

Erarbeitung eines Leitfadens zu Schadstoffbelastungen in Museen einschließlich systematischer Analysen an national wertvollen Beständen des Landesmuseums Hannover (Niedersachsen)

A. Schieweck ²⁾, J. Hoffmann ³⁾, C. Genning ²⁾ und T. Salthammer ^{1,2)}

1) Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Fachbereich Materialanalytik und Innenluftchemie, Bienroder Weg 54 E, 38108 Braunschweig

2) Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, Salzdahlumer Straße 46/48, 38302 Wolfenbüttel

3) Landesmuseum Hannover, Willy-Brandt-Allee 5, 30169 Hannover

1 Ausgangssituation

Die Verunreinigung der Innenraumlufte mit Fremdstoffen kann verschiedene Ursachen haben. Zum einen werden Substanzen wie z.B. Ozon, Stickoxide und Schwefeldioxid über die Außenluft eingetragen. Als wesentliche Quelle von Luftverunreinigungen im Innenraum selbst sind jedoch Bau- und Inneneinrichtungsmaterialien anzusehen. Das Emissionsverhalten derartiger Materialien ist stark von ihrem Alter abhängig und wird von den klimatischen Parametern beeinflusst, die unter normalen Arbeits- und Wohnbedingungen ständig wechseln. Zur Akkumulation trägt neben den heute meist sehr luftdichten Räumen (als Konsequenz der Wärmeschutzverordnung von 1982) ein schlechtes Lüftungsverhalten (Salthammer, 1994) bei.



Abbildung 1: Durch Essigsäure angegriffener Bleisoldat (Photo: Jean Tétreault).



Die wesentlichen flüchtigen Substanzgruppen sind neben den anorganischen Schadgasen vor allem Lösemittel (Ester, Alkohole, Ketone, aliphatische Kohlenwasserstoffe, aromatische Kohlenwasserstoffe), aber auch Terpene und Aldehyde, organische Säuren sowie fogging-aktive Substanzen, z.B. Flammschutzmittel und Weichmacher. Abbildung 1 zeigt einen aus Blei gefertigten Krieger, dessen Oberfläche durch in der Luft enthaltene Essigsäure angegriffen wurde. Die genannten Verbindungen sind heute in den meisten Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen für Innenräume enthalten. Darüber hinaus werden eine Reihe von Chemikalien zur Erhaltung von Kunstwerken eingesetzt (z.B. Pestizide, Epoxide, Campher). Weiterhin haben viele Substanzen niedrige Geruchsschwellen, so dass bei Überschreitung bestimmter Raumluftkonzentrationen zusätzlich mit einer Geruchsbelästigung gerechnet werden muss (z.B. Campher und 1,4-Dichlorbenzol). Es wird heute immer wieder über Geruchsprobleme berichtet, die oft auch auf die natürlichen Inhaltsstoffe der Materialien zurückzuführen sind. Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen hat daher ausdrücklich auch die Stoffe natürlichen Ursprungs, die sich infolge eines unzureichenden Luftaustausches in Innenräumen anreichern, in seine Definition von *Luftverunreinigungen* eingeschlossen.

Ein weiteres Problem in Innenräumen ist die Belastung von Raumluft und Staub mit biologischen Kontaminationen, z.B. Schimmelpilzen. Typische Ursachen sind feuchte, wenig gelüftete Räume (z.B. Archive und Magazine) oder ungenügend gewartete Klimaanlage. Pilze und deren Stoffwechselprodukte machen sich nicht nur durch unangenehme Gerüche bemerkbar, sondern können neben Sachschäden auch massive Gesundheitsbeeinträchtigungen hervorrufen.

Die bekannte Raumluftproblematik hat in den letzten Jahren zu verstärkten Forschungsaktivitäten zum Thema "Innenluft" geführt. Während in früherer Zeit Einzelschadstoffe wie Formaldehyd, Pentachlorphenol und Asbestfasern im Vordergrund standen, ist heute überwiegend die Gesamtbelastung von Bedeutung. In einer aktuellen Veröffentlichung des Umweltbundesamtes (Seifert, 1999) werden als Richtwert für die Summe der flüchtigen organischen Verbindungen in Innenräumen (TVOC-Wert) $1 - 3 \text{ mg/m}^3$ genannt, wobei langfristig Konzentrationen unterhalb $0,3 \text{ mg/m}^3$ anzustreben sind. Diese Angaben beruhen im Wesentlichen auf Daten von Molhave (1991), der bei TVOC-Werten $< 0,2 \text{ mg/m}^3$ keine Reizung oder Beeinträchtigung des Wohlbefindens registrieren konnte, wobei im Bereich $0,2 - 3,0 \text{ mg/m}^3$ Reizungen oder Beeinträchtigungen des Wohlbefindens möglich sind, wenn eine Wechselwirkung mit anderen Expositionsparametern gegeben ist.

2 Anlass für das Forschungsvorhaben

Bezüglich der genannten Innenraumproblematik haben kulturelle Einrichtungen, insbesondere Museen und Bibliotheken, eine Sonderstellung. Einerseits gilt es natürlich, für Mitarbeiter und Besucher ein gesundes Raumklima zu schaffen, andererseits müssen wertvolle Exponate vor Beschädigungen geschützt werden. Diese können aber zugleich selbst eine Emissionsquelle darstellen, indem sie objektimmanente oder bei Konservierungs- bzw. Restaurierungsmaßnahmen eingebrachte Materialien freisetzen. Präparatoren und Restauratoren sind sich dieses Sachverhaltes oft nur wenig bewusst. Darüber hinaus gehen sie häufig mit Exponaten um, deren vorangegangene Restaurierungsgeschichte unbekannt ist. So wurde zum Beispiel hölzernes Kunst- und Kulturgut in den 1950er und 1960er Jahren vielfach chemisch gegen Insekten- und Pilzbefall behandelt. Weitere Beispiele sind schwermetallhaltige historische Farben, Pestizide, Kunststoffmonomere, Lösemittel und damit auch heutige Produkte für die Konservierung und Restaurierung. Eine andere Frage gilt der möglichen Langzeitgefährdung von Exponaten durch Emissionen organischer Ver-

bindungen aus Baustoffen und Aufbewahrungsmaterialien. Viele Bauprodukte setzen organische Säuren frei, die empfindliche Materialien, wie z.B. Papier, angreifen können. Weitere Probleme bringt oft der Einbau von Klimaanlage, die nicht nur unangenehme Zugerscheinungen hervorrufen, sondern auch biologische und chemische Schadstoffe freisetzen. Die von den einzelnen Einrichtungen durchgeführten Eigenüberwachungen werden meist mit einfachen Mitteln vorgenommen. Diese ermöglichen lediglich eine Indikation auf akute Probleme, erlauben aber keine umfassende Beurteilung der Gefährdungssituation. Wie in Abbildung 2 dargestellt, bilden Kunstwerke, Personen und Chemikalien einen Wirkungskreis. Der Mensch appliziert direkt oder indirekt Chemikalien, die dann auf ihn oder auf die Kunstwerke Einfluss haben.

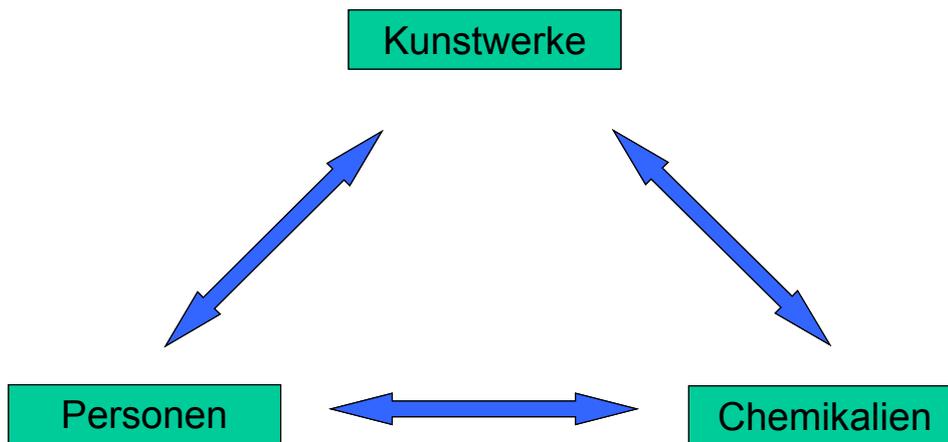


Abbildung 2: Zusammenwirken von Kunstwerken, Personen und applizierten Chemikalien.

Im Projekt war zunächst der Ist-Zustand gemäß der o.g. Kriterien zu ermitteln. Gegebenfalls wird sich aus den Ergebnissen entsprechender Handlungsbedarf ableiten lassen. Wesentliche Ziele sind die Verbesserung der Raumluftqualität in Museen und Bibliotheken, Empfehlungen zur Verwendung geeigneter emissionsarmer Baumaterialien für Ausstellungs- und Lagerräume sowie Empfehlungen zum Umgang mit schadstoffbelasteten Exponaten.

Anlass für das hier beantragte Vorhaben waren Begehungen des WKI in den Häusern des Niedersächsischen Landesmuseums Hannover (siehe Abbildung 3). Dabei wurde die Notwendigkeit erkannt, im Rahmen eines Forschungsvorhabens und in enger Zusammenarbeit mit dem Niedersächsischen Landesmuseum systematische Untersuchungen durchzuführen.



Abbildung 3: Das Niedersächsische Landesmuseum Hannover.

3 Stand der Forschung

Die genannte Problematik hat in anderen Ländern wie den USA, England, Dänemark und Russland bereits eine breite Aufmerksamkeit erlangt, zu systematischen Untersuchungen und zur Bildung von internationalen Arbeitsgruppen geführt:

- Task Force „IAQ and Climate in Cultural and Heritage Collections“ in der International Society of Indoor Air Quality and Climate (ISIAQ).
- Indoor Air Pollution Working Group: IAQ in museums and archives. Vorausgegangene Meetings: 1998 Glasgow, 1999 Amsterdam, 2000 Oxford, 2001 Copenhagen, 2003 Norwich, 2004 Padova.
- AER – Assessment of Environmental Risk Related to Unsound Use of Technologies and Mass Tourism. EU-Programm „Umwelt + Klima“.

In Deutschland sind eine Reihe von Einzeluntersuchungen bekannt, die in konkreten Schadensfällen durchgeführt wurden. Ein Großteil dieser Vorhaben wird/wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert:

- Entsorgung von Pestizidrückständen aus Textilien; Durchführung: IKK am Germanischen Nationalmuseum, Nürnberg; Förderung: DBU.
- Der Domschatz zu Halberstadt – Studie zur modellhaften Erforschung der Bedingungen für die Bewahrung und Pflege von umweltbelastetem national wertvollen Kunstgut in denkmalgeschützten Innenräumen; Förderung: DBU.

- Untersuchungen zur Detoxifizierung holzschutzmittelbelasteter Kunstobjekte; Durchführung: Rathgen-Forschungslabor der Staatlichen Museen zu Berlin; Förderung: DBU.
- Modellhaftes Konservierungskonzept für umweltgeschädigte Email-Prätiosen im Grünen Gewölbe/Dresden. Durchführung: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM); Förderung: DBU.

Allerdings gibt es in Deutschland bisher weder aufeinander abgestimmte Untersuchungen, noch wurde eine Expertenkommission ins Leben gerufen, die das Thema interdisziplinär behandelt, die Ergebnisse von Forschungsvorhaben sammelt, diskutiert und multipliziert. Aus diesem Grund haben das WKI und die FH Braunschweig/Wolfenbüttel ein systematisches Forschungsprojekt initiiert, das folgende Aspekte berücksichtigt:

- Konzentrationen luftgetragener anorganischer und organischer Schadstoffe in Museumsinnenräumen (Ozon, Stickoxide, Schwefeldioxid, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Formaldehyd, VOC, SVOC)
- Raumklimatische Verhältnisse in Ausstellungsräumen (Temperatur, Luftfeuchte, Luftwechsel, Luftgeschwindigkeit)
- Staubeentwicklung und Belastung des Hausstaubs in Museumsinnenräumen
- Emissionen organischer Verbindungen aus Baustoffen
- Schadstoffkonzentrationen in Ausstellungsvitrinen (Fogging-Effekt)
- Auswirkungen einer Behandlung von Exponaten und Lagerräumen mit bioziden Wirkstoffen
- Einrichtung einer Arbeitsgruppe mit Vertretern aus Museen, Forschungsinstitutionen, Industrie und Behörden
- Erarbeitung eines Leitfadens zum Thema „Schadstoffe in Museen“

4 Begehungen

Informationen zum Niedersächsischen Landesmuseum Hannover mit den Abteilungen Naturkunde mit Vivarium, Zoologie, Völkerkunde und Landesgalerie können der Internetseite unter www.nlmh.de entnommen werden.

Im Dezember 2000 erfolgte im Niedersächsischen Landesmuseum Hannover eine Begehung durch das WKI im Beisein der verantwortlichen Restauratoren und Präparatoren.

In den einzelnen Abteilungen des Niedersächsischen Landesmuseums Hannover gibt es verschiedene Probleme. In diversen Räumen herrscht ein trockenes und unangenehmes Klima, verbunden mit Zugscheinungen. Viele der verarbeiteten Baustoffe dünsten einen intensiven und unangenehmen Geruch aus. Es ist zu vermuten, dass es sich hierbei vielfach um aliphatische Aldehyde und Carbonsäuren handelt. Diese Verbindungen sind chemisch reaktiv und können mittel- bis langfristig Materialien angreifen¹. Vitrinenverglasungen sind teilweise von innen beschlagen, was auf Ausdünstungen von Weichmachern und anderen schwerflüchtigen Verbindungen, z.B. höheren Carbonsäuren, hindeutet. Es handelt sich hierbei um den sogenannten „Fogging-Effekt“. Darüber hinaus werden Weichmacher heute aufgrund ihrer potentiell gesundheitsgefährdenden Wirkung in Innenräumen kritisch beurteilt. Die für die einzelnen Abteilungen

¹ Entsprechende Untersuchungen wurden kürzlich in skandinavischen Museen durchgeführt.

des Niedersächsischen Landesmuseums Hannover wesentlichen Fragestellungen sind nachfolgend stichwortartig aufgelistet.

- Urgeschichte:**
- Korrosion
 - materialspezifische Ausdünstungen von organischen Schadstoffen
 - Einsatz von Kunststoffen
 - Alterungseffekte durch Reaktion mit luftgetragenen Verbindungen

- Naturkunde:**
- Einsatz von Pestiziden bei Tierpräparaten
 - Einsatz toxischer Schwermetalle
 - Einsatz von Epoxiden und Silikonen
 - Geruchsprobleme durch Behandlung mit Campher
 - Schadstoffbelastung der Vitrinen

- Landesgalerie:** -
- Begasung von Skulpturen
 - Schadstoffbelastung von Schränken
 - Wirksamer Schutz der Rückseite von Bildern
 - Lagerung/Verpackung von Bildern zum Transport

- Völkerkunde:**
- Einsatz von Pestiziden
 - Geruchs- und Gesundheitsprobleme durch schlechte Raumluft
 - Einsatz ausdünstender Materialien (Span- und Faserplatten)
 - Schutz der Exponate vor aggressiven Säuren
 - Geruchsprobleme durch Behandlung mit Campher
 - Anlaufen von Münzen, vermutlich durch Schwefelverbindungen

5 Projektziele

In dem geplanten Vorhaben werden einerseits die Konzentrationen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Luft von Magazinen, Ausstellungsräumen, Vitrinen und Dioramen untersucht. Besondere Emissionsquellen werden durch Messungen mit einer Emissionszelle (FLEC) vor Ort identifiziert und ihr Einfluss auf die Innenluftqualität charakterisiert. Andererseits werden selektive Materialuntersuchungen an Exponaten im Labor vorgenommen. Mit Hilfe dieser Daten und unter Berücksichtigung von Ergebnissen früherer nationaler und internationaler Forschungsvorhaben soll ein Maßnahmenkatalog erarbeitet werden. Dieser versetzt die Museen in die Lage, ihre Exponate effektiv zu schützen und gleichzeitig durch sinnvolle Auswahl von Materialien und entsprechende Vorgaben die Freisetzung Geruch-relevanter oder toxischer organischer Verbindungen zu minimieren. Bei dieser Auswahl sind nicht nur die emissionsreichen Quellen von Bedeutung. Im Hinblick auf eine schädigende Langzeitwirkung sind auch Quellen zu betrachten, die eine scheinbar niedrige Freisetzungsrates aufweisen (siehe dazu auch Salthammer et al., 1999).

Die nachfolgend genannten Methoden werden zur Bearbeitung des Vorhabens eingesetzt:

- Luftwechselrate (mittels Tracergasmethode) (VDI 4300, Blatt 7)
- Luftgeschwindigkeit an ausgewählten Stellen (diskontinuierlich mittels Anemometer)
- Temperatur (kontinuierlich und diskontinuierlich, je nach Dauer des Messprogramms)
- Relative Luftfeuchte (kontinuierlich und diskontinuierlich, je nach Dauer des Messprogramms)
- TVOC_{PAS}-Wert (kontinuierliche PAS-Messung gegen Propan)
- VOC (z.B. Alkane, Aromaten, Terpene, Ester, Säuren, Ketone, Glykole, Alkohole, Aldehyde) (diskontinuierlich) (VDI 4300, Blatt 6)
- SVOC (z.B. Phthalsäureester) (diskontinuierlich, Luft- und Fogging-Probenahme)
- Formaldehydmessung (VDI 4300, Blatt 3)
- Zerstörungsfreie Materialuntersuchungen mit der FLEC-Zelle (ENV 13419-2)
- Materialuntersuchungen an Exponaten (verschiedene Methoden, z.B. Biozide, Schwermetalle, Epoxide, Weichmacher)

Nach Erfassen der klimatischen Parameter Temperatur, Luftfeuchte und Luftaustauschrate werden VOC- und TVOC-Konzentrationen über Probenahme auf Festadsorptionsröhrchen, wie in Abbildung 4 dargestellt, und für Messungen über längere Zeiträume über Tenax-Passivsammler bestimmt. Weiterhin wird die Formaldehyd-Konzentration in ausgewählten Räumen sowie Vitrinen und Dioramen gemessen.

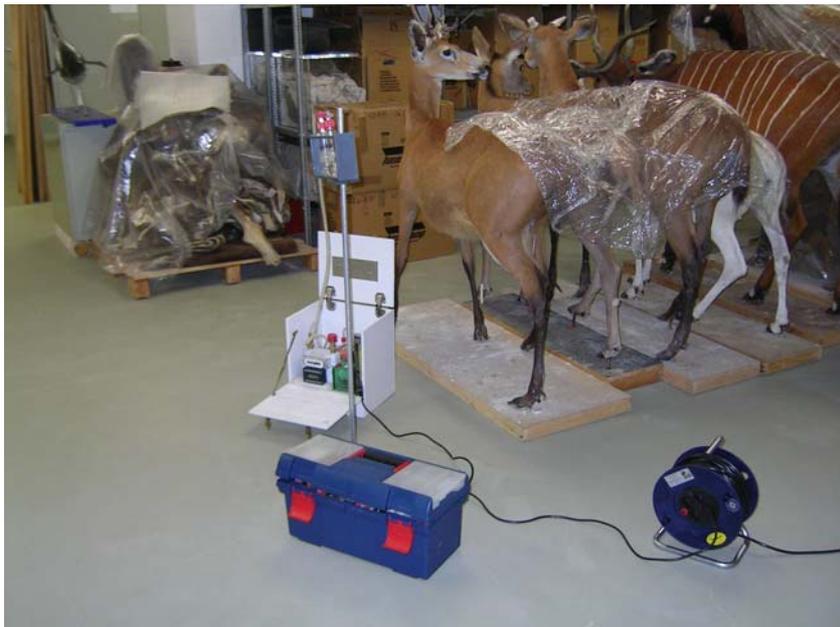


Abbildung 4: Aktive Probenahme zur Bestimmung von Essigsäure aus der Innenraumluft des Großsäulermagazins im Niedersächsischen Landesmuseum Hannover.

Durch Einsatz der FLEC (Field and Laboratory Emission Cell) lassen sich vor Ort einzelne Materialoberflächen auf ihr Emissionspotential hin untersuchen. Es lässt sich damit feststellen, welche der in der Raumluft nachgewiesenen Substanzen von einem bestimmten Material freigesetzt werden. Die Flächen bzw. Mengen der untersuchten Materialien werden bestimmt, um bei der Auswertung den Einfluss dieses Materials auf die gesamte Luftqualität bewerten zu können. Derartige Messungen können bei Baumaterialien ohne glatte Oberfläche ggf. noch durch Experimente in Emissionsprüfkammern erweitert werden. Bekannterma-



ßen VOC-emissionsfreie Materialien wie Glas, Stein und Keramik werden nicht berücksichtigt.

Für die Charakterisierung des Konzentrations-Zeit-Verhaltens von VOCs sind kontinuierliche Messungen des Gesamtgehaltes mittels eines Photoakustikdetektors über mehrere Tage vorgesehen.

6 Ergebnisse

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurden 2004 Untersuchungen der Innenraumlufte und des Hausstaubes auf Schadstoffbelastungen durchgeführt. Die Messungen und Probenahmen fanden in den Magazinen der Abteilungen der Natur-, Völkerkunde und der Urgeschichte des Niedersächsischen Landesmuseums Hannover statt. Durch Wischproben wurde Alt- und Frischstaub gewonnen. Die Staubproben wurden auf Chlorid sowie Halb- und Schwermetalle analysiert. In Bezug auf die Raumlufte messungen wurden nur aktive Messverfahren vorgenommen. Neben den klimatischen Parametern Temperatur und relative Luftfeuchte wurden in der Innenraumlufte von Verdachtsräumen und Vitrinen Konzentrationen von Lindan, Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure ermittelt. Zusätzlich erfolgte die Untersuchung der Innenraumlufte auf Belastungen durch VOC und z.T. durch TVOC. Zusätzlich wurde aufgrund des Verdachts einer Strahlungsexposition, ausgehend von radioaktiven Mineralien in der geologischen Abteilung, eine Dosisleistungsmessung und eine Bestimmung der Radon-Emission an der Fachhochschule Braunschweig/ Wolfenbüttel durchgeführt.

Die in den Magazinen der Abteilungen (Zoologie, Völkerkunde und Urgeschichte) gemessenen klimatischen Parameter entsprachen den konservatorischen Anforderungen. Eine Ausnahme bildete das Quartär-Magazin der geologischen Abteilung, in welchem zum Zeitpunkt der Messung die relative Luftfeuchte mit 37% zu gering war. Eine von den konservatorischen Anforderungen stark abweichende Raumluftefeuchte hat einen erheblichen Einfluss auf den Erhaltungszustand des Kunst- und Kulturguts infolge von Materialbeanspruchungen aufgrund möglicher Volumenänderungen.

Bei Untersuchungen der Innenraumlufte auf Formaldehyd in den Abteilungen der Naturkunde und der Urgeschichte ergaben sich keine Konzentrationen, die über dem vom Bundesgesundheitsamt (BGA) 1977 für Innenräume empfohlenen Richtwert von 0,1 ppm lagen. Dieser Wert wurde zum Teil um das vier- bis sechsfache unterschritten.

In den meisten untersuchten Magazinen lagen die Essigsäurekonzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze. Eine Ausnahme bildeten eine Schublade sowie eine Vitrine der Abteilung Völkerkunde, deren leicht erhöhte Essigsäurewerte durch das Aufkonzentrieren von Luftschadstoffen in geschlossenen Behältnissen mit geringem Luftvolumen zu erklären und damit als normal einzustufen sind. Im Gegensatz dazu konnte in allen untersuchten Magazinen Ameisensäure in der Raumlufte nachgewiesen werden.

Bei den ermittelten TVOC- und VOC-Konzentrationen waren keine extremen Konzentrationsspitzen auffällig. Nur einzelne VOC-Verbindungen wurden in erhöhten Konzentrationen nachgewiesen. Hier sind unter anderem Campher und 1,4-Dichlorbenzol zu nennen, deren Nachweis auf frühere Behandlungen von Schränken und Schubladen zum Schutz der Exponate vor Schädlingsbefall hinweisen. Mit Bezug auf die



verschiedenen Umwelt-Surveys² zeigen die in den Magazinen gewonnenen Werte der Innenraumluftuntersuchungen auf VOCs einige Parallelen hinsichtlich Verbindungen und Höhe der Konzentrationen auf. In den 15 untersuchten Magazinen wurden insgesamt 33 verschiedene VOC-Verbindungen nachgewiesen, die zum Teil auch in den rund 500 deutschen untersuchten Wohnungen von Personen im Alter von 25 bis 69 Jahren gefunden wurden. Hier gilt es allerdings zu beachten, dass sich Magazine eines Museums oder Archivs aufgrund ihrer Raumnutzung, ihrer Ausstattung und aufgrund der in diesen Räumen aufbewahrten Sammlungsobjekte massiv von Wohnräumen unterscheiden und damit nur unter Vorbehalt ein Vergleich mit den Ergebnissen der Umwelt-Surveys hinsichtlich einer ersten Einschätzung der gewonnenen Ergebnisse erfolgen kann.

Die Vermutung über eine Lindanbelastung der Raumluft eines Magazins der zoologischen Abteilung wurde durch die Untersuchung der Raumluft eindeutig bestätigt.

Die Analyse von Hausstaubproben ergab allgemein höhere Konzentrationen von Chlorid, Halb- und Schwermetallen in den Altstaubproben als im Frischstaub. Der Nachweis von Chlorid im Staub lässt auf die Verwendung von organischen und/oder anorganischen Bioziden schließen. Auch die erhöhten Arsen-Werte in einigen Altstaubproben der zoologischen Abteilung deuten auf eine frühere präparatorische oder konservatorische Behandlung von Tierexponaten hin.

Untersuchungen der radioaktiven Mineralien aus der geologischen Sammlung dienen der Abschätzung einer möglichen Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch Strahlenexposition. Bei Einhaltung gängiger Schutzmaßnahmen, u.a. eines gewissen Sicherheitsabstandes, regelmäßiges Belüftung des Lager-raums sowie das Nutzen von Greifwerkzeugen bei Umlagerung der Mineralien, sind sowohl die Strahlenbelastung der radioaktiven Mineralien als auch die Radonbelastung als unkritisch einzustufen.

Da zum Teil nur Vermutungen über mögliche Emissionsquellen in Magazinen geäußert werden konnten, bedarf es zur genaueren Quellenidentifizierung weiterer Untersuchungen, z.B. durch Materialprobenahmen und Emissionsmessungen von Exponaten in Emissionsprüfkammern in den Laboren des WKI, welche noch im weiteren Projektverlauf Beachtung finden werden.

Allgemein geben die ermittelten Konzentrationen der verschiedenen Parameter bei Berücksichtigung und Einhaltung gewisser Vorsichtsmaßnahmen aus humantoxikologischer Sicht keinen Hinweis auf eine akute Beeinträchtigung der Gesundheit. Vorsichtsmaßnahmen sind insbesondere von Präparatoren, Restauratoren und Sammlungsverwaltern aufgrund ihres Umganges mit biozidbelastetem Kunst- und Kulturgut sowie mit radioaktiven Mineralien zu beachten.

Die hier zusammengefassten Ergebnisse wurden mit einem Posterbeitrag auf einer internationalen Konferenz vorab präsentiert. Darüber hinaus wurden Veröffentlichungen bei einer internationalen Fachzeitschrift und bei einer internationalen Tagung eingereicht:

Schieweck A., Lohrengel B., Siwinski N., Salthammer T. (2005): Organic and inorganic pollutants in storage rooms of the Lower Saxony State Museum, Hanover, Germany. International Conference on IAQ in Museums and Archives, Padova, Italy, November 2004, Poster Presentation.

² Für weitere Informationen siehe: www.umweltbundesamt.de



Schieweck A., Lohrengel B., Siwinski N., Genning C., Salthammer T. (2005): Organic and inorganic pollutants in storage rooms of the Lower Saxony State Museum, Hanover, Germany. Submitted for publication.

Salthammer T., Delius W., Fuhrmann F., Lohrengel B., Schieweck A. and Siwinski N. (2005): Organic indoor air pollutants in the Lower Saxony State Museum, Hanover, Germany. Proceedings of the 10th International Conference on Indoor Air and Climate, Beijing, China, submitted for publication.

7 Umsetzung der Forschungsergebnisse

Durch die Breite der Untersuchungen und die Vielzahl der zu erfassenden Parameter ist zu erwarten, dass die Ergebnisse des Vorhabens konkrete Aussagen über Schadstoffbelastungen von Exponaten, Ausstellungsvitrinen und Raumluft liefern. Daraus ergeben sich Aussagen über das Konzentrations-Zeit-Verhalten, problematische Stoffe und deren Emissionsverhalten in die Luft. Es soll gezeigt werden, in welchem Umfang und unter welchen Bedingungen Materialien und Schutzmittel eingesetzt werden können, so dass wirksamer, aber gleichzeitig umweltfreundlicher Schutz der Exponate resultiert. Besonders unter diesem Aspekt ist dem Vorhaben eine erhebliche gesundheitsbezogene und kulturelle Bedeutung zuzuordnen.

Von besonderer Relevanz sind die Ergebnisse auch für kmU, insbesondere die Hersteller von Ausstellungsvitrinen, Hersteller von Lacken und Farben sowie Hersteller von Kunststoffprodukten. Den Firmen werden Daten über VOC und SVOCs in ihren Produkten und deren Emissionsverhalten in die Umgebung zugänglich gemacht. Es soll erarbeitet werden, in welchem Umfang und unter welchen produktionstechnischen Bedingungen Stoffe eingesetzt werden können, so dass hinsichtlich der Innenraumhygiene, speziell des hier betrachteten Problems, umweltfreundliche Produkte resultieren. Besonders unter dem Aspekt der langfristigen Prävention ist dem Vorhaben eine erhebliche wirtschaftliche Bedeutung zuzuordnen, da den mit den Ergebnissen betroffenen kmU konkrete Möglichkeiten zur Produktverbesserung eröffnet werden. So haben zum Beispiel einzelne Farbhersteller aus verschiedenen Gründen bereits begonnen, "fogging-aktive" Verbindungen aus ihren Produkten zu entfernen.

Darüber hinaus wird in Zusammenarbeit mit der DBU und anderen Organisationen ein Leitfaden für Museen konzipiert. Dieser Leitfaden soll als Handhabe für den effektiven Schutz von Mitarbeitern, Besuchern und Exponaten dienen und helfen, durch sinnvolle Auswahl von Materialien und entsprechenden Vorgaben die Freisetzung organischer Verbindungen zu minimieren. Darüber hinaus kann er Herstellern von Museumseinrichtungen Orientierung geben.



8 Vorläufiges Konzept für den Leitfaden:

1. Allgemeiner Teil

- 1.1 Einführung
- 1.2 Situation der Museen und Kulturgüter
- 1.3 Begriffe

2. Aspekte der Innenraumhygiene

- 2.1 Allgemeine Anforderungen
- 2.2 Raumklima
- 2.3 Lüftung

3. Schadstoffe – Vorkommen (Matrix Luft, Staub, Exponate) und Toxizität

- 3.1 Anorganische Stoffe (O_3 , CO, CO_2 , NO_x , SO_2)
- 3.2 Schwermetalle
- 3.3 Formaldehyd
- 3.4 VOC (Lösemittel, Aldehyde, Säuren, Monomere)
- 3.5 SVOC (Weichmacher, Flammschutzmittel)
- 3.6 Biozide
- 3.7 Partikel und Stäube
- 3.8 Mikroorganismen

4. Messmethoden

5. Auswirkungen der Schadstoffexposition von Ausstellungsobjekten

- 5.1 Oxidation
- 5.2 Korrosion
- 5.3 Vergilbung
- 5.4 Der Fogging-Effekt

6. Umgang mit Gefahrstoffen

- 6.1 Gefahrenhinweise
- 6.2 Umgang mit behandelten Exponaten
- 6.3 Behandlung von Exponaten (Restaurierung, Imprägnierung)
- 6.4 Sanierung von Exponaten

7. Materialeigenschaften und Materialemissionen

- 7.1 Ausstellungsvitrinen
- 7.2 Empfehlungen für Bauprodukte (Holz, Holzwerkstoffe, Kunststoffe)

8. Diverses

- 8.1 Rechtliche Aspekte (Gesetze, Richtlinien, Grenzwerte)
- 8.2 Bauliche Sanierung

9. Literatur

9 Danksagung

Das hier beschriebene Vorhaben wird mit Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) finanziell gefördert (Förderkennzeichen 19814-45). Wir danken folgenden Personen für die Durchführung von Messungen: Herrn F. Fuhrmann (WKI), Frau N. Siwinski (WKI), Herrn D. Pahl (FH BS/WF), Frau B. Lohrengel (FH BS/WF), Herrn W. Delius (FH BS/WF). Besonderer Dank gilt den nachfolgend genannten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Landesmuseums Hannover für ihre Unterstützung: Frau Dr. H. Grape-Albers (Direktorin), Frau B. Hartweg, Frau K. Hinderer, Frau P.E. Wiedmann, Herrn C. Houlgatte und Herrn W. Konrad-Falz.

10 Allgemeines Literaturverzeichnis

Brimblecombe P. (1996): Air composition & chemistry. Cambridge Environmental Chemistry Series 6, Cambridge University Press, Cambridge.

Brimblecombe et al. (1999): The indoor environment of a modern museum building, The Sainsbury Centre for Visual Arts, Norwich, UK. Indoor Air, 9, 146-164.

Camuffo D. (1998): Microclimate for Cultural Heritage. Development in Atmospheric Science 23, Elsevier, Amsterdam.

Camuffo D., Brimblecombe P., Van Grieken R., Busse H.-J., Sturaro G., Valentino A., Bernardi A., Blades N., Shooter D., De Bock L., Gysels K., Wieser M., Kim O. (1999): Indoor air quality at the Correr Museum, Venice, Italy. The Science of the Total Environment 236, 135-152.

Esposito W. and Prezant B. (2000): Indoor air quality and climate in cultural and heritage institutions. Healthy Buildings 2000, Helsinki, Workshop Summaries, 101-106.

Hatchfield P.B. (2002): Pollutants in the Museum Environment, Archetype Publications Ltd., London.

Korkin V.D. (2000): Features of air conditioning in ancient museums buildings. Proc. Healthy Buildings 2000, Helsinki, Vol. 2, 113-118.

Møhlhave L., Clausen, G., Berglund, B., de Ceaurriz, J., Kettrup, A., Lindvall, T., Maroni, M., Pickering, A.C., Risse, U., Rothweiler, H., Seifert, B., Younes, M. (1997): Total volatile organic compounds (TVOC) in indoor air quality investigations. Indoor Air 7, 225-240.

Møhlhave L. (1991): Volatile organic compounds. Indoor Air, 1, 357-376.

Ohloff G. (1990): Riechstoffe und Geruchsinn. Springer Verlag, Berlin.

Schriever E. und Marutzky R. (1991): Geruchs- und Schadstoffbelastung durch Baustoffe in Innenräumen - Eine Literaturstudie. Wilhelm-Klauditz-Institut, WKI-Bericht Nr. 24, Braunschweig.

Seifert B. (1999): Richtwerte für die Innenraumluft – Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert). Bundesgesundheitsblatt, 42, 270-278.

Tétreault J., 2003. Airborne pollutants in museums, galleries, and archives: risk assessment, control strategies, and preservation management. Canadian Conservation Institute, Ottawa.

Thomson G., 1965. Air Pollution – A review for conservation chemists. Studies in Conservation 10, 147-167.

Thomson G., 1986. The Museum Environment, Butterworths, London.

Unger A., Schniewind A.P., Unger W., 2001. Conservation of wood artifacts, 578. Springer-Verlag, Berlin.

11 Ausgewählte Arbeiten des WKI

Salthammer T. (1994): Luftverunreinigende organische Substanzen in Innenräumen. *Chemie in unserer Zeit*, 28, 280-290.

Salthammer T., Fuhrmann F., Meyer B., Kaufhold S. and Schwarz A. (1995): Effects of climatic parameters on formaldehyde concentrations in indoor air. *Indoor Air*, 5, 120-128.

Salthammer T. (ed.) (1999): *Organic Indoor Air Pollutants*. WILEY-VCH, Weinheim.

Salthammer T. (1999): Sick Building Syndrome. In Mersch-Sundermann V. (Hrsg.): *Umweltmedizin*, Thieme Verlag, Stuttgart, 552-554.

Salthammer T. (1999): Innenraumluftbelastung. In Mersch-Sundermann V. (Hrsg.): *Umweltmedizin*, Thieme Verlag, Stuttgart, 373-385.

Salthammer T. (1999): Praktische Durchführung von Raumluftuntersuchungen – Literaturübersicht. In Mersch-Sundermann V. (Hrsg.): *Umweltmedizin*, Thieme Verlag, Stuttgart, 76-79.

Salthammer T., Schwarz A. and Fuhrmann F. (1999): Emission of reactive compounds and secondary products from wood-based furniture coatings. *Atmospheric Environment*, 33, 75-84.

Salthammer T. (2000): Verunreinigung der Innenraumluft durch reaktive Substanzen – Nachweis und Bedeutung von Sekundärprodukten. In Moriske H.-J. und Turowski E. (Hrsg.): *Handbuch für Bioklima und Lufthygiene*. ECOMED Verlag, Landsberg, Kapitel III-6.4.2, 1-16.

Salthammer T. (2004): Emissions of volatile organic compounds from products and materials in indoor environments. In Pluschke, P. (Hrsg.): *Indoor Air Pollution. The Handbook of Environmental Chemistry Vol. 4F*, Springer-Verlag, Berlin, 37-71.

Schulz M. and Salthammer T. (1998): Determination of diisocyanate-emissions from building products: 4,4'-dimethylene-diisocyanate (MDI). *Fres. J. Anal. Chem.*, 362, 289-293.

Seifert B. und Salthammer T. (2003): Innenräume. In Wichmann, Schlipkötter und Füllgraß (Hrsg.): *Handbuch der Umweltmedizin*. ECOMED-Verlag, Landsberg, Kapitel IV-1.2, 1-32.

Wensing M. und Salthammer T. (1999): Emissionsprüfkammern und –zellen zur Charakterisierung der Freisetzung flüchtiger organischer Komponenten aus Produkten für den Innenraum. In Moriske H.-J. und Turowski E. (Hrsg.): *Handbuch für Bioklima und Lufthygiene*. ECOMED Verlag, Landsberg, Kapitel III-6.4.1, 1-18.

Wensing M., Schulze D. und Salthammer T. (2002): Analytische Methoden zur Bestimmung von organisch-chemischen Stoffen bei Raumluft- und Prüfkammeruntersuchungen. In Moriske H.-J. und Turowski E. (Hrsg.): *Handbuch für Bioklima und Lufthygiene*. ECOMED Verlag, Landsberg, Kapitel III-6.2.2, 1-31.

Uhde E., Salthammer T., Marutzky R. and Bahadir M. (1996): Heavy metal content of wooden furniture coating. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 53, 25-31.

Uhde E., Borgschulte A. and Salthammer T. (1998): Characterization of the Field and Laboratory Emission Cell - FLEC: Flow field and air velocities. *Atmospheric Environment*, 32, 773-781.

Uhde E., Bednarek M., Fuhrmann F. and Salthammer T. (2001): Phthalic esters in the indoor environment – test chamber studies on PVC-coated wallcoverings, *Indoor Air*, 11, 150-155.