

Schadstoffvermeidung in Vitrinen im Germanischen Nationalmuseum

Erfolge und Kompromisse

Annika Dix und Markus Raquet

Das Institut für Kunsttechnik und Konservierung am Germanischen Nationalmuseum in Nürnberg entwickelt seit vielen Jahren Strategien zur Schadstoffvermeidung in Museumsvitrinen. Wesentlicher Bestandteil dabei ist ein „Vitrinenanforderungsprofil“, welches im Ausschreibungsverfahren unter anderem die Vorauswahl von Baumaterialien und abschließende Kontrollmessungen auf Schadstoffe in neuen Vitrinen vorschreibt. Erfolge und Kompromisse der Präventionsstrategie am GNM werden an aktuellen Beispielen gezeigt.

Prevention of airborne pollutants in display cases at the Germanisches Nationalmuseum – successes and compromises

For many years the Institute for Art Technology and Conservation at the Germanisches Nationalmuseum in Nuremberg has been developing a preventive strategy to reduce airborne pollutants in museum display cases. As a part of the bidding process for new cases, an internal “profile of requirements for display cases” stipulates preselected construction materials as well as final control measurement procedures. This article shows the successes and compromises of the preventive strategy at the GNM based on recent examples.

Das Germanische Nationalmuseum (GNM) ist mit über 1,3 Millionen Objekten das größte kulturhistorische Museum des deutschen Sprachraums und präsentiert mehr als 22 000 Objekte auf über 25 000 m² Ausstellungsfläche. Es wurde 1852 als „wohlgeordnetes Generalrepertorium über das ganze Quellenmaterial für die deutsche Geschichte, Literatur und Kunst“ von Hans Freiherr von und zu Aufsess gegründet.¹ Wenige Jahre später fand die wachsende Sammlung in den Bauten des ehemaligen Kartäuserklosters in der Nürnberger Altstadt ihren ständigen Standort. Zur vorletzten Jahrhundertwende wurde das Ensemble des historischen Klosters durch neugotische Gebäude ergänzt, zu Beginn des 20. Jahrhunderts kamen weitere Bauteile hinzu. Nach den massiven Kriegszerstörungen und der Phase des Wiederaufbaus entstanden in den 1960er Jahren Neubauten durch den Architekten Sep Ruf. Zuletzt wurde das Museum in den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts erweitert. Es entstanden eine neue Eingangshalle, Vortrags- und Wechselausstellungsräume und nicht zuletzt der Komplex, der die Werkstätten des Instituts für Kunsttechnik und Konservierung (IKK) beherbergt.² Dieses Konglomerat heterogener Bauten mit ihrer jeweiligen Gebäudetechnik und -ausstattung bringt Probleme in Bezug auf Schadstoffbelastung und Klimatisierung mit sich.

Emissionen aus Baumaterialien in Museumsvitrinen und deren Auswirkungen auf Kunstwerke sind ein vielfach diskutiertes, nach wie vor aktuelles Thema und fester Bestandteil der präventiven Arbeit von Restauratoren in Museen. Seit Ende der 1990er Jahre entwickelt das IKK Strategien zur Vermeidung von Schadstoffen und ist bestrebt, den Schadstoffeintrag im Museum zu verringern.³ Kern dieser Strate-

gien ist die Entwicklung und ständige Aktualisierung eines „Vitrinenanforderungsprofils“ (Tab. 1). Die schriftlich fixierten Qualitätsanforderungen an Museumsvitrinen sollen Architekten und Vitrinenbauern grundlegende Informationen zur Funktionalität, Sicherheit und zu den konservatorischen Belangen einer Vitrine geben, damit die geforderte Qualität geliefert und nachgewiesen werden kann. Zur Reduzierung von Schadstoffen in der Vitrine werden ein konkretes Material-Vorauswahlverfahren und abschließende Kontrollmessungen der Luft in der fertig gebauten Vitrine vorgeschrieben. Damit ist die Schadstoffkontrolle fester Bestandteil jeder Ausschreibung für neue Dauerausstellungsvitrinen im GNM und Teil der Abnahme nach der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB).⁴ Auf unspezifische Angaben wie „schadstoffarm“ o. Ä. wird verzichtet, stattdessen werden konkrete Anforderungen, Analyseverfahren und Grenzwerte festgelegt.

Für sämtliche im Ausstellungsraum und in der Vitrine verbauten Werkstoffe muss der Vitrinenbauer den Hersteller benennen sowie Sicherheitsdatenblätter und aktuelle Materialmuster vorlegen. Zur Reduzierung des Schadstoffpotentials sind für den Bau der Vitrinen nur inerte Werkstoffe wie Glas, Metall und bei 180 °C mindestens 10 Minuten eingebrannte Lacke zu verwenden. Holzwerkstoffe (z. B. MDF) und nasse Farbanstriche sind aufgrund der schlechten Erfahrungen in der 2010 eröffneten Dauerausstellung „Renaissance, Barock, Aufklärung“ im Galeriebau Obergeschoss⁵ grundsätzlich ausgeschlossen. Der notwendige Einsatz von Klebe- und Dichtungsmaterialien muss so gering wie möglich gehalten werden. Eine technisch mögliche Fugenstärke bei Dichtungsmaterialien von 1,5 mm (+/- 0,5 mm) ist anzustreben.

Konservatorische Kerpunkte des „Vitrinenanforderungsprofils“ des IKK/GNM	
Klimatisierung/Konditionierung	<ul style="list-style-type: none"> aktive Klimatisierung, z. B. durch Konstantklimageräte Passive Klimatisierung mit/ohne erzwungener Umluft, z. B. mit Silikagel oder gesättigten Salzlösungen in den Klimafächern Schadstofffilter/Sorbentien, Partikelfilter
Alle Vitrinenmaterialien	Meldepflicht (Herstellerangaben, Sicherheitsdatenblätter, Materialproben)
Materialien innerhalb der Vitrine	Materialbeprobung durch ein akkreditiertes Labor BEMMA-Schema (BAM) TDS/GC-MS bei 120 °C in Anlehnung an VDA 278 (bis 2012 und bei Wechselausstellungen bzw. innerhalb des Raumes)
Auslützeit	8 Wochen
Kontrollmessungen	<ul style="list-style-type: none"> Luftwechselrate = 0,1/Tag Flüchtige organische Verbindungen (VOC) = aktive Sammlung auf Tenax® TA (DIN ISO 16000-6) Organische Säuren (C1-C3) = aktive Sammlung auf Silikagel Aldehyde inkl. Formaldehyd = aktive Sammlung auf DNPH-Kartusche (DIN ISO 16000-3)
Grenzwerte	VOC Einzelwerte und Gesamtsumme TVOC in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, AGÖF-Orientierungswerte (aktualisierte Fassung vom 28. November 2013 (www.agof.de), TVOC = 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabelle 1: Konservatorische Kerpunkte des „Vitrinenanforderungsprofils“ des IKK/GNM

Die Unbedenklichkeit der Materialien muss der Vitrinenbauer durch ein nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Labor nachweisen und dem GNM vorlegen. Dieser Nachweis darf nicht älter als zwei Jahre sein, da sich Inhaltsstoffe oder Zusammensetzung von Produkten unter demselben Namen ändern können.

Bis 2012 hat das GNM zur Vorauswahl von Vitrinenmaterialien die Thermo desorptionsanalyse mit gekoppelter Gaschromatografie-Massenspektrometrie (TDS/GC-MS) bei 120°C vorgeschrieben: ein Screening- Verfahren aus der Automobilindustrie zur Charakterisierung organischer Emissionen in Anlehnung an VDA 278.⁶ Im Gegensatz zu den Prüfkammerverfahren werden nicht bei einem definierten Luftdurchsatz und -volumen die in der Luft der Prüfkammer nachgewiesenen Substanzen bestimmt, sondern das gesamte mögliche Emissionspotential eines Materials wird aufgezeigt. Es können qualitative und semiquantitative Angaben über das Ausgasungspotential eines Materials gemacht werden. Der VOC-Wert ist die Summe der leicht- bis mittelflüchtigen Substanzen. Die Bewertung dieser Ergebnisse bzw. die Einschätzung, welche Substanzen in welcher Konzentration potentiell schädigend für Kunstwerke sein können, beruht auf Erfahrungswerten spezialisierter Labore.⁷ Dieses relativ kostengünstige Verfahren wird aktuell noch für die Beprobung von Wechselausstellungsmaterialien am GNM vorgeschrieben.

Seit der Einführung des BEMMA-Schemas 2013, einem von der Bundesanstalt für Materialforschung (BAM) entwickelten Mikro-Prüfkammerverfahren zur „Bewertung von Emissionen aus Materialien für Museumsausstattungen“⁸, fordert das GNM für alle an Dauerausstellungsvitrinen verbauten Materialien dieses Verfahren als Nachweis der Unbedenklichkeit. Substanzen mit hohem korrosivem Belastungspotential, wie beispielsweise Ameisensäure, Essigsäure, Formaldehyd oder Oxime, dürfen nicht aus den Materialien emittieren bzw. nachweisbar sein. Für die flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) sind Summenemissionswerte festgelegt. Damit ist eine günstige Ausgangslage für den Bau einer möglichst schadstoffarmen Vitrine gegeben, jedoch noch lange keine Garantie für das Endprodukt. Hier spielen noch weitere Faktoren eine Rolle, wie die Dichtigkeit der Vitrine (Luftwechselrate), die Einsatzmenge oder die Oberfläche des Materials und der Frischegrad des Produkts zum Zeitpunkt der Beprobung.⁹

Die im Ausstellungsraum fertig aufgebaute und ausgestattete Vitrine muss mindestens 6–8 Wochen auslüften. Da man mit Verzögerungen auf der Baustelle oder bei Lieferungen rechnen muss und Zwänge wie Eröffnungstermine kaum mehr Spielraum lassen, sollten bei der Auslüftungszeit keine Kompromisse eingegangen werden. Deshalb wird nach der Auslüftungszeit, aber noch vor der Abnahme nach VOB



2

Aktive Probenahmen auf Tenax® TA Röhrchen bei Raumluftmessungen

3

Die 2012 neu eröffnete Dauerausstellung „Mittelalterbilder“ im Lapidarium



1

Bestimmung der Luftwechselrate mittels Tracer-gas in Vitrinen des GNM

durch ein akkreditiertes Labor stichprobenartig pro Vitrinentypus eine Kontrollmessung der Vitrineninnenluft sowie parallel der Raumluft durchgeführt. Zuvor muss die Luftwechselrate der Vitrine bestimmt werden, was einerseits der Kontrolle der geforderten Dichtigkeit dient, andererseits eine Aussage über die Dauer bis zum Erreichen der maximalen Schadstoffkonzentration der Vitrineninnenluft ermöglicht. Erst dann ist eine Probenahme sinnvoll. Eine Messung unmittelbar nach dem Schließen der Vitrinentür würde unrealistisch niedrige Werte ergeben oder gar aus der Raumluft eingetragene Schadstoffe anzeigen.

Zur Bestimmung des Luftwechsels wird ein Indikatorgas (Tracer-gas) in die Vitrine eingegeben und über den Konzentrationsabfall die Luftwechselrate bestimmt (Abb. 1). Unsere Ergebnisse der letzten drei Projekte zeigten eine unerwartet hohe Streubreite bei den verschiedenen Bauweisen. Der üblicherweise in den Ausschreibungen geforderte Wert von 0,1/Tag wird tatsächlich eher selten eingehalten. Durch den Einfluss der unterschiedlichen Vitrinenbauweisen, der Beleuchtungserwärmung im Tagbetrieb und der Luftumwälzung für die Klimatisierung schwanken die Luftwechselraten zwischen 0,1/Tag und 2,1/Tag bei Wandvitrinen mit sehr gerin-





5
Weißer Glaslack in den Tisch-vitrinen



4
Ganzglasvitrinen mit pulverbeschichteten Edelstahlsockeln im Lapidarium

gem. Luftvolumen. Diesen Wert pauschal vorzugeben, scheint folglich nicht unproblematisch.

Die Probenahme für die Luftpersmessungen erfolgt als aktive Sammlung auf verschiedenen Sammelmedien: flüchtige organische Verbindungen (VOC) auf Tenax® TA Sammelröhren nach DIN ISO 16000-6, organische C1-C3 Säuren (Essigsäure, Ameisensäure) auf Silikagel und Aldehyde (Formaldehyd) auf DNPH-Kartusche nach DIN ISO 16000-3 (Abb. 2). Passive Sammelmedien wie die früher im GNM wegen ihrer einfachen Handhabung eingesetzten Dräger ORSA indoor Diffusionssammler können hingegen deutlich weniger Substanzen erfassen, weshalb man damit zu unrealistisch „guten“ Ergebnissen kommen kann. Außerdem muss eine minimale Luftströmung $< 1\text{cm/s}$ vorhanden sein, ansonsten kann es ebenfalls zu Minderbefunden kommen.¹⁰

Um die Vitrine im Sinne der geforderten konservatorischen Unbedenklichkeit abnehmen zu können, muss im Leistungsverzeichnis ein Grenzwert für die Emissionen festgesetzt werden. Die sinnvolle Festlegung eines Grenzwerts ist nicht leicht, da es bislang noch keine spezifischen Richtlinien für die Problematik von Museumsvitrinen gibt. Daher zieht das GNM hierzu die jeweils aktuellen „Orientierungswerte für Innenräume“ von der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute¹¹ heran.

In der nun folgenden Chronologie der neuen Dauerausstellungsvitrinen im GNM von 2012 bis 2014 werden Erfolge und Kompromisse der Schadstoffvermeidung näher beleuchtet.

„Mittelalterbilder“ im Lapidarium – 2012

Der Forderung des Instituts für Kunsttechnik und Konservierung, die Schadstoffemissionen in neu zu bauenden Vitrinen

durch den Einsatz inerter Materialien wie Glas, Stahl und Einbrennlacke zu minimieren, wurde in der Vergangenheit von Seiten der Architekten oder Ausstellungsplaner eine Einschränkung an Gestaltungsmöglichkeiten entgegengehalten.¹² Dass die ausschließliche Verwendung von Stahl für Vitrinenbauteile und Präsentationshilfen auch ästhetisch hohen Ansprüchen genügen kann, wird am Beispiel der Objektsockel in den neuen Vitrinen des Dauerausstellungsbereiches „Mittelalterbilder“ sichtbar (Abb. 3). Die zweifarbiges Objektsockel und Innenböden aus Edelstahlblechen sind getrennt aus scharfkantig lasergeschweißtem Edelstahl gefertigt und mit einer matten pulverbeschichteten Oberfläche versehen (Abb. 4). Die anschließende Verbindung wurde rein mechanisch über Verschraubungen und Verstiftungen verwirklicht. Entsprechend erfolgte die Objektmontage mittels Verschraubungen oder Neodymmagneten.

Die um die Raumstützen gruppierten Ganzglas-Hochvitrinen bestehen aus dem Vitrinenkörper aus Verbundsicherheitsglas (VSG), der auf einem mit acrylbasierten Mineralfaserplatten verkleideten Stahlgestell sitzt. Die LED-Beleuchtung ist in die Vitrinendecke aus eloxiertem Aluminiumblech integriert. Sämtliche elektronischen und Hitze entwickelnden Elementen sind außerhalb des Korpus eingesetzt.¹³ Hohlkamm-dichtungen aus hochtemperaturvernetzendem Silikon (HTV) sind als V-Dichtungen an den Türen mit einem doppelseitigen Klebeband aufgebracht. Die Glasdichtungen sind mit einem transparenten, acetatvernetzenden Silikon ausgeführt, welches nach damaligem Kenntnisstand alle optischen, statischen und verarbeitungstechnischen Ansprüche erfüllte. Hinsichtlich einer möglichen Essigsäureemission wurde das Produkt kritisch hinterfragt und mit dem damals vorgeschriebenen TDS-Verfahren beprobt. Es war bereits in vergangenen Projekten festgestellt worden, dass die an-



fangs sehr hohe Essigsäure-Emission nach einer Auslufungszeit von mindestens sechs Wochen kaum noch nachweisbar war.

Sowohl in den UV-verklebten Tischvitrinen mit in der oberen Vitrinenkante integrierter LED-Beleuchtung als auch bei den Glasgemäldevitrinen wurde aus optischen Gründen auf der Innenseite des Glases ein weißer 2-Komponenten Polyurethanlack aufgebracht (Abb. 5). Dieser mittels des TDS/GC-MS Verfahren beprobte und freigegebene Lack entpuppte sich später als Emissionsquelle. In den Glasgemäldevitrinen wurde er eingesetzt, um die Ränder der unterschiedlich dimensionierten historischen Glasgemälde zu kaschieren. Erst während der Aufbauarbeiten wurde entschieden, die unzureichende Blickdichtigkeit durch einen zweiten Auftrag eines schwarzen Lacks desselben Produkts zu verbessern (Abb. 6).

Bei den Kontrollmessungen¹⁴ zeigten sich dann in der Vitrineninnenluft auffällig hochkonzentriert die Substanzen PGMMA, n-Butylacetat sowie Aromaten, die vor allem in Läcken enthalten sind. Mit Hilfe des vorliegenden TDS-Screenings konnten diese Substanzen eindeutig dem weißen Glaslack zugeordnet werden. Die extrem hohen Werte in der

6

Zweiter schwarzer Glaslackauftrag auf der Innenseite der Glasgemäldevitrinen

Substanz in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	AGÖF-Orientierungswert	Raumluft Lapidarium	Ganzglas-Vitrine B.29	Tisch-Vitrinen TB.03/TB.06	Glasgemälde-Vitrine G.37	Tisch-Vitrine TB.30
TENAX (Auszug)						
Ethylbenzol	4	3	4	3	123	5
m/p-Xylol	40	14	15	15	293	24
o-Xylol	14	4	4	4	111	9
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	9	3	8	4	17	31
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	10	7	11	7	122	10
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	30	14	22	12	103	33
n-Butylacetat	10	38	35	37	2968	111
Propylenglykolmonomethylether-acetat (PGMMA)	12	10	9	16	1130	249
Gesamtsumme einzeln quantifizierter Verbindungen (VOC-Wert)	1000	625	677	584	6310	1583
Silicagel (Auszug)						
Essigsäure		52	75	61	2700	340
DNPH (Auszug)						
Formaldehyd	30	29	29	32	54	45

Tabelle 2: Ergebnis der Kontrollmessungen der Lapidariums-Vitrinen. Blau: AGÖF-Orientierungswert (Stand 2008); Rot: stark auffällige Werte, die diese Orientierungswerte deutlich überschreiten. Schwarz: unauffällige Werte



7

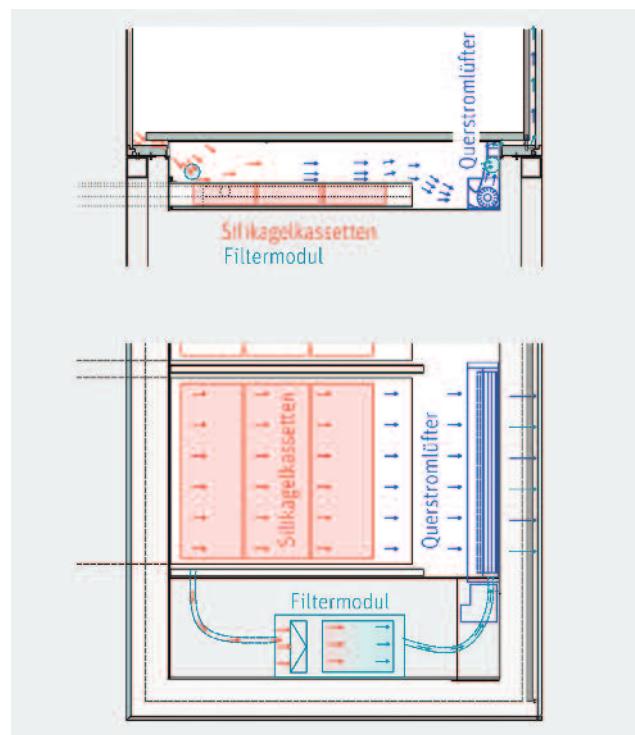
Die neuen Modulvitrinen von 2013/14 in der Sammlung des 20. Jahrhunderts

Glasgemäldevitrine können dadurch erklärt werden, dass der zweite Schichtauftrag das Abbinden des ersten Auftrages verzögerte und es so zu einer deutlich langsameren Abgabe der flüchtigen Verbindungen kam (Tab. 2).

Bei Nachbesserungsarbeiten an den Glasgemäldevitrinen durch die Vitrinenbaufirma gelangten Emissionen aus dem sauvernetzenden Silikon während des Abbindens ungeplant in den Vitrineninnenraum, was ebenfalls in Tabelle 2 abzulesen ist (Essigsäure, Siloxane). Aufgrund des bevorstehenden Eröffnungstermins war es nicht mehr möglich, noch einmal die geforderten acht Wochen auszulüften. Durch regelmäßiges Lüften während der Schließzeiten und temporäres Einlegen von Aktivkohlegewebe konnten alle Werte deutlich reduziert und der extrem bedenkliche Essigsäurewert innerhalb eines Jahres von $2700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf $74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ abgesenkt werden. Damit liegt der Essigsäurewert wie auch bei den Typen Ganzglas- und Tischboardvitrine (B.27 und TB.03/06) unterhalb des AGÖF-Orientierungswerts von $88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und entspricht annähernd dem Raumluftwert. Bei der Gesamtsumme flüchtiger organischer Verbindungen liegen diese beiden Vitrinentypen mit $677 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $584 \mu\text{g}/\text{m}^3$ deutlich unterhalb der vorgeschriebenen TVOC von $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tab. 2).

Modulvitrinen Sammlung 20. Jahrhundert – 2013/14

Für die Sammlung des 20. Jahrhunderts im zweiten Obergeschoss des Ostbaus im GNM sollte eine modular einsetzbare Vitrine entwickelt werden, die zum Design der Architektur von Sep Ruf aus den 1960er Jahren passt und den konservatorischen Anforderungen entspricht (Abb. 7). Im Deckel und Unterbau der reduzierten Edelstahl-/Glas-Vitrinen können die modularen Komponenten eingesetzt werden: eine Lichteinheit für Streu- bzw. direkt gerichtetes Glasfaserlicht oder ganz ohne Beleuchtung durch Einschieben eines Glas- oder Stahldeckels. Für die Exponatrückwände und Sockel



8

Technische Zeichnung der Schubladen zur Klimatisierung mit Querstromlüfter und Schadstofffiltereinheit oben: Längsschnitt unten: Grundriss



9

Schadstofffiltermodul zur individuellen Bestückung, dimmbarer Querstromlüfter getrennt von Vitrineninnenraum und Klimaschublade

wurden Aluminiumschaum-Sandwichplatten verwendet, deren Deckblechlagen mit dem inneren geschäumten Kern rein metallisch verbunden und außen matt pulverbeschichtet sind. Unter dem Objektraum befinden sich Schubladen für die passive Klimatisierung, z. B. mit Silikagelkassetten. Die Luft strömt durch Schlitze an der Vorderseite der Vitrine über

Substanz	Vitrine V1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Vitrine V7 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Vitrine V10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Raumluft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Summe VOC (TVOC) aus Aktivkohle-Passivsammler	120	97	147	65
Essigsäure (AGÖF-Orientierungswert = 88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	104	123	85	91
Summe C1-C3 Säuren	137	145	106	104
Formaldehyd (AGÖF-Orientierungswert = 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	45	39	27	47
Summe Formaldehyd und gesättigte/ungesättigte Aldehyde	85	90	83	51
Gesamtsumme der quantifizierten Verbindungen	342	332	336	220

Tabelle 3: Auszug aus der Abnahmemessung in den Modulvitrinen, Sammlung 20. Jahrhundert

die Konditionierungsmittel in den Klimaschubladen und wird mittels eines Querstromlüfters über die Rückwand breitflächig in die Vitrine eingebracht (Abb. 8). Es wurde darauf geachtet, dass alle elektronischen Elemente, wie Lüftermotor oder Kabel, außerhalb des Vitrineninnenraums liegen. Eine separat einsetzbare Schadstofffiltereinheit kann mit beliebigem Adsorbermaterial ausgerüstet werden (Abb. 9).

Ein weiterer Ansatz zur Schadstoffvermeidung war, die Klebefugen und damit die Oberfläche der emittierenden Materialien durch sehr präzises Arbeiten der Stahl- und Glasprofile zu minimieren. Angestrebt waren Klebefugen von 1 mm. Die nutartig schließenden Metallarbeiten durften lediglich 1/10 mm Abweichung haben. Die Luftwechselraten von 0,11–0,36/d im Nachtbetrieb und 0,08–1,17/d im Tagbetrieb bezeugen per se eine hohe Dichtigkeit, jedoch auch den deutlichen Einfluss der Beleuchtungswärzung im Tagbetrieb sowie der Klimafachumwälzung.

Auch der zum Zeitpunkt der Ausschreibung sehr niedrig angesetzte Zielwert von 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ TVOC wurde annähernd erreicht. Einschränkend ist hierbei zu ergänzen, dass die VOCs mit einem Passivsammler bestimmt wurden und der niedrig angesetzte Summengrenzwert auf den damaligen Erfahrungen mit Passivsammlern beruhte. Trotzdem bestätigen die Abnahmemessungen¹⁵ den Erfolg der Schadstoffvermeidungsstrategie. Tabelle 3 verdeutlicht, dass der Großteil der gemessenen Substanzen aus der Raumluft stammt, was sich insbesondere in der Emission von Essigsäure aus dem frisch verlegten Parkettfußboden bemerkbar macht. In den Modulvitrinen selbst ist keine Essigsäurequelle mehr vorhanden. Hier wurde bewusst auf sauvernetzendes Silikon als Dichtungsmaterial verzichtet und ein opakweißes 1-komponentiges MS-Polymer für die Verklebung der Glasscheiben eingesetzt, welches sich inzwischen optisch, statisch und verarbeitungstechnisch bewährt hat.

Ehrenhalle – 2014

Die Neugestaltung der Dauerausstellung zur Gründung des Germanischen Nationalmuseums in der sogenannten Ehrenhalle schließt räumlich unmittelbar an den im Aufsatz von Annika Dix und Ute Meyer-Buhr¹⁶ bereits beschriebenen Sammlungsbereich im „Lapidarium“ an (Abb. 10). Die Gestaltung der neuen Vitrinen sollte sich entsprechend an die bereits vorhandenen anschließen.¹⁷ Die positiv beprobten Materialien sollten zum Teil wieder zum Einsatz kommen. Auf den Einsatz eines acetatvernetzenden Silikons wurde aufgrund der beschriebenen Problematik grundsätzlich verzichtet. Verwendet wurde das inzwischen bewährte Polymer der Modulvitrinen. Für die Beprobung neuer Materialien wurde das zwischenzeitlich eingeführte BEMMA-Schema herangezogen. Die bereits in Zusammenarbeit mit einem Fachlabor für Umweltanalytik und Innenraumschadstoffe in den vorangegangenen Vitrinenprojekten begonnene Probenahmestrategie wurde hier konsequent fortgesetzt¹⁸. Zunächst wurde an einer geeigneten Auswahl Vitrinen die Luftwechselrate bestimmt, um zum richtigen Zeitpunkt eine Kontrollmessung der Innenluft durchzuführen. An sämtlichen Vitrinen sind bereits verschließbare Anschlüsse vorgesehen, über welche die Luftprobenahme für Kontrollmessungen mit Teflonschläuchen erfolgen kann, ohne die Vitrinentür zu öffnen (Abb. 11). Diese Probenahmemeanschlüsse sind zudem hilfreich für eigene Nachkontrollen ohne aufwendige Vitrinenpräparation. Mit 573 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und 804 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen zwei Vitrinentypen unterhalb des geforderten Grenzwerts von 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ TVOC. Die meisten Emissionen stammen aus dem weißen Glasslack, der aus Gründen der einheitlichen Gestaltung – wenn auch in geringerer Menge und korrekter Anwendung – wieder eingesetzt wurde. Diese Werte konnten durch forcierte Luftumwälzung mittels des Konstantklima-



10

Die 2014 neu eröffnete Dauerausstellung zur „Gründung des Germanischen Nationalmuseums“ in der Ehrenhalle

geräts mit vorgeschaltetem Aktivkohle-Schadstofffilter rasch gesenkt werden. Die Erfolgskontrolle der Lüftungsmaßnahme konnte durch das IKK selbst ohne erneute kostenintensive Laboranalytik durchgeführt werden. Mit Hilfe eines an den Probenahmeport gesetzten Photoionisationsdetektors¹⁹ (PID) wurde das Absinken des Summenwerts der flüchtigen organischen Verbindungen kontrolliert.

Wechselausstellungen/Altbestandvitrinen

Nicht immer ist es möglich, eine technisch aufwendige und kostenintensive Lösung, beispielsweise mit aktiven Klimageräten, umzusetzen. In vielen Sammlungsbereichen des Germanischen Nationalmuseums hat sich eine Art „Lowtech-Variante“ mit passiver Konditionierung bewährt. Unterhalb der Vitrinen befindet sich ein Klimafach, das individuell mit passiven Konditionierungsmitteln wie z. B. Silikagel oder gesättigten Salzlösungen oder auch mit Schadstoffadsorbern ausgestattet werden kann. Der Luftaustausch zwischen Klimafach und Objektraum erfolgt entweder rein passiv oder durch erzwungene Umluft, z. B. mit regelbarem Axiallüfter (Abb. 12).

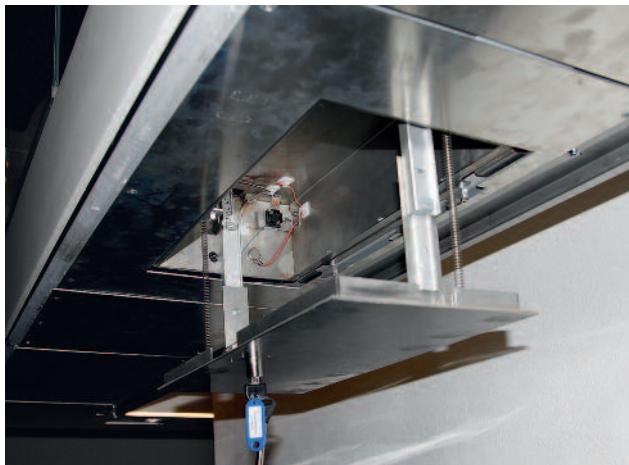
Für Altbestandsvitrinen, die ohne großen Aufwand nachgerüstet werden, und für die wenige Monate dauernde Klima-



11

Probenahme mit aktiven Sammelmedien für die Abnahmemessungen der Vitrinen der Ehrenhalle

tisierung in Wechselausstellungen hat sich die rein passive Methode bewährt. Unter perforierten Sockeln aus Metall oder anderen geprüften und freigegebenen Plattenmaterialien²⁰, die mit luftdurchlässigen Stoffen bespannt sind, werden Silikagel, Molekularsiebe, gesättigte Salzlösungen oder



12
Klimafach mit regelbarer Umluft zur Bestückung mit Konditionierungsmitteln



13
VOC-Summen-Messgerät (PID) und Formaldehydmessgerät im Einsatz am Vitrinenprobenahmepunkt

Schadstoffadsorber untergebracht. Dabei stehen verschiedene Möglichkeiten offen, die Sorbentien einzubringen, z. B. als Schüttung von Granulat, in Form von Filtermatten oder Aktivkohlegeweben, die auch unter die Bezugsstoffe gespannt werden können. In einer Vitrine mit besonders vielen Silberobjekten ohne Schutzlackierung, der sogenannten Kaffeezeugvitrine, hat sich eine Mischung von Kokosnusschalen-Aktivkohlegranulat und Zinkoxid als Adsorber für Schwefelverbindungen bewährt. Die Adsorbermaterialien müssen hier in einem Turnus von 3-4 Jahren gewechselt werden, womit sich der Pflegeaufwand in Grenzen hält.

Monitoring

Zum Monitoring von Vitrinen kommen Metallindikatorstreifen (in Anlehnung an den Oddyttest), Indikatorpapiere für Säuren oder der Formaldehydschnelltest Bio Check F von Dräger zum Einsatz. Aufgrund des erhöhten Bedarfs nach schnellen, unkomplizierten und wiederholbaren Messungen hat das Institut für Kunsttechnik und Konservierung zwei Messgeräte angeschafft: ein Eingasmessgerät für Formaldehyd²¹ und das oben genannte PID-Summenmessgerät für flüchtige organische Verbindungen (VOCs). Ein wichtiger Einsatzbereich ist die Suche nach Emissionsquellen, z. B. als Sofortanzeiger beim Aufbau von Wechselausstellungen. Beide Messgeräte kommen auch bei der schnellen Vorabprüfung von Werkstoffen zum Einsatz, um zeit- und kostenintensive Laboranalytik gezielter auf „erfolgversprechende“ Materialien zu konzentrieren (Abb. 13).

Fazit

Aufgrund der Komplexität der „gewachsenen“ Museumsgebäude des GNM ist für die einzelnen Dauerausstellungsbereiche eine individuelle Sanierungs- und Vitrinenplanung erforderlich. Durch die feste Verankerung der Qualitätsanforderungen an Museumsvitrinen („Vitrinenprofil“) im Aus-

schreibungstext nach VOB werden Architekt und Vitrinenbauer verpflichtet, mit der Materialvorauswahl und der abschließenden Kontrollmessung die konservatorische Qualität der Vitrinen zu halten und dem GNM gegenüber nachzuweisen.

Eine Beprobung von Vitrinenbaumaterialien mit der TDS-Methode hilft Emissionsquellen konkret einzelnen Materialien zuzuweisen. Das BEMMA-Schema ist ein auf Museumsvitrinen zugeschnittenes Beprobungsverfahren zur Auswahl möglichst schadstoffarmer Materialien, kann jedoch auch keine schadstofffreie Vitrine garantieren. Ein als unbedenklich eingestuftes Material kann bei falscher Anwendung oder in Wechselwirkung mit anderen Materialien zu erheblichen Problemen führen. Die Erfahrungen machen die Notwendigkeit der Einhaltung von mindestens sechs, besser acht Wochen Auslüftungszeit deutlich. Mit Kenntnis der Luftwechselrate vor der Kontrollmessung auf Schadstoffe kann die Dauer bis zur Einstellung einer Ausgleichskonzentration in der Vitrine erfasst werden. Die Bestimmung der Luftwechselraten der Vitrinen hat gezeigt, dass die allgemein genannte Luftwechselrate von 0,1/d nicht immer eingehalten wird. Die hohe Dichtigkeit von Vitrinen kann bei Schadstoffquellen in der Vitrine zu einer erheblichen Ansammlung von Schadstoffen führen. Eine durch ein Fachlabor durchgeführte Abnahmemessung an der fertigen Vitrine ist unabdingbar. In Ermangelung spezifischer Grenzwerte für Museumsvitrinen sind die AGÖF-Orientierungswerte bislang im IKK ein probates Mittel zur Beurteilung von Vitrinen und Ausstellungsräumen. Das GNM ist bestrebt, das Vitrinenprofil und die Strategie zur Vermeidung von Schadstoffen konsequent weiterzuentwickeln.

Dipl.-Rest. (FH) Annika Dix und
Dipl.-Rest. (FH) Markus Raquet
Germanisches Nationalmuseum
Institut für Kunsttechnik und Konservierung
Kartäusergasse 1
90402 Nürnberg

Anmerkungen

- 1 Zur Gründungsgeschichte des Germanischen Nationalmuseums vgl. ZANDER-SEIDEL/KREGELOH 2014
- 2 Vgl. GROSSMANN 1997
- 3 VON ULMANN 2004 und <http://www.gnm.de/forschung/archiv-forschungsprojekte/praevention-schadstoffvermeidung-ikk/>
- 4 Die Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) ist in Deutschland Grundlage bei allen Ausschreibungen und bauvertraglichen Vereinbarungen öffentlicher Auftraggeber.
- 5 VON ULMANN 2010
- 6 VDA 278 Thermodesorptionsanalyse organischer Emissionen zur Charakterisierung nichtmetallischer KFZ-Werkstoffe, Empfehlungen des Verbands der Automobilindustrie (VDA) Oktober 2011
- 7 Z. B. Labor Drewello & Weißmann, Naturwissenschaftliche Untersuchungen für Kunst und Denkmalpflege, Bamberg
- 8 WIEGNER et al. 2012
- 9 https://www.nike.bam.de/de/nike_medien/137_12_bam-zertifizierung_emissionsarme-materialien_allg-info_deutsch_2012_07_13.pdf
- 10 VDI-Richtlinie 4300 Blatt 6/ Anhang D Passivsammler, Verband Deutscher Ingenieure (VDI)
- 11 <http://agoef.de/agoef/oewerte/orientierungswerte.html> aktualisierte Fassung vom 28.11.2013. Die Referenzwerte basieren auf statistischen Daten aus zwei vom Umweltbundesamt finanzierten Forschungsprojekten, in denen Wohn- und öffentliche Gebäude untersucht wurden. Im Unterschied zu Wohn- oder Arbeitsräumen haben wir es in Museumsvitrinen jedoch mit deutlich niedrigerem Luftwechsel und einem ungünstigeren Verhältnis zwischen Emissionsfläche und Luftvolumen zu tun.
- 12 VON ULMANN 2010, S. 46
- 13 Zur technischen Umsetzung der Vitrinen und Abnahmemessungen im Lapidarium siehe: DIX et al. 2013, S. 135–142
- 14 Bericht über Abnahmemessungen auf flüchtige organische Verbindungen im Lapidarium, Matthias Schmidt, AnbusAnalytikGmbH, Fürth, 13.07.2012
- 15 Bericht über Abnahmemessungen auf flüchtige organische Verbindungen in der Sammlung 20. Jahrhundert, Matthias Schmidt, AnbusAnalytikGmbH, Fürth, 21.01.2014
- 16 Annika Dix und Ute Meyer-Buhr, Im Schneewittchensarg – eine Großvitrine für den Heiltumsschrein, in: Beiträge zur Erhaltung von Kunst und Kulturgut, H. 2/2016, S. 69–77
- 17 Zur Ausstellungsarchitektur in Lapidarium und Ehrenhalle siehe WOLFF 2014.
- 18 Bericht über die Abnahme auf flüchtige organische Verbindungen in der Ehrenhalle, AnbusAnalytikGmbH Fürth, Matthias Schmidt 31.07. 2014
- 19 ppbRAE3000, tragbarer Photoionisationsdetektor (PID) von RAE Systems zur VOC-Messung im ppb-Bereich (von 1 ppb bis 10.000 ppm). Das Summenmessgerät ist nicht geeignet, um Einzelsubstanzen zuverlässig anzuzeigen und ersetzt nicht die Abnahmemessung durch ein Fachlabor.
- 20 Für den temporären Einsatz in Wechselausstellungen hat das IKK zwei Plattenwerkstoffe freigegeben, die das BEMMA bestanden haben: eine Integralschaumplatte aus Hart-PVC, die nach dem Aufschneiden ausgelüftet werden muss, und eine ahornfurnierte, formaldehydfrei verleimte Spezialholzplatte aus dem Saunabau.
- 21 Formaldemeter htv-M von PPM-Technology

Literatur

- DIX et al. 2013: Annika Dix, Markus Raquet, Matthias Schmidt und Jürgen Wolff, Schadstoffmessungen in Museen – begleitende Untersuchungen einer neuen Ausstellungshalle im Germanischen Nationalmuseum. In: Umwelt, Gebäude & Gesundheit. Schadstoffe, Gerüche und schadstoffarmes Bauen. Ergebnisse des 10. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 24. und 25. Oktober 2013 in Nürnberg. Springe-Eldagsen 2013, S. 130–142
- DIX/MEYER-BUHR 2016: Annika Dix und Ute Meyer-Buhr, Im Schneewittchensarg – eine Großvitrine für den Heiltumsschrein, in: Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut, H. 2/2016, S. 69–77
- GROSSMANN 1997: G. Ulrich Großmann, Architektur und Museum – Bauwerk und Sammlung. Das Germanische Nationalmuseum und seine Architektur. Ostfildern 1997
- RAQUET 2014: Markus Raquet, Strategien zur Schadstoffvermeidung in Museumsvitrinen im Germanischen Nationalmuseum in Nürnberg. In: Schadstoffe im Museum, Begleitheft zum Symposium 02. Juli 2014 in Dresden. Hrsg. v. Forschungsallianz Kulturerbe, Fraunhofer IRB. Stuttgart 2014, S. 13–15
- VON ULMANN 2004: Arnulf von Ullmann, Schadensvorbeugung im Museum. In: Ders. (Hrsg.), Anti-Aging für die Kunst: Restaurieren – Umgang mit den Spuren der Zeit. Nürnberg 2004, S. 197–199
- VON ULMANN 2010: Arnulf von Ullmann, Kunst kennt keinen Urlaub und kann sich nicht erholen oder: von den Unwegsamkeiten Prävention durchzusetzen. In: Umwelt, Gebäude & Gesundheit. Schadstoffe, Gerüche, Sanierung. Ergebnisse des 9. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 23. und 24. September 2010 in Nürnberg. Springe-Eldagsen 2010, S. 38–49
- WIEGNER et al. 2012: Katharina Wiegner, Matthias Farke, Wolfgang Horn, Oliver Jann und Oliver Hahn, Den Schadstoffen auf der Spur. Die Bewertung von Emissionen aus Materialien für Museumsausstattungen mithilfe des neuen BEMMA-Schemas. In: Restauro 3, 2012, S. 38–44
- WOLFF 2014: Jürgen Wolff, Ausstellungsarchitektur. In: Jutta Zander-Seidel und Anja Kregeloh (Hrsg.), Geschichtsbilder: die Gründung des Germanischen Nationalmuseums und das Mittelalter. Nürnberg 2014, S. 21–35
- ZANDER-SEIDEL/KREGELOH 2014: Jutta Zander-Seidel und Anja Kregeloh (Hrsg.), Geschichtsbilder: die Gründung des Germanischen Nationalmuseums und das Mittelalter. Nürnberg 2014

Abbildungsnachweis

- Abb. 1, 2, 5, 6, 9, 11–13: Germanisches Nationalmuseum, Annika Dix
- Abb. 3: Germanisches Nationalmuseum, Jürgen Wolff
- Abb. 4, 7: Germanisches Nationalmuseum, Monika Runge
- Abb. 8: jb architekten GmbH, Nürnberg
- Abb. 10: Dirk Messberger, Nürnberg