

1

Restaurierungswissenschaften –
Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut

Emissionen im Museum

Eine empirische Studie zur aktuellen Situation und
zum Umgang mit Schadstoffen in deutschen Sammlungen

von Elise Spiegel



UNIVERSITY OF
BAMBERG
PRESS

Restaurierungswissenschaften

—

Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut

Band 1

Restaurierungswissenschaften

—

Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut

hrsg. von
Rainer Drewello

Institut für Archäologie, Denkmalkunde und Kunstgeschichte
Otto-Friedrich-Universität Bamberg

Band 1



University of Bamberg Press 2009

Emissionen im Museum

Eine empirische Studie
zum aktuellen Stand und zum Umgang mit Schadstoffen
in deutschen Sammlungen

Elise Spiegel



University of Bamberg Press 2009

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische
Informationen sind im Internet über <http://dnb.ddb.de/> abrufbar

Dieses Werk ist als freie Onlineversion über den Hochschulschriften-
Server (OPUS; <http://www.opus-bayern.de/uni-bamberg/>) der
Universitätsbibliothek Bamberg erreichbar. Kopien und Ausdrücke
dürfen nur zum privaten und sonstigen eigenen Gebrauch
angefertigt werden.

Herstellung und Druck: Digital Print Group, Erlangen
Umschlaggestaltung: Dezernat Kommunikation und Alumni

© University of Bamberg Press Bamberg 2009
<http://www.uni-bamberg.de/ubp/>

ISSN: 1868-8462
ISBN: 978-3-923507-48-1 (Druckausgabe)
URN: urn:nbn:de:bvb:473-opus-1950

Vorwort

Die potenzielle Gefährdung von Kunst- und Kulturgut durch das sich beständig wandelnde Spektrum an Bau- und Ausstattungsmaterialien fordert unsere verstärkte Aufmerksamkeit. Im Rahmen eines Forschungsprojekts an der Otto-Friedrich-Universität Bamberg wurden die aktuelle Situation und der Umgang mit Fremdstoffen emittierenden Materialien in Museen des deutschsprachigen Raums untersucht. Darüber hinaus konnten Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Schadensbildern und möglichen Ursachen bzw. Einflussfaktoren erforscht werden. Die Ergebnisse der Studie sind in der vorliegenden Schrift zusammengefasst.

Wir möchten uns an dieser Stelle bei allen Teilnehmern der Umfrage bedanken. Weiterer Dank gilt den Mitarbeitern des Bamberger Centrums für Empirische Studien (BACES), insbesondere Dr. Zoltán Juhász, ohne dessen Engagement und Unterstützung die Online-Umfrage nicht möglich gewesen wäre.

Für die finanzielle Unterstützung danken wir der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU).

Bamberg, Mai 2009

Elise Spiegel

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	9
2	METHODISCHES VORGEHEN	13
2.1	BEFragungSTECHNIK	13
2.2	ZUSAMMENSETZUNG UND REPRÄSENTATIVITÄT DER UMFRAGE	14
2.2.1	<i>Grundgesamtheit</i>	14
2.2.2	<i>Museumsarten</i>	16
2.2.3	<i>Stichprobe</i>	18
2.3	EINGESETZTE STATISTISCHE AUSWERTUNGSVERFAHREN	19
2.3.1	<i>Häufigkeitsverteilungen</i>	19
2.3.2	<i>Test der Hypothesen</i>	21
2.3.3	<i>Korrelationsanalyse</i>	25
3	ERGEBNISSE DER UMFRAGE	27
3.1	SCHADSTOFFSITUATION IN MUSEEN	27
3.1.1	<i>Qualitative und Quantitative Verteilung von Luftschadstoffen</i>	30
3.1.2	<i>Verteilung in Abhängigkeit der Expositionsmedien (offener Ausstellungsraum/ Vitrine/ Depot)</i>	31
3.1.3	<i>Zwischenfazit</i>	34
3.2	SCHADENSBILDER IN DEN BEFRAGTEN MUSEEN	35
3.3	EINFLUSSFAKTOREN BEI DER ENTSTEHUNG VON SCHADENSBILDERN ..	50
3.4	PRÜFUNG UND AUSWAHL VON AUSSTELLUNGSMATERIALIEN	75
3.4.1	<i>Verwendete Methoden, Verfahren und untersuchte Verbindungen</i> 75	
3.4.2	<i>Bedeutung von Standard – und Routineverfahren bei der Auswahl von Ausstellungsmaterialien</i>	78
3.4.3	<i>Zwischenfazit</i>	81
4	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	83
5	ANHANG	87
5.1	LITERATURVERZEICHNIS	87
5.2	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	91
5.3	TABELLENVERZEICHNIS	93

1 Einleitung

Die Gefährdung von Kunst- und Kulturgut durch Umgebungseinflüsse ist für Museen ein ernsthaftes Problem. Dabei spielen nicht nur Parameter wie Licht, Temperatur, relative Luftfeuchte und Temperatur- oder Feuchte- wechsel eine Rolle: Auch die Zusammensetzung von Bau- und Ausstel- lungsmaterialien zur Präsentation, Lagerung und Aufbewahrung der Ob- jekte kann Gefahren in sich bergen. Als potenzielle Quelle von Fremdstoffen, die kurz- und mittelfristig freigesetzt werden, können sie irreversible Schadensprozesse in Gang setzen, die durch präventive Vor- sorgemaßnahmen zu verhindern wären.¹

Ob der Kontakt über Gase und luftgetragene Partikel oder durch unmittel- bare Berührung mit dem Objekt hergestellt wird: die zur Schädigung füh- renden Reaktionsmechanismen sind vielfältig. Schadensbilder wie Aus- blühungen, Farbveränderungen, Festigkeitsverlust bis hin zum Objektzerfall sind die Folge des komplexen Zusammentreffens chemischer und physikalischer Wirkungsmechanismen.

Die Untersuchung konzentriert sich auf Vitrinen und ähnlich gearteten La- gerungssystemen², da diese für Objekte eine Extremsituation mit erhöh- tem Risiko darstellen. Durch die Lagerungshaltung werden mehr oder we- niger kleine, in sich abgeschlossene Räume gebildet, die Schutz vor unerwünschten Einflüssen bieten sollen. Ziel ist das Schaffen einer mög- lichst optimalen Umgebung, deren mikroklimatische Parameter (Licht, Temperatur, Luftfeuchte) auf die Bedürfnisse des jeweiligen Objekts und seiner Materialklasse (z.B. Holz, Glas, Metall, Stein) abgestimmt sind. Stark verringerte Luftwechsel in geringen Raumvolumina bei großem Oberflächen-Volumen-Verhältnis führen jedoch auch zu einer Anreiche- rung von Verbindungen die im Inneren freigesetzt werden. In derartigen

¹ Vgl. Padfield et al. 1982; Tétreault 1994, Tétreault 2003; Drewello et al. 2002; Hatchfield 2002

² Hierzu zählen u.a. Boxen, Schachteln, Transportkisten, etc., in denen es durch stark ver- ringerte Luftwechselraten zu einer Anreicherung freigesetzter Verbindungen kommt.

Räumen können somit Schadstoffe aus Ausstellungsmaterialien oder den Objekten selbst zur Schädigung führen.³

Der präventive Schutz von Kunst- und Kulturgut vor unerwünschten Schadstoffen die über Materialien eingetragen werden, kann nur über eine Minimierung der Fremdstofflast erfolgen. In der Konsequenz bedeutet dies, dass die gezielte Auswahl und Verwendung von Materialien mit unbedenklichen Inhaltsstoffen im Mittelpunkt des konservatorischen Interesses stehen sollte.

Um schadstoffinduzierte Veränderungen zu vermeiden, sind seit den 1970er Jahren zahlreiche Methoden zur Prüfung von museumsrelevanten Materialien entwickelt worden. Die analytische Bandbreite reicht von orientierenden qualitativen Nachweisreaktionen wie dem Oddy-Test⁴ bis zu hoch spezialisierten quantitativen Analysemethoden aus der Spuren- und Ultraspurenanalytik.⁵

In der vorliegenden empirischen Studie ist die aktuelle Schadstoffsituation in Museen des deutschsprachigen Raums und der Umgang mit den dort verwendeten Materialien abgefragt worden. Von Interesse war, ob das Problem als solches überhaupt wahrgenommen wird und ob sich standardisierte Verfahrensabläufe zur Minimierung schädigender Emissionen durch die Auswahl von Ausstellungsmaterialien etabliert haben. Darüber hinaus wurden Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Schadensbildern und möglichen Einflussfaktoren analysiert.

³ Vgl. u.a. Padfield et al. 1982; Brimblecombe 1990; Grzywacz/Tennent 1994; Grzywacz 2006; Tétreault 1994, Tétreault 2003; Camuffo et al. 2000; Hatchfield 2002; Schieweck/Salthammer 2006

⁴ Der Oddy-Test wurde seit der Veröffentlichung durch Andrew Oddy im Jahr 1973 mehrfach modifiziert. Dabei wurde eine Standardisierung angestrebt, da kleine Abweichungen im Versuchsaufbau zu fehlerhaften Ergebnissen führen können. Das Testprinzip beruht auf der Exposition einer Probe des zu untersuchenden Materials zusammen mit einem Metallcoupon (Kupfer, Silber oder Blei) in einem Reaktionsgefäß mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von nahezu 100%. Anschließend wird die Veränderung der Oberfläche des Coupons bei Temperaturen bis zu 60° C beobachtet. Mit Hilfe einer Referenzprobe wird anhand der Oberflächenveränderung das korrosive Potenzial ermittelt (Oddy 1973, S. 27–28; Raffael 2006; Green/Thickett 1995).

⁵ Vgl. Oddy 1973, S. 27–28; Ryhl-Svendsen 2000; Hatchfield 2002, S. 44–45

Die Auswertung der Online-Befragung orientiert sich an folgenden Fragekomplexen:

- Welche Fremd- und Schadstoffe gibt es in den befragten Museen (→ Kap. 3.1). Untersucht wurde die qualitative und quantitative Verteilung von Verbindungen im Museum allgemein sowie in Abhängigkeit von verschiedenen Expositionsmedien (offener Ausstellungsraum/ Vitrine/ Depot).
- Wie stellt sich die Verteilung von typischen Schadensbildern in den befragten Einrichtungen dar (→ Kap. 3.2). Analysiert wurde die qualitative und quantitative Verteilung von ausgewählten Schadensbildern (Ausblühungen/ Farbveränderungen/ Festigkeitsverlust und Zerfall) allgemein und in Abhängigkeit von verschiedenen Expositionsmedien.
- Welche Einflussfaktoren spielen im Hinblick auf die Schadenshäufigkeit eine maßgebliche Rolle (→ Kap. 3.3). Zur Analyse wurden u.a. die Lagerungs- und Umgebungsbedingungen der Objekte erhoben. Untersucht wurde die wechselseitige Beeinflussung der Häufigkeit des Auftretens von Schadensbildern in Verbindung mit einer Auswahl möglicher Einflussfaktoren.
- Inwieweit werden Maßnahmen zur Minimierung des Eintrags von Fremd- und Schadstoffen ergriffen, die auf emittierende Ausstellungsmaterialien zurückzuführen sind (→ Kap. 3.4). Im Vordergrund der Befragung stand die Prüfung von Ausstellungsmaterialien vor deren Einsatz im Museum. In diesem Zusammenhang wurde nachgefragt, welche Art von Schadstoffmessungen eingesetzt wird.
- Welche Bedeutung haben Standard- und Routineverfahren bei der Auswahl von Ausstellungsmaterialien, und: Werden bereits standardisierte Verfahrensabläufe eingesetzt (→ Kap. 3.4).

2 Methodisches Vorgehen

2.1 Befragungstechnik

Zur allgemeinen Datenerfassung stehen grundsätzlich verschiedene Befragungstechniken zur Verfügung. Dabei handelt es sich um die klassischen Erhebungstechniken, beispielsweise die mündliche, telefonische oder schriftliche Befragung sowie die in jüngerer Zeit hinzugekommene Form der Online-Befragung. Je nach der Art der Untersuchung eignen sich diese Techniken aufgrund unterschiedlicher Vor- und Nachteile gut für die Datenerhebung.

Für die folgende Studie wurde auf die Online-Befragung zurückgegriffen. Dabei handelt es sich um eine Technik, die in der empirischen Marktforschung verstärkt eingesetzt wird und sich als Erhebungsinstrument etabliert hat. Sie erschien besonders geeignet, da sie viele Vorteile der schriftlichen und mündlichen Befragungen vereint.

Vorteile der Online-Umfrage gegenüber konventionellen Methoden („Face-to-Face“- , Brief- und Telefonumfragen) sind u.a.:

- Online-Umfragen sind mit geringerem zeitlichem Aufwand verbunden und kostengünstiger als „Face-to-Face“ Befragungen.
- Die online erhobenen Daten sind auf dem Server sofort verfügbar. Es lassen sich jederzeit anschauliche Zwischenberichte mit den wichtigsten Ergebnissen erzeugen.
- Der soziale Einfluss auf die Beantwortung von Fragen durch den Interviewer entfällt.
- Erfassungsfehler entfallen, da keine manuelle Auswertung wie beispielsweise bei Papier-Fragebögen erfolgt.
- Die Probanden sind innerhalb eines gewissen Rahmens zeitlich ungebunden und können frei entscheiden, wann sie das Interview durchführen.
- Durch eine vorgegebene Fragenführung ist ein logisch konsistenter Fragebogendurchlauf sichergestellt.
- Die standardisiert erhobenen Daten sind langfristig vergleichbar.
- Eine benutzerspezifische Frageführung ist möglich.

Ausschlaggebend für die Entscheidung der gewählten Methodik waren neben der günstigen Kosten- und Zeitrelation auch die zeitliche Unabhängigkeit der Probanden, die eine hohe Rücklaufquote und bessere Qualität der Angaben gewährleisten sollte.

2.2 Zusammensetzung und Repräsentativität der Umfrage

2.2.1 Grundgesamtheit

Für die Aussagekraft und den Erfolg einer Untersuchung ist sowohl die Zusammensetzung der Stichprobe als auch ihre Repräsentativität von Bedeutung. Die vorliegende Umfrage bezieht sich auf die Schadstoffsituation in musealen Einrichtungen in Deutschland. Dabei ist die Zielgruppe der zu befragenden Institutionen aus dem Bereich der Museen, Museumseinrichtungen und Museumskomplexe nach einem systematischen Auswahlverfahren ermittelt worden. Ein Kriterium bei der Vorauswahl war das Potenzial der jeweiligen Einrichtung, den Fragebogen qualifiziert ausfüllen zu können. Ein weiteres Auswahlkriterium war die Besucherzahl, die mit der Größe der Einrichtung korreliert und als Merkmal für die Größenklasse des jeweiligen Museums gilt⁶. Unterschieden werden 10 Größenklassen von Besucherzahlengruppierungen, die sich wie folgt darstellen (Vgl. Tab.1).

⁶ Vgl. Institut für Museumsforschung 2006, S. 16

Tab. 1: Gruppierungen der Besuchszahlen der Museen in der Bundesrepublik Deutschland (Quelle: Institut für Museumsforschung 2006, S. 16)

Besuche	Museen		in % aller Museen		in % aller Museen mit Zahlenangaben	
	2006	(2005)	2006	(2005)	2006	(2005)
bis 5.000	2.621	(2.646)	42,4	(43,0)	55,2	(54,6)
5.001 - 10.000	603	(650)	9,8	(10,6)	12,7	(13,4)
10.001 - 15.000	324	(334)	5,2	(5,4)	6,8	(6,9)
15.001 - 20.000	227	(225)	3,7	(3,6)	4,8	(4,6)
20.001 - 25.000	181	(165)	2,9	(2,7)	3,8	(3,4)
25.001 - 50.000	357	(401)	5,8	(6,5)	7,5	(8,3)
50.001 - 100.000	218	(207)	3,5	(3,4)	4,6	(4,3)
100.001 - 500.000	198	(202)	3,2	(3,3)	4,2	(4,1)
500.001 - 1 Mio.	16	(14)	0,3	(0,2)	0,3	(0,3)
über 1 Mio.	2	(3)	0,1	(0,1)	0,1	(0,1)
keine Angaben/ keine Antwort	1.428	(1.308)	23,1	(21,2)	—	(—)
Gesamt	6.175	(6.155)	100,0	(100,0)	100,0	(100,0)

Die Grundgesamtheit aller Museen, Museumseinrichtungen bzw. Museumskomplexe summierte sich zum Zeitpunkt der Untersuchung auf 6175 Institutionen. Für die Stichprobenauswahl wurden Einrichtungen herangezogen, die von mehr als 100 000 Besuchern pro Jahr frequentiert werden. Damit entspricht der Umfang der zur Befragung ausgewählten Museen einer Anzahl von 216 Einrichtungen. Da mehrere Museen zu Verbänden zusammengeschlossen und als Einheit zu betrachten sind, verblieben 185 Einrichtungen, welche die verringerte Grundgesamtheit⁷ der Umfrage bilden.

⁷ Im Folgenden bezieht sich der Begriff „Grundgesamtheit“ immer auf die verringerte Grundgesamtheit.

2.2.2 Museumsarten

Innerhalb der Grundgesamtheit erfolgte eine Unterteilung nach Museumsarten. Zur Kategorisierung diente ein Vorschlag des Instituts für Museumsforschung,⁸ der sich an einer Klassifikation der UNESCO orientiert und internationale Vergleiche erlaubt.⁹ Anschließend wurde die Gliederung der Museen nach Hauptsammlungsgebieten und Sammlungsschwerpunkten vorgenommen. Es ergaben sich neun Museumsarten:

⁸ Vgl. Institut für Museumsforschung 2006, S. 18

⁹ Die Verwendung der UNESCO-Klassifikation ist aufgrund der spezifischen Museumsstruktur der Bundesrepublik Deutschland nicht möglich. So werden z.B. Ethnologische, Anthropologische und Regionale Museen im Gegensatz zur UNESCO-Klassifikation in einer Gruppe (Museen mit volkskundlichem und heimatkundlichem Sammlungsschwerpunkt) zusammengeführt. Darüber hinaus gelten nach der Definition des Instituts für Museumsforschung im Gegensatz zur UNESCO zoologische und botanische Gärten, sowie kommerzielle Privatgalerien nicht als musealer Einrichtungen und werden somit auch nicht erfasst (vgl. Institut für Museumsforschung 2006, S. 18).

Tab. 2: Zusammensetzung der Grundgesamtheit und der Stichprobe nach Art der Museumskategorie unter Angabe der Sammlungsgebiete (vgl. Institut für Museumsforschung 2006, S. 18).

	Museumsart	Sammlungsgebiete	Anzahl der Museen	
			Grund- gesamtheit	Stich- probe
1	<i>Museen mit volks- und heimatkundlichem oder regionalgeschichtlichem Sammlungsschwerpunkt</i>	Volkskunde, Heimatkunde, Bauernhäuser, Mühlen, Landwirtschaft, Orts- und Regionalgeschichte	15	5
2	<i>Kunstmuseen</i>	Kunst und Architektur, Kunsthandwerk, Keramik, Kirchenschätze und kirchliche Kunst, Film, Fotografie	50	21
3	<i>Schloss- und Burgmuseen</i>	Schlösser und Burgen mit Inventar, Klöster mit Inventar, historische Bibliotheken	28	6
4	<i>Naturkundliche Museen</i>	Zoologie, Botanik, Veterinärmedizin, Naturgeschichte, Geowissenschaften, Paläontologie, Naturkunde	17	4
5	<i>Naturwissenschaftliche und technische Museen</i>	Technik, Verkehr, Bergbau, Hüttenwesen, Chemie, Physik, Astronomie, Technikgeschichte, Humanmedizin, Pharmazie, Industriegeschichte, andere zugehörige Wissenschaften	29	15
6	<i>Historische und archäologische Museen</i>	Historie (nicht traditionelle Ortsgeschichte), Gedenkstätten (nur mit Ausstellungsgut), Personalien (Historie), Archäologie, Ur- und Frühgeschichte, Militaria	37	15
7	<i>Sammelmuseen mit komplexen Beständen</i>	Mehrere Sammlungsschwerpunkte aus den Bereichen 1–6 und 8	9	5
8	<i>Kulturgeschichtliche Spezialmuseen</i>	Kulturgeschichte, Religions- und Kirchengeschichte, Völkerkunde, Musik- und Literaturgeschichte, Musikinstrumente, Brauereiwesen und Weinbau, Feuerwehr, Kindermuseen, Spielzeug, Spezialgebiete	22	8
9	<i>Mehrere Museen (Museumskomplexe)</i>	Mehrere Museen mit unterschiedlichen Sammlungsschwerpunkten im gleichen Gebäude.	9	7
Gesamtzahl je Spalte			216	86

2.2.3 Stichprobe

Der Rücklauf der Befragung weist eine überdurchschnittlich hohe Beteiligung auf, was als Indiz für die Brisanz des Themas gewertet werden kann. Von den 185 angeschriebenen Einrichtungen haben 86 Einrichtungen an der Umfrage teilgenommen. Dies entspricht einer Rücklaufquote von 46,5%. Dabei verteilt sich die Stichprobe im Vergleich zur ausgewählten Grundgesamtheit folgendermaßen auf die Museumsarten:

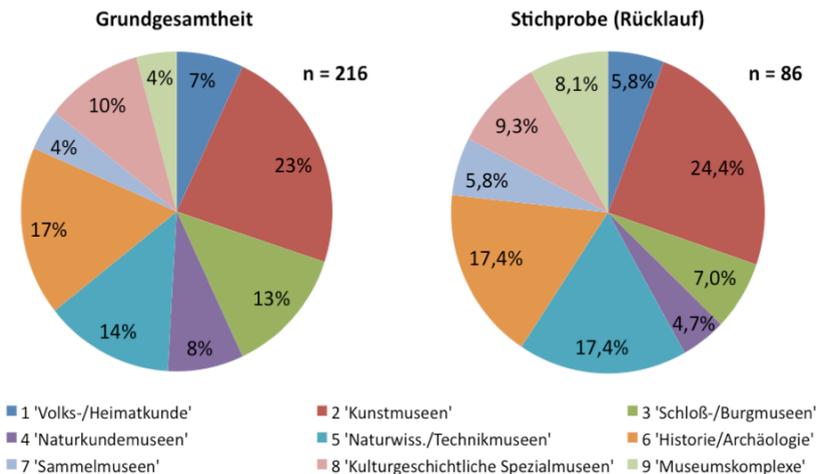


Abb. 1: Verteilung der Museumsarten in der Grundgesamtheit und der Stichprobe.

Die größte Gruppe innerhalb der Stichprobe bilden die Kunstmuseen mit 24,4%, gefolgt von den historischen und archäologischen Museen, sowie der Gruppe der naturwissenschaftlichen und technischen Museen mit 17,4%. Die kulturgeschichtlichen Spezialmuseen sind mit 9,3% und die Museumskomplexe mit 8,1% vertreten, gefolgt von der Gruppe der Schloss- und Burgmuseen mit 7%. Weniger vertreten sind die Sammel-museen sowie die Gruppe der Volks- und Heimatkundemuseen (Anteil von 5,8%). Die kleinste Gruppe stellen die naturkundlichen Museen mit einem Anteil von 4,7% dar.

Vergleicht man die prozentuale Verteilung mit den neun Museumsarten der Grundgesamtheit, sind signifikante prozentuale Abweichungen nur im Fall der Schloss- und Burgenmuseen zu konstatieren. Für alle anderen Kategorien kann die Stichprobe als repräsentativ für die Grundgesamtheit gelten.

2.3 Eingesetzte statistische Auswertungsverfahren

In der Studie werden die aktuelle Schadstoffsituation und der Umgang mit Fremdstoffen emittierenden Materialien in Museen erforscht. Darüber hinaus werden Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Schadensbildern und deren möglichen Einflussfaktoren analysiert.

Zur Darstellung werden univariate und bivariate Häufigkeitsverteilungen angewendet. Die Erkundung der Schadstoffsituation und Schadensbilder, sowie der Umgangs mit Fremdstoffen erfolgt zunächst mit Hilfe der univariaten Methode. Im Anschluss erfolgt die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Schadensbildern und deren möglichen Ursachen bzw. Einflussfaktoren mit Hilfe bivariater Methoden, wie der Betrachtung von Korrelationen und Mittelwertsvergleichen.

Aufgrund der mit niedrigen Stichprobenzahlen einhergehenden geringen statistischen Teststärke ist zu bedenken, dass kleine bis mittelstarke Zusammenhänge (bei Korrelationen und Mittelwertsvergleichen) häufig nicht zu statistisch signifikanten Ergebnissen führen. Die Abwesenheit eines statistisch signifikanten Zusammenhangs bedeutet aber nicht die Abwesenheit eines Zusammenhangs per se, sondern lediglich, dass die jeweils vorliegende Stichprobengröße nicht zum einwandfreien Nachweis eines Zusammenhangs ausreicht.

2.3.1 Häufigkeitsverteilungen

Grundsätzlich lassen sich die Daten tabellarisch (Häufigkeitstabellen) und graphisch aufarbeiten und in der eigentlichen Datenanalyse weiter durch charakteristische Maßzahlen auswerten. Zur Vereinfachung der Auswer-

tungen wurden einige Variablen durch Mittelung zu sogenannten Gruppenvariablen¹⁰ zusammengefasst.

Absolute Häufigkeiten geben Aufschluss darüber, wie viele Fälle des vorliegenden Datensatzes ein bestimmtes Merkmal aufweisen; relative Häufigkeiten geben den Anteil dieser Fälle an der Grundgesamtheit an und werden in Prozent ausgedrückt.

Die Form der graphischen Darstellung ist abhängig vom Skalenniveau des betrachteten Merkmals. Da in der vorliegenden Studie hauptsächlich nominal skalierte Merkmale vorliegen, werden Kreis-, Stab-, Säulen bzw. Balkendiagramme verwendet.¹¹

2.3.1.1 Univariate Häufigkeitsverteilungen

Zur Charakterisierung einer Verteilung oder zum Vergleich mehrerer Häufigkeitsverteilungen werden neben tabellarischen oder graphischen Darstellungen auch statistische Maßzahlen eingesetzt. Diese Maßzahlen dienen zur Beschreibung der Gesamtheit der Beobachtungswerte und stellen deren spezifischen Eigenschaften heraus. Der Vorteil in der Verwendung von Maßzahlen liegt in der Möglichkeit einer prägnanten Kurzbeschreibung und einer besseren und schnelleren Vergleichbarkeit mehrerer Häufigkeitsverteilungen.¹²

Die im Folgenden verwendeten statistischen Maßzahlen dienen zum Einen der Angabe der zentralen Tendenz einer Verteilung (arithmetisches Mittel, Median¹³), zum Anderen der Angabe der Breite bzw. Streuung der Variablen (2. und 3. Quartil des Medians).¹⁴

¹⁰ Um absolute Häufigkeiten von verschiedenen Unterkategorien, z.B. Schadensbildern zu erfassen, wurde die Analyse mit gruppierten Daten durchgeführt. Hierzu wurden die Variablen Ausblühungen (1), Farbveränderungen (2), Zerfall (3) und Festigkeitsverlust (4) zu einer Gruppenvariablen ‚Schadensbilder‘ zusammengefasst, indem die Werte aufaddiert und im Anschluss das arithmetische Mittel gebildet wurde.

¹¹ Vgl. Schulze 1990, S. 18; Fahrmeir et al. 2007, S. 32

¹² Grundsätzlich unterscheidet man zur Charakterisierung von empirischen Häufigkeitsverteilungen vier Gruppen von Maßzahlen: Mittelwert, Streuungsmaß, Formmaß und Konzentrationsmaß. Die Wahl der Maßzahl ist sowohl abhängig von der Fragestellung als auch vom Skalenniveau des betrachteten Merkmals (vgl. Schulze 1990, S. 31ff.).

¹³ Der Median ist der Wert, von dem alle anderen Werte im Durchschnitt am wenigsten abweichen. Er gilt als zentrales Maß zum Vergleich von Gruppenvariablen.

¹⁴ Vgl. Schulze 1990, S. 31ff.

Zur übersichtlichen graphischen Darstellung der numerischen Daten werden Boxplots verwendet. Der Boxplot ermöglicht eine Fünf-Punkte-Zusammenfassung, bei dem neben dem Median auch die zwei Quartile und die Extremwerte dargestellt werden. Darüber hinaus werden Ausreißer und Extremwerte abgebildet¹⁵.

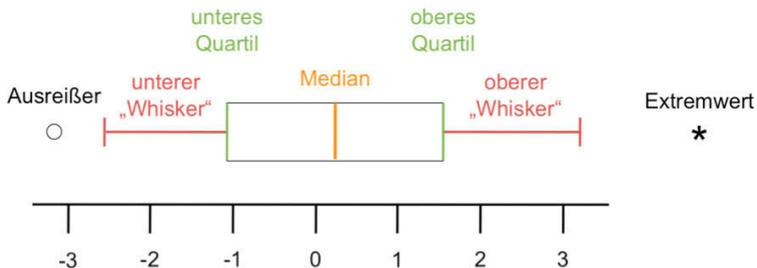


Abb. 2: Die Fünf-Punkte-Zusammenfassung im Boxplot.

2.3.1.2 Bivariate Häufigkeitsverteilungen

Bivariate Zusammenhänge lassen sich graphisch beispielsweise durch Stabdiagramme oder 3D-Balkendiagramme veranschaulichen. Streudiagramme finden in der vorliegenden Untersuchung keine Verwendung, da hauptsächlich ordinal- bzw. rangskalierte Merkmale vorliegen.

2.3.2 Test der Hypothesen

Hypothesentests erlauben die Überprüfung von Vermutungen oder Annahmen über die Grundgesamtheit mit Hilfe von Stichproben. Die Tests liefern eine formale Entscheidungshilfe, bei der anhand des *Signifikanzniveaus* α und auf der Grundlage einer Stichprobe darüber entschieden wird, ob die Nullhypothese H_0 oder die Alternativhypothesen H_{1-n} für die Grundgesamtheit zutrifft.

¹⁵ Ausreißer sind zwischen dem 1,5-fachen und dem dreifachen Interquartilsabstand und Extremwerte mehr als den dreifachen Interquartilsabstand vom Median entfernt. Der Interquartilsabstand ergibt sich dabei aus dem Abstand zwischen dem unteren und dem oberen Quartil.

Das Grundprinzip aller Testverfahren basiert auf der Stichprobentheorie. Es wird eine Nullhypothese aufgestellt, die genau dann verworfen wird, wenn sich ein Ergebnis einstellt, das bei Gültigkeit der Nullhypothese unwahrscheinlich ist. Mit statistischen Methoden wird hierzu geprüft, ob die vorliegende Stichprobe die Hypothese stützt oder nicht.

Mit dem Signifikanzniveau α wird festgelegt, bei welcher *Irrtumswahrscheinlichkeit* p man sich entschließt die Nullhypothese zu verwerfen um die Alternativhypothese anzunehmen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit berücksichtigt die Wahrscheinlichkeit eines Irrtums beim Verwerfen der Nullhypothese und Annahme der Alternativhypothese. Sie wird als Fehler 1. Art bezeichnet (Alpha-Fehler). Daneben gibt es auch einen Fehler 2. Art (Beta-Fehler), welcher entsteht, wenn die Nullhypothese beibehalten wird, obwohl in der Grundgesamtheit in Wirklichkeit die Alternativhypothese gegolten hätte. Der Fehler 2. Art wird jedoch nicht kontrolliert.

Mit der Festlegung des Signifikanzniveaus α auf einen vorgegebenen Wert wird die maximale Wahrscheinlichkeit für den Fehler 1. Art vorgegeben, die als Irrtumswahrscheinlichkeit angegeben wird. Man hat damit die Gewissheit, dass der Signifikanztest nur mit der Wahrscheinlichkeit α zu dieser Behauptung führt, obwohl sie falsch ist.¹⁶

Betrachtet man verschiedene empirische Untersuchungen, zeigt sich, dass unterschiedliche Signifikanzniveaus gewählt werden können. In der wissenschaftlichen Literatur werden sie mit Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% bis 5% angegeben.¹⁷ Die Analysen legen in den meisten Fällen ein Signifikanzniveau von $\alpha \leq 0,05$ zugrunde. Die vorliegende Studie orientiert sich an diesem weit verbreiteten Wert.

Bei der Interpretation der Studie werden Signifikanzen anhand der berechneten Irrtumswahrscheinlichkeit unterschieden in nicht signifikant, signifikant, sehr signifikant und höchst signifikant. Einen Überblick zu den verwendeten Begrifflichkeiten gibt die folgende Tabelle:

¹⁶ Vgl. Fahrmeir et al. 2007, S. 415ff.

¹⁷ Vgl. u.a. Brinkmann 1991, S. 71

Tab. 3: Bedeutung von Irrtumswahrscheinlichkeiten im Hinblick auf die Signifikanz.

Irrtumswahrscheinlichkeit		Bedeutung	Symbolisierung
Größe	Prozentual		
$p > 0,05$	>5%	nicht signifikant	ns
$p \leq 0,05$	$\leq 5\%$	signifikant	*
$p \leq 0,01$	$\leq 1\%$	sehr signifikant	**
$p \leq 0,001$	$\leq 0,1\%$	hoch signifikant	***

Da im Rahmen der vorliegenden Studie mehrere unabhängige Tests durchgeführt werden, ist mit einer Kumulierung der Alpha-Fehlerwahrscheinlichkeit zu rechnen.¹⁸

Das Vorgehen bei den Signifikanztests gliedert sich in folgende Schritte:

- Aufstellen der Nullhypothese, bei der angenommen wird, dass beide Stichproben aus der gleichen Grundgesamtheit stammen.
- Wahl der geeigneten Testmethoden (*Mann-Whitney-U-Test*, *Friedman-Test*, *Wilcoxon-Rangsummen-Test*)
- Durchführung des Tests

2.3.2.1 Mann-Whitney U-Test

Mit dem *Mann-Whitney U-Test* lassen sich Unterschiede hinsichtlich der zentralen Tendenz zweier Verteilungen feststellen. Hierbei wird geprüft, ob eine Variable in zwei unabhängigen Stichproben aus einer gleichen Grundgesamtheit stammt. Damit stellt der *Mann-Whitney U-Test* die Alternative zum parametrischen *t-Test* für den Vergleich von zwei Mittelwerten von Verteilungen dar. Zugrunde gelegt werden hierbei jedoch nicht die Messwerte der Variablen, sondern Rangplätze.

¹⁸ Die Alpha-Fehlerwahrscheinlichkeit entsteht aufgrund des Multiplikationstheorems. Demnach erhöht sich die Fehlerwahrscheinlichkeit mit steigender Zahl unabhängiger Tests. Die Alpha-Fehlerwahrscheinlichkeit berechnet sich wie folgt: $1-(1-\alpha)^k$, wobei k für die Zahl der Hypothesen steht (vgl. Fahrmeir et al. 2007, S. 415ff.).

Voraussetzung für die Anwendung des *Mann-Whitney U-Test*:

- Es liegt keine metrische Skala vor und/oder die getestete Variable ist nicht normalverteilt.
- Die getestete Variable ist mindestens ordinalskaliert.

Der *Mann-Whitney U-Test* basiert auf einer gemeinsamen Rangreihe der Werte beider Stichproben. Verglichen werden die einzelnen Werte der beiden zu untersuchenden Stichproben A und B, wobei die Nullhypothese besagt, dass es keinen Unterschied zwischen den Verteilungen gibt ($A=B$). Es gilt ein Signifikanzniveau von $\alpha \leq 0,05$. Die Nullhypothese des Tests postuliert, dass zwischen den mittleren Rängen kein Unterschied besteht.¹⁹

2.3.2.2 *Friedmann-Test*

Mit dem *Friedmann-Test* wird wie auch bei dem *Mann-Whitney U-Test* der Unterschied hinsichtlich der zentralen Tendenz von Verteilungen festgestellt. Im Gegensatz zum *Mann-Whitney U-Test* handelt es sich hierbei jedoch um mehrere abhängige bzw. verbundene Stichproben. Geprüft wird, ob die Stichproben aus einer gleichen Grundgesamtheit kommen.

Voraussetzung für die Anwendung des *Friedman-Tests*:

- Es liegen drei und mehr Stichproben vor die voneinander abhängig bzw. verbunden sind.
- Die getestete Variable ist mindestens ordinalskaliert.

Der *Friedman-Test* beruht auf einer Sortierung bzw. Rangbildung der Werte in gepaarten Sets von Daten. Geprüft wird, ob sich die Rangziffernsommen der aufaddierten Ränge signifikant voneinander unterscheiden. Dabei handelt es sich um einen allgemeinen Test, der nicht aufdeckt, um welche Unterschiede es sich handelt. Die Nullhypothese des Tests ist die Annahme, dass zwischen den Gruppen kein signifikanter Unterschied besteht. Der p-Wert als Maß für die statistische Signifikanz ist dabei umso geringer, je größer die Unterschiede zwischen den Rangsummen der einzelnen Gruppen sind. Auch hier gilt ein Signifikanzniveau von $\alpha \leq 0,05$.²⁰

¹⁹ Vgl. Janssen 2007, S. 571f.

²⁰ Vgl. Janssen 2007, S. 589f.

2.3.2.3 Wilcoxon-Rangsummentest

Der *Wilcoxon-Rangsummentest* ist weitestgehend äquivalent zum Mann-Whitney U-Test; er unterscheidet sich lediglich hinsichtlich des Stichprobendesigns. Während der Mann-Whitney U-Test sich auf unabhängige Stichproben bezieht, werden beim *Wilcoxon-Rangsummentest* verbundene Stichproben untersucht.²¹

Die Nullhypothese des Tests postuliert auch hier, dass zwischen den mittleren Rängen kein Unterschied besteht. Es gilt ein Signifikanzniveau von $\alpha \leq 0,05$.

2.3.3 Korrelationsanalyse

Die Korrelationsanalyse ermöglicht es, die Stärke und die Richtung identifizierter Zusammenhänge mit Hilfe des Korrelationsmaßes r anzugeben. In der vorliegenden Studie werden Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Schadensbildern und möglichen Einflussfaktoren (Lagerung, Präventive Konservierung, Schadstoffe) überprüft. Da die Entstehung von Schadensbildern ein multikausales Problem ist, sind hohe Korrelationen, die deutlich über 0,5 liegen, unwahrscheinlich, da dies bedeuten würde, dass bereits die Erfüllung eines Einflussfaktors die Entstehung von Schäden bestimmt.

Die Stärke der Zusammenhänge wird daher für die vorliegende Studie wie folgt definiert: Bei Werten $r < 0,2$ wird von einem schwachen bzw. keinem Zusammenhang ausgegangen. Als mittelstark wird der Zusammenhang bei Werten $0,2 \leq r \leq 0,3$ eingestuft. Von einem starken Zusammenhang wird bei Werten $r > 0,3$ gesprochen.

²¹ Vgl. Janssen 2007, S. 583f.

Tab. 4: Bedeutung der Korrelationsmaße in Hinblick auf den Zusammenhang.

Korrelationsmaß	Bedeutung
$r < 0,2$	schwacher bzw. keiner Zusammenhang
$0,2 \leq r \leq 0,3$	mittelstarker Zusammenhang
$r > 0,3$	starker Zusammenhang

Da in der vorliegenden Studie ausschließlich nominal- oder ordinal- bzw. rangskalierte Daten vorliegen und damit unterstellt werden kann, dass keine Normalverteilung vorliegt, wird auf das Korrelationsmaß r_{sp} von *Spearman* zurückgegriffen²²

²² Kann von einer Normalverteilung ausgegangen werden, wird das *Korrelationsmaß* r nach *Bravais-Pearson* berechnet. Liegt eine andere Verteilung vor, so wird auf das *Korrelationsmaß* r_{sp} von *Spearman* zurückgegriffen (Vgl. Fahrmeir et al. 2007, S. 136ff.).

3 Ergebnisse der Umfrage

3.1 Schadstoffsituation in Museen

Die Studie zeigt, dass annähernd die Hälfte der befragten Institutionen (49,3%) Schadstoffmessungen durchführt (vgl. Abb. 3). Dabei lassen sich innerhalb der neun Museumskategorien (vgl. Tab. 2; S.17) keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Häufigkeit von Schadstoffmessungen erkennen.

Um die Art und Weise der Schadstoffprüfung zu ermitteln, wurde zwischen Schadstoffmessungen in der Raum- und Vitrinenluft, der Emission von Ausstellungsmaterialien und Objekten und der Rubrik ‚Sonstige Messungen‘ unterschieden. Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass bei Museen, die Schadstoffuntersuchungen vornehmen (vgl. Abb. 3), die Raumluftmessung die mit Abstand häufigste Untersuchungsart ist (75,8%); gefolgt von der Prüfung von Ausstellungsmaterialien (54,5%)

Mit einer geringeren aber ähnlichen Häufigkeit wurden darüber hinaus Schadstoffmessungen in den Kategorien ‚Objekte‘ (36,4%) und ‚Sonstige Schadstoffmessungen‘ (33,3 %) angegeben. Bei letzteren wurden als weitere Kategorien Schadstoffmessungen im Staub und in Baumaterialien genannt²³.

²³ Schadstoffmessungen wurden u.a. in Lüftungstechnischen Anlagen, Solanderkästen, Vitrinen und Baumaterialien angegeben, die jedoch in die Kategorie der Luftschadstoffmessungen bzw. der Prüfung der Ausstellungsmaterialien einzuordnen sind.

Schadstoffmessungen

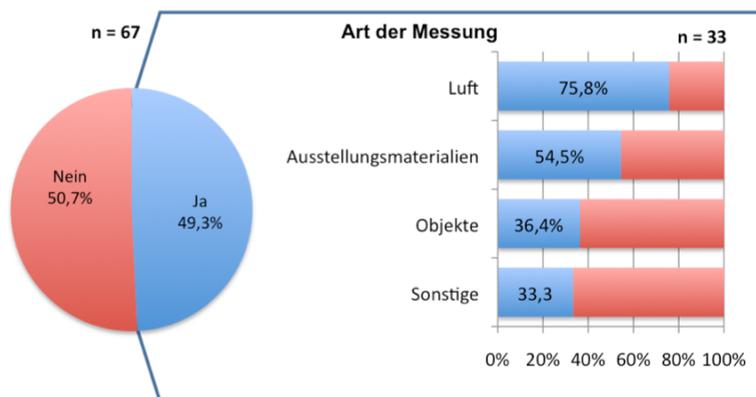


Abb. 3: Durchführung von Schadstoffmessungen und Art der Messungen.

Geht man davon aus, dass Messungen bei Vorliegen eines begründeten Verdachts erfolgen, kann das Ergebnis als Ausdruck einer zufriedenstellenden Gesamtsituation gewertet werden, denn nur jedes zweite Museum wäre am Rande oder ernsthaft von der Schadstoffproblematik betroffen. Zieht man jedoch in Betracht, dass nur ein Viertel der Museen (25,3%) angeben, keine Maßnahmen zur Beseitigung von Schäden oder Kontaminationen vorgenommen zu haben (vgl. Abb. 4), ist das Ergebnis weitaus negativer zu interpretieren: In 74,7% der Fälle wurde offensichtlich auf einen misslichen Zustand reagiert und man beseitigte die Schadensverursacher – seien es Mikroben, Baustoffaltlasten oder verdächtige Ausstellungsmaterialien – ohne weitere Ursachenforschung.

Maßnahmen zur Beseitigung von Schäden bzw. Kontaminationen

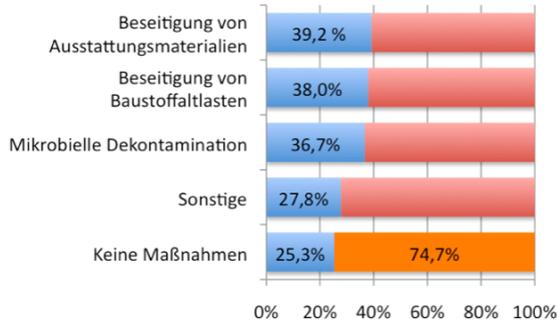


Abb. 4: Häufigkeit und Art der Maßnahmen zur Beseitigung von Schäden & Kontaminationen.

Die Durchführung von Messungen in nahezu der Hälfte der befragten Einrichtungen (vgl. Abb. 3) kann für die Umsetzung präventiver Maßnahmenkonzepte positiv wie negativ interpretiert werden. Seit über 100 Jahren sind Untersuchungen zu den Auswirkungen ungeeigneter Ausstellungsmaterialien auf Kunst- und Kulturgut publiziert²⁴ und seit den 1970er Jahren sind zahlreiche Methoden zur Prüfung von Ausstellungsmaterialien entwickelt.²⁵ Das Problem ist demnach bekannt und Möglichkeiten zur Abhilfe sind vorhanden. Dennoch können Museen ihrer Kernaufgabe, der vorausschauenden Bewahrung des Kultur- und Naturerbes der Menschheit,²⁶ aus den verschiedensten Gründen offensichtlich selbst nur an 49,3% der großen Häuser nachkommen.

²⁴ Byne (Byne 1899) beschreibt bereits Ende des 19. Jahrhunderts die Zersetzung von Muscheln durch Emissionen aus hölzernen Ausstellungsmaterialien. Demnach wird die Reaktion, bei der organische Säuren calciumhaltige Objekte zersetzen auch "Bynes Krankheit" genannt.

²⁵ Vgl. Oddy 1973, S. 27–28; Ryhl-Svendsen 2000; Hatchfield 2002, S. 44–45

²⁶ Vgl. Deutscher Museumsbund et al. 2006, S. 6

3.1.1 Qualitative und Quantitative Verteilung von Luftschadstoffen

Im folgenden Kapitel (3.1.1) werden ausschließlich die Luftschadstoffuntersuchungen betrachtet. Einen weiteren Schwerpunkt der Studie bildet die Prüfung von Ausstellungsmaterialien, auf die im Kapitel 3.3 und 3.4 eingegangen wird.

Museen, die Schadstoffmessungen durchgeführt haben, wurden gebeten aus einer Liste²⁷ von elf Schadstoffen bzw. Schadstoffgruppen die zutreffenden Variablen anzukreuzen. Darüber hinaus bestand über eine Eingabemaske die Möglichkeit bis zu drei weitere Schadstoffe anzugeben, die in der Häufigkeitsverteilung unter ‚Sonstige‘ zusammengefasst wurden. Die 12 verschiedenen Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen lassen sich nach der Häufigkeit ihrer Nennung in drei Gruppen einteilen (vgl. Abb. 5; Tab. 5):

- Sehr häufige > 45 %
- Häufige >15 %
- Selten <15%

Gemäß dieser Einteilung wurden sehr häufig Formaldehyd (57,7%), Biozide (57,7%) und Essigsäure (46,2%) gefunden. Häufig beobachtet wurden Ameisensäure (26,9%) sowie die Gruppe der ‚Sonstigen Verbindungen‘ (23,1%) und der TVOCs (19,2%). Selten wurden Salpetersäure und Phthalate (11,5%), sowie Siloxane (7,7%), Acetaldehyd und Schwefeldioxid (7,7%) genannt. Ohne Nennung blieb die Salpetrige Säure.

²⁷ Die Auswahl der Verbindungen für die Multiple-Choice Liste erfolgte nach zwei Kriterien. Zum Einen wurden Verbindungen gewählt, für die Grenz- bzw. Richtwerte nach Tétreault (Tétreault 2003, S. 33) und Grzywacz (Grzywacz 2006, S. 2,109-110) für die Luftqualität im musealen Umfeld existieren und die eine hohe Relevanz bei Schadensprozessen in Museen haben. Zum Anderen wurden auch Verbindungen aufgeführt, die in jüngeren Untersuchungen zu Schadensprozessen im Museum Erwähnung finden und deren diesbezügliche Relevanz noch nicht vollständig geklärt ist.

3.1.2 Verteilung in Abhängigkeit der Expositionsmedien

(offener Ausstellungsraum/ Vitrine/ Depot)

Zur weiteren Spezifizierung wird die Verteilung der untersuchten Schadstoffe in Abhängigkeit der Expositionsmedien beschrieben. Betrachtet man die im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen nach ihrer Häufigkeit im offener Ausstellungsraum (1), Vitrine (2) und Depot (3), zeigt sich folgendes Bild (vgl. Abb. 5; Tab. 5):

(1) Offener Ausstellungsraum

Im offenen Ausstellungsraum wurden häufig Biozide, Formaldehyd, Essigsäure und ‚Sonstige‘ Verbindungen (11,5 %) gefunden, seltener die Gruppe der Phthalate, sowie die TVOCs (7,7%), Ameisensäure und Salpetersäure (3,8 %). Ohne Nennung blieben die Siloxane, Schwefeldioxid und Acetaldehyd.

(2) Vitrine

In Vitrinen wurden vor allem Essigsäure (23,1%) und Formaldehyd (19,2%) nachgewiesen, seltener Ameisensäure sowie die Gruppe der Biozide (11,5%), Salpetersäure, Siloxane, TVOCs, ‚Sonstige Verbindungen‘ (7,7%) und Acetaldehyd und Phthalate (3,9%). Nicht aufgeführt wurde Schwefeldioxid.

(3) Depot

Im Depot wurden häufig Biozide (34,6%) und Formaldehyd (26,9%) genannt, selten Essigsäure und Ameisensäure (11,5%), TVOCs, Schwefeldioxid und ‚Sonstige Verbindungen‘ (3,9%). Ohne Nennung blieben Salpetersäure, Acetaldehyd und die Gruppen der Siloxane und Phthalate.

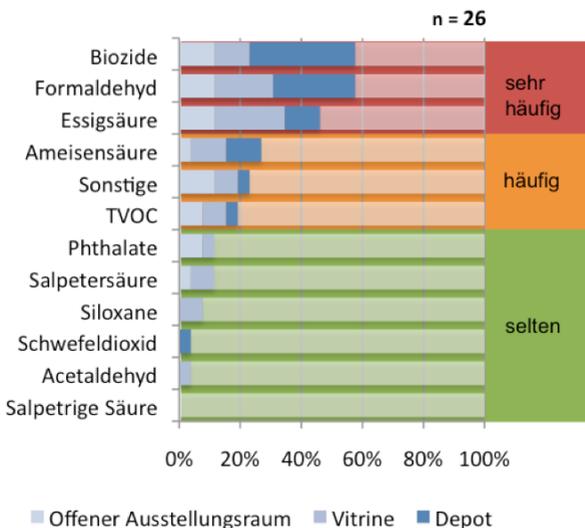


Abb. 5: Verteilung von Schadstoffverbindungen unter Angabe der verschiedenen Expositionsmedien.

Tab. 5: Rangliste untersuchter Schadstoffverbindungen untergliedert nach Expositionsmedien.

Rang	Verbindung	Offener Ausstellungsraum			Gesamt (%)
		Ausstellungsraum (%)	Vitrine (%)	Depot (%)	
1	Biozide	11,5	11,5	34,6	57,6
	Formaldehyd	11,5	19,2	26,9	57,6
2	Essigsäure	11,5	23,1	11,5	46,1
3	Ameisensäure	3,8	11,5	11,5	26,8
4	Sonstige	11,5	7,7	3,9	23,1
5	TVOC	7,7	7,7	3,9	19,3
6	Salpetersäure	3,8	7,7	0	11,5
7	Phthalate	7,7	3,9	0	11,6
8	Siloxane	0	7,7	0	7,7
9	Acetaldehyd	0	3,9	0	3,9
10	Schwefeldioxid	0	0	3,9	3,9

Auffällig ist, dass im Depot vor allem Biozide und Formaldehyd nachgewiesen wurden, weniger jedoch in Vitrinen oder im offenen Ausstellungsraum. Ein Grund für die Belastung könnte der Umstand sein, dass Biozide vor allem in Depots zur akuten Schädlingsbekämpfung und als prophylaktische Maßnahmen eingesetzt wurden, denn seit den 1950er Jahren wurden Biozide im großen Umfang zum Schutz von Kunst- und Kulturgut verwendet. Die Anwendung reichte von der Schädlingsbekämpfung, über den präventiven Schutz einzelner Objekte, bis hin zur präventiven Behandlung ganzer Sammlungen und Magazine.²⁸ Da es sich bei Holzschutzmitteln in der Regel um schwerflüchtige Verbindungen mit hoher Dauerwirksamkeit handelt, lassen sie sich auch nach Jahrzehnten in den Objekten sowie der Umgebungsluft und im Staub nachweisen.²⁹

Die häufige Angabe von Formaldehyd könnte unter Umständen durch die Verwendung von Holz und Holzwerkstoffen wie Spanplatten erklärt werden, die als Baumaterialien Verwendung finden. Spanplatten können aufgrund des Bindemittels auf Formaldehydbasis zu erheblichen Raumluftbelastungen führen. Auch Naturholz emittiert einfache Aldehyde wie Form- oder Acetaldehyd als Oxidationsprodukte der enthaltenen Terpene³⁰. In Räumen, die mit Holz und Holzwerkstoffen ausgestattet oder mit Objekten bestückt sind, gilt Formaldehyd als ubiquitäre Verbindung.

Weiterhin bemerkenswert ist, dass Salpetersäure und die Verbindungs-klasse der Siloxane zwar in der Vitrine und im offenen Ausstellungsraum, nicht aber im Depot gefunden wurden.

²⁸ Krooß 1993; Krooß et al. 1996, S. 176–179

²⁹ Grosche 2007, S. 113

³⁰ Raffael 2006

3.1.3 Zwischenfazit

Aus den vorangegangenen Analysen resultieren folgende Ergebnisse:

- Annähernd die Hälfte aller befragten Institutionen (49,3%) führen Schadstoffmessungen durch.
- Die Art und Weise der durchgeführten Schadstoffprüfungen unterscheiden sich je nach Einrichtung; dabei konnten folgende Verteilungen festgestellt werden:
 - Raumluftmessungen sind die mit Abstand am häufigsten durchgeführte Schadstoffuntersuchungen (75,8%).
 - Die Luftschadstoffe lassen sich nach der Häufigkeit ihrer Nennung in drei Kategorien unterteilen: Schadstoffe die sehr häufig (> 45%), häufig (> 15%) und selten (< 15%) gefunden wurden.
 - Sehr häufig sind Formaldehyd, Biozide, Essigsäure,
 - häufig Ameisensäure, ‚Sonstige Schadstoffe‘, TVOCs,
 - selten Salpetersäure, Phthalate, Siloxane, Acetaldehyd, Schwefeldioxid.
- Für die betrachteten Luftschadstoffe zeigt sich eine unterschiedliche Verteilung innerhalb der drei untersuchten Expositionsmedien:
 - Im offenen Ausstellungsraum wurden vor allem Biozide, Formaldehyd, Essigsäure und ‚Sonstige Verbindungen‘(11,5%) gefunden,
 - in Vitrinen überwiegend Essigsäure (23,1%) und Formaldehyd (19,2%), und
 - im Depot Biozide (34,6%) und Formaldehyd (26,9%).

3.2 Schadensbilder in den befragten Museen

Als typische Schadensbilder in Museen gelten Ausblühungen, Farbveränderungen, Zerfall und Festigkeitsverlust. Im Folgenden soll untersucht werden, ob es Unterschiede:

- verschiedener Schadensbilder allgemein (1a),
- in Abhängigkeit von den untersuchten Expositionsmedien (1b),
- in Abhängigkeit von Schadensbildern (2a1-4), sowie
- in Abhängigkeit von Expositionsmedien und Schadensbildern (2b1-3) als Funktion der Auftretenshäufigkeit gibt.

Eine Übersicht zur Gliederung der folgenden Untersuchungen gibt Abb. 6:

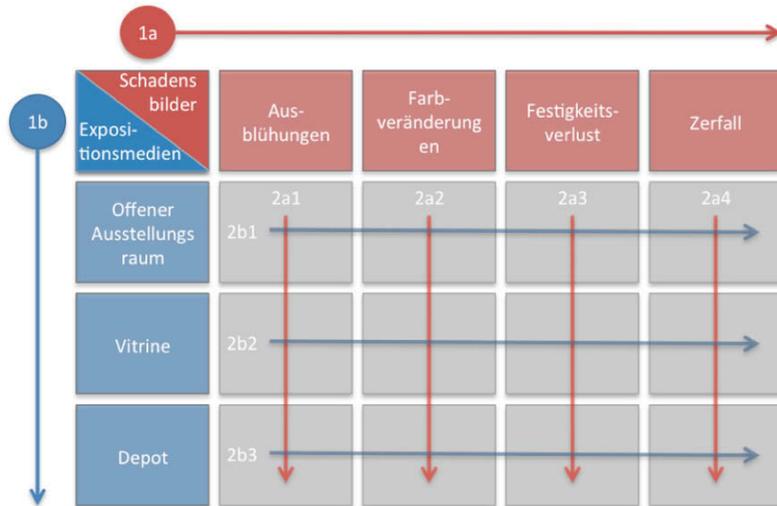


Abb. 6: Übersicht der verwendeten Variablen & Gruppenvariablen zur Schadenshäufigkeit in Abhängigkeit von der Fragestellung.

Die Grundlage der Analyse bilden Daten zur Häufigkeitsverteilung von vier maßgeblichen und im Rahmen dieser Untersuchung betrachteten Schadensbildern an Objekten: Ausblühungen, Farbveränderungen, Zerfall und Festigkeitsverlust. Die Daten wurden jeweils für die drei Expositionsmedien erhoben. Hierzu wurden die Befragten gebeten, die Häufigkeit des Auftretens der Schadensbilder für die jeweiligen Expositionsmedien, in den

jeweiligen Institutionen auf einer fünfstufigen Skala von (1) ‚sehr selten‘, bis (5) ‚sehr häufig‘, anzugeben.³¹

Die Analyse der Daten gehorchte folgendem Auswertungsschema:

- Als Maßzahl für die Charakterisierung der Häufigkeitsverteilung werden zunächst die Mediane und die Perzentile bzw. Quartile der Daten verglichen.
- Im Anschluss wird mit Hilfe des Friedman-Tests überprüft, ob eine signifikante Abweichung in der Auftretenshäufigkeit von Schadensbildern besteht.
- Ist dieses gegeben, so wird in einem weiteren Schritt ein paarweises Testen zur Analyse der Tendenz der zentralen Verteilung mittels des *Wilcoxon-Tests* durchgeführt. Hierzu werden die in Abb. 6 genannten Variablen und Gruppenvariablen³² herangezogen.

Der Vergleich der Mediane als Zentralwert für das Auftreten der Schadensbilder zeigt bei allen Analysen sehr ähnliche Werte (vgl. Abb. 7-14). Demnach sind alle untersuchten Schadensbilder als sehr selten auftretend einzustufen. Eine Ausnahme bildet der Mittelwertsvergleich der Farbveränderungen in den verschiedenen Expositionsmedien (2a2): Farbveränderungen sind hier nur in der Vitrine und in dem Depot als sehr selten einzustufen; während der Median für den offenen Ausstellungsraum auf ein seltenes Auftreten hinweist.

Dennoch zeigen der Friedmann und der *Wilcoxon-Tests* für einige der betrachteten Szenarien statistisch signifikante Unterschiede hinsichtlich der Häufigkeit der Schadensbilder (1a; 2a1-4) sowie der verwendeten Expositionsmedien (1b; 2b1-3). Eine Übersicht der Analysen geben die folgenden Zusammenfassungen und Abbildungen, die entsprechend der Gliederungsdarstellung aufgeführt sind (vgl. Abb. 6):

³¹ Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Aussagen lediglich relationale Bedeutung haben und somit nur im Bezug auf die gesamten Aussagen interpretierbar sind.

³² Nähere Erläuterungen zur Bildung der Gruppenvariablen siehe Kapitel 2.3.1.

1a) Häufigkeitsverteilung von Ausblühungen, Farbveränderungen, Festigkeitsverlust und Zerfall in den untersuchten Museen (allgemein)

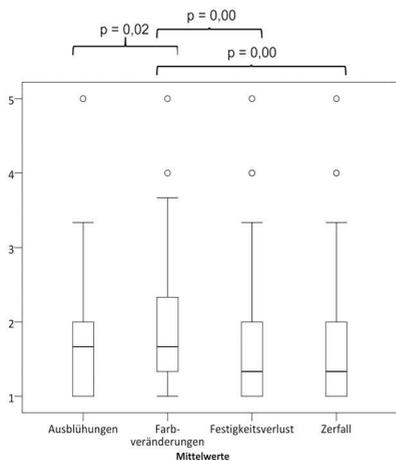
Hinsichtlich der Auftretenshäufigkeit der vier untersuchten Schadensbilder Ausblühungen (1), Farbveränderungen (2), Zerfall (3) und Festigkeitsverlust (4) lassen sich folgende Ergebnisse festhalten (vgl. Abb. 7):

- Alle untersuchten Schadensbilder kommen in den befragten Institutionen sehr selten vor.³³
- Farbveränderungen sind unabhängig vom betrachteten Expositionsmedium das statistisch gesehen am häufigsten vorkommende Schadensbild.
- Ausblühungen, Zerfall und Festigkeitsverlust zeigen statistisch nicht signifikante Unterschiede hinsichtlich der Häufigkeit ihres Vorkommens.

Für alle weiteren Paarungen (Zerfall/ Festigkeitsverlust ($p = 0,43$); Ausblühungen/ Festigkeitsverlust ($p = 0,49$); Ausblühungen/ Zerfall ($p = 0,15$)) konnte mit Hilfe des *Wilcoxon-Tests* kein statistisch signifikanter Unterschied ermittelt werden.

³³ Es ist zu beachten, dass die allgemein sehr niedrige Einstufung der untersuchten Schadensbilder durch die Befragten u.U. durch die soziale Erwünschtheit geprägt wurde. Ein möglicher Grund ist die verbreitete Annahme, dass die Angabe von Schäden am eigenen Sammlungsgut als Vernachlässigung der Kernaufgabe der Museen, nämlich der vorausschauenden Bewahrung des Kultur- und Naturerbes der Menschheit verstanden wird.

Friedman-Test: $p = 0,00$
 Wilcoxon-Test:



		Ausblühungen	Farbveränderungen	Festigkeitsverlust	Zerfall
N	Gültig	65	64	60	61
	Fehlend	21	22	26	25
M	Arithm.	1,71 ^a	1,97 ^a	1,63 ^a	1,60 ^a
	Median	1,67 ^a	1,67 ^a	1,33 ^a	1,33 ^a
Perzentile	25	1,00 ^b	1,33 ^b	1,00 ^b	1,00 ^b
	75	2,00 ^b	2,33 ^b	2,00 ^b	2,00 ^b
a. Mittelwerte werden aus gruppierten Daten berechnet.					
b. Perzentile werden aus gruppierten Daten berechnet.					

Abb. 7: Boxplot & Wertetabelle zum Vergleich von Median, Quartilen und Extremwerten der untersuchten Schadensbilder unter Angabe relevanter Signifikanzwerte ($p < 0,05$).

(1b) Häufigkeitsverteilung von Schadensbildern in Abhängigkeit der Expositionsmedien (offener Ausstellungsraum/ Vitrine/ Depot)

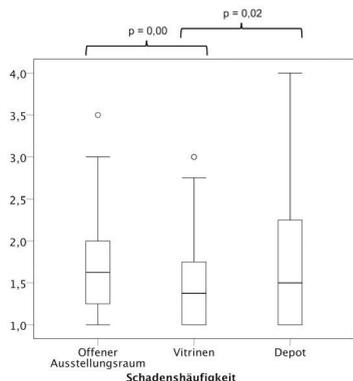
Untersucht wird im Folgenden, ob ein Zusammenhang zwischen den verwendeten Expositionsmedien und der Auftretenshäufigkeit von Schadensbildern existiert. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass die Aufbewahrung von Objekten in Ausstellungsräumen, Vitrinen und Depots eine Extremsituation im Bezug auf das Korrosionspotenzial darstellt. Auf der anderen Seite besitzen Vitrinen unverzichtbare Vorzüge: In Abhängigkeit von der Bauart, dienen sie dem Schutz der Objekte vor Vandalismus, Partikeln und Schadstoffen in der Außenluft, sowie kurzzeitigen Temperatur und Feuchteschwankungen.

Eine detaillierte Betrachtung der Expositionsmedien im Hinblick auf die Auftretenshäufigkeit der untersuchten Schadensbilder (unabhängig von der Schadensart) zeigt folgende Ergebnisse (vgl. Abb. 8):

- Objekte, die in Vitrinen gelagert werden, weisen seltener Schadensbilder auf als Objekte, die im offenen Ausstellungsraum oder im Depot gelagert werden.
- Objekte, die im Depot oder im offenen Ausstellungsraum gelagert werden, unterscheiden sich hinsichtlich der Häufigkeit von Schadensbildern statistisch nicht signifikant.

Darüber hinaus konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der Häufigkeit von Schadensbildern im Depot und im offenen Ausstellungsraum ($p = 0,85$) gefunden werden.

Friedman-Test: $p = 0,01$
 Wilcoxon-Test:



		Ausstellungsraum	Vitrinen	Depot
N	Gültig	58	61	61
	Fehlend	28	25	25
M	Arithm.	1,79 ^a	1,48 ^a	1,71 ^a
	Median	1,75 ^a	1,38 ^a	1,15 ^a
Perzentile	25	1,25 ^b	1,00 ^b	1,00 ^b
	75	2,00 ^b	1,75 ^b	2,25 ^b

a. Mittelwerte werden aus gruppierten Daten berechnet.
 b. Perzentile werden aus gruppierten Daten berechnet.

Abb. 8: Boxplot & Wertetabelle zum Vergleich von Median, Quartilen und Extremwerten der Schadenshäufigkeit in den untersuchten Expositionsmedien; unter Angabe relevanter Signifikanzwerte ($p < 0,05$).

Trotz der erläuterten Schadstoffproblematik zeigt sich, dass Objekte, die in Vitrinen ausgestellt werden, seltener Schadensbilder aufweisen als Objekte im offenen Ausstellungsraum oder im Depot. Der Grund hierfür ist vermutlich die Tatsache, dass die positiven Eigenschaften von Vitrinen trotz der häufig hohen Schadstoffkonzentrationen überwiegen.

(2a) Häufigkeitsverteilung von Ausblühungen, Farbveränderungen, Festigkeitsverlust und Zerfall in den jeweiligen Expositionsmedien (offener Ausstellungsraum/ Vitrine/ Depot)

Um die Art der untersuchten Schadensbilder in den jeweiligen Expositionsmedien näher zu beleuchten, findet aufbauend auf Punkt 1a eine weitere Untergliederung statt. Untersucht wird im Folgenden, inwieweit sich die Auftretenshäufigkeit der untersuchten Schadensbilder Ausblühungen (2a1), Farbveränderungen (2a2), Zerfall (2a3) und Festigkeitsverlust (2a4) in den drei verschiedenen Expositionsmedien unterscheidet.

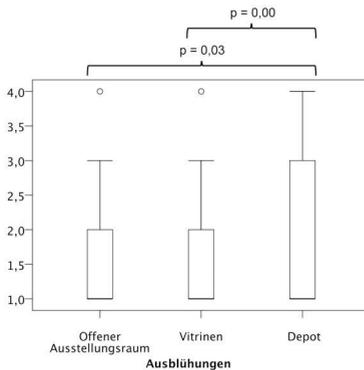
(2a1) Ausblühungen

Es existieren folgende signifikante Unterschiede in der Auftretenshäufigkeit von Ausblühungen hinsichtlich der drei verschiedenen Expositionsmedien (vgl. Abb. 9):

- Die Häufigkeit des Auftretens von Ausblühungen im Depot ist größer als im offenen Ausstellungsraum ($p = 0,03$).
- Die Häufigkeit des Auftretens von Ausblühungen im Depot ist größer als in der Vitrine ($p = 0,00$).

Darüber hinaus konnte kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Auftretenshäufigkeit von Ausblühungen in der Vitrine und dem offenen Ausstellungsraum ($p = 0,50$) gefunden werden.

Friedman-Test: $p = 0,00$
Wilcoxon-Test:



		Ausstellungsraum	Vitrinen	Depot
N	Gültig	61	57	61
	Fehlend	25	29	25
M	Arithm.	1,61	1,47	1,82
	Median	1,00	1,00	1,00
Perzentile	25	1,00	1,00	1,00
	75	2,00	2,00	3,00

Abb. 9: Boxplot & Wertetabelle zum Vergleich der Auftretenshäufigkeit von Ausblühungen in den verschiedenen Expositionsmedien; unter Angabe relevanter Signifikanzwerte ($p < 0,05$).

(2a2) Farbveränderungen

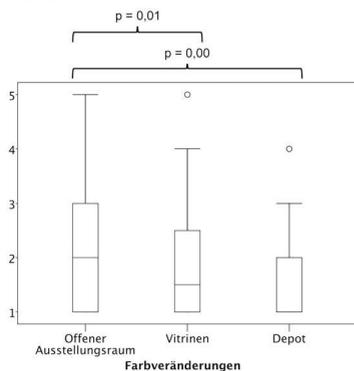
Es bestehen folgende signifikante Unterschiede in der Auftretenshäufigkeit von Farbveränderungen hinsichtlich der drei verschiedenen Expositionsmedien (vgl. Abb. 10):

- Die Häufigkeit des Auftretens von Farbveränderungen im offenen Ausstellungsraum ist größer als in der Vitrine ($p = 0,01$).
- Die Häufigkeit des Auftretens von Farbveränderungen im offenen Ausstellungsraum ist größer als die im Depot ($p = 0,00$).

Darüber hinaus konnte kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich der Häufigkeit des Auftretens von Farbveränderungen in der Vitrine und im Depot ($p = 0,16$) festgestellt werden.

Friedman-Test: $p = 0,00$

Wilcoxon-Test:



		Ausstellungsraum	Vitrinen	Depot
N	Gültig	60	55	58
	Fehlend	26	31	28
M	Arithm.	2,27	1,82	1,64
	Median	2,00	1,00	1,00
Perzentile	25	1,25	1,00	1,00
	75	3,00	3,00	2,00

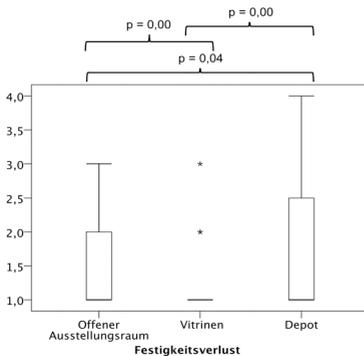
Abb. 10: Boxplot & Wertetabelle zum Vergleich der Auftretenshäufigkeit von Farbveränderungen in den verschiedenen Expositionsmedien; unter Angabe relevanter Signifikanzwerte ($p < 0,05$).

(2a3) Festigkeitsverlust

Es bestehen folgende signifikante Unterschiede in der Auftretenshäufigkeit von Festigkeitsverlust hinsichtlich der drei verschiedenen Expositionsmedien (vgl. Abb. 11):

- Die Häufigkeit des Auftretens von Festigkeitsverlust im offenen Ausstellungsraum größer ist als in der Vitrine ($p = 0,00$),
- im Depot größer als im offenen Ausstellungsraum ($p = 0,04$),
- im Depot größer als in der Vitrine ($p = 0,00$).

Friedman-Test: $p = 0,00$
Wilcoxon-Test:



		Ausstellungsraum	Vitrinen	Depot
N	Gültig	59	54	57
	Fehlend	27	32	29
M	Arithm.	1,64	1,26	1,75
	Median	1,00	1,00	1,00
Perzentile	25	1,00	1,00	1,00
	75	2,00	1,00	2,50

Abb. 11: Boxplot & Wertetabelle zum Vergleich der Auftretenshäufigkeit von Festigkeitsverlust in den verschiedenen Expositionsmedien; unter Angabe relevanter Signifikanzwerte ($p < 0,05$).

(2a4) Zerfall

Es existiert folgender signifikanter Unterschiede in der Auftretenshäufigkeit von Zerfall hinsichtlich der drei verschiedenen Expositionsmedien (vgl. Abb. 12):

- Die Häufigkeit des Auftretens von Objekt-Zerfall ist im Depot größer als in der Vitrine ($p = 0,00$).

Darüber hinaus konnte kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich der Häufigkeit des Auftretens von Objekt-Zerfall in der Vitrine und im offenen Ausstellungsraum ($p = 0,15$) sowie im Depot und im offenen Ausstellungsraum ($p = 0,16$) gefunden werden.

Friedman-Test: $p = 0,00$
Wilcoxon-Test:

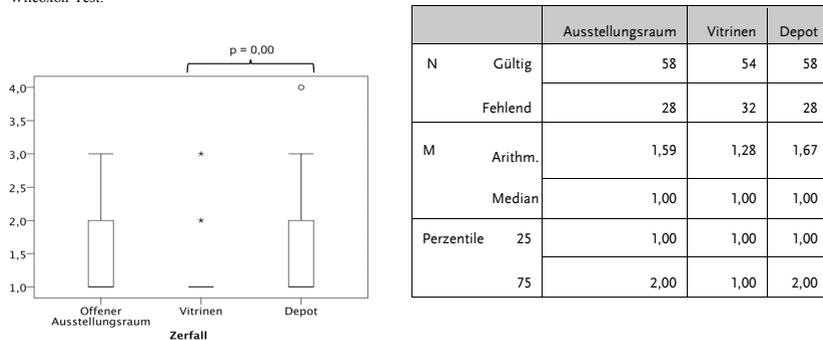


Abb. 12: Boxplot und Wertetabelle zum Vergleich der Auftretenshäufigkeit von Zerfall in den verschiedenen Expositionsmedien; unter Angabe relevanter Signifikanzwerte ($p < 0,05$).

(2b) Häufigkeitsverteilung von Ausblühungen, Farbveränderungen, Festigkeitsverlust und Zerfall in den untersuchten Expositionsmedium (Offener Ausstellungsraum/ Vitrine/ Depot)

Um einen möglichen Einfluss der betrachteten Expositionsmedien auf die untersuchten Schadensbilder näher zu analysieren, findet aufbauend auf Punkt 1b eine weiter Untergliederung statt. Untersucht wird im Folgenden, inwieweit sich die Auftretenshäufigkeit der untersuchten Schadensbilder Ausblühungen, Farbveränderungen, Zerfall und Festigkeitsverlust in den drei verschiedenen Expositionsmedien: Offener Ausstellungsraum (2b1), Vitrine (2b) und Depot (2b3) unterscheiden.

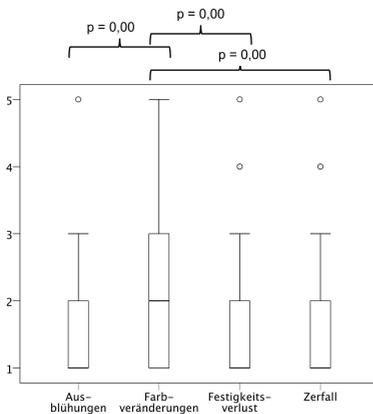
(2b1) Offener Ausstellungsraum

Es bestehen folgende signifikante Unterschiede in der Auftretenshäufigkeit der vier untersuchten Schadensbilder im offenen Ausstellungsraum (vgl. Abb. 13):

- Farbveränderungen treten häufiger auf als:
 - Festigkeitsverlust ($p = 0,00$)
 - Zerfall ($p = 0,00$)
 - Ausblühungen ($p = 0,00$)

Darüber hinaus konnte kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich der Häufigkeit des Auftretens von Schadensbildern (Festigkeitsverlust/Ausblühungen $p = 0,53$; Zerfall/Ausblühungen $p = 0,99$; Zerfall/Festigkeitsverlust $p = 0,56$) im offenen Ausstellungsraum gefunden werden.

Friedman-Test: $p = 0,00$
Wilcoxon-Test:



		Ausblühungen	Farbveränderungen	Festigkeitsverlust	Zerfall
N	Gültig	61	60	59	58
	Fehlend	25	26	27	28
M	Arithm.	1,61	2,27	1,64	1,59
	Median	1,00	2,00	1,00	1,00
Perzentile	25	1,00	1,25	1,00	1,00
	75	2,00	3,00	2,00	2,00

Abb. 13: Boxplot & Wertetabelle statistischer Maßzahlen zum Vergleich der Auftretenshäufigkeit untersuchter Schadensbilder im offenen Ausstellungsraum; unter Angabe relevanter Signifikanzwerte ($p < 0,05$).

(2b2) *Vitrine*

Es bestehen folgende signifikante Unterschiede in der Auftretenshäufigkeit der vier untersuchten Schadensbilder in der Vitrine (vgl. Abb. 14):

- Farbveränderungen treten häufiger auf als:
 - Ausblühungen ($p = 0,03$)
 - Festigkeitsverlust ($p = 0,00$)
 - Zerfall ($p = 0,00$)

Darüber hinaus konnte kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich der Häufigkeit des Auftretens von Schadensbildern (Festigkeitsverlust/Ausblühungen $p = 0,15$; Zerfall/Ausblühungen $p = 0,10$; Zerfall/Festigkeitsverlust $p = 0,32$) in der Vitrine gefunden werden.

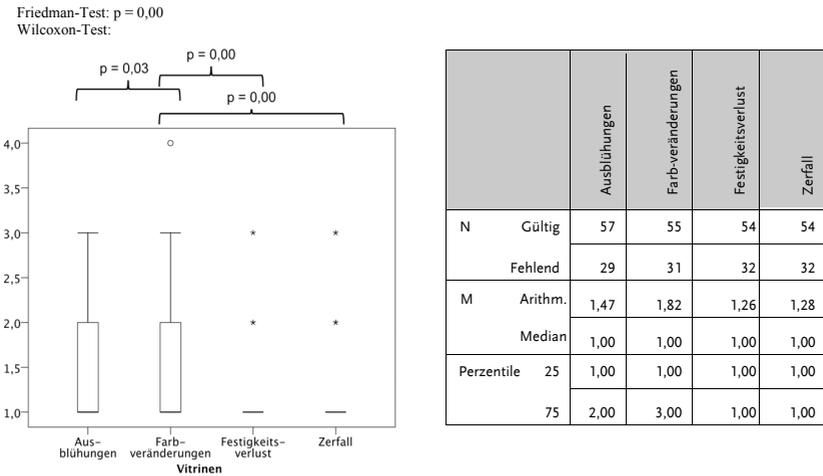


Abb. 14: Boxplot & Wertetabelle zum Vergleich statistischer Maßzahlen der Auftretenshäufigkeit untersuchter Schadensbilder in der Vitrine; unter Angabe relevanter Signifikanzwerte ($p < 0,05$).

(3b3) *Depot*

Der Friedman-Test zeigt keinen signifikanten Wert ($p = 0,20$); demnach liegt kein statistisch signifikanter Unterschied in der Auftretenshäufigkeit der vier untersuchten Schadensbilder im Depot vor.

Resümee

In den vorangegangenen Analysen wurde untersucht, ob es hinsichtlich der Auftretenshäufigkeit verschiedener Schadensbilder allgemein (1a), sowie in Abhängigkeit von der Lagerung bzw. Ausstellung in verschiedenen Expositionsmedien (1b) und von Schadensbildern (2a1-4), sowie Expositionsmedien und Schadensbildern (2b1-3) Unterschiede gibt.

Hinsichtlich der Schadensbilder Ausblühungen (1), Farbveränderungen (2), Zerfall (3) und Festigkeitsverlust (4) lassen sich folgende Ergebnisse festhalten:

- Unabhängig vom Expositionsmedium sind Farbveränderungen das statistisch am häufigsten vorkommende Phänomen; Ausblühungen, Zerfall und Festigkeitsverlust unterscheiden sich statistisch nicht signifikant voneinander.
- Unabhängig von der Art des Schadensbilds³⁴ zeigen Objekte, die in Vitrinen gelagert werden, statistisch seltener Schäden als Objekte im offenen Ausstellungsraum oder im Depot; Objekte im Depot oder im offenen Ausstellungsraum unterscheiden sich statistisch nicht signifikant.

Eine Betrachtung der vier Schadensbilder zeigt bezüglich der verwendeten Expositionsmedien folgende Ergebnisse:

- Ausblühungen treten statistisch häufiger an Objekten im Depot auf als an Objekten im offenen Ausstellungsraum und in der Vitrine.
- Darüber hinaus konnte kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich der Auftretenshäufigkeit von Ausblühungen in der Vitrine und dem offenen Ausstellungsraum gefunden werden.
- Farbveränderungen treten statistisch häufiger an Objekten im offenen Ausstellungsraum auf als an Objekten in der Vitrine und im Depot.

³⁴ Bei dem betrachteten Merkmal handelt es sich um die Gruppenvariable „Schadensbilder“, die dem arithmetischen Mittel der vier Werte zu Ausblühungen, Farbveränderungen, Festigkeitsverlust und Zerfall entspricht.

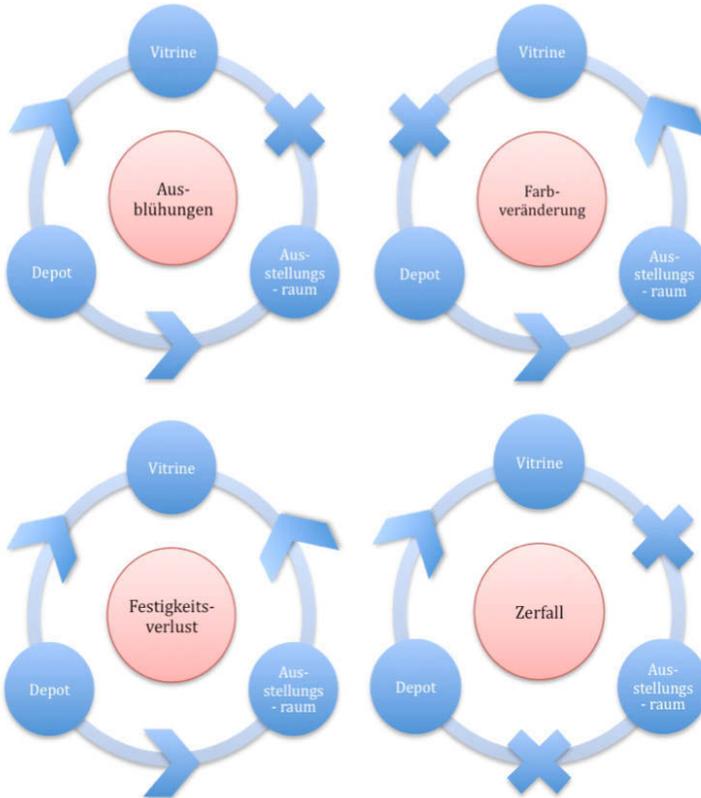
- Darüber hinaus konnte kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich der Auftretenshäufigkeit von Farbveränderungen in der Vitrine und im Depot festgestellt werden.
- Festigkeitsverlust tritt statistisch häufiger an Objekten im Depot, als im offenen Ausstellungsraum und häufiger im offenen Ausstellungsraum als in der Vitrine auf (Depot > offener Ausstellungsraum > Vitrine).
- Zerfall tritt statistisch häufiger an Objekten im Depot als an Objekten in Vitrinen auf.
- Darüber hinaus konnte kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich der Häufigkeit des Auftretens von Objekt-Zerfall in der Vitrine und im offenen Ausstellungsraum, sowie im Depot und im offenen Ausstellungsraum gefunden werden.

Eine detaillierte Betrachtung der Expositionsmedien im Hinblick auf die untersuchten Schadensbilder erbringt folgende Ergebnisse:

- Objekte, die im offenen Ausstellungsraum gelagert werden, zeigen statistisch
 - signifikant häufiger Farbveränderungen als Ausblühungen, Festigkeitsverlust und Zerfall;
 - keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Häufigkeit des Auftretens von Ausblühungen, Festigkeitsverlust und Zerfall.
- Objekte, die in der Vitrine gelagert werden, zeigen statistisch signifikant
 - häufiger Farbveränderungen als Ausblühungen, Festigkeitsverlust und Zerfall;
 - keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Häufigkeit des Auftretens von Ausblühungen, Festigkeitsverlust und Zerfall.
- Objekte, die im Depot gelagert werden, zeigen statistisch keinen signifikanten Unterschied in der Auftretenshäufigkeit der vier untersuchten Schadensbilder.

Die Analyse veranschaulicht, dass alle in musealen Einrichtungen untersuchten Schadensbilder grundsätzlich als sehr selten auftretend einzustufen sind (vgl. Abb. 7). Dennoch konnten statistisch signifikante Unterschiede in der Auftretenshäufigkeit nachgewiesen werden. Demnach sind Farbveränderungen das statistisch am häufigsten vorkommende Phänomen. Dies gilt sowohl unabhängig vom Expositionsmedium als auch im offenen Ausstellungsraum und in der Vitrine; im Depot gilt dies nicht.

Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass Objekte in Vitrinen statistisch signifikant weniger Schadensbilder aufweisen als in den anderen Expositionsmedien. Demnach trägt die Lagerung bzw. das Ausstellen von Objekten in Vitrinen trotz der bekannten Schadstoffproblematik zum erhöhten Schutz der Objekte bei.



Legende:

- x kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Häufigkeit des Auftretens
- < Häufigkeit des Auftretens ist signifikant kleiner
- > Häufigkeit des Auftretens ist signifikant größer

Abb. 15: Unterschied der Häufigkeit von Schadensbilder in den untersuchten Expositionsmedien.

3.3 Einflussfaktoren bei der Entstehung von Schadensbildern

Im vorliegenden Abschnitt 3.3 wird die wechselseitige Beeinflussung der Auftretenshäufigkeit von Schadensbildern mit einer Auswahl von möglichen Einflussfaktoren untersucht. Zur Analyse werden folgende Faktoren herangezogen: (a) Expositionsmedien (offener Ausstellungsraum/ Vitrine/ Depot), (b) Stellenwert der präventiven Konservierung, (c) Prüfung von

Ausstellungsmaterialien, (d) Systeme zur präventiven Konservierung, (e) Gesamtarbeitsleistung im Bereich der präventiven Konservierung.

Die Berechnungen erfolgen mit Hilfe des *Rangkorrelationskoeffizienten* nach Spearman (a;b) und des *Mann-Whitney U-Tests* (c;d;e).

Die mit Hilfe des *Rangkorrelationskoeffizienten* erfolgt jeweils in folgenden Schritten:

- Aufstellen der Nullhypothese, bei der angenommen wird, dass kein Zusammenhang zwischen den zwei betrachteten Merkmalen besteht.
- Charakterisierung der Stärke und der Richtung eines Zusammenhangs zweier Merkmale mit Hilfe des *Korrelationsmaß* r_{sp} .

Das Vorgehen beim *Mann-Whitney U-Tests* gliedert sich wie folgt:

- Aufstellen der Nullhypothese, bei der angenommen wird, dass beide Stichproben aus der gleichen Grundgesamtheit stammen.
- Berechnung und Vergleich der mittleren Ränge beider Stichproben mit Hilfe des *Mann-Whitney U-Tests*.

(a) Expositionsmedien (offener Ausstellungsraum/ Vitrine/ Depot)

In der vorhergehenden Analyse (vgl. Abschnitt 3.2) wurde die Auftretenshäufigkeit von Schadensbildern in den drei Expositionsmedien untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass Objekte, die in Vitrinen gelagert werden, statistisch seltener Schadensbilder aufweisen, als Objekte, die im offenen Ausstellungsraum oder im Depot ausgestellt bzw. gelagert werden. Aufbauend darauf wird nun untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der Schadenshäufigkeit³⁵ der verschiedenen Objektarten (Gemälde, Skulpturen etc.) und deren Lagerung bzw. Ausstellung in den untersuchten Expositionsmedien besteht. Hierzu wurden die Befragten gebeten auf einer fünfstufigen Skala von (1) ‚nie‘ bis (5) ‚ausschließlich‘ anzugeben, wie häufig die verschiedenen Objektarten in ihrer Sammlung im offenen Ausstellungsraum, in Vitrinen und im Depot gelagert bzw. ausgestellt werden.

³⁵ Bei dem betrachteten Merkmal handelt es sich um die Gruppenvariable „Schadensbilder“, die dem arithmetischen Mittel der vier Werte zu Ausblühungen, Farbveränderungen, Festigkeitsverlust und Zerfall entspricht.

Die Angaben wurden je nach Sammlungsbestand der Institutionen für folgende zwölf Objektarten bzw. -kategorien erhoben: Gemälde, Skulpturen, Möbel/Holzobjekte, Textilien, Papier, Leder, Foto/Film/Datenträger, Kunststoffe, Metall, Porzellan/Keramik, Glas/Glasmalerei und Stein.

Die Ergebnisse der Korrelationen sind jeweils für die verschiedenen Expositionsmedien zusammengefasst, wobei die Hypothesen vorangestellt werden. Die Berechnungen erfolgen mit Hilfe des *Rangkorrelationskoeffizienten* nach *Spearman*. Dabei werden ausschließlich signifikante Korrelationen aufgeführt.

Vitrinen

Es wird vermutet, dass eine negative Korrelation zwischen der Lagerungs- bzw. Ausstellungsdauer von Objekten in Vitrinen und der Schadenshäufigkeit besteht. Hieraus ergibt sich folgende Hypothese:

Hypothesen
H ₀ : Bei Museen, die Ihre Objekte (1-12) häufig in Vitrinen lagern, treten genauso häufig Schadensbilder auf, wie bei Museen, die ihre Objekte im offenen Ausstellungsraum oder im Depot lagern.
H ₁ : Bei Museen, die Ihre Objekte (1-12) häufig in Vitrinen lagern, treten seltener Schadensbilder auf, als bei Museen, die ihre Objekte im offenen Ausstellungsraum oder im Depot lagern.

Die Fehlerwahrscheinlichkeit für einen Alpha-Fehler liegt für alle untersuchten Variablen über dem maximal akzeptablen Signifikanzniveau von 5 %. Die formulierte These (H₀) kann demnach nicht zurückgewiesen werden. Da keine statistisch signifikanten Zusammenhänge gefunden wurden, lassen sich keine Aussagen hinsichtlich der Lagerungs- bzw. Ausstellungsdauer von Objekten in Vitrinen im Hinblick auf die Schadenshäufigkeit von Objekten ermitteln.

Um den Einfluss der Lagerungs- bzw. Ausstellungsbedingungen umfassend darstellen zu können, wird im Folgenden der Einfluss des offenen Ausstellungsraums und des Depots untersucht. Obwohl mit der vorangegangene Analyse kein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte,

wird im Umkehrschluss vermutet, dass eine positive Korrelation zwischen der Lagerungs- bzw. Ausstellungsdauer von Objekten im offenen Ausstellungsraum sowie im Depot und der Schadenshäufigkeit besteht.

Offener Ausstellungsraum

Die Analyse des Zusammenhangs Schadensbildern und der Lagerung der verschiedenen Objektkategorien im offenen Ausstellungsraum verweist auf eine hohe positive Korrelation für Textilien, Kunststoffe und Metalle:

Tab. 6: Ergebnisse der Korrelationsanalyse zur Lagerung im offenen Ausstellungsraum & Schadensbildern allgemein.

Offener Ausstellungsraum	Häufigkeit Schadensbilder	Textilien	Kunststoffe	Metall
Anzahl der Befragten: N	63	35	29	48
Korrelationskoeffizient r_{sp}		0,43	0,47	0,35
Fehlerwahrscheinlichkeit α-Fehler (%)		0,9	1,1	1,6

Es fand sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Schadenshäufigkeit und der Häufigkeit der Lagerung von Textilien ($r_{sp} = 0,43$; $p = 0,01$) Kunststoffen ($r_{sp} = 0,47$; $p = 0,11$) und Metallen ($r_{sp} = 0,35$; $p = 0,16$).

Die Höhe der Korrelationskoeffizienten von $r_{sp} > 0,3$ lässt auf einen vergleichsweise starken Zusammenhang schließen. Die positive Korrelation verweist auf steigende Schadenshäufigkeit bei der Lagerung im offenen Ausstellungsraum.

Aufbauend auf die bisherigen Berechnungen soll geklärt werden, welche der vier untersuchten Schadensbilder (Ausblühungen (i), Farbveränderungen (ii), Zerfall (iii) und Festigkeitsverlust (iv)) eine signifikante Korrelation mit der Lagerungsdauer von Textilien, Kunststoffen und Metallen aufweisen. Hierzu erfolgt eine Berechnung des *Rangkorrelationskoeffizienten* nach *Spearman*.

Die Berechnungen zeigen, dass sich nur für Ausblühungen (i) und Farbveränderungen (ii) signifikante Korrelationen im Hinblick auf die Lagerungsdauer im offenen Ausstellungsraum ergeben. Eine Übersicht der Berechnungen gibt die folgende Tabelle:

Tab. 7: Ergebnisse der Korrelationsanalyse zur Lagerung im offenen Ausstellungsraum & Schadensbildern.

Offener Ausstellungsraum	Häufigkeit Schadensbilder	Textilien	Kunststoffe	Metalle
Ausblühungen				
Anzahl der Befragten: N	61	35	29	48
Korrelationskoeffizient r_{sp}		0,35*	0,14	0,20
Fehlerwahrscheinlichkeit α-Fehler (%)		4,1	45,8	18,3
Farbveränderungen				
Anzahl der Befragten: N	60	35	28	46
Korrelationskoeffizient r_{sp}		0,28	0,60***	0,38**
Fehlerwahrscheinlichkeit α-Fehler (%)		10,8	0,1	0,9
Angaben zum Signifikanz-Niveau: *** hoch signifikant ** sehr signifikant * signifikant				

(i) Ausblühungen

Es fand sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Ausblühungen und der Häufigkeit der Lagerung von Textilien im offenen Ausstellungsraum ($r_{sp} = 0,35$; $p = 0,04$). Die Höhe der Korrelationskoeffizienten von $r_{sp} > 0,3$ lässt auf einen vergleichsweise starken Zusammenhang schließen. Für Kunststoffe und Metall lassen sich keine ähnlich gearteten signifikanten Zusammenhänge nachweisen (r_{sp} Kunststoff = 0,14; $p = 0,46$, r_{sp} Metall = 0,20; $p = 0,18$).

(ii) Farbveränderungen

Für Textilien ($p = 0,11$) liegt die Fehlerwahrscheinlichkeit für einen Alpha-Fehler über dem maximal akzeptablen Signifikanzniveau von 5%.

Ein signifikanter Zusammenhang konnte zwischen dem Auftreten von Farbveränderungen und der Häufigkeit der Lagerung von Kunststoffen ($r_{sp} = 0,60$; $p = 0,00$) und Metallen ($r_{sp} = 0,38$; $p = 0,01$) im offenen Ausstellungsraum gefunden werden. Die Höhe der Korrelationskoeffizienten von $r_{sp} > 0,3$ lässt auch hier einen vergleichsweise starken Zusammenhang vermuten.

Depot

Die Analyse des Zusammenhangs zwischen Schadensbildern und der Lagerung der verschiedenen Objektkategorien im offenen Ausstellungsraum verweist auf eine hohe positive Korrelation für Papier und Leder:

Tab. 8: Ergebnisse der Korrelationsanalyse zur Lagerung im Depot & Schadensbildern allgemein.

Depot	Häufigkeit Schadensbilder	Papier	Leder
Anzahl der Befragten: N	61	38	31
Korrelationskoeffizient r_{sp}		0,38	0,42
Fehlerwahrscheinlichkeit α-Fehler (%)		2,0	1,9

Es fand sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Schadenshäufigkeit und der Häufigkeit der Lagerung von Papier ($r_{sp} = 0,38$; $p = 0,02$) und Leder ($r_{sp} = 0,42$; $p = 0,2$) im Depot. Aus der Höhe der Korrelationskoeffizienten von $r_{sp} > 0,3$ ist ein vergleichsweise starker Zusammenhang abzuleiten. Auch hier verweist die positive Korrelation auf steigende Schadenshäufigkeit bei der Lagerung im Depot.

Aufbauend auf die bisherigen Berechnungen soll geklärt werden, welche der vier untersuchten Schadensbilder eine signifikante Korrelation mit der Lagerungsdauer von Textilien, Kunststoffen und Metallen im offenen Aus-

stellungsraum aufweisen. Hierzu erfolgt eine Berechnung des *Rangkorrelationskoeffizienten* nach *Spearman*.

Die Berechnungen zeigen, dass nur für Ausblühungen (i), Farbveränderungen (ii) und Festigkeitsverlust (iii) signifikante Korrelationen im Hinblick auf die Lagerungsdauer im Depot zeigen. Für Zerfall (iv) ließen sich kein ähnlich gearteten signifikanten Zusammenhänge nachweisen. Eine Übersicht der Berechnungen gibt die folgende Tabelle:

Tab. 9: Ergebnisse der Korrelationsanalyse zur Lagerung im Depot & Schadensbildern.

Schadensbilder im Depot	Häufigkeit Schadensbilder	Papier	Leder
Ausblühungen			
Anzahl der Befragten: N	61	38	31
Korrelationskoeffizient r_{sp}		0,41*	0,31
Fehlerwahrscheinlichkeit α-Fehler (%)		1,1	8,6
Farbveränderungen			
Anzahl der Befragten: N	58	37	30
Korrelationskoeffizient r_{sp}		0,40*	0,25
Fehlerwahrscheinlichkeit α-Fehler (%)		1,4	17,7
Festigkeitsverlust			
Anzahl der Befragten: N	57	35	29
Korrelationskoeffizient r_{sp}		0,20	0,37*
Fehlerwahrscheinlichkeit α-Fehler (%)		24,0	4,6
Angaben zum Signifikanzniveau: *** hoch signifikant ** sehr signifikant * signifikant			

(i) Ausblühungen

Es fand sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Ausblühungen und der Häufigkeit der Lagerung von Papier im Depot ($r_{sp} = 0,41$; $p = 0,01$). Der Korrelationskoeffizient von $r_{sp} > 0,3$ indiziert einen vergleichsweise starken Zusammenhang. Für Leder ließ sich kein ähnlich gearteter signifikanter Zusammenhang nachweisen ($r_{sp} \text{ Leder} = 0,31$; $p = 0,09$).

(ii) Farbveränderungen

Ein statistisch signifikanter Zusammenhang konnte zwischen dem Auftreten von Farbveränderungen und der Häufigkeit der Lagerung von Papier ($r_{sp} = 0,40$; $p = 0,01$) im offenen Depot ermittelt werden. Die Höhe der Korrelationskoeffizienten von $r_{sp} > 0,3$ ergibt einen vergleichsweise starken Zusammenhang. Für Leder ($r_{sp} = 0,25$; $p = 0,18$) ist kein ähnlich gearteter statistisch signifikanter Zusammenhang zu belegen.

(iii) Festigkeitsverlust

Es fand sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Festigkeitsverlust und der Häufigkeit der Lagerung von Leder im Depot ($r_{sp} = 0,38$; $p = 0,05$). Der Korrelationskoeffizient von $r_{sp} > 0,3$ lässt auf einen vergleichsweise starken Zusammenhang schließen. Für Papier ließ sich kein ähnlich gearteter signifikanter Zusammenhang nachweisen ($r_{sp} = 0,2$; $p = 0,24$).

Resümee

Aufgrund der bisherigen Korrelationsanalysen können folgende Ergebnisse zusammengefasst werden:

- Bei der Lagerung in Vitrinen besteht kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Lagerungs- bzw. Ausstellungshäufigkeit der untersuchten Objektkategorien und deren Schadenshäufigkeit.
- Bei der Lagerung im offenen Ausstellungsraum und im Depot besteht dagegen ein statistisch vergleichsweise starker Zusammenhang zwischen der Art der Lagerung und der Schadenshäufigkeit:
 - Bei häufiger Lagerung im offenen Ausstellungsraum zeigen Textilien, Kunststoffe und Metalle eine statistisch höhere Schadenshäufigkeit:
 - Textilien zeigen signifikant häufiger Ausblühungen;
 - Kunststoffe und Metalle zeigen signifikant häufiger Farbveränderungen.
 - Bei häufiger Lagerung im Depot zeigen Papier und Leder eine statistisch höhere Schadenshäufigkeit:
 - Papier zeigt signifikant häufiger Ausblühungen und Farbveränderungen;
 - Leder zeigt signifikant häufiger Festigkeitsverlust.

Obwohl in Kapitel 3.2 gezeigt werden konnte, dass Objekte, die in Vitrinen gelagert werden, statistisch seltener Schadensbilder aufweisen als Objekte, die im offenen Ausstellungsraum oder im Depot ausgestellt bzw. gelagert werden, konnte mit Hilfe der Korrelationsanalyse keine weitere Aussage hinsichtlich der Lagerungs- bzw. Ausstellungsdauer von Objekten in Vitrinen im Hinblick auf die Schadenshäufigkeit von Objekten ermittelt werden.

Ein Grund für dieses Ergebnis könnte sein, dass die Entstehung von Schadensbildern ein multikausales Problem ist, welches sich mit bivariaten Korrelationen nur bedingt abbilden lässt. Grundsätzlich ist zu bedenken, dass sich die verschiedenen Einflussfaktoren nicht nur verstärken, sondern auch gegenseitig aufheben können.

(b) Stellenwert der präventiven Konservierung

Untersucht wird im Folgenden, ob ein Zusammenhang zwischen der Schadenshäufigkeit³⁶ und dem Stellenwert der präventiven Konservierung in den untersuchten Instituten besteht.

Die Grundlage bilden Angaben der Befragten, mit denen der Stellenwert der präventiven Konservierung in den musealen Einrichtungen ermittelt wurde. Dabei wurden die Befragten gebeten, auf einer fünfstufigen Skala von „sehr hoch“ (1) bis „sehr gering“ (5) anzugeben, welche Beachtung die präventive Konservierung im eigenen Institut findet (vgl. Abb. 16). Grundsätzlich ist auch hier zu beachten, dass die Aussagen lediglich eine Bedeutung im Kontext haben und somit nur im Bezug auf die gesamten Aussagen interpretierbar sind.

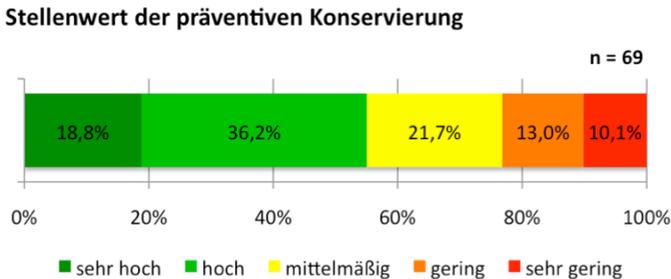


Abb. 16: Häufigkeitsverteilung zur Beachtung der präventiven Konservierung in den befragten Instituten.

Unter der Annahme, dass die Beachtung der Prinzipien der präventiven Konservierung zur Schadensvermeidung führt, müsste die Schadenshäufigkeit negativ mit dem Stellenwert der präventiven Konservierung korrelieren. Als zu verwerfende These wird daher formuliert, dass keine Korrelation zwischen der Schadenshäufigkeit und dem Stellenwert der präventiven Konservierung besteht:

³⁶ Bei dem betrachteten Merkmal handelt es sich um die Gruppenvariable „Schadensbilder“, die dem arithmetischen Mittel der vier Werte zu Ausblühungen, Farbveränderungen, Festigkeitsverlust und Zerfall entspricht.

Hypothesen
H ₀ : Bei Museen, die der präventiven Konservierung einen sehr hohen Stellenwert zuweisen, treten genauso häufig Schadensbilder auf, wie bei Museen die der präventiven Konservierung einen sehr geringen Stellenwert geben.
H ₁ : Bei Museen die der präventiven Konservierung einen sehr hohen Stellenwert zuweisen, treten seltener Schadensbilder auf, als bei Museen die der präventiven Konservierung einen sehr geringen Stellenwert geben.

Die Ergebnisse des *Rangkorrelationskoeffizienten* nach *Spearman* finden sich in der nachfolgenden Tabelle:

Tab. 10: Ergebnisse der Korrelationsanalyse zum Stellenwert der Präventiven Konservierung α der Schadenshäufigkeit.

	Häufigkeit Schadensbilder	Beachtung Präventive Konservierung
Anzahl der Befragten: N	64	69
Korrelationskoeffizient r_{sp}		0,07
Fehlerwahrscheinlichkeit α-Fehler (%)		57,1

Die Berechnung des Korrelationskoeffizienten r_{sp} zeigt keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Schadenshäufigkeit und dem Grad der Beachtung der präventiven Konservierung. Die formulierte These (H₀) kann demnach nicht zurückgewiesen werden. Da keine statistisch signifikanten Zusammenhänge gefunden wurden, lassen sich keine Aussagen hinsichtlich des Stellenwertes der präventiven Konservierung im Hinblick auf die Schadenshäufigkeit von Objekten ermitteln.

Die Gründe hierfür können vielfältig sein: Grundsätzlich ist auch hier zu bedenken, dass die Aussagen lediglich eine Bedeutung im Kontext haben und somit nur schwer interpretierbar sind. Denkbar ist aber auch, dass eine gesteigerte Beachtung der präventiven Konservierung nicht bei allen Befragten mit entsprechenden Maßnahmen verbunden ist. Darüber hinaus ist zu beachten, dass es eine Vielzahl von Maßnahmen zur präventiven Konservierung gibt, die sehr verschiedene Wirkungsgrade zeigen können.

(c) Prüfung von Ausstellungsmaterialien

Im Folgenden wird untersucht, ob es in den befragten Museen einen Zusammenhang zwischen der Schadenshäufigkeit und der Prüfung von Ausstellungsmaterialien gibt. Die Ergebnisse der Häufigkeitsverteilung zeigen, dass die Hälfte (50,7%) der Museen Ausstellungsmaterialien vor der Verwendung prüfen (vgl. Abb. 19).

Die Berechnungen erfolgen mit Hilfe des *Mann-Whitney-U-Tests*, wobei ausschließlich signifikante Ergebnisse weiter ausgeführt werden.

Allgemein bekannt ist, dass die Prüfung von Ausstellungsmaterialien vor deren Verwendung zur Reduzierung des Fremdstoffeintrags in Museen beiträgt und damit zur Verbesserung der Umgebungsbedingungen im Sinne der präventiven Konservierung führt. Hieraus ergibt sich folgende Hypothese:

Hypothesen
H ₀ : Bei Museen, die Ausstellungsmaterialien prüfen, treten genauso häufig Schadensbilder auf, wie bei Museen die ihre Materialien nicht prüfen.
H ₁ : Bei Museen, die Ausstellungsmaterialien prüfen, treten seltener Schadensbilder auf, als bei Museen die ihre Materialien nicht prüfen.

Der *Mann-Whitney-U-Test* zeigt keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Auftretenshäufigkeit von Schadensbildern im offenen Ausstellungsraum, Vitrine oder Depot, zwischen Einrichtungen die ihre Ausstel-

lungsmaterialien vor der Verwendung prüfen und Einrichtungen die keine Prüfungen durchführen.

Die Fehlerwahrscheinlichkeit für einen Alpha-Fehler liegt für alle untersuchten Variablen über dem maximal akzeptablen Signifikanzniveau von 5%. Demnach kann die formulierte These (H_0) nicht zurückgewiesen werden.

Entgegen der geäußerten Annahme besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Schadenshäufigkeit und der Prüfung von Ausstellungsmaterialien vor ihrer Verwendung im Museum. Eine mögliche Erklärung bietet ein detaillierter Blick in die Ergebnisse der Studie: Auffallend sind die Unterschiede hinsichtlich der untersuchten Verbindungen und der verwendeten Methoden. So wird die Recherche des technischen Merkblattes bzw. des Sicherheitsdatenblattes als häufigste Methode (67,6%) zur Prüfung von Materialien angegeben. Die Daten der Studie zeigen zudem, dass einzelne Museen ausschließlich über die Sicherheitsdatenblätter eine Prüfung auf Inhaltsstoffe wie Formaldehyd und Weichmacher vornehmen. Materialprüfungen mit Hilfe standardisierter Methoden, die in einem akkreditierten Labor erfolgen, werden nur von 16,2% der prüfenden Museen genannt (vgl. Abschnitt 3.4.1.)

Da über 80% der prüfenden Museen nicht auf standardisierte Methoden zurückgreifen, ist der Einfluss der Materialprüfungen im Hinblick auf eine Reduzierung des Schädigungspotenzials nicht vergleichbar.

(d) Systeme zur präventiven Konservierung

Im Folgenden wird analysiert, ob ein Zusammenhang zwischen der Schadenshäufigkeit und dem Einsatz von Maßnahmen bzw. Systemen zur präventiven Konservierung in den untersuchten Instituten besteht. Zu untersuchen ist, ob die Verwendung von Luftfiltersystemen (i), Schadstoffabsorbern (ii) oder UV-Schutz (iii) als Präventivmaßnahme einen Einfluss auf die Schadenshäufigkeit hat.

Hierzu wurden die befragten Institutionen gebeten, ob Sie die oben aufgeführten Systeme verwenden. Daraus ergaben sich folgende Häufigkeitsverteilungen:

Systeme zur präventiven Konservierung

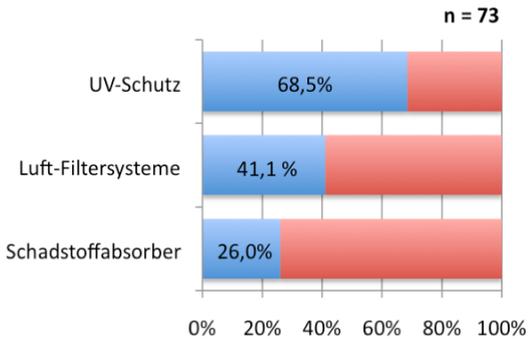


Abb. 17: Häufigkeitsverteilung zur eingesetzten Systemen der präventiven Konservierung in den befragten Instituten.

Zur weiteren Analyse wurden folgende Variablen und Gruppenvariablen herangezogen:

- Schadensbilder gesamt
- Schadensbilder gesamt in den verschiedenen Expositionsmedien
- Verschiedene Schadensbilder in den gesamten Expositionsmedien
- Verschiedene Schadensbilder in den verschiedenen Expositionsmedien

Eine Übersicht aller Variablen gibt die folgende Tabelle:

Tab. 11: Übersicht der verwendeten Variablen und Gruppenvariablen zur Schadenshäufigkeit in Abhängigkeit der Fragestellung.

Schadensbilder Expositionsmedien	Ausblühungen	Farbveränderungen	Zerfall	Festigkeitsverlust	Gesamt
Offener Ausstellungsraum	i iii	i iii	i iii	i iii	i iii
Vitrine	i ii iii	i ii iii	i ii iii	i ii iii	i ii iii
Depot	i iii	i iii	i iii	i iii	i iii
 Gesamt	i iii	i iii	i iii	i iii	i iii

(i) Luftfiltersysteme

Im Museum werden Luftfiltersysteme zur Reduzierung von Schadstoff- und Partikelbelastungen verwendet. Auf der einen Seite werden sie eingesetzt, um die durch Ausstellungsmaterialien, Besucher und Sammlungsgüter emittierten Schadstoffe abzuführen, andererseits um die Außenluft vor dem Einblasen von Schadstoffen und Partikeln zu reinigen. Es ist zu vermuten, dass der Einsatz von Luftfiltersystemen zu einer Reduzierung des Auftretens von Schadensbildern führt, da diese durch Schadstoffe ausgelöst oder beschleunigt werden können. Demnach wurden folgende Hypothesen formuliert:

Hypothesen

H₀: Bei Museen, die Luftfiltersysteme einsetzen, treten genauso häufig Schadensbilder auf wie bei Museen ohne Luftfiltersysteme.

H₁: Bei Museen, die Luftfiltersysteme einsetzen, treten seltener Schadensbilder auf als bei Museen ohne Luftfiltersysteme.

Der *Mann-Whitney-U-Test* zeigt, dass es zwischen den beiden untersuchten Gruppen ein signifikanter Unterschied in der Auftretenshäufigkeit von Farbveränderungen ($p = 0,00$), Zerfall ($p = 0,00$) und Festigkeitsverlust ($p = 0,00$) im Depot gibt. Gemäß der Berechnungen haben Einrichtungen, die Luftfiltersysteme verwenden, einen niedrigeren *Mittleren Rang* als Einrichtungen, die keine Luftfiltersysteme einsetzen; demnach treten die entsprechenden Schadensbilder im Depot seltener auf.

Darüber hinaus konnte kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich der Auftretenshäufigkeit der untersuchten Schadensbilder im offenen Ausstellungsraum (Ausblühungen $p = 0,93$; Farbveränderungen $p = 0,47$; Festigkeitsverlust $p = 0,06$; Zerfall $p = 0,13$), sowie in Vitrinen (Ausblühungen $p = 0,98$; Farbveränderungen $p = 0,06$; Festigkeitsverlust $p = 0,10$; Zerfall $p = 0,34$) oder im Depot (Ausblühungen $p = 0,07$) gefunden werden.

Tab. 12: Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests zu Luftfiltersystemen & Schadhäufigkeit im Depot.

Schadensbilder im Depot	Luftfilter-Systeme	Mittlerer Rang	Summe	
Farbveränderungen				
Anzahl der Befragten: N	57			
	nicht genannt 28	34,64	969,50	
	genannt 29	23,57	683,50	
Man-Whitney-U				248,5
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)				0,00
Festigkeitsverlust				
Anzahl der Befragten: N	56			
	nicht genannt 29	34,41	998,00	
	genannt 27	22,15	598,00	
Man-Whitney-U				220,0
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)				0,00
Zerfall				
Anzahl der Befragten: N	57			
	nicht genannt 29	35,05	1016,50	
	genannt 28	22,73	636,50	
Man-Whitney-U				230,5
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)				0,00

Ein möglicher Grund für dieses Ergebnis könnte sein, dass unterschiedliche Umgebungsbedingungen der Museen (urban/ ländlich) zu ungleichen Grundvoraussetzungen im Bezug auf die Schadstoffbelastung führen. Bekannt ist, dass in urbanen Regionen aufgrund des starken Verkehrsaufkommens wie auch der Ansiedlung von Industrieproduktionen erhöhte Konzentrationen anorganischer Schadgase vorzufinden sind.

(ii) Schadstoffabsorber

Wie Luftfiltersysteme werden auch Schadstoffabsorber zur Minimierung der Schadstoffkonzentration eingesetzt, um schadstoffinduzierte Schadensprozesse zu unterbinden. In Museen finden Schadstoffabsorber vor allem in kleinvolumigen Räumen, also bei der Ausstellung oder Lagerung in Vitrinen oder Schränken und Schachteln im Depot Verwendung. Es ist zu vermuten, dass der Einsatz von Schadstoffabsorbern daher zu einer Reduzierung des Auftretens der hier besprochenen Schadensbildern in Vitrinen und im Depot führt. Daraus ergeben sich folgende Hypothesen:

Hypothesen
H ₀ : Bei Museen, die Schadstoffabsorber einsetzen, treten genauso häufig Schadensbilder auf wie bei Museen ohne Schadstoffabsorber.
H ₁ : Bei Museen, die Schadstoffabsorber einsetzen, treten seltener Schadensbilder auf als bei Museen ohne Schadstoffabsorber.

Der *Mann-Whitney-U-Test* zeigt keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Häufigkeit von Schadensbildern in der Vitrine (Ausblühungen $p = 0,95$; Farbveränderungen $p = 0,72$; Festigkeitsverlust $p = 0,84$; Zerfall $p = 0,84$) oder im Depot (Ausblühungen $p = 0,45$; Farbveränderungen $p = 0,88$; Festigkeitsverlust $p = 0,27$; Zerfall $p = 0,50$) zwischen Einrichtungen, die Schadstoffabsorber einsetzen und Einrichtungen, die keine Schadstoffabsorber verwenden. Demnach kann die formulierte These (H₀) nicht zurückgewiesen werden. Da keine statistisch signifikanten Zusammenhänge gefunden wurden, lassen sich keine Aussagen zur Schadenshäufigkeit von Objekten im Hinblick auf die Schadstoffabsorber ermitteln.

Ein Grund für dieses Ergebnis könnte der Umstand sein, dass die Verwendung von Schadstoffabsorbern nicht mit der Annahme gleichgesetzt werden kann, dass einer Reduzierung von Fremdstoffen stattfindet. Der nicht fachgerechte oder falsche Einbau von Schadstoffabsorbern sowie mangelnde Wartung kann zu einer erheblichen Verminderung des Wirkungsgrades führen.

(iii) UV-Schutz

Ultraviolette (UV) Strahlung kann zu erheblichen Schäden an Kunst- und Kulturgut führen. Neben Farbveränderungen (z.B. Ausbleichen von Farbstoffen) kann es durch den hohen Energieeintrag der UV-Strahlen in die Objekte auch zu beschleunigten Alterungsprozessen kommen die zu Festigkeitsverlust und Zerfall führen können. Demnach ist zu vermuten, dass der Einsatz von UV-Schutzsystemen zu einer Reduzierung des Auftretens von Schadensbildern führt. Daraus ergeben sich folgende Hypothesen:

Hypothesen

H₀: Bei Museen, die UV-Schutzsysteme einsetzen, treten genauso häufig Schadensbilder auf wie bei Museen die keine UV-Schutz-Systeme einsetzen.

H₁: Bei Museen, die UV-Schutzsysteme einsetzen, treten seltener Schadensbilder auf als bei Museen die keine UV-Schutz-Systeme einsetzen.

Die Analyse mittels des *Mann-Whitney-U-Tests* zeigt, dass es zwischen den beiden untersuchten Gruppen einen statistisch signifikanten Unterschied in der Auftretenshäufigkeit von Farbveränderungen im offenen Ausstellungsraum ($p = 0,00$) gibt. Der Vergleich der *Mittleren Ränge* zeigt auf, dass Einrichtungen, die UV-Schutzsysteme einsetzen, einen niedrigeren Mittleren Rang aufweisen als Einrichtungen, die keine UV-Schutzsysteme verwenden; demnach treten Farbveränderungen im offenen Ausstellungsraum statistisch seltener auf.

Tab. 13: Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests zu UV-Schutzsystemen & Farbveränderungen im offenen Ausstellungsraum.

Farbveränderungen im offenen Ausstellungsraum	UV-Schutz	Mittlerer Rang	Summe	
Anzahl der Befragten: N	63			
	nicht genannt 15	41,80	627,00	
	genannt 44	25,98	1143,00	
Man-Whitney-U			135,00	
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)			0,00	

Darüber hinaus konnte kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich der Auftretenshäufigkeit der untersuchten Schadensbilder im offenen Ausstellungsraum (Ausblühungen $p = 0,90$; Festigkeitsverlust $p = 0,97$; Zerfall $p = 0,67$), in Vitrinen (Ausblühungen $p = 0,88$; Farbveränderungen $p = 0,54$; Festigkeitsverlust $p = 0,14$; Zerfall $p = 0,17$) oder im Depot (Ausblühungen $p = 0,93$; Farbveränderungen $p = 0,28$; Festigkeitsverlust $p = 0,45$; Zerfall $p = 0,20$) gefunden werden.

Aufgrund der vorangegangenen Untersuchungen können folgende Einflussfaktoren zusammengefasst werden:

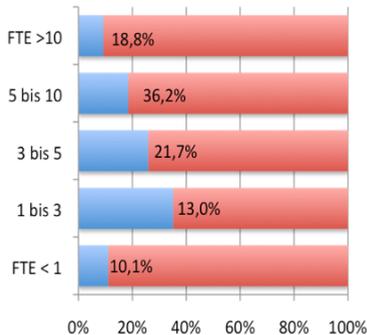
- Bei Museen, die Luftfiltersysteme einsetzen, treten im Depot statistisch seltener Farbveränderungen, Zerfall und Festigkeitsverlust auf.
- Die Verwendung von Schadstoffabsorbern hat keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Schadenshäufigkeit in Vitrinen und im Depot.
- In Museen, die UV-Schutzsysteme verwenden, treten im offenen Ausstellungsraum statistisch seltener Farbveränderungen auf.

(e) Gesamtarbeitsleistung in der präventiven Konservierung

Im Folgenden wird untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der Schadenshäufigkeit³⁷ und dem personellen Einsatz im Bereich der präventiven Konservierung besteht. Hierzu wurden die Befragten gebeten, die Gesamtarbeitsleistung (Full Time Equivalent (FTE)) aller Voll- und Teilzeitkräfte (Restauratoren, Haustechniker, Ingenieure, Sonstige) anzugeben, die sich mit der präventiven Konservierung beschäftigen (vgl. Abb. 18).

Gesamtarbeitsleistung (FTE) im Bereich der präventiven Konservierung

n = 54



		Gesamtarbeitsleistung (FTE)
N	Gültig	54
	Fehlend	32
M	Arithm.	4,2
	Minimum	0,2
	Maximum	15,0

Abb. 18: Häufigkeitsverteilung zur Gesamtarbeitsleistung im Bereich der präventiven Konservierung.

Die Berechnungen des Zusammenhangs erfolgen mit Hilfe des *Rangkorrelationskoeffizienten* nach *Spearman*; dabei werden ausschließlich signifikante Korrelationen aufgeführt.

Da sich die Arbeitsleistung auf die präventive Konservierung der Sammlungen konzentriert, wird vermutet, dass eine negative Korrelation zwischen der FTE und der Schadenshäufigkeit besteht. Hieraus ergeben sich folgende Hypothesen:

³⁷ Bei dem betrachteten Merkmal handelt es sich um die Gruppenvariable „Schadensbilder“, die dem arithmetischen Mittel der vier Werte zu Ausblühungen, Farbveränderungen, Festigkeitsverlust und Zerfall entspricht.

Hypothesen

H₀: Bei Museen, die viel Arbeitsleistung in den Bereich der präventiven Konservierung investieren, treten genauso häufig Schadensbilder auf wie bei Museen, die wenig Arbeitsleistung in diesen Bereich investieren.

H₁: Bei Museen, die viel Arbeitsleistung in den Bereich der präventiven Konservierung investieren, treten seltener Schadensbilder auf als bei Museen, die wenig Arbeitsleistung in diesen Bereich investieren.

Die Fehlerwahrscheinlichkeit für einen Alpha-Fehler liegt für alle untersuchten Variablen über dem maximal akzeptablen Signifikanzniveau von 5%. Die formulierte These (H₀) kann demnach nicht zurückgewiesen werden. Da keine statistisch signifikanten Zusammenhänge gefunden wurden, lassen sich keine Aussagen hinsichtlich der Arbeitsleistung im Bereich der präventiven Konservierung im Hinblick auf die Schadenshäufigkeit bei Objekten ermitteln.

Resümee

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen konnten folgende Zusammenhänge zwischen der Schadenshäufigkeit und den möglichen Einflussfaktoren identifiziert werden:

- Bei der Lagerung im offenen Ausstellungsraum und im Depot besteht statistisch ein vergleichsweise starker Zusammenhang zwischen der Art der Lagerung und der Schadenshäufigkeit:
 - Bei häufiger Lagerung im offenen Ausstellungsraum zeigen Textilien, Kunststoffe und Metalle eine statistisch höhere Schadenshäufigkeit:
 - Textilien zeigen signifikant häufiger Ausblühungen;
 - Kunststoffe und Metalle zeigen signifikant häufiger Farbveränderungen.
 - Bei häufiger Lagerung im Depot zeigen Papier und Leder eine statistisch höhere Schadenshäufigkeit:
 - Papier zeigt signifikant häufiger Ausblühungen und Farbveränderungen;
 - Leder zeigt signifikant häufiger Festigkeitsverlust.
 - Darüber hinaus konnte für die Lagerungs- bzw. Ausstellungshäufigkeit in Vitrinen kein ähnlich gearteter Zusammenhang identifiziert werden.
- Es konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Schadenshäufigkeit und dem Stellenwert der präventiven Konservierung in den befragten Institutionen gefunden werden.
- Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied in der Schadenshäufigkeit zwischen Einrichtungen, die Materialprüfungen durchführen, und Einrichtungen, die keine Materialprüfungen durchführen, gefunden werden.
- Einrichtungen, die Systeme zur präventiven Konservierung verwenden, zeigen in einigen Expositionsmedien statistisch signifikant seltener Schadensbilder:

- Bei Museen, die Luftfiltersysteme einsetzen, treten im Depot statistisch seltener Farbveränderungen, Zerfall und Festigkeitsverlust auf.
 - In Museen, die UV-Schutzsysteme verwenden, treten im offenen Ausstellungsraum statistisch seltener Farbveränderungen auf.
 - Darüber hinaus konnte in Vitrinen und in Depots kein ähnlich gearteter Zusammenhang für die Verwendung von Schadstoffabsorbentien und die Schadenshäufigkeit identifiziert werden.
- Es konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Schadenshäufigkeit und der Gesamtarbeitsleistung im Bereich der präventiven Konservierung gefunden werden.

3.4 Prüfung und Auswahl von Ausstellungsmaterialien

3.4.1 Verwendete Methoden, Verfahren und untersuchte Verbindungen

Bisherige Ausführungen zu Schadstoffmessungen beschäftigten sich hauptsächlich mit Luftschadstoffen (vgl. Kapitel 3.1.1). Im Folgenden liegt der Schwerpunkt der Fragestellung auf der Prüfung von Ausstellungsmaterialien, da diese als potenzielle Emissionsquellen zahlreicher Fremdstoffe eine wesentliche Rolle bei irreversiblen Schadensprozessen spielen.

Mit Hilfe von Häufigkeitsverteilungen wurde analysiert, inwieweit Ausstellungsmaterialien vor ihrem Gebrauch im Museum auf ihre Museumstauglichkeit hin untersucht werden (vgl. Abb. 4). Von Interesse war insbesondere, ob und mit welchen Methoden geprüft wird. Das Resultat der Befragung ergab einen Anteil von 50,7% von Einrichtungen, die entsprechende Tests durchführen, bzw. durchführen lassen. Dabei konnten keine signifikanten Unterschiede innerhalb der verschiedenen Museumskategorien³⁸ festgestellt werden.

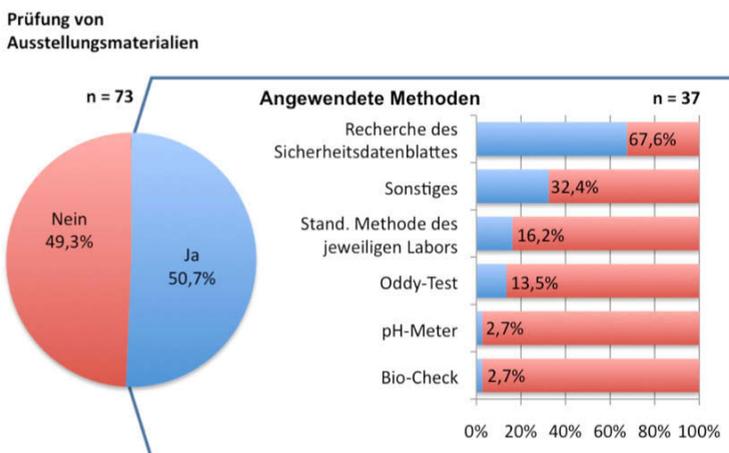


Abb. 19: Häufigkeit der verwendeten Methoden bei der Prüfung von Ausstellungsmaterialien.

³⁸ Nähere Erläuterungen zur Einteilung der Museumskategorien siehe Tab. 2, S. 17.

Auffallend sind die Unterschiede hinsichtlich der verwendeten Methoden. So wird die Recherche des technischen Merkblattes bzw. der Sicherheitsdatenblätter mit 67,6% als häufigste Methode zur Prüfung von Materialien angegeben (vgl. Abb. 4). Ein Blick in die Auswertung zeigt, dass einzelne Museen ausschließlich über Sicherheitsdatenblätter eine Prüfung auf Inhaltsstoffe wie Formaldehyd und Weichmacher vornehmen. Diese Form der Beurteilung kann eventuell den hohen Anteil an tatsächlich ergriffenen Maßnahmen erklären (siehe Abb. 3), da die Hersteller von Produkten in Sicherheitsdatenblättern nur Inhaltsstoffe zwischen 1 und 0,1 Gewichtsprozent angeben³⁹, Produktgeheimnisse nicht preisgeben müssen und so höchst bedenkliche Konzentrationsbereiche von schädigenden Emittenten erreicht werden können.⁴⁰

Materialprüfungen mit Hilfe standardisierter Methoden, die in einem akkreditierten Labor erfolgen, werden nur von 16,2% der prüfenden Museen genannt. Anzumerken ist, dass sich ein Unterschied innerhalb der Museumskategorien in Bezug auf die Methodenwahl zeigt. Nur in den Kategorien ‚Historische und Archäologische Museen‘ und ‚Museumskomplexe‘ werden überhaupt standardisierte Prüfmethode eingesetzt, dort jedoch in 60% der betrachteten Einrichtungen.

Die Untersuchung von Ausstellungsmaterialien mit dem Oddy-Test, der in musealen Einrichtungen als die bekannteste Methode zur Prüfung des Korrosionspotenzials gilt,⁴¹ wird lediglich bei 13,2% der Museen durchgeführt. Die Verwendung von pH-Metern oder genormten Fertigprodukten (beispielsweise dem „Bio-Check“ der Firma Dräger⁴²) wurde nur vereinzelt genannt. Darüber hinaus wurden in der Rubrik „Sonstige Methoden“, die mit 32,4% erstaunlich stark vertreten ist, auch Brand- und Funktionstests oder allgemeine Angaben wie Feldversuche und die Prüfung mittels Augenschein angegeben. 16,2% der Museen, die Ausstellungsmaterialien prüfen, geben keine genauere Spezifikation der Methoden an.

³⁹ Vgl. BAuA 2007, S. 17

⁴⁰ Sicherheitsdatenblätter ersetzen keine Schadstoffuntersuchung; sie geben Aufschluss über die Identität des Produktes, auftretende Gefährdungen, sichere Handhabung, Maßnahmen zur Prävention und Gegenmaßnahmen im Gefahrenfall (BAuA 2007).

⁴¹ Vgl. Schieweck/Salthammer 2006, S. 76f.

⁴² Der Dräger-Bio-Check F (Drägerwerk AG & Co. KGaA) ist ein Plakettenmesssystem auf Enzymbasis, das ohne sonstiges Zubehör zur orientierenden Messung von Formaldehyd verwendet werden kann.

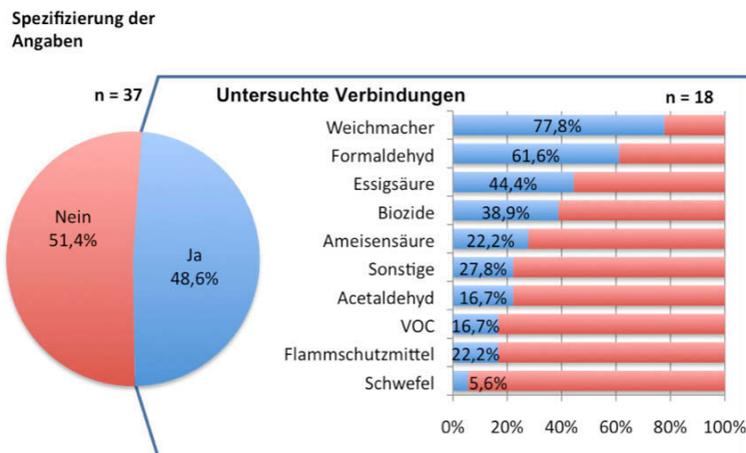


Abb. 20: Einrichtungen, die ihre Ausstellungsmaterialien gezielt nach bestimmten Verbindungen untersuchen oder untersuchen lassen.

In der Befragung wurde u.a. erbeten, die Stoffklassen und Verbindungen anzugeben, nach denen bei der Prüfung gesucht wird. Hierbei lassen sich grundsätzlich deutliche Unterschiede im Hinblick auf Anzahl und Art der untersuchten Fremdstoffe ausmachen. So ist die Gruppe der Weichmacher (77,8%) die am häufigsten nachgefragte Verbindungsklasse. Häufig gesucht werden auch die seit langem als Schadstoffe klassifizierten Verbindungen Formaldehyd und Essigsäure sowie Biozide im Allgemeinen. Weniger häufig werden die mit Formaldehyd und Essigsäure verwandte Ameisensäure und Acetaldehyd, die Gruppe der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) oder Flammschutzmittel genannt. Schwefelverbindungen werden in 5,6% der Museen untersucht. In der Rubrik „Sonstige Verbindungen“ wurde u.a. angegeben, dass Ausstellungsmaterialien auf Asbest und Schädlinge und physikalische Materialeigenschaften getestet werden. Des Weiteren ist anzumerken, dass über die Hälfte der Museen (51,4%) keine näheren Angaben zu den untersuchten Verbindungen machen.

3.4.2 Bedeutung von Standard – und Routineverfahren bei der Auswahl von Ausstellungsmaterialien

Im Folgenden Abschnitt werden standardisierte Verfahren, die bei der Verwendung und der Auswahl von Ausstellungsmaterialien zugrunde gelegt werden, untersucht. Hierzu wurden die Einrichtungen befragt, ob und inwieweit sie Standard- bzw. Routineuntersuchungen zur Erfassung von Ausstellungsmaterialien einsetzen. Das Ergebnis der Umfrage zeigt, dass lediglich 11% Qualitätskontrollen durchführen lassen (vgl. Abb. 21).

Die Angaben zum Einsatz von Standardverfahren lassen sich zudem nur schwer vergleichen: Auf der einen Seite werden akkreditierte Laboratorien⁴³ zur Schadstoffprüfung herangezogen, auf der anderen Seite wird die Auswertung von Produktdatenblättern bzw. Sicherheitsdatenblättern durch den Restaurator als Standard definiert. Darüber hinaus finden sich Angaben wie die Durchführung von Hygieneinspektionen nach VDI RL 6022, welche zur Anwendung in raumluftechnischen Anlagen und für Geräte entwickelt wurden und in keinem Zusammenhang mit Standardverfahren bei der Erfassung von Schadstoffen in Ausstellungsmaterialien stehen.

⁴³ Angegeben wurde die Prüfung von Materialien in Laboratorien, die den allgemeinen Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien der DIN EN ISO/IEC 17025 entsprechen (DIN EN 17025). Die Norm dient als Grundlage für die Begutachtung von Laboren durch nationale Akkreditierungsstellen. Beachtung finden sowohl die Durchführung kompetenter Analysen als auch die Kalibrierung der Geräte und die Validierung von Messverfahren sowie die Interpretation von Ergebnissen.

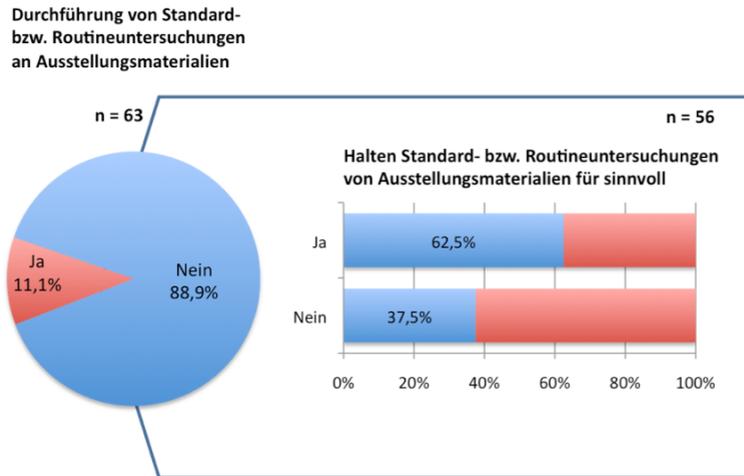


Abb. 21: Durchführung und Akzeptanz von Standard- bzw. Routineuntersuchungen zur Prüfung von Ausstellungsmaterialien.

Die Ergebnisse der Befragung deuten darauf hin, dass Schadstoffvermeidung im Museum bislang nicht ausreichend thematisiert ist. Dies ist nicht zuletzt dem mit 37,5% beträchtlichen Anteil an Museen zu entnehmen, die keine Qualitätskontrolle von Ausstellungsmaterialien vorsehen und diese auch nicht für notwendig erachten (vgl. Abb. 6). Im Ausschreibungsfall fordert auch nur knapp die Hälfte der befragten Museen (49,2%) schadstoffarme Materialien ein. Betrachtet man die Angaben im Detail, wird zudem deutlich, dass der Großteil der Anforderungen nicht zur gewünschten Schadstoffreduzierung führen kann. Forderungen, wie die Verwendung inerter Materialien, die erfolgreiche Beprobung im Oddy-Test oder die Einhaltung der AGÖF-Richtwerte für Innenraumluft sind Ausnahmen.

Andererseits sind die nachfolgend aufgelisteten Anforderungen bei Verwendung marktüblicher Produkte aus dem internationalen Handel kaum erfüllbar, es sei denn, man würde ausschließlich 100% inerte Materialien wie Glas, Glaskeramik, vergütetes Blech, etc. zulassen wollen. Einige Auszüge aus Ausschreibungstexten verdeutlichen die Dringlichkeit der Aufklä-

rungsarbeit und die Notwendigkeit der Entwicklung einheitlicher Richtlinien oder standardisierter Verfahrens- und Testabläufe:

„Es dürfen keine Weichmacher und keine Schadstoffe abgespalten werden.“

"Stoffe, die in den vom Auftragnehmer nach dem Vertrag zu liefernden Gegenstände enthalten sind, müssen umweltverträglich und dürfen nicht gesundheitsschädlich sein. Sie dürfen keine schadstoffhaltigen Substanzen enthalten, die zu einer Belastung der Innenraumluft führen.“

„Materialneutralität.“

„Allgemeine Anforderungen an Materialien nach Museumsstandards.“

Der letzte Satz entspricht praktischem Wunschenken, da es – obwohl es notwendig wäre – leider (noch) keinen Museumsstandard gibt.

Diese Notwendigkeit und den Wunsch nach praktikablen Lösungsansätzen zur Reduzierung des Schadstoffeintrags unterstreicht auch das große Interesse der befragten Museen an der Einführung eines Gütezeichens für schadstoffarme „museumstaugliche“ Materialien (vgl. Abb. 22).

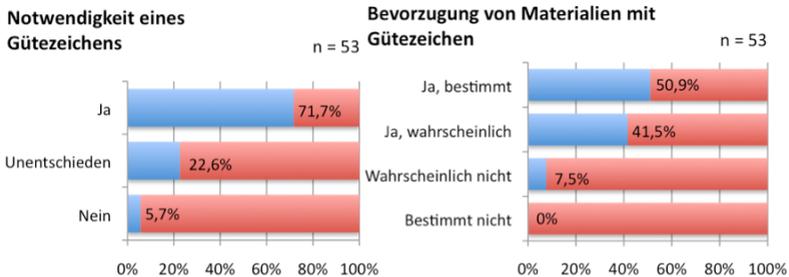


Abb. 22: Akzeptanzprognose für ein Gütezeichen für schadstoffarme „museumstaugliche“ Materialien.

Demnach sehen 71,7% der befragten Museen die Notwendigkeit eines solchen Gütezeichens und mehr als 90% geben an, dass sie Materialien mit einem Gütezeichen für schadstoffarme „museumstaugliche“ Materialien bevorzugen zu erwerben würden.

3.4.3 Zwischenfazit

Es konnte gezeigt werden, inwieweit bei den befragten Institutionen Maßnahmen zur Minimierung des Eintrags von Fremd- und Schadstoffen ergriffen werden. Deutlich wird, dass sich bislang keine einheitliche Vorgehensweise bei der Untersuchung von Ausstellungsmaterialien durchgesetzt hat und das bisherige Maßnahmen (Materialprüfung, Routineuntersuchungen, Ausschreibungstexte etc.) an den befragten Museen nur einen sehr geringen Beitrag zur Reduzierung des Schadstoffeintrags leisten:

- Materialprüfungen werden nur von der Hälfte der befragten Museen (50,7%) durchgeführt.
- Die verwendeten Untersuchungsmethoden sind nicht vergleichbar.
- Es werden unterschiedlichste Verbindungen und Substanzklassen gesucht.

Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass seitens der Museen der Wunsch emissionsarme Materialien verwenden zu können groß ist; denn mehr als 90% der befragten Museen geben an, dass sie Materialien mit einem Gütezeichen für schadstoffarme „museumstaugliche“ Materialien bevorzugt zu erwerben würden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die hohe Rücklaufquote der empirischen Studie „Emissionen im Museum“ weist auf eine spürbare Sensibilisierung für den Umgang mit Schadstoffen und die Notwendigkeit der Thematisierung der Schadstoffproblematik hin. Dies unterstreicht auch die Tatsache, dass die Mehrheit der befragten Einrichtungen (74,7%) bereits selbst von der Problematik betroffen war und Maßnahmen zur Beseitigung von Schäden bzw. Kontaminationen durchgeführt hat. Es konnte gezeigt werden, dass die Beseitigung der Schadensquellen jedoch vielfach ohne hinreichende Ursachenforschung und ohne vorhergehende oder begleitende Schadstoffmessungen erfolgt.

Nur annähernd die Hälfte (49,3%) der befragten Institutionen führen Schadstoffmessungen durch; dabei sind Raumluftmessungen die mit Abstand am Häufigsten durchgeführte Untersuchungsart. Bei den messenden Museen wurden sehr häufig (> 45%) Formaldehyd, Biozide und Essigsäure gefunden, aber auch (> 15%) Ameisensäure, TVOCs und ‚Sonstige Verbindungen‘. Selten (< 15%) wurden hingegen Salpetersäure, Phthalate, Siloxane, Acetaldehyd und Schwefeldioxid nachgewiesen. Es konnte gezeigt werden, dass für die verschiedenen Luftschadstoffe eine unterschiedliche Verteilung innerhalb der drei betrachteten Expositionsmedien offener Ausstellungsraum, Vitrine und Depot besteht. Auffällig ist, dass im Depot im Vergleich zur Vitrine oder dem offenen Ausstellungsraum sehr häufig Biozide gefunden wurden. Dies ist vermutlich auf die seit den 1950er Jahren zum Schutz von Kunst- und Kulturgut vor allem in Depots und Magazinen eingesetzten Chemikalien zurückzuführen.

Ein weiterer Fragenkomplex widmete sich den Schadensbildern in den befragten Institutionen. Bei der Analyse der Auftretenshäufigkeit typischer Schadensbilder wie Ausblühungen, Farbveränderungen, Zerfall und Festigkeitsverlust konnte gezeigt werden, dass alle grundsätzlich als sehr selten auftretend einzustufen sind. Dennoch zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied in der Auftretenshäufigkeit: Farbveränderungen sind demnach unabhängig vom Expositionsmedium, wie auch im offenen Ausstellungsraum und in der Vitrine das statistisch am häufigsten vorkommende Schadensbild in den befragten Institutionen. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass Objekte, die in Vitrinen gelagert werden,

statistisch seltener Schadensbilder aufweisen als Objekte im offenen Ausstellungsraum oder im Depot.

Die Daten der typischen Schadensbilder wurden des Weiteren genutzt, um mögliche Einflussfaktoren⁴⁴ zu identifizieren. Statistisch signifikante Ergebnisse zeigten sich bei folgenden Einflussfaktoren:

Expositionsmedien: Festzustellen ist, dass bei der Lagerung im offenen Ausstellungsraum und im Depot ein statistisch vergleichsweise starker Zusammenhang zwischen der Art der Lagerung und der Schadenshäufigkeit bestimmter Objekte bzw. Objektgruppen besteht: Bei häufiger Lagerung im offenen Ausstellungsraum zeigen Textilien (→ Ausblühungen), Kunststoffe und Metalle (→ Farbveränderungen) eine statistisch signifikant höhere Schadenshäufigkeit. Bei häufiger Lagerung im Depot sind Papier (→ Ausblühungen und Farbveränderungen) und Leder (→ Festigkeitsverlust) von einer statistisch signifikant höheren Schadenshäufigkeit betroffen.

Darüber hinaus konnten keine ähnlich gearteten Aussagen hinsichtlich der Lagerungs- bzw. Ausstellungsdauer von Objekten in Vitrinen in Zusammenhang mit der Schadenshäufigkeit ermittelt werden.

Systeme zur präventiven Konservierung: Luftfiltersysteme und UV-Schutzsysteme, die als Präventivmaßnahmen in Museen Verwendung finden, zeigen in Abhängigkeit des Expositionsmediums statistisch signifikante Ergebnisse: Bei Museen, die Luftfiltersysteme einsetzen, treten im Depot statistisch seltener Schadensbilder (→ Farbveränderungen, Zerfall und Festigkeitsverlust) auf. In Museen, die UV-Schutzsysteme verwenden, sind im offenen Ausstellungsraum statistisch Schadensbilder (→ Farbveränderungen) seltener.

Darüber hinaus konnte kein statistisch signifikanter Einfluss von Schadstoffabsorbentien auf die Schadenshäufigkeit in Vitrinen und im Depot gefunden werden.

⁴⁴ Untersucht wurden folgende Faktoren: Expositionsmedien (offener Ausstellungsraum/ Vitrine/ Depot) (a), Stellenwert der präventiven Konservierung (b), Prüfung von Ausstellungsmaterialien (c), Systeme zur präventiven Konservierung (d), Gesamtarbeitsleistung im Bereich der präventiven Konservierung (e).

Des Weiteren wurde untersucht, inwieweit in den befragten Museen Maßnahmen zur Minimierung des Eintrags von Fremd- und Schadstoffen ergriffen werden. Deutlich wird, dass sich trotz umfangreicher Forschungen und zahlreicher Publikationen bislang keine einheitliche Vorgehensweise bei der Untersuchung von Ausstellungsmaterialien durchgesetzt hat. Eine Prüfung von Materialien vor ihrer Verwendung wird nur von der Hälfte der befragten Museen (50,7%) durchgeführt. Dabei werden nicht vergleichbare Untersuchungsmethoden herangezogen und nach den unterschiedlichsten Verbindungen und Substanzklassen gesucht.

Die Studie veranschaulicht, dass im Bereich der Schadstoffvermeidung Aufklärungsbedarf besteht. Dies zeigt sich u.a. an der Wahl ungeeigneter Untersuchungsmethoden und am Fehlen geeigneter und praktikabler Standard- und Routineverfahren. Bislang hat sich keine abgestimmte Vorgehensweise bei der Untersuchung von Ausstellungsmaterialien im Sinne präventiver Konservierung etablieren können. Deutlich wird, dass bisherige Maßnahmen (Materialprüfung, Routineuntersuchungen, Ausschreibungstexte etc.) an den befragten Museen nur einen sehr geringen Beitrag zur Reduzierung des Schadstoffeintrags leisten.

Das Ausmaß der letztendlich durch die Verwendung von ungeeigneten Materialien induzierten Schäden ist trotz des gestiegenen Bewusstseins und der Sensibilisierung der Verantwortlichen in den Museen nach wie vor sehr hoch⁴⁵. Unzureichend oder nicht geprüfte Materialien finden Verwendung und erweisen sich teilweise als Emissionsquellen ungeahnten Ausmaßes. Zahlreiche Einzelbeispiele der vergangenen Jahre zeigen, dass der sorglose Umgang immer wieder zu irreversiblen Schäden führt, die sich durch den Einsatz unbedenklicher Materialien vermeiden ließen.

Die Studie zeigt, dass die Museen jedoch ein sehr großes Interesse an schadstoffarmen Materialien haben. Demnach geben mehr als 90% der befragten Museen an, dass sie Materialien mit einem Gütezeichen für schadstoffarme „museumstaugliche“ Materialien bevorzugt zu erwerben würden.

⁴⁵ Vgl. u.a. Drewello et al. 2002; Drewello 2005; Ulmann 2004; Hack 2005

Das Ziel weiterer Forschungsarbeiten wird es daher sein, in interdisziplinärer Zusammenarbeit mit Laboratorien, Prüfinstituten und Museen Werkzeuge für den Aufbau eines Qualitätsmanagements für Werkstoffe im Museumsumfeld zu schaffen, die in ein Museumssiegel bzw. Gütezeichen für geprüfte, „museumstaugliche“ Materialien münden sollten. Ein solches Gütesiegel würde zu einer starken Reduzierung des Schadstoffeintrags in Museen, Vitrinen und Archiven führen und ein Baustein zur Qualitätssicherung in musealen Einrichtungen sein.

5 Anhang

5.1 Literaturverzeichnis

- BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin): TRGS 200: *Einstufung und Kennzeichnung von Stoffen, Zubereitungen und Erzeugnissen*. URL <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-200.html> – Überprüfungsdatum 2008-05-10
- Brimblecombe, Peter: *Review article. The composition of museum atmospheres*. In: *Atmospheric Environment - Part B Urban Atmosphere* 24 (1990), Nr. 1, S. 1–8.
- Brinkmann, Gerhard: *Analytische Wissenschaftstheorie: Einführung sowie Anwendung auf einige Stücke der Volkswirtschaftslehre*. 2. Aufl. München, Wien: Oldenbourg, 1991.
- Byne, Loftus St. George: *The corrosion of shells in cabinets*. In: *Journal of Conchology* (1899), Nr. 9, S. 172-178 and 253-254.
- Camuffo, Dario/Sturaro, Giovanni/Valentino, Antonio: *Showcases: a really effective mean for protecting artworks?* In: *Thermochimica acta* (2000), Nr. 365, S. 65–77.
- Deutscher Museumsbund: *Standards für Museen*. Kassel, Berlin, 2006.
- DIN EN 17025: *Allgemeine Anforderungen and die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien*. Berlin: Beuth, 2005.
- Drewello, Rainer: *Erfolg und Misserfolg – Das heikle Thema Prävention: Beitrag zur Tagung Schadstoffvermeidung im Museum*. URL http://193.175.110.9/hornemann/german/epubl_tagungen5.php – Überprüfungsdatum 2008-03-17
- Drewello, Rainer/Ulmann, Arnulf von/Drewello, Ursula: *Schadstoffe im Museum*. In: *Museum Aktuell* (2002), Nr. 87, S. 3711–3715.
- Fahrmeir, Ludwig/Künstler, Rita/Pigeot, Iris/Tutz, Gerhard: *Statistik: Der Weg zur Datenanalyse*. 6. Aufl. Berlin: Springer, 2007.
- Green, Laura R./Thickett, David: *Testing materials for use in the storage and display of antiquities: A revised methodology*. In: *Studies in Conservation* 40 (1995), Nr. 3, S. 145–152.

- Grosche, Elise: *Dünnschichtchromatographischer Nachweis von Organochlor-Bioziden und synthetischen Pyrethroiden in Holz*. In: *VDR-Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut* (2007), Nr. 1, S. 113-120.
- Grzywacz, Cecily M.: *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments*. Los Angeles, Calif.: Getty Trust Publications, 2006.
- Grzywacz, Cecily M./Tennent, Norman H.: Pollutant monitoring in storage and display cabinets: Carbonyl pollutant levels in relation to artifact deterioration. In: Ashok Roy, Perry Smith (Hrsg.): *Preventive conservation: Practice, theory and research. Preprints of the contributions to the Ottawa Congress, 12 - 16 September 1994*. London: International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (IIC), 1994, S. 164–175.
- Hack, Ute: *Über die Realisierung präventiver Konzepte – Ein Erfahrungsbericht: Beitrag zur Tagung Schadstoffvermeidung im Museum*.
URL
http://193.175.110.9/hornemann/german/epubl_tagungen5.php
– Überprüfungsdatum 2008-03-17.
- Hatchfield, Pamela B.: *Pollutants in the museum environment: Practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage*. 1. Aufl. London: Archetype-Publications Ltd., 2002.
- Institut für Museumsforschung: *Statistische Gesamterhebung an den Museen der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2006*. Berlin, 2006 (Materialien aus dem Institut für Museumskunde 61).
- Janssen, Jürgen: *Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows*. 6. neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 2007.
- Krooß, Jürgen: *Biozide Wirkstoffe in Museumsmagazinen*. In: *Restaurio* (1993), Nr. 3, S. 149.
- Krooß, Jürgen/Weis, Norbert/Stolz, Peter: Restaurieren – Altlastenproblematik und Arbeit mit Gefahrenstoffen. Pyrethroide, Isocyanate, Lösemittel. In: Besch, Ulrike (Hrsg.): *Restauratoren-Taschenbuch*. München: Callway, 1996, S. 165–181.
- Oddy, Andrew W.: *An unsuspected danger in display*. In: *Museums Journal* 73 (1973), S. 27–28.

- Padfield, Tim/Erhardt, David/Hopwood, Walter R.: Trouble in Store. In: Brommelle, Norman; Thomson, Garry (Hrsg.): *Science and Technology in the Service of Conservation. Preprints of the Contributions to the Washington Congress, 3-9 September 1982*. London: International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (IIC), 1982, S. 24–27.
- Raffael, Edmone: *Volatile organic compounds and formaldehyde in nature, wood and wood based panels*. In: *Holz als Roh- und Werkstoff* 64 (2006), Nr. 2, S. 144–149.
- Ryhl-Svendsen, Morten : *A review of methods for testing construction materials, housing materials, etc. before use near museum or archival objects*. URL <http://iaq.dk/papers/tests.htm> – Überprüfungsdatum 2008-01-10.
- Schieweck, Alexandra/Salthammer, Tunga: *Schadstoffe in Museen, Bibliotheken und Archiven: Raumluft - Baustoffe - Exponate*. 1. Aufl. Braunschweig: Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Inst., 2006.
- Schulze, Peter M.: *Beschreibende Statistik*. München: Oldenburg, 1990.
- Tétreault, Jean: Display Materials: The Good, The Bad, And The Ugly. In: Sage, J. (Hrsg.): *Proceedings of the Conference of the Scottish Society for Conservation and Restoration (SSCR): Exhibitions and Conservation, Edinburgh, England, 22. April 1994*, Edinburgh: SSCR, 1994, S. 79-87.
- Tétreault, Jean: *Airborne pollutants in museums, galleries, and archives : Risk assessment, control strategies, and preservation management*. Ottawa: Canadian Conservation Institute (CCI), 2003.
- Ulmann, Arnulf von: *Anti-Aging für die Kunst. Restaurieren - Umgang mit den Spuren der Zeit; ein Lesebuch anlässlich der Ausstellung vom 1. April - 1. August 2004 im Germanischen Nationalmuseum*. Nürnberg (GNM): Verl. GNM, 2004.

5.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Verteilung der Museumsarten in der Grundgesamtheit und der Stichprobe.....	18
Abb. 2:	Die Fünf-Punkte-Zusammenfassung im Boxplot.....	21
Abb. 3:	Durchführung von Schadstoffmessungen und Art der Messungen.....	28
Abb. 4:	Häufigkeit und Art der Maßnahmen zur Beseitigung von Schäden & Kontaminationen.	29
Abb. 5:	Verteilung von Schadstoffverbindungen unter Angabe der verschiedenen Expositionsmedien.	32
Abb. 6:	Übersicht der verwendeten Variablen & Gruppenvariablen zur Schadenshäufigkeit in Abhängigkeit von der Fragestellung.	35
Abb. 7:	Boxplot & Wertetabelle zum Vergleich von Median, Quartilen und Extremwerten der untersuchten Schadensbilder unter Angabe relevanter Signifikanzwerte ($p < 0,05$).	38
Abb. 8:	Boxplot & Wertetabelle zum Vergleich von Median, Quartilen und Extremwerten der Schadenshäufigkeit in den untersuchten Expositionsmedien; unter Angabe relevanter Signifikanzwerte ($p < 0,05$).	40
Abb. 9:	Boxplot & Wertetabelle zum Vergleich der Auftretenshäufigkeit von Ausblühungen in den verschiedenen Expositionsmedien; unter Angabe relevanter Signifikanzwerte ($p < 0,05$).	41
Abb. 10:	Boxplot & Wertetabelle zum Vergleich der Auftretenshäufigkeit von Farbveränderungen in den verschiedenen Expositionsmedien; unter Angabe relevanter Signifikanzwerte ($p < 0,05$).	42
Abb. 11:	Boxplot & Wertetabelle zum Vergleich der Auftretenshäufigkeit von Festigkeitsverlust in den verschiedenen Expositionsmedien; unter Angabe relevanter Signifikanzwerte ($p < 0,05$).	43

Abb. 12:	Boxplot und Wertetabelle zum Vergleich der Auftretenshäufigkeit von Zerfall in den verschiedenen Expositionsmedien; unter Angabe relevanter Signifikanzwerte ($p < 0,05$).....	44
Abb. 13:	Boxplot & Wertetabelle statistischer Maßzahlen zum Vergleich der Auftretenshäufigkeit untersuchter Schadensbilder im offenen Ausstellungsraum; unter Angabe relevanter Signifikanzwerte ($p < 0,05$).	45
Abb. 14:	Boxplot & Wertetabelle zum Vergleich statistischer Maßzahlen der Auftretenshäufigkeit untersuchter Schadensbilder in der Vitrine; unter Angabe relevanter Signifikanzwerte ($p < 0,05$).....	46
Abb. 15:	Unterschied der Häufigkeit von Schadensbilder in den untersuchten Expositionsmedien.....	50
Abb. 16:	Häufigkeitsverteilung zur Beachtung der präventiven Konservierung in den befragten Instituten.	60
Abb. 17:	Häufigkeitsverteilung zur eingesetzten Systemen der präventiven Konservierung in den befragten Instituten.	64
Abb. 18:	Häufigkeitsverteilung zur Gesamtarbeitsleistung im Bereich der präventiven Konservierung.	71
Abb. 19:	Häufigkeit der verwendeten Methoden bei der Prüfung von Ausstellungsmaterialien.	75
Abb. 20:	Einrichtungen, die ihre Ausstellungsmaterialien gezielt nach bestimmten Verbindungen untersuchen oder untersuchen lassen.	77
Abb. 21:	Durchführung und Akzeptanz von Standard- bzw. Routineuntersuchungen zur Prüfung von Ausstellungsmaterialien.	79
Abb. 22:	Akzeptanzprognose für ein Gütezeichen für schadstoffarme „museumstaugliche“ Materialien.....	80

5.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Gruppierungen der Besuchszahlen der Museen in der Bundesrepublik Deutschland (Quelle: Institut für Museumsforschung 2006, S. 16).....	15
Tab. 2:	Zusammensetzung der Grundgesamtheit und der Stichprobe nach Art der Museumskategorie unter Angabe der Sammlungsgebiete (vgl. Institut für Museumsforschung 2006, S. 18).....	17
Tab. 3:	Bedeutung von Irrtumswahrscheinlichkeiten im Hinblick auf die Signifikanz.....	23
Tab. 4:	Bedeutung der Korrelationsmaße in Hinblick auf den Zusammenhang.....	26
Tab. 5:	Rangliste untersuchter Schadstoffverbindungen untergliedert nach Expositionsmedien.....	32
Tab. 6:	Ergebnisse der Korrelationsanalyse zur Lagerung im offenen Ausstellungsraum & Schadensbildern allgemein.....	53
Tab. 7:	Ergebnisse der Korrelationsanalyse zur Lagerung im offenen Ausstellungsraum & Schadensbildern.....	54
Tab. 8:	Ergebnisse der Korrelationsanalyse zur Lagerung im Depot & Schadensbildern allgemein.....	55
Tab. 9:	Ergebnisse der Korrelationsanalyse zur Lagerung im Depot & Schadensbildern.....	56
Tab. 10:	Ergebnisse der Korrelationsanalyse zum Stellenwert der Präventiven Konservierung & der Schadenshäufigkeit.....	61
Tab. 11:	Übersicht der verwendeten Variablen und Gruppenvariablen zur Schadenshäufigkeit in Abhängigkeit der Fragestellung.....	65
Tab. 12:	Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests zu Luftfiltersystemen & Schadenshäufigkeit im Depot.....	67
Tab. 13:	Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests zu UV-Schutzsystemen & Farbveränderungen im offenen Ausstellungsraum.....	70



Die Gefährdung von Kunst- und Kulturgut durch Umgebungseinflüsse ist für Museen ein ernsthaftes Problem. Dabei spielen nicht nur Parameter wie Licht, Temperatur, relative Luftfeuchte und Temperatur- oder Feuchtwechsel eine Rolle: Auch die Zusammensetzung von Bau- und Ausstattungsmaterialien zur Präsentation, Lagerung und Aufbewahrung der Objekte kann Gefahren in sich bergen.

Um schadstoffinduzierte Veränderungen zu vermeiden, sind seit den 1970er Jahren zahlreiche Methoden zur Prüfung von museumsrelevanten Materialien entwickelt worden. Die analytische Bandbreite reicht von orientierenden qualitativen Nachweisreaktionen bis zu hoch spezialisierten quantitativen Analysemethoden aus der Spuren- und Ultraspurenanalytik.

In der vorliegenden empirischen Studie ist die aktuelle Schadstoffsituation in Sammlungen des deutschsprachigen Raums und der Umgang mit den dort verwendeten Materialien abgefragt worden. Von Interesse war, ob das Problem als solches überhaupt wahrgenommen wird und ob sich standardisierte Verfahrensabläufe zur Minimierung schädigender Emissionen durch die Auswahl von Ausstellungsmaterialien etabliert haben. Darüber hinaus wurden Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Schadensbildern und möglichen Einflussfaktoren analysiert.

ISBN 978-3-923507-48-1

ISSN 1868-8462

10,00 Euro