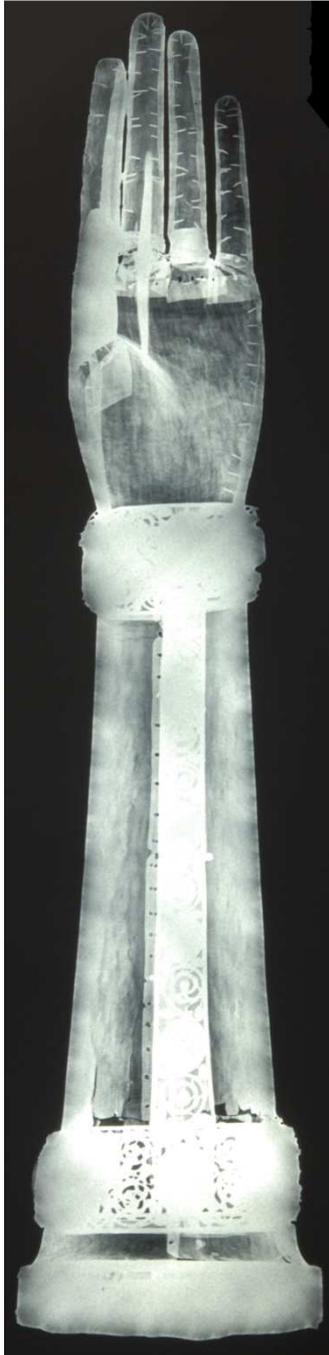
Historische Abbildung 7
1966



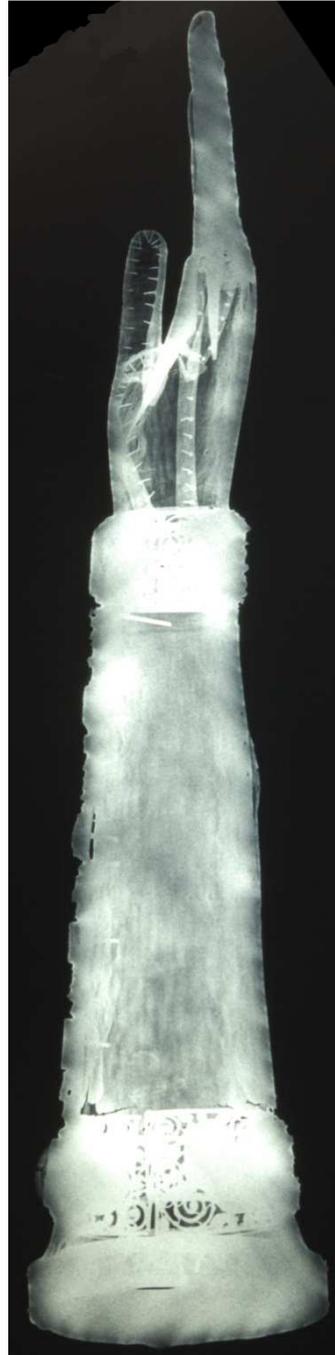
Historische Abbildung 8
1966 (?)

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 24/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln

9.2 Röntgenaufnahmen⁸



Röntgenbild 1 Vorderseite



Röntgenbild 2 rechte Seite



Röntgenbild 3 Handinnenfläche

⁸ Röntgenaufnahmen, St. Vincenz Krankenhaus Paderborn, Feb. 2007
Die originalen Aufnahmen sind im Erzbischöflichen Diözesanmuseum Paderborn archiviert und wurden uns im Zuge der Bearbeitung freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 25/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln

9.3 Vorzustand



Abbildung 1 Vorderseite



Abbildung 2 Rückseite

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 26/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 3 Rechte Seite



Abbildung 4 Linke Seite

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 27/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 5 Handinnenfläche



Abbildung 6 Handaußenfläche

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 28/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 7 Rechte Handkante



Abbildung 8 Linke Handkante

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 29/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 9 Detail, Handinnenfläche/Fingeransatz



Abbildung 10 Detail, Handrücken/Fingeransatz

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 30/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 11 Detailansicht



Abbildung 12 Detailansicht

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 31/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 13 Detailansicht Filigranborte im Bereich des Handgelenks, absteher Filigrandraht, fehlender Fixierungsnagel, weiße Putzmittelreste

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 32/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 14+15 Detail Armrückseite, geöffnete, deformierte Naht

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 33/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 16 Detail vertikale Filigranleiste, oberer Abschnitt



Abbildung 17 Detail vertikale Filigranleiste, unterer Abschnitt



Abbildung 18 Detail Seitenansicht, abstehendes Ende der oberen vertikalen Filigranleiste

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 34/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln

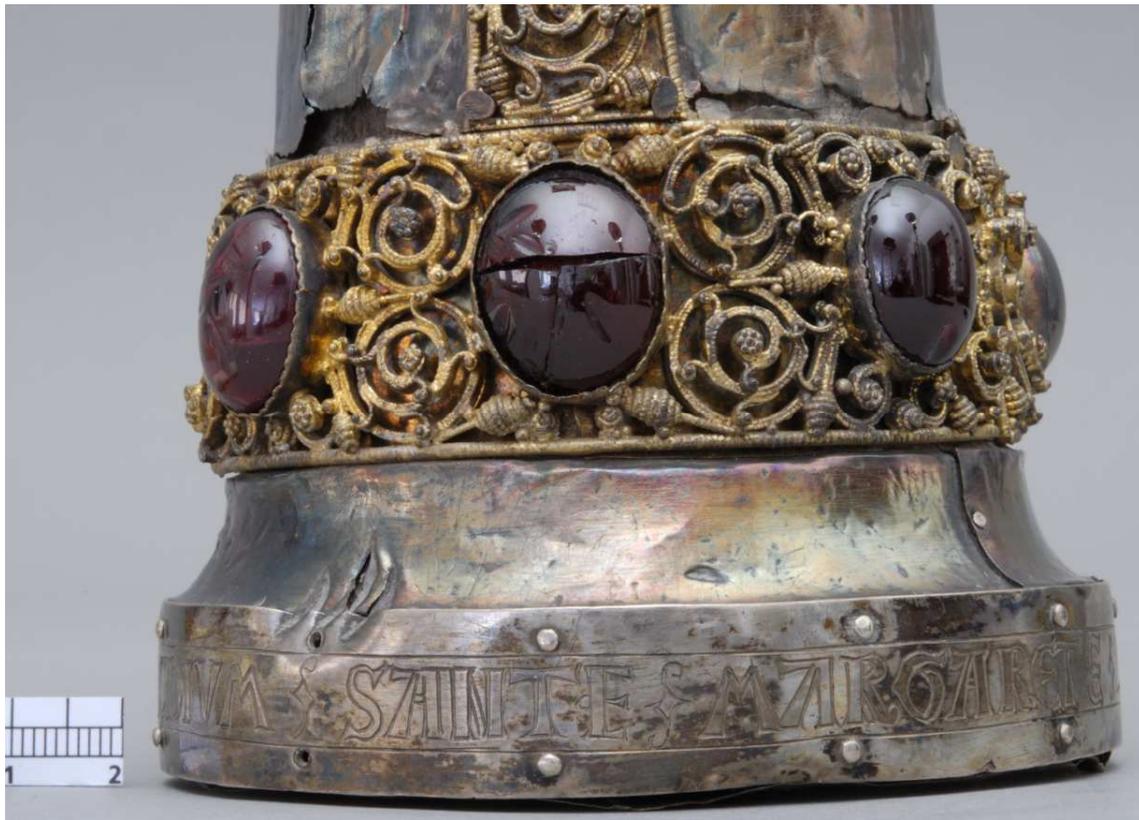


Abbildung 19 Detail Filigranmanschette, unterer Rand, Abschnitt Vorderseite



Abbildung 20 Detail, Glashalbschalen (Vorderseite zentrale Fassung und links daneben) mit Textilunterfütterung, linke Glasschale mit Rissen durchzogen, rechte in drei Teile zerbrochen

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 35/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 21 Detail Filigranmanschette, unterer Rand, Abschnitt linke Seite



Abbildung 22 Detail Filigranmanschette, unterer Rand, Abschnitt Rückseite, Silberrose im rechten Abschnitt Ecke Oberkante

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 36/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 23 Detail Filigranmanschette, unterer Rand, Abschnitt rechte Seite, Eisennagel linker Abschnitt Ecke Oberkante



Abbildung 24 Unterseite

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 37/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln

9.4 Zwischenzustand



Abbildung 25 abgenommene Filigranmanschette, Abschnitt rechte Seite



Abbildung 26 Detail, untere Filigranmanschette Vorderseite, mit herausgenommenen Glasstein (vgl. Abb. 19 und 20)



Abbildung 27 Glashalbschale, Vorderseite

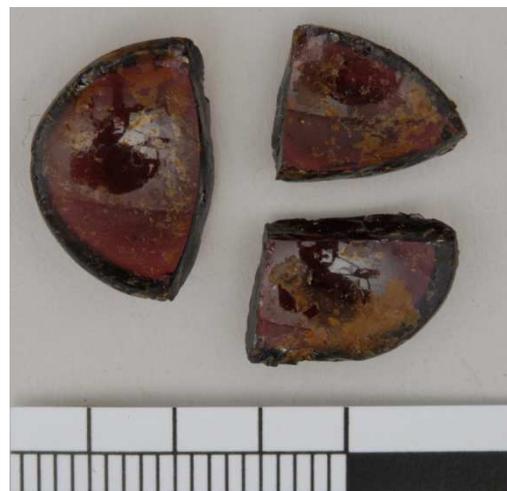


Abbildung 28 Glashalbschale, Rückseite

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 38/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln

9.5 Endzustand



Abbildung 29 Vorderseite



Abbildung 30 Rückseite

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 39/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 31 Rechte Seite



Abbildung 32 Linke Seite

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 40/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 33 Handinnenfläche



Abbildung 34 Handaußenfläche

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 41/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 35 Rechte Handkante



Abbildung 36 Linke Handkante

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 42/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 37 Detail, Handinnenfläche/Fingeransatz



Abbildung 38 Detail, Handrücken/Fingeransatz

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 43/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 39 Detailansicht Filigranborte im Bereich des Handgelenks, klebetechnisch fixiertes Filigrandrahtende, ergänzter Fixierungsnagel, vgl. Abb.13

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 44/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 40+41 Detail Armrückseite, fixierte Naht mit ergänzten Nägeln

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 45/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 42 Detail vertikale Filigranleiste, oberer Abschnitt, ergänzter Nagel links unten



Abbildung 43 Detail vertikale Filigranleiste, unterer Abschnitt



Abbildung 44 Detail, Fehlstelle, mit Rissen, links neben der vertikalen und oberhalb der horizontalen Filigranborte

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 46/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 45 Detail Filigranmanschette, unterer Rand, Abschnitt Vorderseite



Abbildung 46+47 Detail Glasstein, Schrägansicht links und rechts

Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 47/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 48 Detail Filigranmanschette, unterer Rand, Abschnitt linke Seite



Abbildung 49 Detail Filigranmanschette, unterer Rand, Abschnitt Rückseite

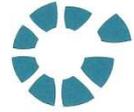
Objekt: Armreliquiar der heiligen Margarete	Seite: 48/48
Eigentümer: Domschatz Minden	Bearbeitung: Beier, Freund und Kühler, Köln



Abbildung 50 Detail Filigranmanschette, unterer Rand, Abschnitt rechte Seite



Abbildung 51 Unterseite



Beier, Freund und Kühler / Wißmannstr. 36 / 50823 Köln

Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI)
Bienroder Weg 54e
38108 Braunschweig

Konservierung und Restaurierung von Kunst- u. Kulturobjekten
[Holz, Textilien, Metall, Keramik, Glas, Materialkombinationen]
Ausstellungs- und Depotbetreuung

Köln, den 02.04.2013

Begutachtung von 6 Paramenten aus der Sammlung Nordhues

Sehr geehrte Damen und Herren,

Die Paramente wurden am 28.11.2012 vor Ort im Hinblick auf einen Kostenvoranschlag zur Restaurierung für die Domfreunde Minden e.V. begutachtet.

Im Folgenden wird neben einer Zustandsbeschreibung und dem vorgeschlagenem Maßnahmenkatalog auch auf die möglichen Ursachen der Schäden hingewiesen.

Für Rückfragen stehen wir Ihnen selbstverständlich gerne zur Verfügung und verbleiben mit freundlichen Grüßen

Viola Beier
Diplom-Restauratorin

Wißmannstr. 36, D – 50823 Köln
Fon: +49 (0)221 – 690 78 14, Fax: +49 (0)221 – 690 78 15
www.beier-freund-kuehler.de, eMail: info@beier-freund-kuehler.de

Sparkasse KölnBonn, BLZ 370 501 98, Konto 159 820 69
Amtsgericht Essen, PR 778
Steuernummer 217/5812/0894, USt-IdNr. DE210885690

1. Kasel, 2. H. 18. Jh., Inv.-Nr. 157.0

Objekt



Maße: H 109 cm, B 65 cm

Zustand

Die Kasel befindet sich insgesamt betrachtet in einem sehr schlechten Zustand. Vermutlich fehlt eine die äußeren Kanten umlaufende Metallborte, so dass hier die Einfassung der Kanten durch den Umbug des grünen Futtergewebes sichtbar ist. Allerdings hat sich der gesamte Randbereich aus der Einfassung gelöst. Teilweise wird er durch große Überfangstiche provisorisch gehalten. In den Kantenbereichen des hellen Obergewebes sind Schlitzte entstanden.

Vielfach sind im gesamten Gewebe verteilt die Seidenkettfäden gebrochen oder ausgefallen, so dass Schlitzte in Schussrichtung entstanden sind, insbesondere im Schulterbereich, im Bauchbereich und an der Unterkante vom Kreuzbesatz. Dies kann eine dauerhafte Lichteinwirkung in Verbindung mit Zugbelastung durch eine falsche Präsentation bzw. Lagerung (auf einem Bügel hängend) verursacht haben.

In Höhe des Bauchbereichs sind großflächige Fehlstellen im Stab und links und rechts des Stabes entstanden, die teilweise gestopft worden sind.

Vor allem durch Gebrauch verursacht sind die vielfach sichtbaren abstehenden Metallfäden, insbesondere unterhalb der Armausschnitte, im Schulter- und Bauchbereich. Durch die mechanische Belastung sind die Fäden gebrochen und haben sich aus dem Gewebe gelöst. Die grüne Seide der Halsausschnittkante ist durch Gebrauch stark abgerieben, so dass sie stark geschädigt ist.

In einigen Bereichen hat sich die Metallborte gelöst und steht leicht ab.



Schlitzte und abstehende Fäden im Schulterbereich



beriebene Halsausschnittkante

Geplante Maßnahmen

- Material- und Gewebeanalyse
- Entfernung des Oberflächenschmutzes durch kontrolliertes Absaugen der Oberflächen
- Heraustrennen von schädigenden oder optisch störenden Stopfstellen
- Glätten von Falten und Knicken oder anderen Verformungen
- Unterlegen von Fehlstellen mit passend eingefärbter Seide und Spannstsicherung aus passend eingefärbter Haspelseide
- Fixieren von abstehenden Metallfäden
- Lose Bortenbereiche wieder annähen
- Neueinfassung der äußeren Kanten und des Halsausschnittes mit passend eingefärbter Crepeline
- Optional: Aufnähen einer passenden Borte als Randeinfassung der äußeren Kanten

2. Dalmatik, 2. H. 18. Jh., Inv.-Nr. 157.2

Objekt



Maße: H 102 cm, B 113 cm

Zustand

Der Erhaltungszustand der Dalmatik ist als schlecht einzustufen. Durch die momentane Präsentation, bei der die Ärmel auf der Rückseite (eigentliche Vorderseite des Gewandes) durch Klammern zugehalten werden, sind in den Oberseiten der Ärmel stark Knickstellen entstanden.

Vielfach sind die Seidenkettfäden des Obergewebes gebrochenen oder ausgefallen, so dass Schlitze in Schussrichtung entstanden sind, insbesondere im Schulterbereich, im Bauchbereich, im Bereich des Halsausschnittes und im Stabbesatz der Rückseite. Hervorgerufen wurde diese Materialschwäche durch die Einwirkung von Licht und die Zugbelastung durch das Tragen bzw. die hängende Präsentation auf einem ungepolsterten Bügel. Im Schulter und Bauchbereich sind diese schlitzzartigen Fehlstellen vielfach bereits in früheren Reparaturmaßnahmen gestopft worden.

Im gesamten Gewebe sind abstehende Metallfäden vorhanden, insbesondere in den Randbereichen. Durch die mechanische Belastung beim Gebrauch sind die Fäden gebrochen und haben sich aus dem Gewebe gelöst.

Die unteren Ecken wölben sich nach innen bzw. ziehen ein. Hier zieht vermutlich das Innenfutter oder sie umlaufende Borte das Gewebe ein.

Im grünen Innenfutter sind helle kreisrunde Flecke sichtbar.



Schlitzzartige Fehlstellen im Schulterbereich



Stopfstellen im Schulterbereich

Geplante Maßnahmen

- Material- und Gewebeanalyse
- Entfernung des Oberflächenschmutzes durch kontrolliertes Absaugen der Oberflächen
- Reduktion der hellen Flecken im Futterstoff (falls möglich)
- Heraustrennen von schädigenden Stopfstellen
- Glätten von Falten und Knicken oder anderen Verformungen
- Unterlegen von Fehlstellen mit passend eingefärbter Seide und Spannstsicherung aus passend eingefärbter Haspelseide
- Fixieren von abstehenden Metallfäden
- Trennen und Wiederannähen der unteren Kanten zum Ausgleich der Spannungen zwischen Futter, Obergewebe, Inneneinlage und Borten

3. Pluviale, Inv.-Nr. 157.3 und der zugehörigen Stola, Inv.-Nr. 157.1

Objekt



Maße Pluviale: H 162 cm, B 89 cm



Stola: H: 120 cm, B 10 cm

Zustand

Das Pluviale befindet sich in einem guten Erhaltungszustand.

Durch die hängende Präsentation auf einem aufgepolsterten Kleiderbügel, bei der der Saum auf dem Vitrinenboden aufliegt, sind Deformationen im Schulterbereich entstanden und es haben sich vielfach Knickstellen und Falten im unteren Saumbereich gebildet.



Aufliegender Saumbereich in der Vitrine



Knicke und Falten im rückwärtigem Saumbereich

Der Zustand der Stola ist als sehr gut zu bezeichnen. Lediglich das Futter zieht leicht ein.

Maßnahmen

- Material- und Gewebeanalyse
- Entfernung des Oberflächenschmutzes durch kontrolliertes Absaugen der Oberflächen
- Pluviale: Glätten von Falten und Knicken oder anderen Verformungen

4. Mitra, Inv.-Nr. 157.14 und einem Paar Pontifikalhandschuhe, Inv.-Nr. 157.15

Objekt



Maße Mitra:
H 27,5 cm, B 27
cm,
Länge der Bänder:
24 cm



Maße
Pontifikalhand-
schuhe:
H 38 cm, B 18 cm

Zustand

Beide Bischofsinsignien sind in einem sehr guten Erhaltungszustand. Sie sind leicht verstaubt.

Der rote Innenstoff der Oberseite der Mitra ist leicht faltig.

Die Pontifikalhandschuhe haben jeweils an ihren Außenseiten Knickstellen durch die ungepolsterte flache Präsentation.

Geplante Maßnahmen

- Material- und Gewebeanalyse
- Entfernung des Oberflächenschmutzes durch kontrolliertes Absaugen der Oberflächen
- Mitra: Unterstützen der Oberseite durch Auspolstern
- Pontifikalhandschuhe: Auspolstern der Handschuhe, insbesondere der Seiten

Untersuchungsbericht

Glasdosimeter-Studie zur Bewertung der klimatischen Verhältnisse am Domschatz Minden

Angebot 021-212-2014-0042

Auftraggeber:

Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut WKI
Bienroder Weg 54 E
38108 Braunschweig

Frau Dr. Alexandra Schieweck

Auftragnehmer / Bearbeiter:

Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC
Außenstelle Bronnbach
D-97877 Wertheim-Bronnbach

Frau Gabriele Maas-Diegeler

08.07.2014
Bronnbach

G. Maas-Diegeler

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Die Glassensor-Methode	4
3	Zielsetzung und Durchführung	5
4	Ergebnisse und Diskussion	6
5	Literatur.....	9

Einleitung

Die nachfolgende Studie beschäftigt sich mit Umweltwirkungsmessungen am Domschatz-Minden in einem Musterraum sowie der Bewertung mikroklimatischer Verhältnisse in drei Vitrinen.

Nicht nur durch freie Bewitterung im Außenraum, sondern auch, wenn Kunst- und Kulturobjekte in Museen, Bibliotheken oder historischen Gebäuden aufbewahrt werden, können Schäden entstehen [1-5]. Die Ursache dafür kann in Innenräumen unter anderem in aggressiven Luftinhaltsstoffen wie Schwefeldioxid, Stickoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen liegen. Diese können von außen hereingetragen werden, aus Bau-, Dekorations- sowie Restaurierungsmaterialien ausdünsten, sich in Vitrinen akkumulieren oder durch die Anwesenheit von Besuchern entstehen.

Die Methoden und Apparate zur quantitativen Bestimmung von Schadgaskonzentrationen haben sich in den letzten Jahren stark weiterentwickelt. Dennoch blieben die Messungen schwierig, da alle Einzelparameter getrennt erfasst werden, was entsprechend sehr aufwändige Messverfahren voraussetzt.

Für manche Fragen des Restaurators oder Konservators reicht als Basisinformation eine Angabe über das korrosive Gesamtrisiko an einzelnen Objekten, Vitrinen oder Räumen. Ist eine Problemsituation erkannt, beispielsweise eine Vitrine mit ungewöhnlich hoher korrosiver Belastung, so kann gezielt nach den Ursachen gefahndet werden. Selbst in dieser zweiten Phase muss noch kein aufwändiges Messprogramm eingesetzt werden. Oftmals genügen einfache Maßnahmen (Austausch von Vitrinenmaterialien, Änderung der Belüftung), um eine Verbesserung der Exponatsituation zu bewirken.

Als ein Frühwarnsystem können sensitive Gläser dienen. Sie reagieren auf das komplexe Zusammenwirken unterschiedlicher Umwelteinflüsse (Abb.1). Als eine Art Wirkungsdosimeter erfassen sie Gesamteffekte anstelle von Einzelparametern und können folglich für ein breites Spektrum an Materialien eingesetzt werden.

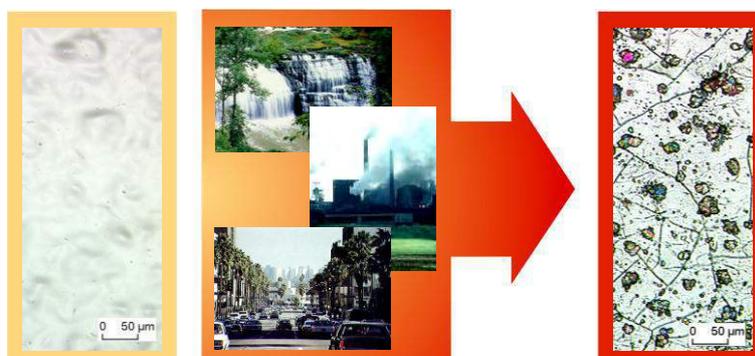


Abbildung 1: Mikroskopische Darstellung einer Glassensor-Oberfläche vor und nach korrosivem Angriff durch unterschiedliche Umwelteinflüsse.

Innerhalb eines dreijährigen, EU-geförderten Forschungsprojektes [6] konnte das Fraunhofer-Institut für Silicatforschung in Zusammenarbeit mit dem Victoria & Albert Museum, London, und dem Klostermuseum in Batalha, Portugal, die sog. Glassensormethode für die Erfassung korrosiver Innenraumbelastungen weiterentwickeln. In diesem Projekt wurden mehr als 30 Vitrinen auf ihre Umweltperformance hin mit der Glassensormethode untersucht.

Dabei wurde festgestellt, dass besonders die Verwendung von Holz und Pressspanplatten im Vitrinenbau zu erheblichen Schädigungspotentialen der Innenklimata der Vitrinen beitragen, da sie oftmals Essigsäure und Formaldehyd in hohen Konzentrationen ausdünsten. Dies wurde durch Einzelgasmessungen bestätigt, die parallel während der Entwicklungsphase von Glassensoren eingesetzt wurden [7]. Sensormessungen sind in den letzten Jahren an einer Vielzahl von Standorten durchgeführt worden. Die Messungen lieferten ohne Ausnahme eindeutige Ergebnisse zur Beurteilung der Umweltsituation am Standort und können als Referenzwerte für die hier durchgeführten Untersuchungen dienen.

Die Methode ist nach der VDI-Richtlinie 3955 standardisiert [8].

2 Die Glassensor-Methode

Das Prinzip der Glassensoren [7-9] basiert auf der Erkenntnis, dass speziell präparierte Kalk-Kalisilicatgläser auf kombinierte korrosive Einflüsse sehr empfindlich reagieren. Dazu gehören erhöhte Formaldehydkonzentrationen oder SO₂-Belastungen bei gleichzeitig hohen oder schwankenden Feuchteverhältnissen. Es kommt dabei zu Ionenaustauschreaktionen, bei denen Protonen und Wassermoleküle in das oberflächennahe Glasnetzwerk diffundieren und bestimmte Glasbestandteile, insbesondere Kalium- und Calciumionen, auslaugen. Diese Effekte summieren sich über den Messzeitraum auf. Im Sinne eines Dosimeters kann orts- und zeitbezogen anhand solcher Standardmaterialien das korrosive Schädigungspotential ermittelt werden. Die strukturellen Änderungen lassen sich später im Labor exakt anhand einer geeigneten OH-Bande (des Wassers) im IR-Spektrum quantifizieren.

Die Glassensoren reagieren auf

- saure Schadgase
- oxidierende Luftbestandteile
- Luftfeuchtigkeit
- direkte Feuchte (Kondensationen)
- Feuchtigkeitsschwankungen
- Temperaturwechseleffekte
- Sekundäreffekte bei erhöhter Wärmeeinstrahlung (Beleuchtungsproblematik)
- Zusammenwirken der genannten Einzelparameter

Diese Einflussgrößen und die modellhaft daraus resultierenden Schadensmechanismen sind am Glassensormaterial werkstoffwissenschaftlich über viele Jahre untersucht worden. Die Einsatzmöglichkeiten der Glassensoren als Risikodosimeter überprüften Fachgremien, die das Verfahren als VDI-Richtlinie standardisierten [8].

Die resultierenden Werte stellen keine Absolutwerte dar, sondern sind Vergleichswerte. Je höher die Korrosionsrate, ausgedrückt in ΔE -Werten (E = Extinktion), desto höher ist das korrosive Potential der Umgebungsbedingungen. Die ΔE -Werte werden berechnet aus dem Nullspektrum (E_0) des Sensors vor Exposition und dem Extinktionswert E_1 nach Exposition ($\Delta E = E_1 - E_0$). Die Auswertung mittels Infrarot-Spektroskopie ist in Abbildung 2 exemplarisch dargestellt.

In der Regel werden im Innenraum (Museum, Vitrinen etc.) 3-Monats-Messungen durchgeführt, teilweise auch Messungen über einen Zeitraum von 6 Monaten.

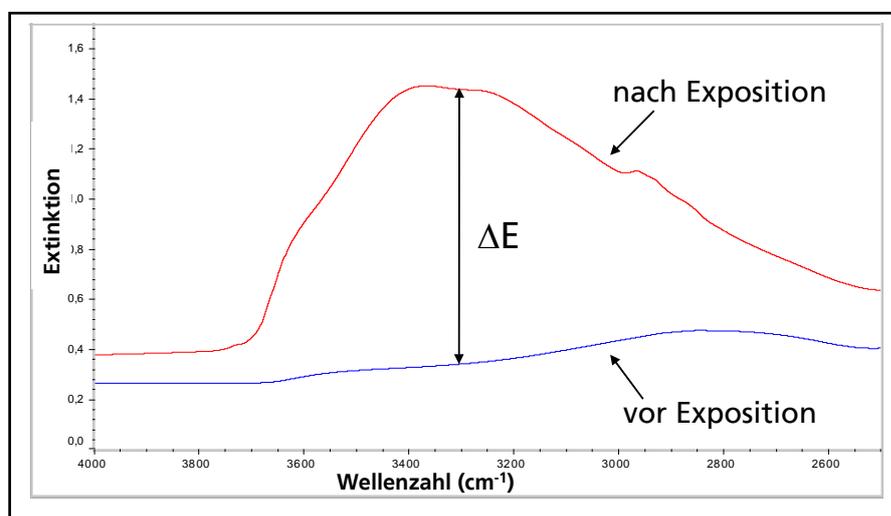


Abbildung 2: Auswertemethode der Glassensoren mittels Infrarotspektroskopie.

Im nachfolgenden Berichtsteil werden die Glassensoren als Glasdosimeter bezeichnet.

3

Zielsetzung und Durchführung

Ziel der vorliegenden Studie ist die Erfassung möglicher Risikobereiche am Standort „Domschatz Minden“, bei dem ein Vergleich zwischen Vitrinen unterschiedlichen Alters und verschiedener Größe gezogen wird sowie die Umweltsituation in einem Musterraum und der darin befindlichen Vitrinen untersucht werden.

Über einen Zeitraum von 12 Wochen erfolgte die Erfassung der klimatischen Verhältnisse an vier Standorten mit jeweils einem Glasdosimeter des Typs M1,0 (mit Feuerpolitur und Rückseitenversiegelung) [6, 7].

Der Auftraggeber hat jeweils einen Glasdosimeter an ausgewählten Expositionsorten positioniert, diese wurden von ihm wie folgt beschrieben:

- Musterraum, keine direkte Sonneneinstrahlung, Positionierung auf ca. 1,80 m Höhe, Klima konstant (ca. 23 °C, 55 % r. F.),
- Neue Vitrine (Dez. 2013 angeschafft), Volumen: ~ 0,63 m³, keine innere und direkte Beleuchtung, Klima analog Raum, Standort: Musterraum
- Neue Vitrine (Dez. 2013 angeschafft), Volumen: ~3,2 m³, keine innere und direkte Beleuchtung, Klima analog Raum, Standort: Musterraum
- Alte Vitrine (ca. 1980), Volumen unbekannt, da großflächige Wandvitrine, innere Beleuchtung durch Leuchtstoffröhren, Standort: Domschatzkammer

Die Ausbringung, Einholung und der Rückversand der vier Glasdosimeter wurde durch den Auftraggeber durchgeführt.

4

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Auswertung mittels IR-Spektroskopie sowie die letztendlich relevanten ΔE -Werte nach 12-wöchiger Exposition sind in der nachfolgenden Tabelle 1 und in Abbildung 3 dargestellt.

Die Untersuchungsergebnisse der lichtmikroskopischen Bewertung der Dosimeteroberflächen werden in den daran anschließenden Abbildungen wiedergegeben.

Tabelle 1: Messergebnisse der IR-Auswertung

Dosimeter-Nr.	Standort	E ₀ -Wert	E ₁ -Wert	ΔE-Wert
140031	Musterraum	0,046	0,056	0,010
140061	kleine neue Vitrine (< 1m ³)	0,040	0,060	0,020
140041	große neue Vitrine (> 3m ³)	0,043	0,060	0,017
140051	alte Vitrine, ca. 1980	0,043	0,116	0,073

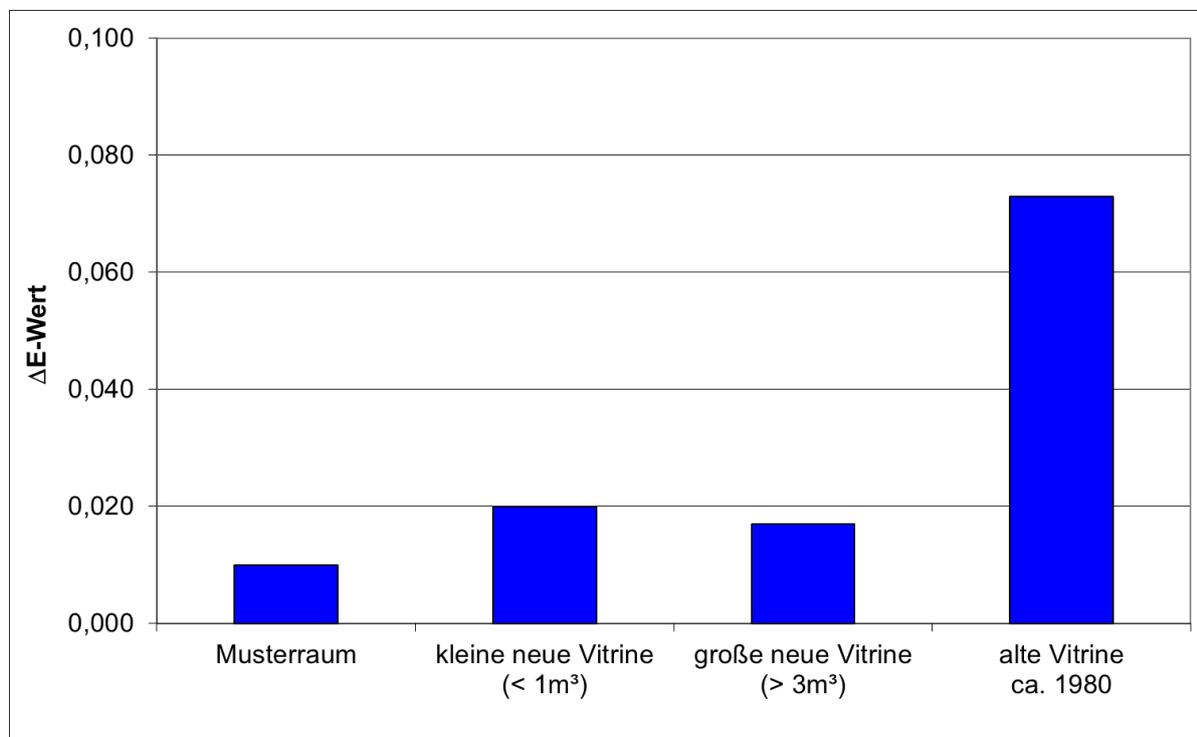


Abbildung 3: Grafische Darstellung der ΔE-Werte



Dosimeter-Nr.: 140031 - Musterraum
 ΔE -Wert: **0,010**

- Kleinste feuchte Strukturen im Bereich von 5-10 μm , statistisch verteilt

(dunklere Strukturen stellen Blasen im Glas und somit keine Resultate der Exposition dar)



Dosimeter-Nr.: 140061 – kleine neue Vitrine
 ΔE -Wert: **0,020**

- Kleinste feuchte Strukturen im Bereich von 5-10 μm , flächig aufliegend
- Größere Strukturen bis 20 μm , statistisch verteilt

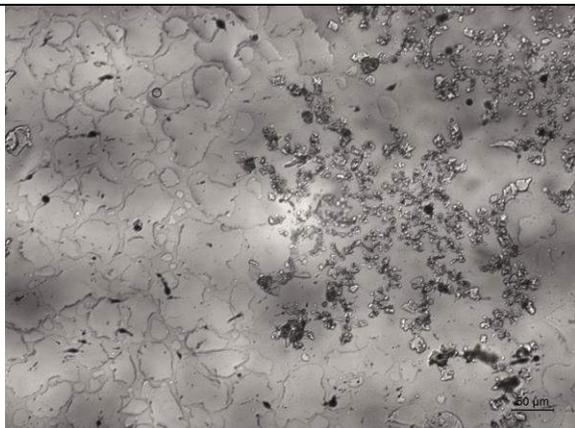
(dunklere Strukturen stellen Blasen im Glas und somit keine Resultate der Exposition dar)



Dosimeter-Nr.: 140041 – große neue Vitrine
 ΔE -Wert: **0,017**

- kleine feuchte Strukturen im Bereich von 5-15 μm , fast flächig aufliegend
- kristalline Strukturen bis 30 μm , statistisch verteilt

(dunklere Strukturen stellen Blasen im Glas und somit keine Resultate der Exposition dar)



Dosimeter-Nr.: 140051 – alte Vitrine
 ΔE -Wert: **0,073**

- überwiegend feuchte Strukturen bis 65 μm , flächig aufliegend
- Bildung von großflächigen Kristallagglomeraten

(dunklere Strukturen stellen Blasen im Glas und somit keine Resultate der Exposition dar)

Abbildungen 4: Lichtmikroskopische Aufnahmen der Glasdosimeter-Oberflächen, Detailaufnahmen in 200-facher Vergrößerung

Die Ergebnisse der 12-wöchigen Messkampagne mittels Glasdosimetern zeigen an den vier bemessenen Standorten des Domschatzes Minden unkritische bis mittlere Umweltbelastungen.

Der bemessene Musterraum stellt mit einem ΔE -Wert von 0,01 das beste Ergebnis dar, welches auf ein sehr gutes und unbelastetes Raumklima schließen lässt. Dies bestätigt auch die geringe Ausbildung von kristallinen Strukturen, sie stellen in dieser Ausprägung kein Schadenspotential dar, sondern repräsentieren überwiegend die normale Reaktion auf eine unbelastete Umgebung.

Die Dosimeteruntersuchungen in der kleinen und großen Vitrine, welche sich beide im Musterraum befinden, ergaben mit ΔE -Werten $\leq 0,02$ annähernd unbedenkliche Umgebungssituationen. Jedoch lassen die Auswertungen der lichtmikroskopischen Aufnahmen bereits auf leichte Reaktionen der sensitiven Dosimeter auf das jeweilige Klima in den Vitrinen schließen. Aufgrund der guten Umgebungsbedingungen, die der Musterraum bietet, könnte die leichte Erhöhung der Vitrinenwerte möglicherweise durch Emissionen aus Vitrinenmaterialien, wie Stoffbespannung, Spanplatten oder Farbanstrichen, verursacht worden sind. Aber auch die Kunstobjekte selbst tragen durch Ausgasungen oft zu schädigenden Klimasituationen in den Vitrinen bei.

Die in der Domschatzkammer befindliche alte Vitrine, aus dem Jahr um 1980, wurde ebenfalls mit einem Glasdosimeter über einen Zeitraum von 12 Wochen bemessen. Die Auswertung lässt mit einem ΔE -Wert von 0,07 bereits eine deutliche Reaktion des Glasdosimeters auf eine leicht erhöhte Klima- bzw. Schadstoffbelastung erkennen. Eindeutig wird dieses Ergebnis durch die lichtmikroskopische Untersuchung der Dosimeteroberfläche unterstützt. Es lassen sich neben einer flächigen Belegung feuchter Strukturen auch größere Gebilde von Kristallagglomeraten nachweisen. Die Ursache hierfür könnte, wie bereits beschrieben, im Vitrinen- oder Objektmaterial bzw. durch schädigende Einflüsse aus der Vitrinenumgebung zu suchen sein.

Vergleichsmessungen

Messergebnisse aus Vitrinen *einer Bibliothek* [10] mit Werten von $\Delta E = 0,01$ (nach $1 \frac{1}{3}$ Monaten) wurden als komplett unbedenklich eingestuft. Werte bis $\Delta E = 0,1$ wurden in den Innenräumen (3-Monatsmessung) gefunden. Auch sie weisen noch nicht auf ein erhebliches Risiko hin, müssen jedoch bereits als kritisch in Bezug auf die Aggressivität der Atmosphäre betrachtet werden.

Zum anderen ergaben Untersuchungen in Vitrinen *eines Nürnberger Museums* [11] Werte für die 3-Monatsmessungen zwischen $\Delta E = 0,01$ und 0,10. Bei ΔE -Werten von 0,08 wurden die Aufbewahrungsbedingungen als stark verbesserungsbedürftig eingestuft.

Messungen in Vitrinen *eines Museums in Wien* [12] ergaben bei einer 5-Monatsexposition mit Werten von $\Delta E = 0,18 - 0,19$ ein hohes Schadensrisiko, während Ergebnisse von $\Delta E = 0,05$ als noch günstig, jedoch keineswegs optimal bezeichnet wurden.

Als deutliches Negativbeispiel stellen sich die Ergebnisse von Messungen in Vitrinen des Grünen Gewölbes in Dresden dar [12] (siehe Abbildung 12).

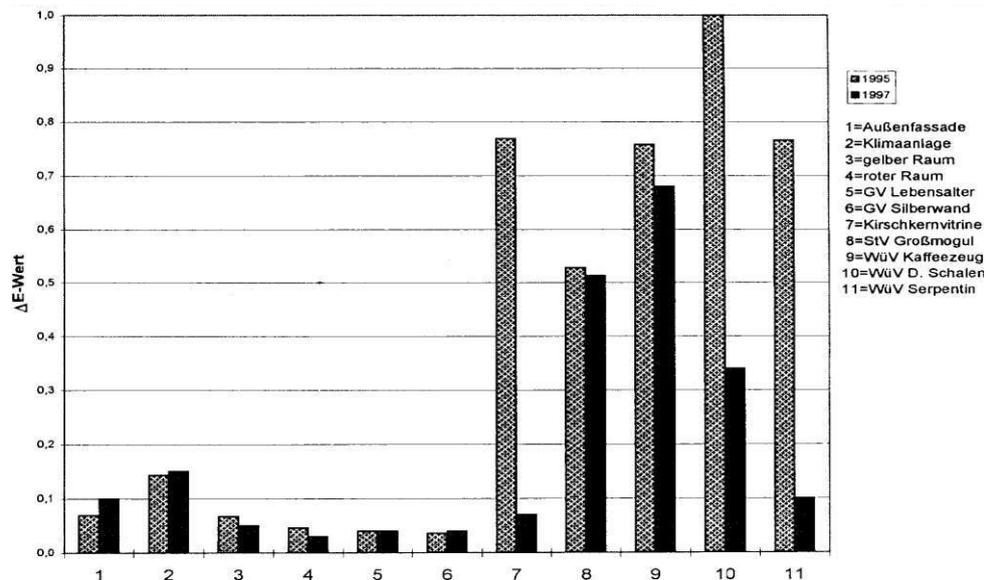


Abbildung 12: Sensormessungen Grünes Gewölbe, Dresden (6-Monats-Messungen) [12]

Hier wurden 1995 bei 6-Monats-Messungen Werte bis zu $\Delta E = 1,0$ gemessen! Verursacht wurden sie durch Ausdünstungen des Vitrinenmaterials (Holz, Textilien) in Form von Essigsäure und Formaldehyd. Die vorliegenden Klimaverhältnisse führten zu umfangreichen Emailschäden (Abplatzungen) an den weltberühmten Pretiosen aus Edelmetall. Nach entsprechenden Gegenmaßnahmen sind die Aufbewahrungsbedingungen in Dresden inzwischen optimiert und unbedenklich.

Komplementär hierzu wurden bei Untersuchungen *in einem Berliner Museum* bei 3-Monatsmessungen Werte um $\Delta E = 0,3$ in Vitrinen gemessen. An den diesbezüglichen Glasobjekten (Vitrinen mit Glasaugen an Tierpräparaten) wurden schwerwiegende Korrosionsschäden an der Oberfläche bis in eine Tiefe von 300 μm nachgewiesen [14].

Entsprechende Werte bis zu $\Delta E = 0,28$ fanden sich auch bei Untersuchungen in Wandschränken *einer Sammlung der Schweiz* statt und waren dort auf Holzgasungen zurückzuführen (Formaldehyd) [15]. In Vitrinen eines weiteren Museums in Berlin, in denen ebenfalls Holzteile verbaut wurden, ergaben sich ΔE -Werte $> 0,10$ (bis zu 0,15) [16].

Messungen in einem Eichenholzschrank (Magazin) an *Museen in Aschaffenburg* lieferten ebenfalls bedenkliche Werte ($\Delta E = 0,17$), die wiederum auf hohen Formaldehyd- und Essigsäurekonzentrationen beruhten

[17]. Die Verhältnisse in Vitrinen *einer weiteren* Sammlung erwiesen sich hingegen als vollkommen unkritisch ($\Delta E \leq 0,011$)

Ebenfalls zum Vergleich sei noch eine extensive Sensorstudie zu Aufbewahrungsbedingungen von Glasfunden in einem Museum in Köln sowie in mehreren Depots und Sammlungen Baden-Württembergs aus dem Jahr 2001 erwähnt [18].

Als Ausnahme bewegten sich jedoch einzelne ΔE -Werte der Messkampagne in Köln und Baden-Württemberg weit oberhalb des oben zitierten Bereichs, nämlich zwischen $\Delta E = 0,07$ und $\Delta E = 0,143$. Die Ursachen dieser Ergebnisse, die sofortigen Handlungsbedarf signalisierten, lagen in extrem kleinvolumigen Vitrinen (erhöhte Akkumulation von Schadstoffen) sowie in unbelüfteten, feuchten Vitrinen (hohe Konzentration von z. B. Formaldehyd als Holzkonservierungsmittel).

Eine Studie in neu eingerichteten Vitrinen eines Hausmuseums in der Schweiz erbrachte mit Werten unter $\Delta E = 0,02$ nahezu ideale Aufbewahrungsbedingungen.