

Präventive Konservierung: Schadstoffe in Depot- Atmosphäre, Aufbewahrungs- und Transportbehältnissen

Paul-Bernhard Eipper (Stand: 15.07.2020)

Inhalt

Einleitung

Evaluation der Schadstoffe in der Umgebung

„Volatile organic compounds“ (VOC)

Bemerkungen zu den derzeit allgemein verwendeten Materialien (Baustoffe aus Beton, Glas, Keramik, Ton, Stein, Lehm-, Ton-, Kalk- und Gipsputze, Metall, Bodenbeläge)

Holz (VOCs: Carbonsäuren, Essigsäure, Ameisensäure, Acetaldehyd, Formaldehyd)

Holzwerkstoffe (Holzstäbchen-, Sperrholz-, Multiplexplatten)

Holzfaserverplatten (Pressspan-, Masonit-, Weichfaser-, MDF-, HDF-Platten)

Papiere, Kartons und Pappen

Textilien

Kunststoffprodukte (Platten, Folien, Formteile, Schaumstoffe, Isolierungen, Kabel,

Dichtungsmassen, Naturkautschuk- oder Zellkautschukklebebander)

Anstrichstoffe

Transportkisten- und Vitrinenmaterialien

UV-Schutz

Integrated Pest Management

Manipulationen/Transport

Literatur

Einleitung

Allgemein wird angenommen, dass Objekte in Ausstellungen und im Depot keinen Schaden nehmen. Die Realität jedoch sieht anders aus.

In Museen gibt es – neben den für Besucher zugänglichen Schaubereichen – in Depotgebäuden auch vielfältige Aufbewahrungsbehältnisse aus den verschiedensten Materialien, welche in den letzten Jahrhunderten eingesetzt wurden. Besonders über die Vielzahl der hierfür verwendeten – und hier vor allem der neuzeitlichen – Materialien herrscht bezüglich ihrer Objektverträglichkeit Unsicherheit. Aber auch Kunstwerke aus modernen Polymeren können selbst Emissionen verursachen.¹

Im Herstellungsprozess verwendete Materialien sind bis heute oft nicht vollständig deklariert. Wechselnde Produzenten wie Lieferanten tragen weder zur Konstanz der Materialien noch zur

¹ Curran, 2018, 342–344

Sicherheit beim Endbezieher bei. Auch Wechselwirkungen einzelner, nicht deklarerter Inhaltsstoffe untereinander führen zu Veränderungen und Schäden an Objekten. Messergebnisse einzelner Materialklassen können nicht generalisiert werden.

Bei Untersuchungen der eingesetzten Materialien für die Präsentation und Lagerung von Museumsobjekten sollte man sich nicht nur auf diese fokussieren, sondern auch auf die zur Konservierung von Kunstgegenständen eingesetzten Materialien für Festigung, Klebung, Imprägnierung und Schadinsektenbehandlung² sowie auf die Museumsobjekte selbst.³ Messungen der Inhaltsstoffe der Luft stellen dabei die Voraussetzung für Entscheidungen über die Modifikation oder den Austausch von bisher verwendeten Materialien dar. Schadstoffmessungen können zur Separierung von unterschiedlichem Sammlungsgut führen⁴ bzw. zur Trennung von Depots und Transportbehältnissen.

Hier gibt es Parallelen zwischen dem Universalmuseum Joanneum und anderen Museen in Europa: Im vergangenen Jahrhundert wurden Materialien oft aus Gründen der Verfügbarkeit und der Finanzierbarkeit gewählt und nicht aufgrund ihrer Eignung. Diese wurden zu selten kritisch hinterfragt, da das hierfür nötige Bewusstsein nicht vorhanden war. Schon bei der Lagerung in Schubladen, Schränken und Regalen oder bei der Einrahmung von Grafiken etc. wurden die verwendeten Materialien zu wenig hinterfragt, obwohl sich diese zum Teil bis heute in unmittelbarer Nähe zu den Objekten befinden, mit diesen im Depot eingelagert wurden oder sogar zur festen Depoteinrichtung gehören. Konservierung und Restaurierung waren zunächst keine universitären Studienfächer, erst ab den 1980er-Jahren hat ein differenzierender Umdenkprozess eingesetzt, noch jünger ist die Prävention.

Was die verwendeten Materialien angeht, so sind hier Untersuchungen und Bemühungen von Kunstspeditionen nennenswert: Abgelagerten Materialien galt zumeist der Vorzug vor frisch produzierten, da man der Auffassung war und ist, dass frisch produzierte Materialien mehr Schadstoffe abgeben. Schon in den 1970er-Jahren erkannte man, dass gerade in geschlossenen Behältnissen – vergleichbar mit einer dichten Vitrine – die Ausdünstungen der den unterschiedlichen klimatischen Bedingungen ausgesetzten Materialien besonders hoch sind.⁵ Innerhalb und außerhalb der Institutionen konzentrierten sich die Bemühungen der Anbieter für den Kunsttransport – vor allem aus Gründen der Haftungsfragen – hauptsächlich auf die

² Z. B. Pestizide, Nitrocellulose, Ethylenoxid. Odegaard, Sadongei, 2005, 1–126; National Park Service, 2016, 4:58

³ Z. B. Weichmacher aus Kunststoffen und Farben, Schwefel aus Wolle. National Park Service, 2016, 4:58

⁴ Chiantore, Riedo, Poli, Cotrufo, Hohenstatt, 2018, 58–63

⁵ Eipper, 1996, 9–12; ders. 1996, 27–32; ders. 2000, 2449–2457; ders. 2009, 30–37

Eingrenzung und Reduzierung der Schäden,⁶ welche durch Erschütterungen,⁷ bei Objektmanipulation und Langstrecken-Transporten, sowie auf Beeinträchtigungen, welche durch ein nicht ausreichend geregeltes Klima⁸ in Aufbewahrungsbehelfen sowie Versandkisten entstehen können und letztlich auch bei Bauarbeiten in und in der Nähe von Bauten mit historischer Ausstattung⁹ sowie bei der bloßen Aufstellung der Objekte auf Sockeln¹⁰ auftreten.

Die große Vielzahl der verwendeten Materialien wurde in den letzten Jahrzehnten auf ihre Zusammensetzung hin untersucht und die Hersteller um Preisgabe von Informationen zum Herstellungsprozess, zur Materialzusammensetzung und zum Produktverhalten ersucht. Zum Vitrinen- und Versandkistenbau existieren schon seit Längerem Listen über Materialien, welche verwendet¹¹ und empfohlen werden.¹² Dabei wurden die verwendeten Werkstoffe sowie Binde- und Klebemittel auf ihre Komponenten und Ausdünstungen untersucht, welche zum Teil eine relativ hohe Schadstoffbelastung verursachen und korrosiv auf das Ausstellungsgut wirken können.¹³ Langzeiterfahrungen zu Materialien, welche in Depots, Vitrinen- und Versandkisten eingesetzt werden, sowie die zu erwartenden Wechselwirkungen zwischen Materialien und Objekten haben Eingang in Überlegungen gefunden, wie Schadstoffe von vornherein ausgeschlossen, minimiert oder auch neutralisiert werden können.¹⁴

⁶ Althöfer, 1995; Ashley-Smith et al., 1994, 28–3; Bauer, 1981; Booth, 1985, 41–45; Buces, 1999, 51–58; Buddle, 1995, 214–218; Camuffo, 1998; Cannon-Brookes, 1978, 78/12/2–78/12/5; Cassar, 1995; Costain, 1991, 19–24; Costain, 1992, 8–9; Dietz, Lippmann, 1986; Erhardt, 1991, 25–34; Erhardt, Mecklenburg, 1994, 32–38; Erhardt et al., 1995; Fisch, Kübler, 1998; Freitag, Smallwood, 1998, 131–138; Green, 1985, 45–49; Hackney, Green, 1991, 69–78; Hilbert, 1989, 2–7; Hilbert, 1996; Horne, 1985; Kamba, 1990, 405–409; Kamba, 1993, 406–409; Kuchling, 1999; Kühn, 2001; Mecklenburg, 1991; Mecklenburg, Tumosa, 1991, 173–216; Merrill, 1988, 138–147; Michalski, 1992; Michalski, 1993, 624–629; Morris, 1995, 181–185; Pateman, 1995, 219–221; Pateman, 1995, 222–224; Poggendorf, 1998; Richard, 1991, 279–297; Richard, 1994, 85–189; Richard et al., 1997; Rockstroh, 1972; Rogers, 1975, 1–30; Saunders, Clarke, 1990, 415–422; Saunders, 1991, 299–309; Shelley, 1987; Sitwell, 1985, 49–52; Stolow, 1966, 45–51; Stolow, 1967, 271–284; Stolow, 1979; Stolow, 1981, 81/12/1/1–81/12/1/14; Stolow, 1987; Taurins, 1998, 141–146; Tétreault, 1992, 163–176; Tétreault, Williams, 1992; Tétreault, 1999; Thomson, 1964, 153–169; Thomson, 1986; Toishi, 1959, 81–87; Toishi, 1967, 41–44; Toishi, Gotoh, 1994, 265–271; Wagner, 1998; White, 1987, 39–41; Wilson, 1985, 1–3; Wilson, 1987, 617

⁷ Stühler, 1990, 107; Green, 1991, 59–67; Marcon, 1991, 107–120; Marcon, 1991, 131–136; Burmester, Müller, 1992, 335–345; Hopfner, 2011, 205–210; Braun, 2013, 49f; Sauvage, Wei, Martinez, 2018, 418–420

⁸ Mecklenburg, Tumosa, 1991, 137–172; Mecklenburg, Tumosa, 1991, 173–216; Hiller, 2002, 1–197

⁹ Henningsson, 2018, 113–120; Wei, Watts, Seddon, Crombie, 2018, 293–300

¹⁰ Kracht, Tegeler, 2020, 41f

¹¹ Appelbaum, 1991; Nazaroff et al, 1993; Lee, Thickett, 1996; Eipper, 2000, 2449–2457; Hatchfield, 2002; Tétreault, 2003; Eipper, 2009, 30–37

¹² Erhardt, 1991, 28; Berndt, 1987, 22–33; Blackshaw, Daniels 1978, 78/23/2; Blackshaw, Daniels, 1979, 16–19; Eipper, 2000, 2449–2457; Hatchfield, 2002; Eipper, 2009, 30–37; National Park Service, 2016, 6:4, 6:13–6:16

¹³ Grzywacz, Tennent, 1994, 164–170; Cassar, Martin, 1994, 171–173; Knight, 1994, 174–176; Derrick, Daniel, Parker, 1994, 207–211; Hahn, Wilke, Jann, 2007, 278; Schieweck, Markewitz, Salthammer, 2007, 284

¹⁴ Burmester, 2006; Grzywacz, 2006, Schieweck, 2014; Spiegel, 2012; Tétreault, 2003

Leider wurden und werden in der Praxis aus Kostengründen dennoch oft nicht die geeigneteren Werkstoffe verwendet, sondern es wird zu häufig eher ungeeigneten, kritisch zu betrachtenden Materialien der Vorzug gegeben. Unterschiedliche Verwaltungsstrukturen und spezielle Hierarchien wie auch mangelnde Kommunikation und Sachwissen zwischen Projektplanern, Restauratoren und Ausführenden sind oftmals die Ursache hierfür. Die hauptsächlich eingesetzten Werkstoffe in Depot, Ausstellungsarchitektur, Vitrinen- und Versandkisten sind:

- Baustoffe (Beton¹⁵, Glas, Keramik, Ton und Stein)
- Metall (unbehandelte und eloxierte Aluminiumbleche, pulverbeschichtete Eisen- bzw. Stahlbleche)
- Bodenbeläge jedweder Art (Kork, PVAc, Linoleum, Teppich)¹⁶ und damit verwendete Klebematerialien
- Holzwerkstoffe: Vollholz (abgelagert, harzfrei), Holzstäbchenplatten, Sperrholz-, Multiplex- und Pressspanplatten, Masonit-, Weichfaser-, MDF-, HDF- Platten
- Papiere, Karton, Pappen (säurefrei und im sauren Bereich gepuffert)
- Textilien, Wollfilz, eingefärbter und selbstklebender Filz
- Kunststoffprodukte (Platten, Folien, Formteile, Isolierungen, Kabel, Dichtungsmassen, Schaumstoffe)
- Holzleime (zumeist homopolymere PVAc mit Weichmacherzusätzen), Klebstoffe, Klebebänder, Klebefolien, Heißsiegelkleber, Dichtungen, Naturkautschuk- oder Zellkautschukklebebänder, Gummiabdichtbänder, Silikone
- Anstrichstoffe (Acryllacke, seltener Alkydharzlacke)

Evaluation der Schadstoffe in der Umgebung

Jahreszeitlich bedingt, je nach Seehöhe, Luftdruck und vorherrschender Temperatur, geben die verwendeten Materialien in unterschiedlicher Menge Teile ihrer verschiedenen, mehr oder weniger gebundenen Inhaltsstoffe ab. Zusätzlich zu den äußeren Faktoren, welche durch die Gebäudehülle gemildert werden, gibt es innerhalb eines Raumes verschiedene Klimazonen,

¹⁵ Spanka, Thielen, https://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/Betontechnische_Berichte/123-134_fl_ch.ge_Substanzen.pdf

¹⁶ In einer Untersuchung fand man 40 verschiedene VOCs, vor allem: Formaldehyd, Vinylacetat, 2,2,4-Trimethylpentane (Isooctane), 1,2-Propanediol (Propyleneglycol), Styrene, 2-Ethyl-1-Hexanol, 4-Phenyl-Cyclohexane (4-PCH), und 2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol (Butylhydroxytoluene, BHT). Hodgson, Wooley, Daisey, 1992, 1–122

welche durch Luftzüge, Raumhöhe, Beleuchtung, Außen- und Innenwände, partielle Sonneneinstrahlung, Heizung etc. bedingt sind.¹⁷ Dies sollte bei allfälligen Messungen¹⁸ nicht außer Acht bleiben. Je differenzierter und verteilter die Messungen im Raum über ein Kalenderjahr vorgenommen werden, desto valider sind die zu erwartenden Ergebnisse. Zur Risikoeinschätzung ist nicht nur das Bewusstsein über die mehr oder weniger ungeeigneten verwendeten Materialien wichtig, sondern auch jenes über die spezifischen Voraussetzungen des Raumes. Die Einschätzung der Risiken, welche von den verwendeten Materialien ausgehen, wenn diese in Wechselwirkung mit den eingelagerten Objekten treten, und die Empfehlungen für den Einbau von Filtern und Absorbentien¹⁹ bzw. den Ausbau oder vielmehr den Ersatz bestimmter Materialien können erst nach einem Messzyklus mit den üblichen jahreszeitlich bedingten Klimaschwankungen vor Ort erfolgen.

Ganz allgemein lässt sich feststellen, dass wir uns in einem Dilemma befinden: Klimatisierte Depots, welche nicht als Depots gebaut wurden, verursachen einen hohen Energieverbrauch. Im klinisch reinen, schadstoffarmen Depot wird bei Klimaschwankungen oder beim Ausfall der Klimaanlage das Museumsgut die Klimaschwankungen ausgleichen, was zu Schädigungen an den Objekten führt. Versucht man dies zu vermeiden, indem man möglichst viele Puffermaterialien einbaut, ist davon auszugehen, dass diese Materialien das eingelagerte Museumsgut durch Abgabe von Inhaltsstoffen schädigen, wodurch komplexe Prozesse an den Objekten ausgelöst werden. Die zunehmende Erderwärmung wird diese Prozesse beschleunigen: Dies sollte bei der Konzeption von Vorhaben stets mitbedacht werden.

Hierbei ist auch der durch Außenluft²⁰ und Besucher eingebrachte Partikelschmutz von Bedeutung, welcher durch Luftzüge – auch solche Luftbewegungen, die aufgrund unterschiedlicher Wärmeverteilung in einem Gebäude entstehen – transportiert²¹ und auch an senkrechten Oberflächen (Verglasungen, Wandmalereien²², Tapisserien) abgelagert wird²³ und dort als Feuchtigkeitskompressen, Korrosionsbeschleuniger²⁴ und Nährstofflager für Mikroorganismen wirkt.

¹⁷ Luciani, 2013, 1–166; Camuffo, Pagan, Bernardi, Becherini, 2004, 409–416

¹⁸ Thickett, D., Lee, L. R.: Selection of Materials for the Storage or Display of Museum Objects. British Museum Occasional Paper 111, London 2017, 1–30

¹⁹ Gilberg, Grattan, 1994, 177–180

²⁰ Grau-Bové, Mazzei, Malkii-Ephstein, Thickett, Strlič, 2015, 1–10

²¹ Curteis, 2018, 392–396

²² Wong, Beltran, Yang, Maekawa, Lardinois, Hussein, Agnew, 2018, 307–315; Bertolin, Strojceki, Kozłowski, 2018, 326–328

²³ Fox, Babington, Macalister, Bower, de Fonjaudran, 2018, 81–86; Grau-Bové, Mazzei, Thickett, Strlič, 2019, 193–202; Grau-Bové, Mazzei, Budič, Thickett, Strlič, 2014, 42–44; Grau-Bové, Strlič, 2013, 1–8; Grau-Bové, Mazzei, Strlič, 2014

²⁴ <https://blog.scienceandindustrymuseum.org.uk/keep-it-clean-the-dangers-of-dust/>

Alle diese Faktoren können arbeits- sowie kostenintensive Aktivitäten auslösen. Dabei spielt auch unser subjektives Schmutzempfinden eine Rolle, das Entscheidungen für Maßnahmen an einem Objekt beschleunigen kann.²⁵ Vor diesem Hintergrund bekommt nicht nur die Prävention,²⁶ sondern auch die fortlaufende digitale Dokumentation des Erhaltungszustandes eines Objektes eine besondere Bedeutung. Weiter sollten exakte Schadstoffmessungen der Umgebungsluft valide Ergebnisse gewährleisten. Dieses komplexen Bereichs der Kulturguterhaltung nimmt sich das EU-Projekt „Preventive solutions for Sensitive Materials of Cultural Heritage“ mit 18 Kooperationspartnern aus Frankreich, Deutschland, Schweden, Italien, Dänemark, Luxemburg und Österreich zwischen 2019 und 2021 an.

Ein weiteres EU-Projekt „Active & intelligent PACKaging materials and display cases as a tool for preventive conservation of Cultural Heritage.“ („APACHE“), 2019-2022 widmet sich der Erforschung idealer Verpackungsmaterialien. Vitrinen, Verpackungen für Transport und Aufbewahrungsbehältnisse sollen im Hinblick auf niedrigpreisige, polyfunktionale, schadstoffabsorbierende Materialien und deren sichere, dauerhafte Eignung hin überprüft und ausgewählt werden. Die Überwachung auf Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und VOC soll durch einfach zu bedienende, kostengünstige Sensoren ermittelt werden, welche die Datenübertragung durch RFID, Wifi, Bluetooth gewährleisten.²⁷ Hier ergeben sich Überschneidungen zu einem dritten EU-Projekt „Collection Care“ - Innovative and affordable service for the Preventive Conservation monitoring of individual Cultural Artefacts during display, storage, handling and transport, welches 2019 mit einer Laufzeit von 36 Monaten begann.²⁸

²⁵ Lithgow, Golfomitsou, Dillon, 2018, 392–396

²⁶ National Park Service, 2016, 3:1–3:7; ICOM, 2014, 1–95

²⁷ <https://www.apacheproject.eu/2021-2022>

²⁸ Das Projekt beschäftigt sich mit der Überwachung einzelner kultureller Artefakte während der Ausstellung, Lagerung, Handhabung und des Transports. Die präventive Konservierung basiert auf dem Wissen um Zustandsverschlechterung aufgrund von Materialalterung sowie biologischen, mechanischen und chemischen Abbauprozessen im Laufe der Zeit und versucht diese durch geeignete Aufbewahrungsbedingungen zu minimieren. Der Abbau eines Artefakts hängt von den Umgebungsbedingungen ab, denen es ausgesetzt ist, wie Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Licht, Luftschadstoffe (Gase wie Stickoxide (NO₂), Schwefeldioxid (SO₂), Ozon (O₃) oder Partikel), Vibrationen und ihre Synergien. Artefakte passen sich im Laufe der Zeit allmählich an die Umweltbedingungen an, sofern sie konstant gehalten werden. Die Abbaurrate steigt jedoch bei kurzfristigen oder saisonalen Umgebungsbedingungen erheblich an, die Auswirkungen auf ein Artefakt sind dabei kumulativ. Der häufige Ortswechsel von Kunstwerken zwischen Depot und Ausstellungen begünstigt dies. Die Ausgangsmaterialien (v.a. Holz, Metall, Textil, Leinwand, Papier, Keramik, Stein oder Glas) bzw. Kombinationen dieser unterschiedenen Materialien reagieren dabei mit ihrer Umwelt. Da jedes Material ein spezifisches reaktives Verhalten in Abhängigkeit von Umwelt und spezifischer Eigendegradation aufweist, besteht eine große Heterogenität hinsichtlich des physikalischen und materiellen Verhaltens von Artefakten. Das CollectionCare-System misst die Umgebungsbedingungen mit drahtlosen Sensoren, welche strategisch im Raum, am Artefakt oder in dessen Nähe angebracht werden. Die Datenübertragung erfolgt mittels LPWAN-Technologien an eine Cloud-Computing-Plattform für Big Data. Anschließend werden die aufgezeichneten Daten automatisch in der Cloud gespeichert, analysiert und mit Multi-Material-Degradationsmodellen sowie mit

„Volatile organic compounds“ (VOC)

Nahezu alle Artefakte sind dem Zerfall ausgesetzt. Vor allem wenn Objekte bzw. Kunstgegenstände jedweder Art von ihrem Ursprungsort entfernt werden, fallen Veränderungen in anderem Kontext leichter auf. Früh schon wurden Veränderungen an eingelagerten Objekten festgestellt.²⁹ Farbveränderungen³⁰ und „Ausblühungen“³¹ machen den Betrachter besonders auf Veränderungen aufmerksam. Diese entstehen durch Wechselwirkungen zwischen Objekten und deren Umgebung. Sog. „Volatile organic compounds“ (VOC) – eine Sammelbezeichnung für organische, also kohlenstoffhaltige Stoffe, die in einem für die Luftreinheit relevanten Maß durch Verdunsten in die Gasphase übergehen können, d. h. flüchtig sind – unterstützen diesen Abbau. Sie werden nach dem Siedebereich eingeteilt und in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. in $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ gemessen. Bei den VOCs³² wird weiter unterschieden zwischen den sehr flüchtigen organischen Verbindungen („Very Volatile Organic Compounds“, VVOC, Siedebereich: < 0 bis 50 ... 100 °C), den VOCs (Siedebereich: 50 ... 100 bis 240 ... 260 °C) und den schwerflüchtigen organischen Verbindungen („Semivolatile Organic Compounds“, SVOC, Siedebereich: 240 ... 260 bis 380 ... 400 °C). Das Gas Methan (CH_4) ist oft nicht eingeschlossen und wird

den Parametern der Europäischen Standards und Richtlinien zur Auswertung dieser Daten gekreuzt. Später wird das CollectionCare-System Degradationsvorhersagen für heterogene Artefakte, Alarme und geeignete Empfehlungen für die vorbeugende Konservierung bereitstellen, um deren Degradation zu kontrollieren und zu minimieren und so deren präventive Konservierung zu ermöglichen. Dies kann über den Webbrowser der Verwaltungssoftware angezeigt werden. CollectionCare soll eine kostengünstige, anpassungsfähige und vielseitige Lösung für die vorbeugende Aufbewahrung beweglicher Kunstwerke entwickeln, die auf die Bedürfnisse von kleinen bis mittelgroßen Museen, Kunstgalerien, Bibliotheken, Archiven, Privatsammlungen, Transport- und Lagerungsdienstleister, Kunstverwaltungssoftware und auf Kunst spezialisierte Versicherungsunternehmen zugeschnitten ist. <https://www.collectioncare.eu/>

²⁹ Byne, L. St. George: The corrosion of shells in cabinets (1899), 2013, 276–285; Shelton, 2008, 1–4

³⁰ De Laet, Lycke, Van Pevenage, Moens, Vandenabeele, 2013, 855–862

³¹ Mödler, Piccardi, 2013, 1069–1080

³² Zu den VOCs gehören u. a.: **Aromatische Kohlenwasserstoffe**: Benzol, Toluol, Ethylbenzol, m-/p-Xylol, o-Xylol, Styrol, 1,3,5-Trimethylbenzol, 1,2,4-Trimethylbenzol, 1,2,3-Trimethylbenzol, n-Propylbenzol, Isopropylbenzol, 2-Ethyltoluol, 3-/4-Ethyltoluol; **Aliphatische und cycloaliphatische Kohlenwasserstoffe**: n-Hexan, n-Heptan, n-Octan, n-Nonan, n-Decan, n-Undecan, n-Dodecan, n-Tridecan, n-Tetradecan, n-Pentadecan, n-Hexadecan, Cyclohexan, Methylcyclopentan, Methylcyclohexan; **Alkene**: Trimeres Isobuten; **Chlorierte Kohlenwasserstoffe**: 1,1,1-Trichlorethan, Trichlorethen, Tetrachlorethen, 1,4-Dichlorbenzol; **Ester einwertiger Alkohole**: Ethylacetat, n-Butylacetat, Isobutylacetat; **Ketone**: Methylethylketon, Methylisobutylketon, Cyclohexanon; **Alkohole**: Ethylhexanol, Isobutanol, n-Butanol; **Glykolester und -ether**: Diethylenglykolmonomethylether, Diethylenglykolmonoethylether, Diethylenglykolmonobutylether, 1,2-Propylenglykol, Ethylenglykolmonoethylether, Ethylenglykolmonobutylether, Ethylenglykolmonophenylether, 1,2-Propylenglykolmonomethylether, Propylenglykolmonobutylether, Propylenglykolmonophenylether, Ethylenglykolmonomethyletheracetat, Ethylenglykolmonobutyletheracetat, Diethylenglykolmonobutyletheracetat, Propylenglykolmonomethyletheracetat, 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandiolmonoisobutyrat; **Terpenkohlenwasserstoffe**: a-Pinen, b-Pinen, Limonen, ?-3-Caren, Eucalyptol, Camphen, Longifolen; **Aldehyde**: Pentanal, Hexanal, Heptanal, Octanal, Nonanal; **Siloxane**: Hexamethylcyclotrisiloxan, Octamethylcyclotetrasiloxan, Decamethylcyclopentasiloxan.

https://www.bmnt.gv.at/dam/jcr:9c4014a5-4055-4e18-a1e2.../VOC_Allgemein.pdf

manchmal explizit ausgeklammert mit der Abkürzung NMVOC („Non-methane volatile organic compounds“). Die Summe der Konzentrationen sämtlicher VOCs ergibt den TVOC-Wert („Total Volatile Organic Compounds“). Für die Luftreinhaltung sind Angaben über die darin enthaltenen zulässigen Mengen wichtig, jedoch fehlt eine einheitliche Definition, was ein VOC ist, sowie der Grenzwerte für deren Menge in der Luft.³³ Ein Cocktail verschiedener VOCs in der Raumluft ist mittlerweile indes unumstritten für das Kunstgut gefährlich und darüber hinaus auch als schädigend für den Menschen anerkannt.³⁴ In den letzten Jahren wurden daher vermehrt Wechselwirkungen zwischen Aufbewahrungseinrichtungen und Objekten untersucht³⁵, festgestellt³⁶, gemessen, analysiert³⁷ und thematisiert³⁸. Auch Inhaltsstoffe und Abbauprodukte der Objekte³⁹ sowie bei deren Konservierung eingesetzte Substanzen (Naphthalene, 2-Chloroethanol, 2-Bromoethanol, Furfural, 1-Methylnaphthalene, Azulene, 2,4-Dioctylphenol) tragen zur Emission bei.⁴⁰

Das EU-Projekt MUSECORR (Protection of cultural heritage by real-time corrosion monitoring)⁴¹ widmete sich 2009-2012 bereits der Analyse der Umgebungsluft von Objekten in Sammlungen und Ausstellungen, ein weiteres EU-Projekt mit dem Titel MEMORI („Measurement, Effect Assessment and Mitigation of Pollutant Impact on Movable Cultural

³³ https://de.wikipedia.org/wiki/Flüchtige_organische_Verbindingen

³⁴ Das PROPAINTE Projekt (Improved Protection of Paintings during Exhibition, Storage and Transit) widmete sich auch den VOCs und forderte zu weiteren Untersuchungen auf. PROPAINTE Final Activity Report. Dahlin, E. (Ed.), Norwegian Institute for Air Research, 2010, 112; Molhave, 1992, 247–261; Mølhave, 1991, 357–376; Ryhl-Svendsen, Scharff, Wadum, Grøntoft, Dahlin, Lopez-Aparicio, Odlyha, Andrade, Ortega, Obarzanowski, Czop, Hackney, Thickett, Colombini, Bonaduce, 2011, 165–177

³⁵ Pawcenis, Smoleń, Aksamit-Koperska, Łojewski, Łojewska, 2016, art. 576, 1–10; Griesser, Schaaf-Fundneider, 2015, 167–186, 583; Desauziers, Bourdin, Mocho, Plaisance, 2015, 1–8; Ro, Kotajima, Hayashi, Sano, 2013, 207–216

³⁶ Luo, Wu, Zhang, Du, Zhang, Zhou, Zhang, 2016, 109–113; Marcotte, Estel, Leboucher, Minchin, 2014, 68–72; Grøntoft, Schmidbauer, Wisthaler, Mikoviny, Eichler, Müller, Hackney, Sommer-Larsen, 2014, 22–28; Röhrs, Kames, Acksel, Gómez-Sánchez, Simon, 2014, art. 1609, 1–8

³⁷ Beiner, Lavi, Seri, Rossin, Lev, Gun, Rabinovich, 2015, 22–36; Kotajima, Ro, Hayashi, Suga, Sano, 2015, 205–213; Dubus, Asensi Amoros, Bouvet, Brarda-Wieber, Colson, Dupont, Lattuati-Derieux, Lavier, Le Bourg, Masson, Nguyen, Rogaume, Rottier, 2014, 68–76; Lattuati-Derieux, Egasse, Thao-Heu, Balcar, Barabant, Lavédrine, 2013, 238–247; http://www.cwall.de/deutsch.htm?teil4_2_luftschadstoffe.htm~information

³⁸ Eggert, Fischer, Wahlberg, Dinnebier, Runčevski, Kuitert, Schüch, Kampe, Sulzer, Wollmann, 2016, 135–144; Schieweck, Salthammer, 2009, 218–23; Lafuente, Cano, Llorente, Crespo, Künne, Schieweck, 2013, 229–233

³⁹ Banou, Alexopoulou, Chranioti, Tsimogiannis, Terlix, Zervos, Singer, 2016, 589–598; Curran, Strlič, 2015, 1–14; Lattuati-Derieux, Ramalho, Egasse, Thao-Heu, Dupont, 2015, 38–49; Mitchell, Higgitt, Gibson, 2014, 328–340; Coughlin, 2011, 1–5; Ramalho, Dupont, Egasse, Lattuati-Derieux, 2009, 53–59

⁴⁰ Besonders Archäocoll 2000, HMG, Mecosan L-TR, UHU Hart, CN lacquer (Frigilene) Ziegler, Kuhn-Wawrzinek, Eska, Eggert, 2014, art. 0508, 1–8; Jann, Mull, 2013, 41; Maekawa, 2012, 133–145; Kang, Seo, 2010, 9–16

⁴¹ <https://cordis.europa.eu/project/rcn/91251/factsheet/de>

Assets. Innovative Research for Market Transfer“)⁴² 2010-2013 dem Transport⁴³ und den Effekten der VOCs auf Objekte.⁴⁴

Organische Säuren gefährden Objekte aus Blei, Kupfer, Zink, Cadmium, Magnesium, salzhaltige Steine und Keramiken, Glas, Muscheln, Cellulose- und Polyvinylacetat und Gummi. Aldehyde gefährden Objekte aus Metall, Glas, organische Materialien, Gummi und moderne Polymere. Toluene gefährden Gummi und Plastik.⁴⁵

Durch die saisonal bedingten Temperaturveränderungen werden aus natürlichem Holz wie auch aus holzbasierten Werkstoffen unterschiedliche Mengen an Essigsäure in die Luft abgegeben,⁴⁶ aber auch Terpene, Formaldehyde,⁴⁷ Acetaldehyde, Ameisensäure freigesetzt.⁴⁸ Essig- und Ameisensäure⁴⁹ sind schwer aus der Luft zu entfernen⁵⁰ und werden u. a. für Glaskorrosion verantwortlich gemacht.⁵¹ Da VOCs prinzipiell nur schwierig auszusondern sind und sich mit Adsorbentien zumeist nur ein Ausgleich erreichen lässt, wird mittlerweile auf Absorber verzichtet. Emittierende Materialien werden ausgebaut und – wo nicht möglich – beschichtet, was allerdings nur kurzfristige Erfolge zeitigt.⁵² In geschlossenen Vitrinen⁵³ herrschen besonders hohe VOC-Konzentrationen,⁵⁴ die vor allem durch Lüftung reduziert werden können.⁵⁵ Über Versuche, die Korrosion von Eisen-⁵⁶ bzw. Bleiobjekten⁵⁷ durch Beschichtung mit Inhibitoren einzudämmen, wird berichtet, was bei archäologischen Artefakten sich aber als nicht sinnvoll erweist, da diese schon bei Luftfeuchtigkeiten ab 20–40% beginnen zu korrodieren, was ab 60% sprunghaft ansteigt.⁵⁸ Auch die Modifizierung von Bauteilen aus Beton⁵⁹ oder Putz mit temperatur- und feuchtigkeitsausgleichenden,

⁴² <https://cordis.europa.eu/project/rcn/96933/factsheet/en>

⁴³ Hubert, 2012, 22–27

⁴⁴ Thickett, Lankester, 2012, 281–295; Schaaf-Fundneider, Griebler, 2013, 228–255

⁴⁵ Korenberg, Bertolotti, 2019, 250

⁴⁶ Sano, Kotajima, Ro, 2016, 79–88; Sano, Kotajima, Ro, 2014, 33–4; Dubus, Laurent, 2009, 101–108; Oikawa, Matsui, Matsuda, Takayama, Niinuma, Nishida, Hoshi, Yatagai, 2006, 140–146

⁴⁷ Durch die Fokussierung auf das humanschädliche Formaldehyd wurden Ameisen-, und Essigsäure eher außer Acht gelassen. Korenberg, Bertolotti, 2019, 257

⁴⁸ Ro, Sano, Kato, 2011, 91–99

⁴⁹ Während die Formaldehydanteile in den Holzwerkstoffen kontinuierlich reduziert wurden, wurden die für Museumsobjekte gefährlichen Ameisen-, und Essigsäureanteile eher vernachlässigt. Korenberg, Bertolotti, 2019, 257

⁵⁰ Dedecker, Pillai, Nouar, Pires, Steunou, Dumas, Maurin, Serre, Pinto, 2018, 13886–13894

⁵¹ Dinnebier, Fischer, Eggert, Runčevski, Wahlberg, 2016, 1–17

⁵² Meyer, Volland, 2017, 1–31; Korenberg, Bertolotti, 2019, 256

⁵³ Schieweck, Salthammer, 2011, 205–213; Bellendorf, Wittstadt, 2011, 43–47

⁵⁴ Lafuente, Cano, Martín, 2013, 1–4; Schieweck, 2011, 40–44

⁵⁵ Ro, Kotajima, Hayashi, Suga, Sano, 2016, 125–138

⁵⁶ Teng, Hu, 2016, 18–23

⁵⁷ Grayburn, Dowsett, Adriaens, 2016, 1–3

⁵⁸ Watkinson, Rimmer, Emmerson, 2019, 456

⁵⁹ Stammer, 2014, 19–28

schadstoffminimierenden kalkhaltigen Beschichtungen an Bauteilen⁶⁰ wird erörtert. Geeignete Materialien für Aufbewahrungsbehelfe werden gesucht.⁶¹ Adsorber- bzw. Puffer-⁶² und Verpackungs-Materialien⁶³ (selbst die häufig genutzten Polypropylen- und Polyethylen-Verpackungen geben in den ersten Monaten noch VOCs ab, weshalb man sie auf jeden Fall ausdampfen lassen sollte)⁶⁴ werden gesucht und getestet⁶⁵, wie auch Versuche unternommen werden, Schadstoffe auszuschließen.⁶⁶ Es zeigt sich, dass 2- bis 5-malige Lüftungen von Vitrinen pro Tag den Essig- und Ameisensäuregehalt um 78 % bis 96 % senken.⁶⁷ Die Beibehaltung historischer Vitrinen zwingt zu deren Umrüstung.⁶⁸ Auch die dichten Gemäldevitrinen, in denen höhere Konzentrationen gemessen werden als außerhalb, müssen hinterfragt werden.⁶⁹ So wurden im EU-PROPAINTE Research Project 13 Gemäldevitrinen untersucht: Man fand im Durchschnitt zehnmal höhere Konzentrationen in den Gemäldevitrinen als außerhalb, dabei Ozon 0,5–6,0 µg m⁻³, Stickstoffdioxid 0–4 µg m⁻³, Essig- und Ameisensäure 100 und 2,100 µg m⁻³ sowie andere VOCs 100–4,500 µg m⁻³. In einem Fall kam man zu folgenden Ergebnissen: Essig- und Ameisensäure 2.800 µg m⁻³, VOCs, 28.000 µg m⁻³.⁷⁰ Die sichtbaren Niederschläge („Fogging“) an Vitrineninnenseiten orientieren sich dabei meist an nicht zuvor entfernten Produktionsrückständen oder an Resten zuvor verwendeter Reinigungsmittel an der Oberfläche.⁷¹ Die Entfernung von Emissionen von ehemals eingesetzten Insektiziden⁷² sowie die allgemeine Reinigung von Schauräumen spielen eine Rolle.⁷³ Kommen hohe Luftfeuchtigkeiten und Emissionen organischer Materialien zusammen, steigt das Risiko von Schäden, vor allem bei Metall und Glas.⁷⁴ Von Wechselwirkungen muss ausgegangen werden. Es wurde belegt, dass auch von historischen

⁶⁰ Velosa, 2016, 46–48

⁶¹ Dix, Raquet, 2016, 78–87; Wiegner, Farke, Horn, Jann, Hahn, 2012, 38–44; Goffard, 2009, 1–15; Schieweck, Markewitz, Salthammer, 2007, 67–72

⁶² Shashoua, 2016, 128–133; Willet, Newnham, Nel, 2015, 97–104; Grøntoft, 2012, 36–46

⁶³ Magnusson, 2016, 24–29; Garside, Walker, 2015, 1–4

⁶⁴ Larkin, Blades, Makridou, 2000, 41–51

⁶⁵ Ethafoam und Tyvek sind unbedenklich, während 3M Hot Melt Adhesive 3764Q nicht verwendet werden sollte. Araya Monasterio, Icaza Toro, 2016, 25–40

⁶⁶ Roidl, 2016, 36–41; Kim, Seo, Lee, 2009, 241–249

⁶⁷ Grøntoft, Lankester, Thickett, 2015, 28–3

⁶⁸ Tsang, Schmidt, Hollshwander, 2013, 12–1

⁶⁹ Odlyha, Bozec, Dahlin, Grøntoft, Chelazzi, Baglioni, Bonaduce, Colombini, M.P.; Larsen, R.; Scharff, Hackney, Thickett, 2012, 319–324; Watts, Crombie, Jones, Yates, 2007, 253–260

⁷⁰ Odlyha, Jakiela, Bergsten, Slater, Niklasson, Svensson, Cavicchioli, de Faria, Dalva, Thickett, 2011, 430–436; Wiegner, Nohr, Farke, Horn, Kalus, Jann, Hahn, 2011, 30–35; Ryhl-Svendsen, Scharff, Wadum, Grøntoft, Dahlin, Lopez-Aparicio, Odlyha, Andrade, Ortega, Obarzanowski, Czop, Hackney, Thickett, Colombini, Bonaduce, 2011, 165–177

⁷¹ Poulin, Coxon, Anema, Helwig, Corbeil, 2020, 1–13

⁷² Fallon, Peters, Hunt, 2016, 51–62

⁷³ Eibl, 2009, 79–114; Eibl, 2009, 215–244

⁷⁴ Werner, Ankersmit, Joosten, Ruijter, Megens, 2009, 91–104; Torge, Brödner, Wilke, 2007, 458–463; Neily, 2008, 1–55; Podany, 2006, 279–288; Pavlopoulou, Watkinson, 2006, 55–65; Donovan, Moynehan, 1965, 803–814; Budd, 1965, 124–125; Clarke, Longhurst, 1961, 435–443; Schikorr, 1961, 1–10

Gläsern durch Reaktion mit Luftfeuchtigkeit benachbartes Metall angegriffen wird: Die glasinduzierte Metallkorrosion lässt sich gut sichtbar an Verbleiungen beobachten. Zahlreiche historische Gläser sind aufgrund ihrer Zusammensetzung an sich nicht stabil. Auf Glasoberflächen bilden sich alkalische Flüssigkeitsfilme, die als Elektrolyt an benachbarten Metallen Korrosion verursachen können. Der Einfluss von Formaldehyd, Ameisen- oder Essigsäure aus der Innenraumlufte führt zur Bildung spezifischer Korrosionsprodukte. Das betrifft Emailtafeln auf Kupfer des 15. und 16. Jahrhunderts, frühe Goldschmiedearbeiten mit Emailarbeiten, japanische Cloisonnévasen des 19. Jahrhunderts, Hohlgläser mit Metallmontierungen, Reliquiare mit gefassten Edelsteinimitationen aus Glas, Brautkronen mit Glasperlen, Christbaumkugeln oder Schmuck und Knöpfe mit Glaseinlagen. In Verbindung mit Deckgläsern sind Veränderungen an den Metallbestandteilen von Miniaturmalereien, Daguerreotypen und Taschenuhren zu beobachten. Die von der glasinduzierten Metallkorrosion betroffenen Metalle und Glasbestandteile, die am Korrosionsprozess beteiligt sind, und der Einfluss der Innenraumlufte darauf kann mit der μ -Raman-Spektroskopie, der Röntgen-Pulverdiffraktometrie (XRPD) und der energiedispersiven Röntgenanalyse im Rasterelektronenmikroskop (REM-EDX) ermittelt werden. In der Hauptsache werden Kupfer, Kupferlegierungen und kupferhaltige Silberlegierungen von der glasinduzierten Korrosion angegriffen. Bei Messingobjekten lässt sich die Bildung verschiedenster Zinkverbindungen beobachten. Auch mit Blei ausgeschwenkte Glasperlen weisen eine charakteristische Korrosion auf. Die Bildung eines natriumhaltigen Kupferformiat, das an 50 % der untersuchten Objekte festgestellt wurde, kann als kennzeichnend für dieses Korrosionsphänomen angesehen werden. Neben den Formiaten wurden vereinzelt auch Acetate und Carbonate gefunden. Kalium-Ione, die ebenso wie Natrium-Ione durch den Flussmittelanteil im Glas eingebracht werden können, ließen sich in seltenen Fällen in Kupfer-, Zink- und Bleiverbindungen nachweisen. Als Schadensursache können neben der instabilen Glaszusammensetzung auch frühere Konservierungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden: Die Verwendung von alkalischen Reinigungsmitteln für Metalloberflächen und Schmuck besitzt eine lange Tradition. Einen wesentlichen Schadensfaktor stellt die Aufbewahrung der Objekte in Schränken, Vitrinen oder Regalsystemen aus Holz oder Holzverbundstoffen dar, wodurch sie über lange Zeiträume erhöhten Schadstoffkonzentrationen ausgesetzt sind.⁷⁵ So wie neue Vitrinen nicht sofort bestückt

⁷⁵ Fischer, 2016; <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/artdok/5210/>

werden sollten, sollen auch neue Gebäude nicht unmittelbar besiedelt werden, da es hier zu sehr hohen Emissionen aus den frischen Baustoffen kommt.⁷⁶

Bemerkungen zu den derzeit allgemein verwendeten Materialien

Die meisten Museen befinden sich in Stadtzentren, noch dazu in relativ undichten historischen Gebäuden, in denen gasförmige Luftschadstoffe⁷⁷ und Partikelschmutz⁷⁸ von außen zusätzlich mit den in Museen und Depots freigesetzten Emissionen zusammenwirken können.

Baustoffe aus Beton⁷⁹, Glas, Keramik, Ton und Stein sind unbedenklich, wirken sich aber, von Tonbaustoffen abgesehen, nicht klimaaktiv aus.

Lehm-, Ton-, Kalk- und Gipsputze sind klimaaktiv, vor allem aber Lehmputze verschmutzen ihre Umgebung durch hohe Staubbildung. Kalkputze sind aufgrund ihrer Alkalität schimmelresistent und nehmen Schadstoffe und Belastungen wie Kohlen- und Schwefeldioxid auf und bauen diese ab. Gipsputze binden die Raumfeuchte und ziehen keinen Staub an. Werden Putze beschichtet, verlieren sie auch bei Verwendung von diffusionsoffenen Anstrichen viel ihrer klimaausgleichenden Wirksamkeit.

Metall: Einbrennlackierter, pulverbeschichteter oder verchromter Stahl (ohne offene Kanten, Perforierungen etc.) kann verwendet werden. Sonst besteht die Gefahr von Rostbildung.

Einbrennlackiertes, eloxiertes Aluminium kann bei der Oxidation keine Peroxide mehr abgeben und ist dann gefahrlos für die Objekte.

Bodenbeläge bestehen bis 2015 zumeist aus PVC⁸⁰ und nach dem EU-weiten Phthalat-Verbot nun aus Vinyl,⁸¹ einer modernen Variante des PVC-Bodens. Diese Böden sind weniger geeignet als Linoleum⁸²-Böden, welche vor allem zwischen 1880 und 1970 verlegt wurden. Korkböden werden zumeist nach dem Verlegen versiegelt, um nicht zu verschmutzen, sind

⁷⁶ Liu, Zhai, Pei, Li, 2007, 355–361

⁷⁷ SO₂, H₂SO₄, NO, NO₂, O₃. National Park Service, 2016, 4:56–4:58

⁷⁸ National Park Service, 2016, 4:56–4:63

⁷⁹ Die Eignung von Beton wird nur im versiegelten Zustand bestätigt. National Park Service, 2016, 4:56

⁸⁰ Seit 1935. Weich-PVC enthält bis zu 40 % Weichmacher. Die eingesetzten Phthalate sind zum Teil leber- und nierenschädigend und stehen im Verdacht, krebserregend zu wirken. Diethylhexylphthalat (DEHP) ist frucht- und fruchtbarkeitsschädigend. Hart-PVC benötigt keine Weichmacher.

⁸¹ Anstelle der Phthalate werden hier Mischungen verschiedener Alkylsulfonsäureester (Handelsname Mesamoll und Mesamoll II) als Weichmacher eingesetzt.

⁸² 1860 entwickeltes Material aus 32 % Lein- oder Sojaöl, 8 % Naturharzen (Kopal, Kolophonium, Dammar) und Sikkativen, 20 % anorganischen Füllstoffen (Kalk, Pigmente), 40 % organischen Füllstoffen (Kork-, Holzmehl) und Jutegewebe (<https://de.wikipedia.org/wiki/Linoleum>; 22.2.2019)

danach aber nicht mehr klimaaktiv. Zwei-Komponenten-Anstriche, wie sie auch zum Versiegeln von Betonböden eingesetzt werden, sind im musealen Bereich nicht ideal. Teppichböden können je nach Aperturen, Beschichtungen und Gummierungen Schwefel und Harnstoff-Formaldehyd abgeben. Fliesen (nicht klebverlegt) und Holzböden (unversiegelt) sind besser geeignet.

Holz („Naturholz/Vollholz“)

Im Lauf der Alterung geben natürliche, unbehandelte Hölzer wie Eiche, Buche, Birke und Kastanie vor allem Essig- und Ameisensäure, aber auch in geringerem Maße Alkohole und Formaldehyd ab. Die Abgabe organischer Säuren verringert sich mit der Zeit und findet hauptsächlich bei zunehmender relativer Luftfeuchtigkeit (über 60 %) statt. In einer jüngeren Untersuchung konnte nachgewiesen werden, dass bei Erhöhung der Temperatur von 20 auf 45° C verschiedene Hölzer wie Eiche und Kiefer signifikant mehr Essigsäure emittieren.⁸³ Nur bei Objekten aus Holz, nicht salzbelastetem Stein und stark eingeschränkt bei Keramik und Glas ist der direkte Kontakt zu Holz nur temporär unbedenklich (Essig-Emissionen aus Eichenholz greifen kalkhaltige Materialien an).⁸⁴

Hölzer, die im musealen Bereich nicht roh verwendet werden sollten, sind: Eiche, Tanne (Douglasie), Kastanie, Kiefer, Föhre und Buche (gibt in dieser Reihe am wenigsten Formaldehyd ab). Freigesetzte organische Säuren können tierische Leime gerben. Vor allem an Objekten aus Blei und an bleihaltigen Legierungen wirken diese Hölzer korrosionsfördernd.

Eingesetzt werden können Walnuss, Birke, Fichte und Ulme sowie die Tropenhölzer Mahagoni, Iroko und Ramin. Manche tropischen Hölzer geben Amine in die Umgebungsluft ab.

Abgelagertes Holz ist prinzipiell frischem Holz, welches mehr freie organische Säuren enthält, vorzuziehen.⁸⁵

⁸³ Korenberg, Bertolotti, 2019, 254; Makowski, Ohlmeyer, 2006, 417–422

⁸⁴ Über durch Vollholz hervorgerufene Salzausblühungen an Keramik berichtet: Korenberg, Bertolotti, 2019, 249f

⁸⁵ Tértreault, 1992, 163–176; ders. 1994, 79–87; Hilbert, 2002, 251f; Schäfer, Roffael, 1999 (57), 340; Schäfer, Roffael, 2000, 259–264; Schäfer, Roffael, 1999, 136

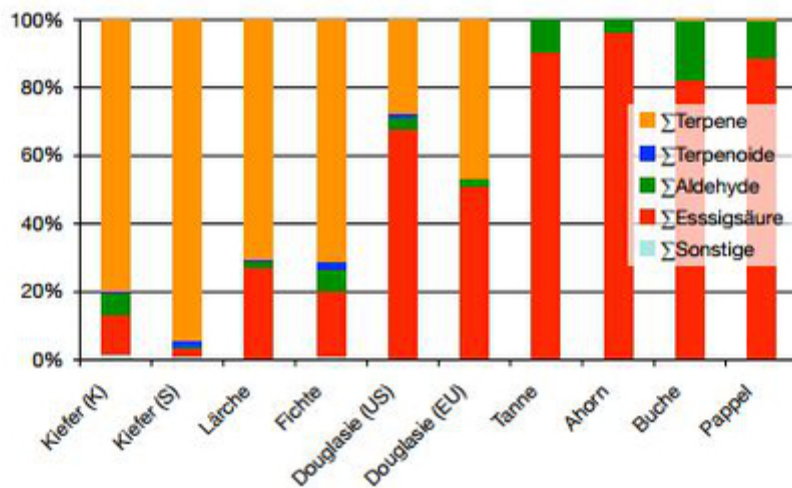


Abbildung 12: Zusammensetzung der VOC-Emissionen verschiedener Holzarten nach 20 Minuten und bei 60 °C im Thermoextraktor

Die Formaldehyd-Emissionswerte von natürlich gewachsenem Holz sind bei allen Holzarten so gering, dass sie für die Belastung von Innenräumen für den Menschen zwar vernachlässigt werden können, nicht aber unbedingt für eingelagertes Kunstgut: Daher sind die Werte im ppb-Bereich: 1 ppb = 0,001 ppm (E1-Richtwert im Vergleich: 0,1 ppm) nicht unbedingt auf museale Bereiche übertragbar. Die in der Literatur⁸⁷ angegebenen Ergebnisse für die Formaldehyd-Abgabe von natürlich gewachsenem Holz in der Prüfkammer liegen nach DIN V ENV 717-1 zwischen 0,009 ppm bei Eiche und bis 0,002 ppm bei Buche; Douglasie, Fichte und Kiefer liefern Werte zwischen 0,003 und 0,004 ppm. Formaldehydabgabe verschiedener Hölzer:⁸⁸

Buche:	frisch/feucht: 0,002 ppm	getrocknet: 0,003 ppm
Fichte:	frisch/feucht: 0,003 ppm	getrocknet: 0,004 ppm
Kiefer:	frisch/feucht: 0,003 ppm	getrocknet: 0,005 ppm
Douglasie:	frisch/feucht: 0,004 ppm	getrocknet: 0,005 ppm
Eiche:	frisch/feucht: 0,009 ppm	getrocknet: 0,004 ppm

Natürliche Emissionen aus verschiedenen Holzarten sind abhängig von der jeweiligen Holzart, von dem Alter und Feuchtegehalt des Holzes.⁸⁹ Neben den wesentlichen holzeigenen

⁸⁶ Quelle: <http://www.eggbi.eu/forschung-und-lehre/zudiesemthema/emissionen-aus-holz-und-holzwerkstoffen/#c768>

⁸⁷ Meyer, B. und Boehme, C.: Formaldehyd-Abgabe von natürlich gewachsenem Holz. Holz-Zentralblatt 120, 1994, 1969ff

⁸⁸ Quelle: <http://www.eggbi.eu/forschung-und-lehre/zudiesemthema/emissionen-aus-holz-und-holzwerkstoffen/#c768>

⁸⁹ http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/dk040782.pdf (S. 23)

Emissionen finden sich auch – je nach Holzart – eine Reihe weiterer Stoffe (z. B. Terpene), die aber aufgrund der geringen Konzentrationen für eine präventive Bewertung nicht relevant erscheinen. Von Bedeutung sind: Alkohole und Ether (z. B. 1-Butanol, 3-Hydroxy-4-methylpentan-2-on), aromatische Kohlenwasserstoffe (z. B. Toluol), Aldehyde (z. B. Pentanal, Hexanal) und Isoalkane.

Grundsätzlich weist die Kiefer in der Regel die höchsten VOC-Emissionen auf, wesentlich geringere Werte zeigen Tanne und Buche, die niedrigsten Werte finden wir bei der Pappel.⁹⁰

Carbonsäuren⁹¹, insbesondere Essig- und Ameisensäuren, haben ein eher höheres Gefährdungspotenzial⁹² für Kunstgut.⁹³ Nahezu alle Institute ordnen derzeit bereits bei der Summenberechnung (TVOC) Essigsäure den VOCS und nicht den VVOCS zu.⁹⁴

Essigsäure wirkt auf Kunstgut hauptsächlich korrosiv. Abweichend von der strengeren Einstufung bezüglich Richtwert I und Richtwert II durch das Umweltbundesamt wurde eigenartigerweise im AgBB-Schema (Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauproduktemissionen) 2012 zur Bewertung von Bauprodukten der NIK-Wert (Niedrigste Interessierende Konzentration, im englischen LCI, dient als Hilfsgröße zur gesundheitsbezogenen Einzelstoffbewertung im AgBB-Schema) für Essigsäure von 500 µg/m³ auf 1.250 µg/m³ erhöht.

Ameisensäure wirkt auf Kunstgut hauptsächlich korrosiv. Nach der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe geht von der Ameisensäure ein mehr als

⁹⁰ <http://www.eggbi.eu/forschung-und-lehre/zudiesemthema/emissionen-aus-holz-und-holzwerkstoffen/#c768>

⁹¹ Xu, Xie, Liu, Shi, Wu, 2010, 1–5

⁹² Die Richtlinie VDI DIN 4301 Blatt 7 beschreibt die Probenahme und Analytik von Carbonsäuren (C1–C8) in der Innenraumluft und in Materialproben. Einleitung zur VDI-DIN 4301, Blatt 7; 2018-10

⁹³ „Die C1- bis C8-Carbonsäuren sind mittels konventioneller VOC-Analytik gemäß ISO 16000-6 nur schwierig bestimmbar, weil erfahrungsgemäß für diese Carbonsäuren unter anderem bei Verwendung von Tenax TA® als Sorbens Minderbefunde erhalten werden. Für die empfindliche quantitative Bestimmung der C2- bis C8-Carbonsäuren eignet sich die Probenahme durch Adsorption auf Thermodesorptionsröhrchen, die mit geeigneten Sorbentien gefüllt sind. Die analytische Bestimmung erfolgt durch Thermodesorption mit Gaschromatografie-Massenspektrometrie (TDS-GC-MS). Alternativ kann die Bestimmung auch nach Adsorption an Silicagel mit anschließender, Flüssigextraktion und GC/MS erfolgen. Methansäure kann mit den oben erwähnten Methoden gaschromatografisch nicht bestimmt werden, sondern nur ionenchromatografisch.“ Die Richtlinie beschreibt die Probenahme und Analytik von Carbonsäuren (C1–C8) in der Innenraumluft und in Materialproben. Einleitung zur VDI-DIN 4301, Blatt 7; 2018-10

⁹⁴ Nach Aussage Umweltbundesamt zur Zuordnung TVOC: „Es sei ergänzend darauf verwiesen, dass in einem solchermäßen ermittelten TVOC Konzentrationswert nicht alle in der Raumluft befindlichen VOC erfasst sind. Insbesondere niedermolekulare Aldehyde, Amine und stark polare VOC sind mit den zur Zeit für die gaschromatographische Bestimmung von VOC in Luft üblichen Verfahren nur bedingt analysierbar und müssen unter Verwendung geeigneter Verfahren gesondert bestimmt werden“. Die Bestimmung der Essigsäure funktioniert nicht bei einer unpolaren Säule und muss daher mit einem geeigneten Verfahren analysiert werden. Und damit gibt es einen Messwert einer identifizierten Substanz, der zum TVOC zählt. „Essigsäure ist den VOC (Retentionsbereich C6C16) zuzuordnen, obwohl es sich dabei um eine kurzkettige Carbonsäure handelt. Sie ist daher Bestandteil des TVOC-Werts.“

<https://www.baubook.info/m/PHP/Kat.php?SKK=2206.10159.10245.10246.10247&ST=35&rg=K&win=y&SW=16&oeqpk=1>

zweimal so großes Gefährdungspotenzial aus. Während die Essigsäure mit einem AGW (Arbeitsplatzgrenzwert) von 10 ppm (25 mg/m³) geführt wird, ist für die Ameisensäure ein AGW von 5 ppm (9,5 mg/m³) festgelegt. Daraus abgeleitet: Arguk (Arbeitsgemeinschaft Umweltkontrolle)-Vorsorgewert, nutzungsüblich: Ameisensäure: 40 µg/m³; Arguk-Gefahrenwert, nutzungsüblich: Ameisensäure: 150 µg/m³.⁹⁵

Acetaldehyd: Hat auf den menschlichen Körper besonders vielfältige schädigende Wirkungen.⁹⁶ Auch hier ist man sich noch nicht über Obergrenzen einig: Die Richtwerte variieren zwischen 100 µg/m³ und 1.000 µg/m³ Acetaldehyd/m³. Natureplus setzt einen niedrigeren Grenzwert von 36 µg/m³ Acetaldehyd fest.⁹⁷

Lüftung: „Während nutzungsübliches Lüften zu deutlichen Reduzierungen der Raumluftkonzentrationen von Terpenen und längerkettigen Aldehyden führt, sind die Lüftungseffekte für Formaldehyd sowie für Ameisensäure und Essigsäure wesentlich schwächer ausgeprägt. Infolge der Lüftung kann es sogar zu einem Konzentrationsanstieg kommen.“⁹⁸

Holzwerkstoffe

Flüchtige organische Verbindungen (volatile organic compounds, kurz VOC) werden vor allem von Holzwerkstoffen über Jahre hinweg freigesetzt. Auch unbehandeltes „Naturholz/Vollholz“ emittiert geringe Mengen von „natürlichem Formaldehyd“, die allerdings in der Regel aus gesundheitlicher Bewertung nicht für das Raumklima als relevant betrachtet werden, sich aber im musealen Bereich durchaus bemerkbar machen. In verschlossenen Behältnissen können jedoch die Essigsäure-Emissionen fast doppelt so hoch als jene, welche von MDF abgegeben werden sein.⁹⁹ Vor holzbasierten Materialien wird

⁹⁵ https://www.arguk.de/infos/documents/Essigsaeure_in_der_Raumluft_von_Fertighaeusern_red.pdf

⁹⁶ „Zum Schutz der Gesundheit der Bevölkerung setzt die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden Richtwerte für die Innenraumluft fest. Für eine gesundheitliche Bewertung von Acetaldehyd in der Luft liegen keine hinreichend aussagekräftigen Humanstudien vor. In einer subchronischen Inhalationsstudie an Ratten wurden lokale Reizeffekte in den nasalen Epithelien beobachtet, insbesondere im olfaktorischen Epithel mit einem Verlust olfaktorischer Neurone. Aus dieser Studie ergibt sich eine LOAEC (lowest-observed-adverse-effect level = niedrigste Konzentration oder Menge einer Substanz, die durch Experiment oder Beobachtung gefunden wurde) für kontinuierliche Exposition von 48 mg Acetaldehyd/m³ für den Endpunkt nasale Epithelschädigung.“; "Mit einem Extrapolationsfaktor von 1 für Interpeziesunterschiede, von 10 für interindividuelle Variabilität sowie einem Faktor von 2 zur Berücksichtigung der im Vergleich mit Erwachsenen höheren Atemrate von Kindern ergibt sich ein Richtwert I (Vorsorgerichtwert) von 0,1 mg/m³ (=100µg/m³) Acetaldehyd/m³ Raumluft und ein Richtwert II (Gefahrenrichtwert) von 1 mg/m³ (= 1000 µg/m³) Acetaldehyd/m³“.

⁹⁷ <https://www.natureplus.org/>

⁹⁸ Dipl.-Chem. Dr. Wigbert Maraun auf: https://www.arguk.de/forschung/Maraun2018-Carbonsaeuren_in_Holzmodul-und_Holzstaenderbauten.jpeg

⁹⁹ Korenberg, Bertolotti, 2019, 256

daher in der Regel gewarnt: Vollholz, Sperrholz-, Span- und Faserplatten geben karzinogenes Formaldehyd und organische Säuren ab.

Die Klebemittel bestehen aus von der Klebemittelindustrie formulierten, modifizierten Rohstoffen. Meist werden ihnen äußere Weichmacher (Hochsieder) beigegeben, die nicht nur Klebeeigenschaften vermitteln, sondern auch ausdampfen können. Die in der Holzplattenherstellung verwendeten formaldehydhaltigen Aminoplaste und Phenolharze werden unter hohem Druck und Wärme verpresst. Sie dampfen über Jahre aus dem Gefüge aus, können hohe Konzentrationen vor allem in verschlossenen Kisten und Vitrinen erreichen und proteinhaltige Leime¹⁰⁰ gerben. Die Kleber der Holzstäbchenplatten sollten durch formaldehydfreie und weichmacherfreie Klebstoffe¹⁰¹ oder reine PVAc-Dispersionen¹⁰² ersetzt werden, was jedoch auf Widerstand bei der Holzverarbeitenden Industrie stößt.

Sollten diese Platten wegen ihrer höheren Festigkeit oder Pufferwirkung verwendet werden müssen, sollten sie nur laminiert (an allen Seiten und Kanten) oder mit Melaminharzbeschichtung (Resopal) verwendet werden. Auch können mit Aluminiumverbundfolie (barrier foil) bezogene Platten eingesetzt werden. Diese Sandwichfolie (innen Aluminium, an den Deckflächen Kunststoff) können durch Hitzeversiegelung auf einen jeweiligen Untergrund aufgebracht werden und diesen so abschließen, dass die schädlichen Emissionen minimiert werden.

Formaldehyd: Aus der Verarbeitung ergeben sich bei Holzwerkstoffen Probleme mit humanschädlichem – vor allem durch Klebstoffe – zugefügtem Formaldehyd, was teilweise zu massiven Erhöhungen der Innenraumbelastungen führen kann. Vor allem in der Vergangenheit (Spanplatten der 1970er-Jahre), aber unter anderem auch bei osteuropäischen Produktionsstätten, werden noch immer reichlich formaldehydhaltige Kleber und Lacke für Holzwerkstoffe eingesetzt. In Westeuropa ist, nach jüngeren Studien, mittlerweile die für Museumsobjekte von Formaldehyd ausgehende Gefahr weitaus geringer bzw. vernachlässigbar, gemessen an der Gefahr welche von anderen VOCs, insbesondere Essig- und Ameisensäure ausgeht.¹⁰³

Mit der Verwendung von **PUR**-Produkten wurde zwar das Formaldehyd-Problem im Wesentlichen gelöst, diskutiert werden dabei aber die ökologischen Nachteile und

¹⁰⁰ Proteinhaltige Leime (z. B. Knochen-, Fisch-, Hasenhautleim) wurden an Kunst- und Kulturgütern vieler Jahrhunderte als Bindemittel eingesetzt.

¹⁰¹ Z. B. Hoechst Mowilith DHS, ca. 50 %, homopolymere Polyvinylacetat-Dispersion. Die klebestarken PVAc-Leime können jedoch saure Abbauprodukte abgeben.

¹⁰² Z. B. Mowilith D, DN, DNN; Wacker Vinnapas H 60, H 65, D 50; D 50 G, M 50

¹⁰³ Korenberg, Bertolotti, 2019, 256f

gesundheitlichen Risiken vor allem bei der Verarbeitung mit Isocyanat-Klebern. Diese werden in der gebundenen Form als ungefährlich angesehen, sind jedoch in Produktion und Verarbeitung problematisch. Sie sorgen zwar im Härter für formaldehydfreie Verklebungen, sind aber bei späterer Entsorgung und im Brandfall problematisch. Aus der Fülle von „Kurzbezeichnungen“ der unterschiedlichen Klebesysteme nachfolgend einige Beispiele:

PUR = Polyurethan, hat in der Regel sehr geringe Formaldehydwerte, aber die ökologischen Nachteile von PUR-Produkten; PF= Phenol-Formaldehyd (enthalten alkalische Katalysatorensalze), PMDI= Polymere Diphenylmethan Diisocyanate (diese Verleimungsart sollte die bevorzugte bei MDF-Platten sein¹⁰⁴), MF = Melamin-Formaldehyd-Leim, MUF = Melamin-Harnstoff-Formaldehyd (Melamin-Urea-Phenol-Formaldehyd), MUPF = Melamin-Harnstoff (Urea)-Phenol/Formaldehyd, geben je nach Hersteller und Zusammensetzung unterschiedliche Formaldehydmengen ab, erreichen in der Regel bestenfalls den E1-Status (Kennzeichnung von Holzwerkstoffplatten nach Formaldehydgehalt); UF = Harnstoff-Formaldehyd-Leim (enthält saure Katalysatorensalze), MU = Melamin, laut Herstelleraussage sog. emissionsarme Melaminleime ohne freies Formaldehyd, d. h. ein VOC-armes Melaminleimsystem – mit angeblich nur 11 µg/m³ Formaldehyd, der dabei verwendete Härter soll jedoch 10–25% Ameisensäure enthalten. Wie stark diese beim fertigen Produkt noch feststellbar sind, lässt sich nicht durch eine normale TVOC-Kammeruntersuchung, sondern durch eine entsprechende Analytik nachweisen. Soja- und stärkebasierte Leime befinden sich derzeit noch in der Erprobungsphase.¹⁰⁵

Die tatsächlichen Emissionswerte der unterschiedlichen Leime werden von den Herstellern Akzo Nobel (MU), Henkel (Pattex, Ponal) und BASF (PCI) nicht weitergegeben, die Aussagen in den technischen Unterlagen sind relativ aussagearm, sodass man daraus keine stofflichen Bewertungen im Hinblick auf gesundheitliche Verträglichkeit ableiten kann.¹⁰⁶ Holzwerkstoffplatten werden derzeit nach ihrem Formaldehydgehalt gekennzeichnet:

FO Der Holzwerkstoff wurde mit formaldehydfreien Klebern hergestellt. Das stattdessen verwendete Bindemittel enthält gebundene Isocyanate.

E1 Das Material lässt unter festgelegten Bedingungen (s. u.) nicht mehr als 0,1 ppm Formaldehyd in der Raumluft entstehen (120 µg/m³).

E2 Das Material lässt unter festgelegten Bedingungen nicht mehr als 1,0 ppm Formaldehyd in der Raumluft entstehen (1,2 mg/m³).

E3 Das Material lässt unter festgelegten Bedingungen nicht mehr als 2,3 ppm Formaldehyd in der Raumluft entstehen (2,3 mg/m³).

¹⁰⁴ Korenberg, Bertolotti, 2019, 253–256; Gul, Khan, Shakoor, 2017, 1-6

¹⁰⁵ Korenberg, Bertolotti, 2019, 251

¹⁰⁶ Angaben aus den Sicherheitsdatenblättern zum Härter: H302 = gesundheitsschädlich bei Verschlucken; H314 = verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden; H318 = verursacht schwere Augenschäden; H331 = giftig beim Einatmen

Holzemissionen bei oft großflächig verbauten Mehrschichtplatten sind unterschiedlich hoch. Bei Mehrschichtplatten begegnen wir vor allem Melaminharzverklebungen:

Die Bemessung der VOC-Präsenz von Innenräumen kann als Maßstab für eine Gesundheitsgefährdung des Menschen dienen (Bundesgesundheitsamt 1977, WHO 2010), beim Kunstgut jedoch werden Prozesse schon früher ausgelöst. Der untere Richtwert sollte daher nicht überschritten werden: Bicyclische Monoterpene 0,2 mg/m³; monocyclische Monoterpene 1,0 mg/m³; gesättigte azyklische aliphatische C4-C11-Aldehyde 0,1 mg/m³; 2-Furaldehyd (Furfural) 0,01 mg/m³; Benzaldehyd 0,02 mg/m³; Formaldehyd 0,08 ppm.¹⁰⁷

Holzstäbchenplatten: Die sehr stabilen, biegesteifen Holzstäbchenplatten (auch Tischlerplatte) sind im Vergleich zu Vollholz weniger klimaaktiv. Sie sollten aufgrund ihrer Klebmittelanteile (in der Regel Zweikomponentensysteme der Kondensationsprodukte aus Phenol- und Resorcin-Harzen mit Formaldehyd oder Melamin-Formaldehyd-Kondensationsharze, welche durch Polymerisation ausgehärtet werden) nicht verwendet werden, da vor allem nicht vollständig polymerisierte Ausgangsstoffe über längere Zeiträume hinweg ausdampfen können. Wegen dieser Gefahr sollten sie nicht oder nur dicht beschichtet verwendet werden.

Sperrholzplatten: Schon im alten Ägypten hatten diese Platten ihre Vorläufer. Aus mehreren Lagen über kreuzverleimte, furnierdick geschnittene Holzlagen werden sie heute unter Druck mit Wärme und Bindemitteln verpresst. Sie sind weitgehend dimensionsstabil, geben aber Dämpfe der Klebstoffe ab. Über fünflagige Sperrholzplatten bezeichnet man als Multiplexplatten. Auch die zumindest sechsschichtige **Multiplexplatte** ist wenig geeignet, da die hierfür eingesetzten wasserfesten Leime (Phenol-Resorcin-Formaldehyd-Kleber oder Melamin-Formaldehyd-Kondensationsharze) ausdampfen. Die nicht dauerhaften Klebmaterialien und das gegenläufig arbeitende Material können bei künstlerischer Gestaltung konservatorische Probleme mit sich bringen.¹⁰⁸

Holzfaserplatten

¹⁰⁷ Quelle: <http://www.eggbi.eu/forschung-und-lehre/zudiesemthema/emissionen-aus-holz-und-holzwerkstoffen/#c768>

¹⁰⁸ Masson, 2017, 288–315

Spanplatten: Die ersten Spanplatten wurden bereits 1937 erzeugt.¹⁰⁹ Die Entwicklung der Holzspanplatte lief parallel mit der Entwicklung geeigneter Klebstoffe auf Kunstharzbasis. 1946 gab es die erste industrielle Fertigung von Spanplatten.

Die heutigen E0-Spanplatten, welche mit Polyurethan-Leimen auf der Basis von Diphenylmethan-Diisocyanaten verleimt sind, neigen zum Ausbrechen bei der Bohrung und Verschraubung. Auch ist Polyurethan, je nach Beimischungen, nicht stabil. Diisocyanat, PUR-Bestandteil dampfen neben Diolen aus dem Gefüge aus. Ältere, formaldehydhaltige Spanplatten können zur Natriumformiatbildung an Glas beitragen.¹¹⁰ Insgesamt gesehen geben Spanplatten besonders viel Inhaltsstoffe an ihre Umgebung ab, weshalb sie im musealen Bereich nicht verwendet werden sollten.

Hartfaserplatten

Ein Vorläufer der Hartfaserplatten wurde 1898 in England durch Heißpressen von Altpapier erzeugt. Ab der Jahrhundertwende wurden Faserplatten aus relativ geringer Dichte in Kanada hergestellt. In den frühen 1920er Jahren führte das Komprimieren von nassem Holzzellstoff bei hohen Temperaturen zu einer höheren Dichte der Platten. Der Faseraufschluss durch Zerfasern (Schleifen) oder chemisch und wurde ab 1920 durch das Dampfexplosionsverfahren nach Mason (masonite = engl. für Hartfaserplatten) verbessert. 1934 entwickelte Asplund in Schweden das sogenannten Dampfzerfaserungsverfahren für Faserplatten. Für höhere Wasserbeständigkeit, Schlagfestigkeit, Härte, Steifigkeit und Zugfestigkeit wird die Hartfaserplatte mit einem Film aus Leinöl beschichtet und unter hohem Druck und Hitze (170 ° C) verpresst. Eine Sättigung (5 bis 6 %) der Platte in Leinöl oder Tungöl ist ebenso möglich.¹¹¹

Die im Nassverfahren (Siebstruktur auf Rückseite) hergestellten, harten (Rohdichte circa 800 kg/m³), aber leicht elastischen Holzfaser- bzw. Hartfaserplatten¹¹² haben verglichen mit MDF- oder HDF-Platten geringere Bindemittelanteile (Phenol-, Formaldehyd- und teilweise Harnstoff-Formaldehyd-Harze), weshalb sie bezogen auf Schadstoffemissionen eher geeignet sind, aber in Bezug auf ihre geringe Klimaaktivität weniger. Nur die Masonit-Platten¹¹³ sind

¹⁰⁹ Felix Pfohl erhielt 1937 das Patent für "eine Platte für Möbel- und Bautischler und für das Verfahren zur ihrer Herstellung".

¹¹⁰ Hilbert, 2002, 269

¹¹¹ <http://mussenstellen.com/article/hartfaserplatten>

¹¹² Bei nach diesem Verfahren hergestellten Platten erfolgt die Verklebung der Fasern durch holzeigene Stoffe. Brunner, 1988, 62, 125–128; Achternkamp, 1991, 38–40

¹¹³ Masonit-Platten enthalten im Gegensatz zu anderen Hartfaserplatten keinen Kleber. Sie sind nur durch holzeigene Stoffe gebunden. Im von William H. Mason entwickelten Mason- oder Explosivverfahren werden längere intakte Fasern gewonnen, welche gewaschen und getrocknet werden. Danach wird die Masse heiß gepresst, dann in einer Hochdruckpresse kalt. Masonit-Platten sind sehr stabil, relativ schwer und teuer, aber wenig klimaaktiv.

komplett bindemittelfrei und unter den Hartfaserplatten am ehesten geeignet. Im Nassverfahren, aus zerfaserten, zermahlenden und verfilzten Holzgangsstoffen (Holz, Stroh, Bagasse) und mit wenig Bindemittel vermischte sowie unter Druck und Wärme verpresste dimensionsstabile Platten (auch Kabak-Platten genannt) können – wenn auch nur in geringem Ausmaß vorhandene – Dämpfe der Klebstoffe abgeben. Sie werden überraschend oft bei gerahmten Grafiken als Rückwände eingesetzt.

Weichfaserplatten: Die hauptsächlich zu Dämm- und Schallabsorptionszwecken eingesetzten („Gutex“-) Platten (Rohdichte circa 230 kg/m^3) bestehen in der Regel aus 93 % Nadelholz, 5 % Wasser, 1,5 % PVAc-Leim und 0,5 % Aluminiumsulfat (Alaun). Der aus diesen Bestandteilen produzierte Brei wird über mehrere Tage bei $120\text{--}190 \text{ }^\circ\text{C}$ getrocknet. Im Nassverfahren ohne Zusatzstoffe hergestellte Weichfaserplatten sind nahezu unbedenklich¹¹⁴ und besitzen vorzügliche hygroskopische Eigenschaften. Sie sind jedoch nicht gegen Abrieb beständig und neigen zum Ausbrechen, weshalb sie zumeist mit Papieren oder Stoffen beschichtet werden. Sie können im Sockel von Vitrinen auch als passive Feuchtigkeitsspeicher eingesetzt werden, um kurzfristige Klimaschwankungen auszugleichen. Feuchteresistente Platten enthalten neben Naturharzen für den musealen Bereich ungeeignete Bindemittel wie Latex und Bitumen.

MDF-Platten: Bei MDF-Platten werden Phenol-, Formaldehyd- und teilweise Harnstoff-Formaldehyd-Harze als Bindemittel eingesetzt. Formaldehydarme MDF-Platten,¹¹⁵ welche die geringe Formaldehydemission von $0,1 \text{ ppm}$ ¹¹⁶ aufweisen, besitzen eine gewisse Eignung¹¹⁷ für den temporären Ausstellungs- und Versandkistenbau.¹¹⁸ Die Ausgangsmaterialien werden mit Bindemitteln¹¹⁹ gemischt und im Trockenverfahren unter Druck bei $230 \text{ }^\circ\text{C}$ verpresst (Rohdichte zwischen 565 und 780 kg/m^3). Die Platten sind in allen Dicken von 6 bis 38 mm verfügbar, können aber auch in jeder Schreinerei problemlos dünner geschliffen werden.¹²⁰

¹¹⁴ Brunner, 1988, 62, 125–128; Achternkamp, 1991, 38–40

¹¹⁵ MDF = **M**itteldichte **F**aserplatte (**m**edium **d**ensity **f**iberboard), nach EMB-Entwurf CEN N 592

¹¹⁶ Merkblatt der Glunz AG, ab 2018 Sonae Arauco Deutschland GmbH. Für formaldehydarme MDF-Platten ist derzeit ein Grenzwert von max. 10 mg/100 g nach der Perforatormethode DIN EM 120 vereinbart. MDF-Topan® ist der Emissionsklasse E1 zuzuordnen.

¹¹⁷ Die glatte MDF-Topan®-Platte hat den Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor $\mu = 50$. Auch aus natürlichem Holz gefertigte Platten geben Schadstoffe ab (vgl. Schieweck, 2011, 26)

¹¹⁸ Böhmer, 2017, 41–43

¹¹⁹ Harnstoff-Formaldehydharz mit chloridfreien Härtern. Seit Sommer 1994 sind formaldehydfrei verleimte MDF-Platten erhältlich.

¹²⁰ Die dickeren Platten sind jedoch sehr schwer und deshalb für große Kisten ungeeignet.

Die Sonae Arauco Deutschland GmbH¹²¹ stellt MDF-Platten¹²² (UF-verleimt¹²³) her. Diese MDF-Platten weisen eine Formaldehydemission von 0,1 ppm¹²⁴ auf. Das entspricht einem Perforatorwert¹²⁵ zwischen 7,2 HCHO/100 g atro (=absolut trocken) Platte und 8,1 HCHO/100 g atro Platte (bei einer Bezugsfeuchte von 6,5 %). Die mitteldichte Faserplatte MDF-Topan® (UF-verleimt) hat eine Rohdichte von ca. 780–800 kg/m³ und entspricht in seiner Ausgleichsfeuchte etwa dem Vollholz. Diese glatten¹²⁶ oder strukturierten¹²⁷ Platten werden im Gegensatz zu den Holzspanplatten aus entrindetem Kiefern- und Fichtenholz sowie einem minimalen Tannenholzanteil, mit gleichmäßigen Fasern, die mit Bindemitteln¹²⁸ gemischt und im Trockenverfahren unter Druck bei 230 °C verpresst werden, hergestellt.

Seit 1994 sind auch formaldehydfrei verleimte MDF-Platten erhältlich. Als Bindemittel liegt hier ein Gemisch aus Polyurethan (PUR)¹²⁹ und Polyharnstoff¹³⁰ vor, welches in geringeren Mengen¹³¹ eingesetzt wird, als dieses für Harnstoff-Formaldehydharze¹³² infrage käme. Die Rohdichte dieser PUR-verleimten Platten liegt um 700 kg/m³ und ist damit geringer als die der herkömmlichen UF-verleimten MDF-Platte, weshalb sie auch weniger Feuchtigkeit aufnehmen kann.¹³³ Die Formaldehydemission, welche von dieser Platte ausgeht, beträgt 0,01 ppm. Der Blindwert der 1 m³ großen Prüfkammer schwankt zwischen 0,01 und 0,015 ppm, d. h. diese MDF-Platten (z. B. Topan® FF) können als formaldehydfrei bezeichnet werden. Der Perforatorwert dieser Platte liegt zwischen 0,4 HCHO/100 g atro Platte (bei einer Bezugsfeuchte von 7,9 %). Diisocyanate und Diphenylmethandiamin sind in dieser Platte ebenfalls nicht nachzuweisen.¹³⁴ Diese Platte weist eine geringere Rohdichte auf, quillt nicht so stark wie die herkömmliche MDF-Platte¹³⁵ und enthält weniger Bindemittel. Die PUR-verleimten MDF-Platten sind jedoch nicht in der Lage, so viel Feuchtigkeit wie die herkömmlichen MDF-Platten zu speichern.¹³⁶

Die Spanplattenindustrie Fritz Egger¹³⁷ stellt unter dem Namen Formline MDF-Platten aus rindenfreiem Nadelholz her. Der Fremdstoffgehalt ist geringer als 0,05 %. Die Platten variieren in der Dicke zwischen 2,5 und

¹²¹ Ehem. Glunz Consult GmbH, seit 2018 Sonae Arauco Deutschland GmbH, Postfach 1310, D-49703 Meppen, Grecostraße 1, D-49716 Meppen

¹²² MDF-Platten sind in verschiedenen Standarddicken (6–38 mm) erhältlich.

¹²³ UF-verleimt bedeutet, dass die Verleimung mit einem Harnstoff-Formaldehydharz, in der Regel einem Melamin-Urea-Phenol-Formaldehyd-Leim, erfolgt. Sie entsprechen der E1-Klassifizierung.

¹²⁴ Für formaldehydfreie MDF-Platten ist derzeit ein Grenzwert von max. 10 mg/100 g nach der Perforatormethode DIN EN 120 vereinbart.

¹²⁵ Nach der Perforator-Methode entsprechend der Norm EN 120.

¹²⁶ Eine glatte unbehandelte MDF-Platte hat einen Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor von $\mu = 50$.

¹²⁷ MDF-Strukturplatten sind auf der geprägten Seite mit einem speziellen, harzgetränkten Kraftpapier beschichtet, welches die Funktionen einer Grundierung übernimmt.

¹²⁸ Harnstoff-Formaldehydharz mit chloridfreien Härtern.

¹²⁹ Vernetztes PU hat im Gegensatz zu linearem PU hohe Wärme und Alterungsbeständigkeit. Sie sind in Lösemitteln unlöslich und in gewissem Umfang elastisch. Ihre Härte steigt mit dem Grad der Vernetzung. Rink, Schwahn, 1979, 133. PU bindet sich chemisch an die Cellulose. PU ist nicht hygroskopisch. Eipper, 1994, 63

¹³⁰ Polyharnstoff entsteht wie Polyurethan bei der Vernetzung von Bindemittelmolekülen. Polyharnstoff wird nicht als Härter zugesetzt.

¹³¹ Der Bindemittelanteil von PUR-verleimten MDF-Platten beträgt 3 %.

¹³² Der Bindemittelanteil von UF-verleimten MDF-Platten beträgt 11 %.

¹³³ Bei den herkömmlichen MDF-Platten liegt mehr freie Cellulose vor, der Klebeharzanteil ist höher, es liegt unter den einzelnen Fasern eher eine punktuelle Verklebung vor. Bei den PUR-verleimten MDF-Platten ist die Cellulosefaser vom Bindemittel umhüllt, sie quillt daher weniger.

¹³⁴ Zitate von Prüfberichten. Mitteilung der Glunz Consult GmbH

¹³⁵ Bei der herkömmlichen MDF-(TOPAN-®)Platte sind Cellulose und Bindemittelanteile höher. Es liegt eher eine punktuelle Verklebung vor. Dagegen ist bei der TOPAN-®-FF-Platte die Cellulosefaser vom Bindemittel (aus Polyurethan und Polyharnstoff) umhüllt.

¹³⁶ Eipper, 1994, 61 ff.

¹³⁷ Spanplattenindustrie Fritz Egger GmbH & Co. KG, Werk Brilon, Postfach 1205, D-59915 Brilon, Werk Bevern, Flüttenweg, D-37639 Bevern. Lieferant für die Schweiz: IHO-Holzprodukte AG, Rosenstraße 2, Postfach, CH-6011 Kriens. Lieferant für Österreich: Fritz Egger GmbH & Co., Weiberndorf 20, A-6380 St. Johann/T.

38 mm und sind bis 2,65 m breit. Als Bindemittel wird ein formaldehydarmes Harnstoffharz (UF) eingesetzt. Der Perforatorwert dieser Platten liegt zwischen 7,5 HCHO/100 g atro Platte und 7,8 HCHO/100 g atro Platte (bei einer Bezugsfeuchte von 6,5 %).¹³⁸

Folgende Ursachen führen zu einer unterschiedlichen Wasseraufnahme der unterschiedlich verleimten MDF-Platten:

Da UF-verleimte MDF-Platten eine höhere Rohdichte als PUR-verleimte MDF-Platten und zudem ein hygroskopisches Klebeharz enthalten, das keine chemische Verbindung mit der Cellulose eingeht, nimmt diese Platte mehr Feuchtigkeit aus der Luft auf bzw. kann diese gespeicherte Feuchtigkeit wieder an die Luft abgeben. Die Hygroskopizität des UF-Harzes bedingt zusätzlich eine wesentlich höhere Materialausgleichsfeuchte dieses Verleimungstyps.

Die niedrigere Rohdichte von PUR-verleimten MDF-Platten sowie das chemisch an die Cellulose gebundene, nicht hygroskopische Polyurethan-Harnstoff-Klebeharz schränken die Aufnahme von Feuchtigkeit aus der Luft ein. Dennoch ist das Speichervermögen bei der PUR-verleimten Platte beträchtlich. Der Wasserdampfdiffusionsfaktor liegt um $\mu < 50$.¹³⁹

Im Prinzip können beide MDF-Sorten für den temporären Vitrinen- und Transportkistenbau infrage kommen.¹⁴⁰ UF-verleimte MDF-Platten bieten den Vorteil der höheren Aufnahme von Wasserdampf, stellen aber eine gewisse, wenn auch geringere Formaldehyd- aber höhere Säurebelastung für das Objekt dar. Es gibt aber auch Behandlungen der Beschichtung von MDF-Platten, um die Ausdünstung solcher Werkstoffe temporär zu minimieren.¹⁴¹

PUR-verleimte MDF-Platten können weniger Wasserdampf aufnehmen, worauf es ja eigentlich ankommt, bieten aber den Vorteil, das Exponat nicht mit Formaldehydemissionen zu belasten. Aufgrund zu geringer Nachfrage wurde die Produktion dieser Platten bereits 1998 wieder eingestellt. Ein MDF-Platten-Lieferant dieser Qualität ist die Fa. Medite.¹⁴²

Der Hersteller Medite produziert seine formaldehydfreie Variante Medite ZF zwar in verschiedenen Stärken zwischen 14,5 und 25 mm, aber nur auf Bestellung in größeren Mengen. Medite ZF besteht aus 80–85 % Weichholz, dem ein polymerisiertes Harz, Paraffin, Mineralwachs und Silikate zugegeben sind. Der Formaldehydgehalt liegt bei 0,4 mg HCHO/100 g und unterschreitet damit die E1-Norm und die amerikanische HUD-24-Norm. Die Wasseraufnahme liegt bei einer 24-stündigen Lagerung in Wasser bei 20° C zwischen 11 % und 16 %. Eine weitere MDF-Platte der Fa. Medite stellt die formaldehydarme Variante Medite LF (gemäß

¹³⁸ Mitteilung der Firma Egger, Zitate aus Prüfberichten.

¹³⁹ Zitate von Prüfberichten. Mitteilung der Glunz Consult GmbH

¹⁴⁰ Böhmer, 2017, 41–43

¹⁴¹ Kalabis, 2010, 79–90

¹⁴² Hersteller: Medite of Europe Limited, Redmondstown, Clonmel, Co. Tipperary, Ireland. Verkaufsbüro für das europäische Festland: Medite of Europe Limited, P.O. Box 7707, NL-6067 ZG Linne. Mitteilung der Fa. Vitrinen- und Glasbau Reier, J.-S.-Bach Straße 10 b, D-02991 Lauterbach

Euro-Norm MDF 1, entspricht in etwa MDF-Topan[®], UF-verleimt) dar, welche im Gegensatz zur Medite ZF jederzeit abrufbar ist.

Im Laufe der Zeit geben MDF-Platten immer weniger Formaldehyd, Essig- und Ameisensäure ab, weshalb nur abgelagertes Material verwendet werden sollte. Dabei geben die Schnittkanten doppelt soviel Emissionen ab als die Flächen, vor allem wenn die Platten frisch zugeschnitten sind. In einer jüngeren Untersuchung wird belegt, dass nur thermisch-mechanisch aufgeschlossene Holzfasern – nicht chemisch-thermisch –, welche unter hohem Druck und Wärme zu MDF-Platten verarbeitet werden, im musealen Bereich genutzt werden sollten, da diese weniger VOCs abgeben. Dennoch wird vor der Verwendung von MDF – auch von der versiegelten Variante – für Langzeitarchivierung im musealen Bereich explizit abgeraten.¹⁴³

Für Versiegelungen von MDF-Platten kommen Melinex-Folien oder Moistop 622 (Polyester/Aluminium/Polyethylene-Folie) in Betracht, allerdings verliert die MDF-Platte dadurch ihre feuchtigkeitspuffernde Eigenschaft, weswegen sie bislang so geschätzt wurde. Anstriche auf MDF-Platten verlieren ihre absperrende Eigenschaften schon nach wenigen Monaten.¹⁴⁴

HDF-Platten: Neben den MDF-Platten, gibt es auch HDF-Platten¹⁴⁵, welche der MDF-Platte relativ ähnlich sind (z. B. Homadur[®]¹⁴⁶, Rohdichte über 800–1.050 kg/m³), aber nicht so feuchtigkeitspuffernd wie diese. Die aus fein aufgeschlossenen, heimischen Nadelholzfasern (Fichte und Kiefer) im Trockenverfahren¹⁴⁷ kontinuierlich hergestellte Platte ist roh bzw. beidseitig glatt (bei der Produktion wird kein Wasser abgepresst, weswegen keine Siebstruktur sichtbar ist) in den Stärken 2 bis 6 mm lieferbar.

Die Homadur[®]-Platte hat einen Leimanteil¹⁴⁸ von 1,5 %¹⁴⁹ und bei einer Stärke von 3 mm eine Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl von $\mu = 70\text{--}100$. Sie quillt bei einer 24-stündigen Lagerung in Wasser in der Dicke um 30 % auf. Die Homadur[®]-Platte ist wie MDF-Topan[®] der Emissionsklasse E1 zuzuordnen. Der Perforatorwert dieser Platte liegt zwischen 5,8 HCHO/100 g atro Platte und 6,3 HCHO/100 g atro Platte

¹⁴³ Korenberg, Bertolotti, 2019, 253–256; Gul, Khan, Shakoor, 2017, 1-6

¹⁴⁴ Miles 1986, 114–124; Eremin, Wilthew 1996, 27–35; Thickett 1998, 49–56; Korenberg, Bertolotti, 2019, 256; Bertolotti, 2015

¹⁴⁵ HDF = **H**och**d**ichte **F**aserplatte, nach DIN 68750

¹⁴⁶ Hersteller: z. B. Homanit GmbH & Co. KG, Postfach 1253, D-37402 Herzberg am Harz; Bahnhofstraße 30, D-37412 Herzberg am Harz

¹⁴⁷ Dabei werden Hackschnitzel unter Druck und Temperatur zerfasert, anschließend mit Bindemittel gemischt und in der Heißpresse unter Druck verpresst. HDF Homadur[®], technisches Datenblatt der Homanit GmbH & Co. KG, Herzberg, o. S., o. J.

¹⁴⁸ Als Bindemittel werden Reaktionsklebstoffe wie z. B. Harnstoff-Formaldehyd-Kondensate oder Mischkondensate auf Basis von Harnstoff, Melamin, Phenol und Formaldehyd (alles E1-Bindemittel) eingesetzt. Dem Leimanteil wird als Hydrophobierungsmittel 1 % Paraffinemulsion zugesetzt. Technisches Datenblatt der Homanit GmbH & Co. KG, Herzberg.

¹⁴⁹ Die Dichte der HDF-Homadur[®]-Platte ist vor allem an der Oberfläche höher als die der MDF-Platten (600–850 kg/m³) oder der Masonit-Platte, weshalb sie weniger feuchtigkeitsausgleichend wirkt.

(fotometrisch bei einer Bezugsfeuchte von 6,5 %), der Gasanalysenwert zwischen 1,2 HCHO/(h-m²) und 1,6 HCHO/(h-m²).

Fazit

Holzwerkstoffe sind nur bedingt ideal und sollten daher nur abgelagert und möglichst wenig verbaut werden. Sobald Holzwerkstoffe für längerfristige Maßnahmen in Depots, Vitrinen und Kisten verbaut werden, sollte auf ein kühles Lagerklima (21° C, +/- 1° C), bei moderaten Luftfeuchtigkeiten (circa 50%, +/- 5%) geachtet werden. Durch Holzwerkstoffe gefährdete Materialien sollten in separat gelagert werden.¹⁵⁰

Papiere, Kartons und Pappen

Papierbasierte Werkstoffe für Formteile und Verpackungsmaterialien sind in der Regel nicht alterungsstabil. Sie sollten nur für die temporäre Lagerung in Räumen eingesetzt werden: Sie ändern ihre strukturellen Eigenschaften bei höherer relativer Luftfeuchtigkeit. Ausdampfende Säuren können Objekte langfristig schädigen. Sämtliche nicht für museale Bedürfnisse hergestellte ligninhaltige Papiere, Kartons und Pappe sollten daher nicht verwendet werden.

Papiere sollten ungeleimt und ungestrichen sein, sie sollten möglichst reine, alterungsstabile, ph-neutrale und im sauren Bereich gepufferte Hadernpapiere sein. „Seidenpapier“ für Zwischenlagen, Verpackungen etc. ist ein leichtes, durchscheinendes Papier (unter 30 g/m²). Es ist chlor-, holz-, säurefrei und korrosionsneutral erhältlich. Unbedenklich sind die holzfreien Hadern- und Büttenpapiere (zwischen 70 und 135 g/m²). Wurden diese bis ins 19. Jahrhundert aus Leinen, Hanf und Baumwolle produziert, werden sie heute in der Regel aus Baumwolle mit geringen Anteilen von Flachs, Ramie und Jute hergestellt.

Die Bezeichnung **Karton** wird heute nicht mehr verwendet. Im allgemeinen Sprachgebrauch bezeichnet man damit Pappe mit einem Gewicht von über 600 g/m².

Pappe¹⁵¹ (ab 225 g/m²) wird aus Holz, Zellstoff, Halbzellstoff oder Altpapier durch Zusammenkleben oder -pressen hergestellt. Lediglich Archivpappe/Feinpappe – eine

¹⁵⁰ Martens, 2012, 48-50; ASHRAE, 2007.

¹⁵¹ Es gibt unterschiedliche Pappen: Vollpappe (einlagig und gegautscht), auch aus mehreren Schichten zusammengeklebt, beklebt, imprägniert oder beschichtet. Vollpappe wird als Maschinen- oder Wickelpappe (weiße und graue) hergestellt. Grau- bzw. Braunpappe bezeichnet ein Verpackungs- bzw. Schutzmaterial. Hartpappen sind Karosserie-, Schuh-, Jaquard-, Koffer-, Stanz-, Marmor- und Brandpappe. Weiter gibt es Leichtpappen, Kisten- bzw. Kartonagenpappe und Lederpappe aus Lederabfällen.

verdichtete Wickelpappe mit hoher Festigkeit und besonderer Alterungsbeständigkeit – sowie die ungefärbten Archiv-Wellkartons sind museal zu nutzen.

Auch die leichten, mit weißem Papier beschichteten **PU-Schaumplatten** (z. B. Kapa) werden gerne für großformatige Gemälde als Rückseitenschutz verwendet, sind aber keineswegs ideal, da sie saure Abbauprodukte abgeben und zudem nicht hygroskopisch sind. Ihre Schnittkanten sollten abgeklebt werden.

Sicher sind nur säurefreie, im sauren Bereich gepufferte (z. B. mit Kreide, CaCO_3) Pappen, Wellpappen und Kartonagen. Allerdings müssen auch diese in längeren Zeiträumen regelmäßig erneuert werden, da sie Schadstoffe aus der Luft aufnehmen und binden. In den Wellen können sich zudem Schadinsekten einnisten.¹⁵²

Textilien

Auch „stuhlorhe“ Gewebe sind nicht frei von Zuschlagsstoffen, welche im Lauf des Produktionsprozesses zur besseren Verarbeitung den verschiedensten Gewebesorten beigegeben werden. Um unerwünschte Aperturen zu entfernen, sollten die eingesetzten Gewebe zuvor mit geeigneten Waschmitteln warm gewaschen werden. Auch sind manche Textilien mit Flammenschutzmitteln¹⁵³ ausgerüstet. Diese wässrigen Lösungen von halogen- und phosphorhaltigen Verbindungen, welche als 30%ige Lösungen für Flammenschutzimprägnierungen auf Baumwolle, Wolle, Polyester, Polyamid, Viskose, Baumwolle, Jute, Leinen, Mischgewebe, Holz, Papier, Pappe, Stroh und Schilf aufgesprüht werden, lassen sich mit kationischen Tensiden (Weichspüler) aus Textilien wieder auswaschen. Allerdings sind den handelsüblichen Weichspülern konservatorisch unverträgliche Duftstoffe beigegeben, weshalb für diesen Zweck auf unmodifizierte Tenside zurückgegriffen werden sollte.

Prinzipiell geeignet sind ungebleichte, ungefärbte, unimprägnierte Naturfasergewebe aus Baumwolle (Musselin), Leinen und Ramie. Wolle und Seide sind wegen Freisetzung von Schwefel ungeeignet (siehe: Wollfilz).

¹⁵² Pospischil, 2019, 50–53

¹⁵³ Z. B. ECOGARD ® B45 = Diethylenglykolmonobutylether (2-(2-Butoxyethoxy)ethanol)

Ebenfalls verwendet werden können Gewebe aus Polyester (z. B. Holytex[®], Reemay[®]), Nylon (z. B. Cerex[®]) und Acryl (z. B. Orlon[®], Decofelt[®]). Diese stellen aber keinen Feuchtigkeitspuffer dar.

Ungeeignet sind nicht alterungsbeständige PU-haltige Gewebe (z. B. Lycra[®], Elasthan[®]).

Auch imprägnierte und feuerfeste Beschichtungen auf Stoffen sind zu vermeiden. So behandelte Gewebe können Dinatriumhydrogenphosphat und Harnstoff-Formaldehyd-Harz enthalten.

Nur unter Umständen können Wolle, Seide und Viskose eingesetzt werden, da sie Schwefelverbindungen enthalten. Vor allem bei Objekten aus Silber wurde ein bemerkenswerter Anstieg der Korrosionsrate festgestellt.¹⁵⁴ Baumwolle oder Polyestergewebe sind hierfür besser geeignet.

Wollfilz: Die Eigenschaft der Wolle, Schwankungen der relativen Luftfeuchtigkeit auszugleichen,¹⁵⁵ ist ihr eigentlicher Vorteil. Sollten Wollfilze aus diesem Grund verwendet werden, ist zu beachten, dass Wolle bei thermischer und fotochemischer Zersetzung schwefelhaltige Gase abgibt. Bei dem Abbau cystinhaltiger Proteine unter Einwirkung von UV-Strahlung, bei Sonnenbestrahlung und erhöhten Temperaturen (> 50 °C) können freigesetztes Carbonylsulfid (COS), Kohlenstoffdisulfid (CS₂) und Schwefelwasserstoff (H₂S) nachgewiesen werden. Die Feuchtigkeitsanteile der Wolle (20–80 Gew.-%) erhöhen die Abgabe von COS und CS₂ zudem. Dies führt beispielsweise an nur lose gebundenen bleihaltigen Pigmenten zur Bildung von schwarzem Bleisulfid (PbS) und an Metallen, wie beispielsweise Silber, zur Bildung von Silbersulfid (Ag₂S) bzw. zu Veränderungen der Oberfläche.¹⁵⁶ Sollte Wolle verwendet werden, sollten nur ungefärbte, unbeschichtete¹⁵⁷, reine¹⁵⁸, im Walkverfahren¹⁵⁹ hergestellte Stückfilze¹⁶⁰ zur Beschichtung eingesetzt werden. Dieser Filz muss der Europäischen Norm EN 71 (Spielzeugnorm) entsprechen, da sonst die Gefahr ausdünstender Farb- und Klebemittel sowie hochsiedender Lösemittel (Weichmacher)

¹⁵⁴ Dubus, Le-Hô, Moulherat, 2007, 259

¹⁵⁵ Wolle hat im Vergleich zu anderen Fasern wie Rayon, Seide, Baumwolle, Celluloseacetat und Nylon die Eigenschaft, bei Werten der relativen Luftfeuchtigkeit von 25–85 % zwischen 7–20 % Feuchtigkeit aus der Luft aufzunehmen. Damit hat Wolle im Vergleich zu anderen Fasern die beste Speicherfunktion. Urquhart, 1960, 17

¹⁵⁶ Brimblecombe, Shooter, Kaur, 1992, 58; Sease, Selwyn, Zubiato, Bowers, Atkins, 1997, 7

¹⁵⁷ D. h. nicht selbstklebender Filz oder nicht mit Klebefoliebeschichtung ausgestatteter Filz.

¹⁵⁸ Z. B. für feine Filze reine Schurwolle, wie z. B. von Merinoschafen. Heimann, o. J., 7

¹⁵⁹ Schurwolle hat die Eigenschaft, sich unter Einfluss von Wärme Feuchtigkeit, Druck und walkender (d. h. knetender) Bewegung zu verfestigen, d. h. zu verfilzen. Dabei verschachteln und verknäueln sich die einzelnen Wollfasern zu einem mehr oder weniger dichten Material, und zwar so, dass keine Strukturen entstehen, d. h. die Oberfläche ist gleichmäßig glatt. Die Dichte des Filzes hängt von der Intensität der auf die Wolle einwirkenden Faktoren ab. Heimann, o. J., 8

¹⁶⁰ Auch „feltine“ genannt. Mitteilung der Filzfabrik Fulda. Die Verwendung von „Formfilz“ ist nicht anzuraten, da dieser viel zu hart ist. Eipper 1995, 47f

gegeben ist. Aufgrund dieser Einschränkungen kann es angezeigt sein, statt Wollfilz auf **Polyesterfilze** zurückzugreifen. Diese sind härter und nicht klimaaktiv. Stückfilze sollten durch Tackerklammern¹⁶¹ oder durch weichmacherfreie¹⁶² Klebedispersionen¹⁶³ rückseitig auf der Weichfaserplatte fixiert werden.

Erwähnt wird in der Literatur auch ein **Aktivkohletuch**,¹⁶⁴ welches für Vitrinen Verwendung finden könnte. Dass die vorgeschlagenen Aktivkohlefilter¹⁶⁵ höheren Nutzen bringen können, erscheint zweifelhaft, da diese nur bis zur Einstellung eines Gleichgewichts in der Kiste Schadstoffe absorbieren. Lieferbar ist Aktivkohle mittlerweile als Granulat, Papier, Pappe, Platten und Tuch.¹⁶⁶

Kunststoffprodukte¹⁶⁷ (Platten, Folien, Formteile, Schaumstoffe, Isolierungen, Kabel, Dichtungsmassen)

Kunststoffe sind aufgrund ihrer Emissionen ein nicht zu unterschätzender Faktor. Flüchtige organische Verbindungen (VOC)¹⁶⁸ belasten nicht nur andere Objekte, sie lassen ihr Ursprungsobjekt versprödet zurück. Ob es sinnvoll ist, VOC-haltige Kunstwerke zu separieren, um so in geschlossenen Behältnissen einen gewissen Sättigungsgrad von VOCs zu erreichen, oder die dichte Verpackung mit solcher Luft zu fluten, ist derzeit noch nicht geklärt. Sättigungen der Umgebungsluft sind in den üblichen offenen Depots jedenfalls nicht zu erreichen.¹⁶⁹ Nur säure- und weichmacherfreie Produkte sollten Anwendung finden. Generell sollten keine Chloridverbindungen (z. B. PVC) eingesetzt werden. Es eignen sich Produkte aus:

Polyethylenterephthalat (PET), z. B. Mylar®

Polyethylenglykolterephthalat (PETG = ist ein mit Glykol modifiziertes PET), z. B.: Vivak®

¹⁶¹ Diese Klammern sollten durch ein Tape/Filz/Klettband abgeklebt werden, um sie so vor dem möglichen Abfallen zu sichern.

¹⁶² D. h. bei Polyvinylacetaten (PVAc) innerlich weichgemachte PVAc, also copolymere PVAc.

¹⁶³ Z. B. copolymere Polyvinylacetat (PVAc)-Dispersionen: Hoechst Mowilith DM 5, DM 105; Wacker Vinnapas EP 1, EP 11, EP 17. Auch die weniger klebestarken Acryldispersionen, wie z. B. Röhm Plextol D 498, Plextol B 500, sind einsetzbar. In der Restaurierung gebräuchliche PVAc-Dispersionen und ihre Mischungen untereinander sind behandelt in: Eipper, 1993, 53–81

¹⁶⁴ Griffith, 1997, zit. in Waentig, 2004, 170

¹⁶⁵ Erhardt, 1991, 33; Parmar, Grosjean, 1989; Grosjean, Williams, Grosjean, 1993, 830–840

¹⁶⁶ Griffith, 1997, zit. in Waentig, 2004, 170

¹⁶⁷ Dolezel, 1978; Rink, Schwahn, 1983; Waentig, 2004; Brazel, Rosen, 2012

¹⁶⁸ VOC= volatile organic compound(s)= Chemische Verbindungen auf der Grundlage von Kohlenstoff, die durch natürliche Quellen oder durch Tätigkeiten des Menschen freigesetzt werden. Hierzu gehören insbesondere VOCs aus der Verwendung von Lösemitteln, Baustoffen, Reinigungsmitteln, Teppichen, Tabak, Straßenverkehr (https://de.wikipedia.org/wiki/F1%C3%BCchtige_organische_Verbindingen; 20.2.2019)

¹⁶⁹ Kearney, Parkin, Townsend, Hidalgo, Curran, 2018, 369–371

Polyethylen¹⁷⁰ (dabei ist PE-LD stabiler als PE-HD), z. B. Dibond®

Polycarbonat, z. B. Lexan®, Tuffak®, Makrolon®

Polymethylmethacrylat (PMMA), z. B. Lucite®, Plexiglas®, Perspex®

Polypropylen (PP), z. B. Cellplas, Tyvek®,¹⁷¹ 3M™ Propore¹⁷²

Weniger sinnvoll sind Polystyrol und Silikone (Letztere geben vor allem bei der Trocknung Essigsäure ab).

Schaumstoffe: Viele Verpackungsmaterialien verlieren mit der Zeit ihre guten Eigenschaften.

So nehmen die dynamischen und damit polsternden Eigenschaften der Schaumstoffe mit zunehmendem Alter ab. Gummidichtungen bleiben nicht dimensionsstabil und schließen im Lauf der Zeit nicht mehr dicht ab. Gummierungen verspröden und zerbröseln, Isolierungsmaterialien können sich abhängig von der Temperatur verändern. Bei tiefen Temperaturen tritt eine Versteifung der Materialien ein, bei hohen Temperaturen eine Erweichung. Vielfach ändern sich die physikalischen Eigenschaften auch durch eine hohe relative Luftfeuchtigkeit. Materialien für den Einsatz in Aufbewahrungs- und Schauräumen, Vitrinen und Transportkisten sollten keine Beeinträchtigung der Objekte verursachen.¹⁷³ Es sollten bei Schaumstoffen keine Rückstände aus der Produktion auftreten. Unter den Schaumstoffen sind physikalisch aufgeschäumte Niederdruck-Polyethylenschäume¹⁷⁴ (z. B. Neopolen®, Ethafoam®, Plastazote®)¹⁷⁵, Polypropylen (z. B. Microfoam®) und Acrylatschäume, sofern sie nicht mit Klebestreifen beschichtet sind, unbedenklich, wobei zu bemerken ist, dass sie nicht hygroskopisch sind. Bei Latex-Kaltschäumen ist auf Netzmittel zu achten, die in diesen Schaumstoffen enthalten sein können. Bei den PUR-Schäumen muss zwischen Hartverschäumung (diese erfolgt physikalisch durch Beimengung von leicht verdampfenden Stoffen¹⁷⁶) und Weichverschäumung (diese erfolgt chemisch durch Anwendung wasserhaltiger Polyolkomponenten¹⁷⁷) unterschieden werden. Bei der formgebenden Polyaddition reagiert das Wasser mit einem Teil des Isocyanats¹⁷⁸ unter

¹⁷⁰ Jägers, 2008, 105

¹⁷¹ Tyvek® ist ein reißfestes, weißes Spinn-Vlies aus Polyethylen hoher Dichte (PE-HD), der sich aus fibrillierten, eng miteinander zu Netzwerken verbundenen Feinstfilamenten im Durchmesserbereich von 0,5 bis 10 µm aufbaut. Tyvek wird auf Rollen als Meterware in verschiedenen Breiten vertrieben (Herst.: DuPont)

¹⁷² Unter Druck und Hitze fließgepresste Polypropylenfasern. Adolfs, 2010, 28; Araya Monasterio, Icaza Toro, 2016, 25–40

¹⁷³ Morris, 1985, 182; Erhardt, 1991; White, 1987

¹⁷⁴ Die PE-HD (High Density) sind den PE-LD (Low Density) sowie den PE-LLD (Linear Low Density)-Produkten an Alterungsbeständigkeit unterlegen (<https://de.wikipedia.org/wiki/Polyethylen>; 20.2.2019).

¹⁷⁵ Araya Monasterio, Icaza Toro, 2016, 25–40

¹⁷⁶ Z. B. Monofluortrichlormethan.

¹⁷⁷ Z. B. Polyalkohole, Polyhydroxy-Verbindungen mit mindestens zwei alkoholischen Hydroxylgruppen im Molekül, wie z. B. Diole, Glykole, Glycerin u. a., Zuckeralkohole wie Sorbit, Inosit.

¹⁷⁸ $R-NCO + H_2O \rightarrow R-NH_2 + CO_2$

Bildung von Kohlendioxid, das die Masse verschäumt, wobei diese zugleich gummiartig erstarrt. Diese Schäume sind ebenfalls nicht hygroskopisch. Es wird an dieser Stelle darauf aufmerksam gemacht, dass die Verwendung von großen Mengen weichen Schaumstoffs keineswegs Erschütterungen reduzieren, sondern auf Kisten einwirkende Stöße um ein Vielfaches verstärken.¹⁷⁹ Dies sollte vor allem bei genormten Leihkisten beachtet werden, welche durch Schaumstoffeinlagen für den zu verpackenden Kunstgegenstand passend gemacht werden.

Sockel in Vitrinen können aus Ethafoam¹⁸⁰ oder auch aus Corian¹⁸¹ gefertigt werden.

Holzleime, Klebstoffe, Klebebänder, Heißsiegelkleber und Dichtungen sind nach Möglichkeit zu vermeiden. Keinesfalls sollten diese Materialien mit den Objekten in Kontakt geraten oder in abgeschlossenen Vitrinen verbaut werden.¹⁸² Prinzipiell sind PU-Kleber (z. B. Pattex[®]) zu vermeiden. Von der Industrie eingesetzte Kleber können nach einer Untersuchung n-Butylacetat, Ethoxypropylacetat, 1-Methoxy-2-propylacetat und Ethyl-3-Ethoxypropionat emittieren.¹⁸³

Die historischen **Glutinleime** sind wegen der – wenn auch geringen – Freisetzung von Schwefel weniger geeignet. Die gerne stattdessen verwendeten **Holzleime** (auch Weiß- oder Kaltleime genannt) auf Polyvinylacetat (PVAc)-Basis stellen keine Alternative dar – ihnen werden hochsiedende Lösemittel als Weichmacher beigegeben, da die eingesetzten billigen, homopolymeren PVAc zu spröde sind. Diese weichmachenden Zusätze dampfen mit der Zeit aus. Hier wäre der Einsatz von reinem Mowilith DHS (homopolymere PVAc-Dispersion, die den geringsten kalten Fluss aufweist und den Creepetest nach BS 3544 [Holzleimprüfung] besteht) sinnvoller, da Mowilith DHS ohne Weichmacherzusatz auskommt.

Einige Acrylharzkleber (z. B. Paraloid B 72) oder transparente Acrylharzkleber auf Polyesterklebebändern (Scotch Brand Tape # 415), Zwei-Komponenten-Epoxidharzkleber (z. B. Hxtal NYL-1, EpoTek 301-2) und auch PVAc-Emulsionen wie Mowilith DMC 2 sind

¹⁷⁹ Waldemar Stühler, TU Berlin, stellte dies in seinem Vortrag auf dem BDR-Symposium „Die Kunst zu verpacken ...“ schon am 19.11.1994 in Köln fest.

¹⁸⁰ Kreutner, Richter, 2010, 22–26

¹⁸¹ Corian ist ein von DuPont entwickelter und seit 1967 vertriebener Verbundwerkstoff. Er zeichnet sich durch gute Verarbeitung und hohe Widerstandskraft aus. Corian wird auch im Möbelbau (Waschtische, Küchenarbeitsplatten, etc.) verwendet. Der Kunststoff besteht zu etwa 66 % seines Gewichts aus Gibbsit (einer aus Bauxit gewonnenen Modifikation von Aluminiumhydroxid), etwa 33 % aus Polymethylmethacrylat (PMMA) sowie aus Katalysatoren und anderen Härtungsmitteln. Corian ist in über 100 Farben und als Marmorimitat erhältlich. Man kann es mit Holzbearbeitungswerkzeugen fräsen und schneiden, aber auch dreidimensional thermisch verformen ([https://de.wikipedia.org/wiki/Corian_\(DuPont\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Corian_(DuPont)); 20.2.2019).

¹⁸² Dix, Raquet, 2016, 78–87

¹⁸³ Schieweck, Markewitz, Salthammer, 2007, 67–72

möglich. Sinnvoller sind die copolymeren Polyvinylacetate mit hoher Klebekraft (z. B. Airflex EP 11).

UHU® ist ein lösemittelbasierter Polyvinylester-Kleber, welcher in Aceton und Ethylacetat löslich bleibt.

Heißsiegelkleber (z. B. Beva 371) auf Basis von Ethylvinylacetat (EVA) stellen ebenfalls eine sichere Variante dar.¹⁸⁴

Klebebänder (Tesa, Scotch, Tixo etc.) sind nur für temporäre Fixierungen gedacht. Sie sind für Depotaufbewahrungen ungeeignet, weil ihre klebevermittelnden Eigenschaften auf dem Polypropylenfilm nicht dauerhaft sind, verbräunen und die dafür (fallweise) eingesetzten Lösemittel ausdampfen.

Naturkautschuk- oder Zellkautschukklebebänder: Diese Dichtungsbänder sollten unbeschichtet eingesetzt und mit einer Dispersion¹⁸⁵ aufgeklebt werden. Dieses Beschichten der Abdichtbänder mit flüssiger Dispersion von Hand ist zwar sehr zeitaufwendig, gewährleistet aber den Verzicht auf z. B. hochsiedende Lösemittel, welche den Klebefolien beigegeben sind, um die Klebeeigenschaft zu vermitteln.

Anstrichstoffe

Einige Farben, Überzüge und Firnisse geben Peroxide, Lösemittel und Säuren in die Umgebung ab.¹⁸⁶ Ölhaltige, alkydharzhaltige, polyurethanhaltige (Einkomponenten-) Farben/Überzüge und ggf. auch Zwei-Komponenten-Epoxidharzfarben sollten nicht verwendet werden. Die aliphatischen Kohlenwasserstoffe in diesen Farben müssen zumindest ein Jahr ausdampfen. Beliebte Wandanstrichfarben für Innenräume sind zumeist die klimaaktiveren, alkalischen – Schimmelbefall vorbeugenden – Mineralfarben auf Silikatbasis (Kaliwasserglas) und die weniger atmungsaktiven, absperrenden, aber wischfesteren Acrylfarben.

¹⁸⁴ Beva 371 bezeichnet eine Mischung von polymeren Stoffen mit niedrigen und hohen Molekulargewichten. Es besteht aus zwei verschiedenen Ethylen-Vinylacetaten (EVA): A-C Copolymer 400 und Elvax resin 150 mit Schmelzpunkten zwischen 83° C und 116° C sowie Laropal K80 (Ersatz für Ketonharz N, welches sich in der Originalrezeptur von 1970 von G. A. Berger findet) mit einem Schmelzpunkt von 75-85 °C. Als Verdicker kommen hinzu Cellolyn 21 (Phtalatester) und Paraffinwachs. Als Lösemittel dienen Toluol und/oder Xylol. Girard 2018, 19f

¹⁸⁵ z. B. Mowilith DM 105, ca. 55 % (weichmacherfreies Copolymerisat auf Basis von Vinylacetat und Ethylen). Die Eignung dieser Dispersion wurde durch Tests ermittelt. Eipper, 1993, 60 ff.

¹⁸⁶ National Park Service, 2016, 4:56; Tétreault, 1999, 1–46

Acrylhaltige (wassermischbare) Farben sind ein Cocktail nahezu unüberschaubar vieler Inhaltsstoffe. Schon das Acryl-Bindemittel enthält – aufgrund des Herstellungsprozesses – eine Vielzahl von Bestandteilen. Es sind: Initiatoren (Persulfate), Polymerisationshilfen (z. B. Dodecylmercaptan), Puffer (Säuren, Basen, wie z. B. Ammonium), hydrophile Tenside (Emulgatoren, zumeist nichtionische z. B. Alkylphenoethoxylat oder anionische, z. B. Natriumlaurylsulfat, Dodecylbenzensulfonat), Schutzkolloide zur Stabilisierung der Dispersion (Polyvinylalkohol, Polyvinylpyrrolidone, Hydroxyethylcellulose, Alginat, Stärke, Kaseinlösungen, Alkalisalze der Polymethacrylsäure), Konservierungsstoffe (z. B. Benzisothiazolinon, Chlormethylisothiazolinon, Bariummetaborat, Formaldehyd), Emulgatoren (Tenside).

Um die zugesetzten Pigmente in der Farbe zu halten, werden folgende Mittel zugefügt: Pigment-Netzmittel, z. B. Alkylphenoethoxylat, Acetylendiol, Alkylarylsulfonat, Sulfosuccinat, Polyethylenoxid, (PEO)-basierte Tenside, Triton X-10041, Triton X-405; Dispergierhilfen, z. B. Oligophosphat, Polycarboxylat, Kalium- oder Kalziumsalze; Filmbilde-Hilfsmittel, z. B. Alkoholester, Benzoatester, Glykolether, Glykoletherester, n-methyl-2-pyrrolidon, Dibutylphthalat; Entschäumer, z. B. Mineralöl, Silikonöl, höhere Alkohole, Glykole, Metallseifen, Siloxane, Fettsäureester (Wachse); Verdicker, z. B. Hydroxyethylcellulose, Methylcellulose, Carboxymethylcellulose, Polysaccharide (Stärke, Xanthan), Ethoxylaturethan, Attapulgit, Schichtsilikate (Bentonit = Aluminiumsilikat, Hectorit = Magnesiumsilikat), Rohagit (Acrylsäure) sowie Antistatica, Lösemittel, Weichmacher, Antioxidantien, Frostschutzmittel (z. B. Ethylen, Propylenglykol), Mikrobiozide und Fungizide (chlorierte Phenole, Formaldehyd, Quecksilberverbindungen, Zinnverbindungen). Viele der in den 1960er- und 1970er-Jahren verwendeten Mittel sind heute aus gesundheitlichen Gründen nicht mehr zugelassen.

Die Füllstoffe – Kreide, Kalk, Kalkspat (Calciumcarbonat), Dolomit (Calcium-Magnesiumcarbonat), Kaolin (Aluminiumsilikat), Quarz (Siliciumdioxid), Talkum (Magnesiumsilikat), Glimmer (Kalium-Aluminiumsilikat), Diatomerde (Kieselgur), Schwerspat (Bariumsulfat), organische Polymerfüllstoffe (Styrolacrylat) – sind weniger bedenklich.¹⁸⁷

Umfassende Untersuchungen über den Einfluss von Lösemitteln, ammoniakalischen Verbindungen oder Formaldehyden auf die heterogenen Materialkombinationen vieler Kunstwerke stehen noch aus. Doch gilt als sicher, dass beispielsweise Lösemittel die

¹⁸⁷ Eipper, 2017, 155; ders. 2011, 57–83

originalen Bestandteile, primär organische Materialien, schleichend verändern. Erkennbar sind diese Prozesse vor allem durch Farbveränderungen der Pigmente, Bindemittel oder Firnisse – sie sind nicht umkehrbar und kumulativ, addieren sich also bei fortschreitender Exposition. Formaldehyd wiederum gerbt tierische Leime. Weichmacher lagern sich in Exponaten an und verändern deren Löseparameter. In ungünstigen Fällen werden Feinstaubpartikel aus der Luft gebunden, welche damit Verschmutzungen der Oberfläche verursachen. Bei diesem Fogging-Effekt genannten Vorgang sind noch nicht alle Ursachen vollständig geklärt, fest steht jedoch, dass Weichmacher einen entscheidenden Anteil am Effekt haben.¹⁸⁸

In der Regel werden handelsübliche Dispersionsfarben eingesetzt. Ihre hohe Deckfähigkeit, vielfältige Tönbarkeit und einfache Verarbeitung sprechen für ihren Einsatz. Doch Dispersionsfarbe ist nicht gleich Dispersionsfarbe – die Unterschiede liegen in ihrer quantitativen und qualitativen Zusammensetzung. So enthalten gerade preiswerte Typen durchaus noch geringe Mengen leichtflüchtiger oder hochsiedender Lösemittel zur Trocknungsverbesserung. Beide Substanzen wandern dann in die Luft, wobei die sogenannten Hochsieder problematischer sind, weil sie über lange Zeiträume hinweg kontinuierlich in die Umgebung ausdampfen.¹⁸⁹

Hochwertige Innenfarben weisen heute einen Additiv-Anteil von unter 0,5 % auf – beispielsweise geben führende Farbenhersteller nur noch geringe Mengen der sogenannten Topfkonservierer dazu, die wässrige Farben vor Bakterienbefall schützen.

In hochwertigen Wandfarben sucht man leichtflüchtige Lösemittel meist vergebens – erkennbar sind diese durch die Bezeichnung „lösemittelfrei“. Diese herstellerseitige Klassifizierung schließt jedoch nicht die schwerflüchtigen Weichmacher ein, weil sie offiziell nicht als Lösemittel gelten. Um diese Stoffgruppe auszuschließen, gilt es, auf lösemittel- und weichmacherfreie Anstrichstoffe zurückzugreifen. Doch weil hierfür keine übergeordnete Norm existiert, ist der Nachweis durch eine unabhängige, kontinuierlich arbeitende Prüfinstanz wichtig.

Seit einigen Jahren gibt es Acryldispersionsfarben mit fotokatalytischem Zusatzeffekt. Dabei werden Titandioxidpigmente¹⁹⁰ – in der Regel durch UV-Licht – energetisch angeregt,

¹⁸⁸ Die gefährlichen Bestandteile der Farbe stellen hierbei die Zusatzstoffe oberflächenaktiver Substanz, Filmbildungsmittel, Weichmacher, Mikrobiozide, Ammoniak, Antioxidantien und Lösemittel dar. Diese Komponenten können über Jahre hinweg ausdünsten und das Ausstellungsgut gefährden, indem sie eine Vielzahl chemischer Prozesse auslösen können. Eipper, Oberle, Scharf, 2006, 23–24

¹⁸⁹ Botzenhart, Müller, Strubelt, 2001

¹⁹⁰ Als Pigment mit hoher Deckfähigkeit wird Titandioxid (Titanweiß) in der Rutilform verwendet, welches in einer Matrix auf Acrylat- und/oder Polyvinylacetatbasis gebunden ist. Dörr, Holzinger, Kronos, 1989; Eipper, 1993, 53–64; ders. 2000, 2576

gemeinsam mit dem Luftsauerstoff organische Bestandteile in der Luft zu unschädlichen Verbindungen abzubauen. Dieser Vorgang läuft unmittelbar an der Beschichtungsoberfläche ab und reinigt die Raumluft von Gerüchen wie auch organischen Schadstoffen.

Nun sollte aus konservatorischen Gründen in Ausstellungsräumen möglichst kein kurzwelliges UV-Licht vorhanden sein, um fotochemische Schädigungen der Exponate auszuschließen. Gewährleistet wird dies durch UV-Filter an Fenstergläsern und Leuchtmitteln.¹⁹¹ Durch Nutzung eines modifizierten Titandioxids kann allerdings auch das Licht des sichtbaren Spektralbereichs die Katalyse betreiben – einen solchen „Visible Light Catalyst“ enthält bislang jedoch nur eine der auf dem Markt befindlichen fotokatalytisch aktiven Farben (StoClimasan Color). Sie stellt sicher, dass der luftreinigende Prozess auch ohne UV-Strahlung im Vitrineninneren stattfinden kann. Die Fotokatalyse stellt keine aktive Belüftung oder Klimatisierung dar, sie produziert keinen Sauerstoff, sondern baut Schadstoffe ab.

Fotokatalytische Farben können nur mit mineralischen Abtönpigmenten abgetönt werden. Falls anders abgetönt werden muss, können nur passive Wandfarben zum Einsatz kommen. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass die verwendeten Pigmentpasten Lösemittel, etwa Glykole, enthalten können. Extreme Farbsättigungen bestimmter Töne erfordern hohe Pastenzugaben, was einen Eintrag von Lösemitteln bewirken kann. Leim- oder Silikatfarben sind hier wegen ihrer begrenzten Pigmentaufnahmefähigkeit keine überzeugenden Alternativen, zumal Leimfarben nicht wischbeständig¹⁹² und zweikomponentige Reinsilikatfarben schwierig zu verarbeiten sind.

Weiter gibt es Aktivkohleanstriche,¹⁹³ welche sich als effektiv in der Aufnahme diverser flüchtiger Schadstoffe zeigen, allerdings nur bis zur Einstellung eines Gleichgewichts in der Vitrine.

Übliche Flammschutzmittel, also wässrige Lösungen von halogen- und phosphorhaltigen Verbindungen,¹⁹⁴ werden den Dispersions- und Latexfarben beigegeben und können über längere Zeit ausdampfen.¹⁹⁵

¹⁹¹ Eipper, 2002, 3621–3627

¹⁹² Vgl. Eipper, 2000, 2577

¹⁹³ Griffith, 1997, zit. in Waentig, 2004, 170

¹⁹⁴ Z. B. ECOGARD® B45 = Diethylenglykolmonobutylether (2-(2-Butoxyethoxy)ethanol). Solche Substanzen werden auch zum Fracking eingesetzt (<https://de.wikipedia.org/wiki/Butyldiglycol>; 21.2.2019).

¹⁹⁵ Z. B. durch Zugabe von 30 Teilen ECOGARD® B45 zu 70 Teilen Farbe. Die brennbare, farblose Flüssigkeit hat einen charakteristischen Geruch. Bei Temperaturen über 78° C können sich mit der Luft explosive Gemische bilden. Der Stoff an sich kann explosive Peroxide bilden und reagiert mit starken Oxidationsmitteln.

Schutzlacke/Überzüge

Auch Schutzüberzüge auf Metallen können sich auf die Umgebung auswirken: Silbercyanid-/Nitrat-Korrosion wird durch Zellulosenitratprodukte forciert, weshalb der Einsatz solcher Klebharze bzw. Überzüge, vor allem wenn in korrosiven Lösemitteln wie Ethylacetat oder in Kombination mit Weichmachern verwendet, sorgsam überlegt sein sollte.¹⁹⁶

Transportkisten- und Vitrinenmaterialien sind Kombinationen aus den oben erwähnten Materialien. Kisten wie Vitrinen stellen ein temporäres Depot dar. Die Vielzahl der Materialien (Holzwerkstoffe, eingefärbter und selbstklebender Filz, Kunststoff-Folien, Formteile, Isolierungen, Schaumstoffe, Holzleime, Klebstoffe, Klebebänder, Klebefolien, Naturkautschuk- oder Zellkautschukklebebänder, Gummiabdichtbänder und Anstrichstoffe) erzeugen einen Mix verschiedenster Schadstoffe, welche sich im Inneren des Behältnisses potenzieren. Die verwendeten Stoffe sollten möglichst keinen Staub, keine Sporen oder schädliche Fasern enthalten oder freisetzen, sie sollten keine Schädlinge anziehen oder saure Produkte abspalten.¹⁹⁷ Farbstoffe und Pigmente in Textilien, die nicht farbecht sind und ausbluten können, sollten besonders hier vermieden werden.

Prinzipiell sollten Depot- und Ausstellungsräume, Versandkisten, Vitrinen und die verwendeten Materialien nach ihrer Verarbeitung nicht unter Raumtemperatur zumindest drei Monate ausdampfen, bevor sie besiedelt bzw. befüllt werden, da in den ersten Monaten besonders viele VOCs entweichen.¹⁹⁸

Zur Überprüfung des Schadstoffgehaltes vor allem in Versandkisten und Vitrinen bietet sich der Oddy-Test an.¹⁹⁹ Er wird eingesetzt, um die Schädlichkeit und das Ausmaß der ausdiffundierenden Gase zu testen. Als Metallplättchen werden Kupfer (Cu), Blei (Pb) und Silber (Ag) auf 10 x 15 mm zugeschnitten. Sie werden jeweils mit einem Glasfaserradierer gereinigt, wobei für jedes Material eine eigene Mine verwendet wird. Anschließend werden die Metalle mit Aceton gereinigt und mit einem saugfähigen, sauberen Papier abgetrocknet. Die Metalle sollen nach der Reinigung nur noch mit Handschuhen und einer Pinzette

¹⁹⁶ Eggert, Kuiter, Ziegler, Bette, Stelzner, 2019, 129; Schweitzer, 2009, 1-416

¹⁹⁷ Saure Produkte werden von Holz, Farben, Klebstoffen, Stoffen und Kunststoffen freigesetzt.

¹⁹⁸ Korenberg, Bertolotti, 2019, 257

¹⁹⁹ Oddy, 1997, 27–28; Bamberger, Howe, Wheeler, 1999, 86–90; Stephens, Buscarino, Breitung, 2018, 425–427; Heine, Jeberien, 2018, 362–365

angefasst werden. Die Metall- und Materialproben werden in die Vitrine gehängt/gelegt. Der Oddy-Test ist auch kommerziell erhältlich.

Eine Klimatisierung von Vitrinen kann also nicht nur technisch aufwendig durch kleine Klimaanlage in Sockeln oder Aufsätzen von Vitrinen erfolgen (die Variante der Klimaanlage auf den Vitrinen ist sinnvoller, da die erzeugte Wärme nach oben hin abgegeben wird), sondern auch durch die in der Vitrine verwendeten Baustoffe. Eine gewisse Dichtigkeit des Gehäuses setzt dies selbstredend voraus. Dennoch sollten Vitrinen natürlich jederzeit²⁰⁰ zu öffnen sein. Es ist davon auszugehen, dass Erschütterungen durch diese Apparate ausgelöst werden können.

Eine andere Möglichkeit der passiven Befeuchtung stellen Salze dar, die je nach der Empfindlichkeit und den Erfordernissen, die das eingelagerte Kunstgut bedingt, im Sockel in Edelstahlwannen eingelagert werden können.²⁰¹ In geschlossenen Gehäusen erzeugen nachstehende Salze folgende relative Luftfeuchtigkeiten bei 20 °C über der Lösung:²⁰²

di-Natriumhydrogenphosphat	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	95 % r. L.
Natriumcarbonat	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	92 % r. L.
Zinksulfat	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	90 % r. L.
Kaliumchlorid	KCl	86 % r. L.
Ammoniumsulfat	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	80 % r. L.
Natriumchlorid (Kochsalz)	NaCl	76 % r. L.
Natriumnitrit	NaNO_2	65 % r. L.
Ammoniumnitrat	NH_4NO_3	63 % r. L.
Calciumnitrat	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	55 % r. L.
Kaliumcarbonat	K_2CO_3	45 % r. L.
Zinknitrat	$\text{Zn}(\text{Na}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	42 % r. L.
Calciumchlorid	$\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	32 % r. L.
Lithiumchlorid	$\text{LiCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$	15 % r. L.

²⁰⁰ Schoder, 2010, 23–25

²⁰¹ Die Luft in der Vitrine von Tizians „Der Zinsgroschen“ in den Staatlichen Gemäldesammlungen Dresden wird seit Jahrzehnten auf diese Weise konditioniert.

²⁰² Merck, Tabellen für das Labor, o. J., 80

Eine ideale Verwahrung von Gemälden stellt eine Glasvitrine innerhalb des Zierrahmens dar. Viele Erfahrungsberichte liegen diesbezüglich schon vor. Dennoch ist diese Variante nur sehr wertvollen und in der Größe limitierten Objekten vorbehalten.²⁰³

Silicagele

ART SORB-Platten hatten sich in den letzten Jahrzehnten durchgesetzt. Sie geben aber chloridhaltige Stäube ab, welche jedoch z. B. auf Eisen, Zink und Kupfermetalle sehr korrosiv wirken. Beim Hantieren übertragen sich diese leicht auf Kunstwerke wie auch durch wechselweises Anfassen von ART SORB-Platten und Kunstwerken. Oft ist ART SORB durch dickere säurefreie Passepartoutkartons in Archivqualität ersetzbar, die 1–2 Tage in einem Raum mit entsprechendem Klima gelagert werden. Reicht die Speicherfähigkeit von Passepartoutkarton nicht aus, können auch Beutel mit PRO-Sorb-Granulat eingesetzt werden, die ggf. auch mit Aufhängeösen oder in „gestepter Version“ lieferbar sind, sodass sich bei senkrechter Anbringung nicht alles Granulat am unteren Ende des Beutels sammelt.

Silikagelplatten sind wesentlich teurer.

PRO Sorb ist ein Silikagel, das besonders gut geeignet ist, um die relative Luftfeuchtigkeit (r. L.) in Museumsvitrinen zu stabilisieren. PRO Sorb wird auf den gewünschten Feuchtwert eingestellt geliefert. Es ist in der Lage, sowohl Wasserdampf aufzunehmen wie abzugeben, und kann so den Feuchtwert in Vitrinen über längere Zeit konstant halten. In den meisten Museen ist es Standard, Kunstwerke aus organischen Materialien auf einen Feuchtwert zwischen 40 % und 60 % r. L. zu klimatisieren und diesen dann möglichst konstant zu halten. PRO Sorb übertrifft mit seiner hohen Aufnahmefähigkeit für Wasserdampf im Bereich zwischen 40–60% r. L. alle anderen zu diesem Zweck angebotenen Produkte. Für die verschiedenen Feuchtigkeitsbereiche eignen sich bei 0–35% r. L.: Silikagel E; bei 30–60 % r. L.: PRO Sorb; bei 60–80 % r. L.: ART SORB; bei 80–95 % r. L.: Silikagel M.

PRO Sorb ist chloridfrei (im Gegensatz zu ART SORB enthält PRO Sorb kein Lithiumchlorid). PRO Sorb besteht aus 97 % SiO_2 und 3 % Al_2O_3 . Es ist staubarm, vor allem wichtig beim Hantieren mit losen Perlen (Abrieb < 0,05 Gew.-% gemäß MIL-D) und kompakter (1 kg PRO Sorb beansprucht nur ca. 1,5 l Volumen). Während sich bei anderen Silikagelen die Eigenschaften bereits nach 1–2 Jahren nachweislich verschlechtern, gehört PRO Sorb zu den langzeitstabilsten Produkten. Nach 10 Jahren ließ sich eine Abnahme der Adsorptionsfähigkeit um ca. 20 % feststellen. Auf 50 % r. L. vorkonditioniertes PRO SORB

²⁰³ Wadum, 2000, 96–100; Pelludat, Seidel, 2004, 31–34; García-Gómez, Juárez Marcos, 2004, 225

verschiebt demnach bei gleichbleibendem Gewicht seinen Konditionierungswert um ca. 0,8–1 % r. L. pro Jahr nach oben.

Im Unterschied zu ART SORB ist der Konditionierungswert von PRO Sorb etwas temperaturabhängig. Dies mag anfangs als ein Nachteil erscheinen. Der angegebene Konditionierungswert bezieht sich auf 20 °C. Bei 10 °C liegt er etwa 1–1,5 % r. L. tiefer, bei 30 °C etwa 1–1,5 % r. L. höher. PRO Sorb verhält sich somit ähnlich wie Holz. Wird eine Vitrine mit Holzobjekten durch PRO Sorb klimatisiert, findet somit auch bei wechselnden Temperaturen kein Feuchtetransfer (bzw. ein geringerer als bei ART SORB) zwischen PRO Sorb und Holzobjekt statt. Aufgrund der allmählichen Abnahme der Adsorptionseigenschaften muss der Konditionierungswert nach einigen Jahren der Nutzung mit einem Hygrometer überprüft werden. Die Konditionierung bezieht sich auf 20 °C, mit einer Toleranz von ± 2 % r. L.²⁰⁴

Prinzipiell sollte vor jeder Maßnahme eine Abwägung von zu erwartenden Schäden erfolgen. Seit vielen Jahren ist das Problem dicht verschlossener Vitrinen in Museumskreisen bekannt. 2009 wird festgestellt, dass solche Vitrinen die Objekte gefährden bzw. langfristig zerstören.²⁰⁵ Ein prominentes Beispiel stellen auch die in diesem Zusammenhang dokumentierten Schäden der Preziosen in deren früheren Aufbewahrungsvitrinen am damaligen Präsentationsort vor der Übersiedelung in das heutige Grüne Gewölbe, Dresden, dar.²⁰⁶

Dicht schließende Vitrinen weisen folgende Mängel auf:

- Sie sind höchst unpraktikabel: Ein Öffnen ist nur durch das Aufschneiden der Silikonfugen möglich. Im Katastrophenfall ist dadurch eine kurzfristige Evakuierung der Objekte unmöglich. Auch wenn Fehlalarme ausgelöst werden, entstehen jedes Mal Kosten.
- Innerhalb der Vitrinen korrodieren Objekte durch die Präsenz von Schadstoffen der Vitrinenbestandteile (u. a. Silikonöle, Essigsäure, Ameisensäure, Formaldehyd, Weichmacher, Plattenbestandteile). Diese reaktiven Chemikalien können nicht entweichen und lagern sich nicht nur auf den Gläsern, sondern auch auf den

²⁰⁴ <http://www.cwaller.de/deutsch.htm?artsorb.htm~information>

²⁰⁵ Kongress des VDR (Verband der Restauratoren e.V.) in Köln am 20. 11. 2009

²⁰⁶ Bernhardt, Kruschke, 2000, 433–435; Engemann-Wendt, 2009, 5.; Jann, Wilke, Brödner, Schneider, Marten, 2000, 428–432; Müller, Adam, Kruschke, Neelmeijer, Mäder, 2000, 414–418; Müller, Engemann-Wendt, 2000, 402–404; Pilz, 2000, 422–427; Rhyl-Svendsen, 2001, 613–619; Richter, 2000, 406–412; Torge, Jann, Pilz, 2000, 436–441; Wagner, Frischat, Hellmond, 2000, 419–418

Kunstwerken ab, reagieren mit diesen und zerstören die sensiblen Oberflächen. Dies ist um ein Vielfaches problematischer als die Tatsache, dass man die Gläser von innen nicht reinigen kann. Die Ablagerungen an den Glasinnenseiten der Vitrine sind auch für Besucher in Form von Schlieren und Wolken sichtbar. Besonders deutlich sind diese im Bereich der Lichtkegel der Glasfaserbeleuchtung zu sehen.

- Aufgrund des schädlichen Vitrinenklimas (Glasfaserbeleuchtung inkl. Trafo führt zur Erwärmung) kann es an Tafelbildern zu Haftungsverlust und Abblätterungen der Malschicht kommen. Allfällige notwendige Sicherungsmaßnahmen können nicht erfolgen, da kein Zugang zu den Exponaten möglich ist.

Für den Leihverkehr bedeuten verschlossene Vitrinen zusätzliche Beeinträchtigungen:

- Aufschneiden der Vitrine und Entfernen von Silikonresten von den Glasfalzen
- Mühsames Reinigen der Vitrinen-Innenflächen (zäher Schmierfilm über den Gläsern)
- Etwaige Alarmsensoren auf Sockeln müssen gelöst werden.
- Nach erfolgreicher Einpassung des Ersatzexponates: Schließung der Vitrine. Die frischen Kleber (2-Butanonoxim²⁰⁷) werden wieder mit den bisherigen Bestandteilen ausdünsten und Vitrine und Kunstwerk schädigen.
- Bei Rückstellung des ausgeliehenen Objektes vollzieht sich dieser Ablauf erneut.

Vitrinen sollten also prinzipiell zu öffnen sein (Wartung, Evakuierung, allgemeine Reinigungsmaßnahmen, konservatorische und restauratorische Sammlungspflege, Leihverkehr, wissenschaftliche Bearbeitung etc.).²⁰⁸

²⁰⁷ 2-Butanonoxim kann durch katalytische Amoxidation von 2-Butanon gewonnen werden. Es hat einen Brechungsindex von 1,441–1,444. Die Dämpfe von 2-Butanonoxim sind 3,01 Mal schwerer als Luft. 2-Butanonoxim wird Lacken und Holzschutzlasuren in geringer Konzentration (<1 %) als Hautverhinderungsmittel zugesetzt. Es wird weiterhin bei der Polyurethanverarbeitung als Korrosionsschutzmittel und als Zwischenprodukt zur Herstellung abgeleiteter Verbindungen eingesetzt. Die Dämpfe von 2-Butanonoxim können beim Erhitzen über seinen Flammpunkt von 58° C mit Luft ein explosionsfähiges Gemisch bilden. Weiterhin ist zu beachten, dass sich die Verbindung im Tierversuch als krebserregend (bei lebenslanger Inhalation treten bei Mäusen und Ratten mit erhöhter Wahrscheinlichkeit Leberkarzinome auf) herausgestellt hat und bei Hautkontakt Allergien auslöst. 2-Butanonoxim kann durch Gaschromatografie mit stickstoffselektivem Detektor nachgewiesen werden (<https://de.wikipedia.org/wiki/2-Butanonoxim>; 20.2.2019). 2-Butanonoxim wird auch als Methylethylketonoxim, Ethylmethylketoxim, 2-Butoxim, Ethylketoxim, MEK-Oxim oder MEKO bezeichnet. Es ist eine klare, farblose bis hellgelbe, aromatisch riechende Flüssigkeit, die in Wasser, Ethanol und Diethylether löslich ist. 2-Butanonoxim wird in der Lackindustrie als Hautverhinderungsmittel u. a. bei der Herstellung von Alkyharzlacken eingesetzt: ab 150° C Zersetzung, Siedepunkt: 152° C bis 153° C, Flammpunkt: 58° C, Zündtemperatur: 315° C, untere Explosionsgrenze: 1,9 Vol.-% bzw. 68,8 g/m³, obere Explosionsgrenze: 12,3 Vol.-% bzw. 445,3 g/m³. Gesundheitsschädlich bei Berührung mit der Haut. Verdacht auf krebserzeugende Wirkung. Gefahr ernster Augenschäden. Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich. Von Nahrungsmitteln, Getränken und Futtermitteln fernhalten. Gas/Rauch/Dampf/Aerosol nicht einatmen. Bei Berührung mit den Augen sofort gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren. Bei der Arbeit geeignete Schutzkleidung, Schutzhandschuhe und Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen (<https://ssl.gischem.de/verzeichnis/index.htm>; 20.2.2019)

²⁰⁸ Korenberg, Bertolotti, 2019, 249

- Vor der Anschaffung verklebter Vitrinen muss dringend abgeraten werden: Sie schädigen die Objekte und verursachen unnötige Kosten.²⁰⁹
- Es sollte uns bewusst sein, dass verklebte Vitrinen objektschädigend und unpraktikabel sind, egal in welchem Museum und unabhängig von den Objekten, die darin präsentiert werden sollen.²¹⁰ Auch kurzfristige Aufbewahrungen in solcher Atmosphäre schädigen die Objekte.²¹¹

Während man im historischen Grünen Gewölbe in Dresden vor allem bei freistehenden Objekten auf eine Lackierung der silbernen Objekte nicht verzichtet, beobachtet man, dass dort selbst in dichten Vitrinen die Objekte anlaufen, was die zuvor gemachten Aussagen bestätigt. Beim Nürnberger Heiltumsschrein hingegen wurde die Lackierung der 70er-Jahre entfernt: Die Aufbewahrung erfolgt in einer dichten, konditionierten, hängenden Vitrine. Sie schützt die Oberfläche des Silbers nicht nur vor den Einwirkungen der Atmosphäre, sondern auch vor Staub-, Ruß- und Fettablagerungen, welche wie eine Kompressen wirken und das Anlaufen besonders begünstigen. Das Hildesheimer Tafelsilber²¹² hingegen wurde nach einer umfassenden Restaurierung 2017 in einer nach neuesten technischen Erkenntnissen und mit Luftfiltern ausgestatteten Reinraumvitrine aufgestellt.²¹³

Beim Neubau von Depots sind die heutigen Bemühungen hauptsächlich auf die klimatischen Bedürfnisse der Objekte und auf die Energieeffizienz des Gebäudes gerichtet. Gesetzliche Sicherheitsauflagen schränken glücklicherweise die Freiheit von Architekten ein. Bei der Auswahl der verwendeten Baumaterialien und der Inneneinrichtung sollte noch nachgeschärft werden und so ist hier auch die Erstellung eines Handbuchs geplant, das bei der Errichtung von Gebäuden nach konservatorischen Richtlinien helfen soll.²¹⁴ Dies ist auch bei der Adaption von vorhandenen Bauten notwendig, welche zuvor nicht als Depot gedacht, geplant, gebaut und eingerichtet wurden. Auch hier sollten die Bemühungen darauf abzielen,

²⁰⁹ Dix, Raquet, 2016, 78–87

²¹⁰ Eipper, 1996, 27–32; ders. 1996, 9–12; ders. 2000, 2449–2457; ders. 2009, 30–37; ders. 2009, 28–30; ders. 2010, 32–34; Engemann-Wendt, 2009, 5; Hatchfield, 2002; Hilbert, 2002; Kreutner, Richter, 2009, 6; Kreutner, Richter, 2010, 22–26; Rhyl-Svendsen, 2001, 613–619; Schieweck, 2009, 7; Schieweck, Salthammer, 2009, 218–235; Sease, Selwyn, Zubiato, Bowers, Atkins, 1997, 1–10; Thomson, 1986; Wagner, 2005

²¹¹ Grzywacz, Tennent, 1994, 164–170; Cassar, Martin, 1994, 171–173; Knight, 1994, 174–176; Derrick, Daniel, Parker, 1994, 207–211; Hahn, Wilke, Jann, 2007, 278; Schieweck, Markewitz, Salthammer, 2007, 284

²¹² Das Geschirr des Hildesheimer Fürstbischofs Friedrich Wilhelm von Westphalen besteht aus über 200 Einzelteilen. https://www.bayerisches-nationalmuseum.de/index.php?id=491&tx_paintingdb_pi%5Bp%5D=21&cHash=bf43e2f9b1957e1da644d18ab8f18fc2; <http://www.stadtmuseum-hildesheim.de/museum/dauerausstellung/fuerstbischoefliches-silber.html>

²¹³ Roidl, 2016, 36–41; <https://www.bayerisches-nationalmuseum.de/index.php?id=917&L=0>

²¹⁴ Holl, Kilian, Klemm, Lengsfeld, Bichlmair, Krus, 2018, 366–368

ungeeignete Materialien zu ersetzen oder Schadstoffe aus der Umgebungsluft auszufiltern.²¹⁵ Prinzipiell gilt: Nirgendwo wird zum ersten Mal das einzige Depot- bzw. das erste Museumsgebäude geplant und gebaut. Ein interdisziplinärer Austausch auf Augenhöhe hilft Fehler zu vermeiden und Folgekosten zu sparen. Bei zeitgemäßen Depots sollte die Klimastabilität oberste Priorität haben.

UV-Schutz

Licht ist Energie und infolgedessen löst jede Bestrahlung Prozesse im bestrahlten bzw. erwärmten Ausstellungsgut aus. Licht spielt auch beim Abbau von bestimmten Pigmenten eine Rolle. Bekannt sind Ausbleichungen bei natürlichen Farbstoffen, wie z. B. Alizarin-Krapplack. Auch bei Barium-, Zink- und Strontiumchromate der späten 19. und frühen 20. Jh.-Gemälde kommt es zu Verdunklungen,²¹⁶ vor allem aber Chromoxidgelb²¹⁷ und Cadmiumsulfid²¹⁸ sind von gravierenden Umfärbungen betroffen: Leuchtendes Gelb verwandelt sich zu unansehnlichen Brauntönen. Viele Gemälde aus dem 19. Jahrhundert enthalten synthetische Chromgelb-Pigmente, vor allem Bleichromate. Auch bei Vincent van Gogh (1853–1890) macht das leuchtende Chromgelb (Blei (II)-chromat, PbCrO_4) einen Wandel durch, es verschwindet unter UV-Einfluss²¹⁹ unter einer immer dunkler werdenden bräunlichen Schicht,²²⁰ wie z. B. bei van Goghs *Ufer der Seine*, 1887, *Sonnenblumen*, 1888, *Les Alyscamps*, 1888, *Ansicht von Arles mit Schwertlilien*, 1888,²²¹ vor allem dann, wenn es in Öl gebunden wurde. Diese Gelbtöne werden bräunlich, wenn Sonnenlicht in den oberen Schichten des Farbauftrags Chrom-IV- zu Chrom-III-Verbindungen reduziert. Ob und wie stark sich die Gelbtöne verfärben, hängt von der chemischen Zusammensetzung und der Kristallstruktur der Pigmente ab. Eine starke Braunfärbung zeigen vor allem Chromgelb-Pigmente mit hohem Sulfatgehalt, wie auch Zinkchromate. Hohe Luftfeuchtigkeit-, Schwefeldioxid- und Lichteinwirkung verstärken diese Prozesse.²²² Ursprünglich handelte es sich bei der Farbe um eine Mischung von Bleichromat-, Bleisulfat- sowie Bleichromatsulfat-

²¹⁵ Thickett, 2018, 262–267

²¹⁶ Felix, Otero, Pinto, Vilarigues, Carlyle, Melo, Matias, 2017, 1–13

²¹⁷ Otero, Pinto, Carlyle, Vilarigues, Cotte, Melo 2017, 136; Tan, Tian, Verbeeck, Monico, Janssens, Tendeloo, 2013, 11360–11363

²¹⁸ Giacometti, Nevin, Comelli, Valentini, Buongiorno Nardelli, Satta, 2018, 065202; Comelli, MacLennan, Ghirardello, Phenix, Schmidt Patterson, Khanjian, Gross, Valentini, Trentelman, Nevin, 2019, 3421-3428, <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.analchem.8b04914> [Zugriff: 06.08.2019]

²¹⁹ Vgl. Monico, van der Snickt, Janssens, Denolf, Miliani, Verbeeck, He Tian, Tan, Dik, Radepont, Cotte, 83, 2011 (4), 1214–1224; Monico, van der Snickt, Janssens, Denolf, Miliani, Dik, Radepont, Hendriks, Geldof, Cotte, 83, 2011 (4), 1224–1231

²²⁰ Vgl. Pohlmann, Schäning 2011, 21–29

²²¹ Vgl. Clarricoates, Dowding, Gent 2016, 1–138

²²² Sulfatreiche und vorwiegend aus orthorhombischen Kristallformen bestehende Chromgelbfarben neigen zur Verbräunung. Casadio, Xie, Rukes, Myers, Gray, Warta, Fiedler, 2011, 2919

Partikeln in Leinöl als Bindemittel. Bleisulfat-Teilchen bleiben von der Alterung unbeeinflusst, während sich bei Bleichromatsulfat-Partikeln in einem ersten Schritt des Alterungsprozesses Chromat-Ionen in Mikrowassertröpfchen zwischen den Pigmenten und dem Bindemittel lösen, besonders bei hohem Sulfat- (über 50%) und geringerem Chrom-Gehalt, da die Chromatome hier weniger stabil ins Kristallgitter integriert sind. So entstehen Teilchen mit einem Kern aus Bleichromatsulfat und einer Schale aus Bleisulfat. Begünstigt durch Lichteinstrahlung reagiert das gelöste Chromat mit dem Leinöl zu unlöslichem Chromoxid Cr_2O_3 , das sich dann als dritte Schicht auf der Oberfläche der Partikel ablagert. Lösen sich weiter Chromat-Ionen aus dem Kern, bleiben am Ende Kern-Schale-Strukturen mit einem Bleisulfat-Kern und einer Chromoxid-Schale übrig. Kleine Bleichromat-Partikel werden während der Alterung komplett zu Chromoxid reduziert, während bei den größeren ein Kern aus hellem Bleichromat erhalten bleibt, der von einer Schale aus dunklem Chromoxid bedeckt ist – ursprünglich hellgelbe Partien von Gemälden werden dunkelbraun, die Oxidation schreitet von außen nach innen voran.²²³ Bei den relativ stabilen Chromoxidfarben des britischen Herstellers Winsor & Newton zeigen lediglich die mittel- und dunkelgelben Farben starke Veränderungen durch eine starke Lichtexposition.²²⁴

Cadmiumsulfid-haltige Farben wurden u. a. von van Gogh, Monet, Picasso, Matisse, Seurat, Schiele, Munch und Ensor verwendet.²²⁵ Weisen die verwendeten Farben häufige Defekte in der Kristallstruktur auf, sind sie besonders anfällig für eine Entfärbung. Die Pigmentgröße und die Mischung mit anderen Farben beeinflussen das Alterungsverhalten, welches durch hohe Luftfeuchtigkeiten und UV-Bestrahlung beschleunigt wird: Die photokatalytische Oxidation des Bindemittels und die Photokorrosion des zunächst brillanten Cadmiumsulfids, macht sich durch Ausbleichung oder Verdunkelung bemerkbar – wie man es auch bei Egon Schieles (1890–1918) *Stadtende/Häuserbogen III*, 1918, feststellen kann –, wofür auch die variablen Schwefelanteile verantwortlich gemacht werden.²²⁶ Dies gilt auch für die Arsensulfide Realgar (As_4S_4) und Auripigment (As_2S_3), welche sich – bedingt durch mobile wasserlösliche Komponenten – zu transparenten, weißlichen und zerbröckelnden Farben zersetzen.²²⁷ Es wird daher empfohlen bei der Beleuchtung Wellenlängen unter 525 nm zu

²²³ Janssens, Monico, Miliani, Van Der Snickt, Legrand, Vanmeert, Alfeld, Brunetti, Cotte, Falkenberg, 2014, 62–63; Haiyan, Tian, Verbeeck, Monico, Janssens, Van Tendeloo, 2013, Vol. 125, 43

²²⁴ Vgl. Otero, Pinto, Carlyle, Vilarigues, Cotte, Melo 2017, 136

²²⁵ Sulfatreiche und vorwiegend aus orthorhombischen Kristallformen bestehende Chromgelbfarben neigen zur Verbräunung. Casadio, Xie, Rukes, Myers, Gray, Warta, Fiedler, 2011, 2919

²²⁶ Giacometti, Nevin, Comelli, Valentini, Buongiorno Nardelli, Satta, 2018, 065202. Dies wurde auch bei Picasso's „Femme“, um 1907, beobachtet. Comelli, MacLennan, Ghirardello, Phenix, Schmidt Patterson, Khanjian, Gross, Valentini, Trentelman, Nevin, 2019, 3421-3428; Levin, Nguyen, Holtz, Wiggins, Thomas, Tveit, Mass, Opila, Beebe, Muller, 2017

²²⁷ Keune, Mass, Meirer, Pottasch, van Loon, Hull, Church, Pouyet, Cottegh, Metha, 2015 (30), 813–827

vermeiden und die Beleuchtung dieser Werken auf LED-Licht umzustellen, die Dauer einzuschänken und Temperatur und Luftfeuchtigkeit eher geringer (um 45%) zu halten, um diesen Prozess zu verlangsamen.²²⁸

Lichtinduzierte Erwärmungen regen auch die Bewegung von Luft an, wodurch das Exponat ausgetrocknet und im weiteren Verlauf durch den Transport von Partikeln in der Luft verschmutzt wird.²²⁹ Zur Vermeidung von Schäden ist es am sinnvollsten – sobald keine Besucher im Raum sind –, die Beleuchtung herabzudimmen oder auszuschalten. Gemälde und Grafiken können beispielsweise durch Verglasung mit Polycarbonathartgläsern (z. B. Makrolon® 281) oder Polymethylmethacrylatgläsern (z. B. ICI-Perspex®, Röhm-Plexiglas®, True Vue: Optium Museum Acrylic)²³⁰ respektive durch mineralische UV-Schutzgläser (z.B. Mirogard®) sehr wirksam vor UV-Strahlung und Verschmutzung geschützt werden. Normale Gläser bieten lediglich einen 45% igen Schutz vor UV- Strahlen bis 380 nm. Um einen UV-Schutz zu gewährleisten, werden auf die Gläser in der Regel zwischen 4–7 Lagen verschiedener Metalloxide ²³¹ aufgebracht.²³² Neben diesen interferenzentspiegelten Gläsern²³³ gibt es Zweischiebensicherheitsgläser, welchen den UV-Schutz in Form einer Splitterschutzfolie zwischen den beiden Scheiben haben.²³⁴ Ein UV-Schutz bringt eine leicht gelbliche/bräunliche Farbverschiebung mit sich. Beispiele für UV-Schutzgläser sind:

Flabeg²³⁵: ArtControl UV 90 (92 % UV-Schutz), Art Control UV 100 mit Splitterschutz (100% UV-Schutz).

Schott²³⁶: Mirogard®-Gläser: Plus (82 % UV-Schutz), Protect Standard oder Magic (99 % UV-Schutz).

Berliner Glas²³⁷: Tegla classic (90,3–91,3 % UV-Schutz), Tegla Galerieglas (91,3 % UV-Schutz).

Berninger²³⁸: GB VSG (99 % UV-Schutz), GB UV-Schutzglas (98 % UV-Schutz).

Groglass²³⁹: Artglass UV (92 % UV-Schutz), Artglass Protect (100 % UV-Schutz).

Nielsen²⁴⁰: ClearColour UV 92 (92 % UV-Schutz).

²²⁸ Vgl. Lunz, Talgorn, Baken, Wagemans, Veldman 2017, 301 f; Monico, Janssens, Miliani, Van der Snickt, Brunetti, Cestelli Guidi, Radepon, Cotte, 2013, 860–867; Bodrogi, Quoc Khanh, 2014, 1–3

²²⁹ Eipper, 2002, 3621–3627; ders. 2008, 7–15 ders. 2009, 161–165

²³⁰ Z. B. zu beziehen über EVONIK. www.plexiglasshop.de

²³¹ Titan- und Siliziumdioxid (d. h. TiO_x, SiO₂, SnArH₂, SnO₂, NbO_x) Halbe, 2019, 30

²³² z. B. durch Tauchen und Einbrennen bei Schott, durch Magnetronspattern bei TrueVue

²³³ Zur Funktionsweise der interferenzentspiegelten Gläser: Wenn Licht auf die erste Beschichtungsebene fällt, wird ein Teil davon absorbiert, ein anderer Teil reflektiert und ein Teil tritt hindurch. Erreicht das hindurchtretende Licht die nächste Schicht, passiert dies noch einmal und so fort. Die von jeder Materialschicht reflektierten Wellen interagieren miteinander, was in Abhängigkeit von Energie und Wellenlänge der reflektierten Lichtwellen zu einer Aufhebung der gegenläufigen Lichtwellen führt, wodurch eine farbneutrale Lichttransmission gewährleistet wird. Halbe, 2019, 28

²³⁴ Polyvinylbutyral (PVB) Folie, 0,38 mm dick. Halbe, 2020, 46

²³⁵ http://www.flabeg.com/uploads/media/FLABEG_ARTControl_D.pdf

²³⁶ www.schott.com/architecture

²³⁷ http://www.tegla.de/htdocs_de/produkte/index.php?ID=2 (seit 2010 keine Produktion von UV-Schutzgläsern mehr)

²³⁸ www.tegla.de

²³⁹ www.groglass.com

²⁴⁰ www.nielsen-design.de

Trösch²⁴¹: Luxar Classic VSG 2-2-1 Verbundglas (99 % UV-Schutz).

Tru Vue²⁴²: Conservation Clear (98 % UV-Schutz), Conservation Reflection Control (98 % UV-Schutz),
Museum Glass (99 % UV-Schutz).

Wybenga²⁴³: Perfect White Artglass UV 92 (92 % UV-Schutz), Perfect White Artglass Protect (100 % UV-Schutz).

Leuchtkörper setzen Energie frei. Diese Energie hat Wirkung auf das damit bestrahlte Kunstgut. Licht bleicht also nicht nur viele Farben – egal in welchem Medium verarbeitet – aus,²⁴⁴ die damit einhergehende Erwärmung kann Kunstgut zum Ausdehnen und Schrumpfen bringen, kann es austrocknen und so zu dessen Zerfall beitragen. Bei Gemälden ist es möglich, dass dabei vor allem in den bindemittelreichen Zonen der Farben Bestandteile mobilisiert bzw. freigesetzt werden: Fettsäuren kristallisieren an der Oberfläche aus oder schlagen sich an der vorgestellten Verglasung als „ghost images“ nieder.²⁴⁵

Werden Grafiken auf industriell produziertem Papier des 19./20. Jahrhunderts beleuchtet, vergilben diese rasant im Vergleich zu den holzfreien Hadernpapieren beispielsweise aus der Rembrandt-Zeit. Während man bei Rembrandt Harmenszoon van Rijn (1606–1669) aufgrund der Wasserzeichen sogar die Papiermühlen ermitteln kann,²⁴⁶ von welchen er seine Papiere bezog, ist dies – auch aufgrund der industriellen Revolution – bei Egon Schiele (1890–1918) schwieriger. Hier finden wir z. B. das zwischen 1910 und 1911 verwendete braune Packpapier neben dem stabilen Japanpapier.²⁴⁷ Sobald es Schiele finanziell besser ging, besorgte er das bessere Strathmore-Japanpapier, ein 100%iges Hadernpapier mit einer Gelatineleimung. Diese Papiere sind an sich stabil, aber aufgrund der Leimung anfällig für inhomogene Vergilbung, Schimmel- und Stockfleckenbefall. 1918 finden sich unter Schieles Papieren solche mit einem 50%igen Holzanteil, 40%igen Stroh- und Grasanteil, 10%igen Bastanteil mit Alaun und Harzbeimischungen.²⁴⁸ Diese Papiere verfärbten sich so stark, dass sie heute manchmal mit Packpapier verwechselt werden können. Schiele hatte mehrere Quellen, um nach ausgewählten Papieren zu suchen, aber auch – aufgrund der Kriegsjahre – nicht fündig wurde.²⁴⁹ Auch bei den grafischen Arbeiten des „Wiener Aktionisten“ Günter Brus (*1938) finden wir zum Teil höchst minderwertige Papiere. Diese Beispiele zeigen, wie inhomogen

²⁴¹ www.glastroesch.ch

²⁴² www.tru-vue.com

²⁴³ www.wybenga.de

²⁴⁴ Bendtfeld, Prestel, Werdin, 2016, 49–53; Clarricoates, Dowding, Gent, 2016, 1–138; Pohlmann, Schäning, 2011, 21–29

²⁴⁵ Im EU PROPAIN project (SSPI – 044254) wurden diese Vorgänge 2007-2010 näher untersucht. Noble & Loon, 2010, 157–160

²⁴⁶ Rembrandt. Radierungen, Katalog, 2006, 261–301

²⁴⁷ Arthur Roessler sandte 1911 Japanpapiere zu Schiele nach Krumau. Erw. in Nebehay, 1979, #114

²⁴⁸ Margaret Hollen Ellis zit. in Nebehay, 1979, #1579

²⁴⁹ Egon Schiele, Brief vom 13. Juni 1918

grafisches Material ist und wie unterschiedlich es auf Licht und Wärme reagiert, weshalb kolorierte Zeichnungen heute nur befristet auf 10 Wochen und Grafit-/Kohle-/Rötel-Zeichnungen 12 Wochen gezeigt werden. Danach beginnt eine zweijährige Ruhezeit, um den Abbau der Papiere und das Ausbleichen der Farben etwas aufzuhalten. Diese Fristen werden auch bei LED-Beleuchtung beibehalten, wenngleich diese um ein Vielfaches weniger zum Abbau beiträgt.²⁵⁰ Für Fotografien gelten ähnliche Ruhezeiten.

Bei der Beleuchtung eines Ausstellungsobjekts müssen drei Faktoren berücksichtigt werden: die Beleuchtungsstärke, die Beleuchtungsdauer und die spektrale Zusammensetzung des Lichts. Zu Letzterem soll hier nur gesagt werden, dass energiereiche Wellenlängen wie UV- und blaues Licht von der Beleuchtung ausgeschlossen werden sollten. Auch IR-Strahlung, die als Wärme wahrgenommen wird, darf bei der Beleuchtung keine wesentliche Rolle spielen. Diese Forderungen lassen sich durch die Wahl der Leuchtmittel, deren Entfernung zum Objekt sowie durch den Einsatz von Schutzfiltern erfüllen.

Luxstunden werden einfach errechnet: Anzahl der Stunden am Tag, an dem die Exponate beleuchtet werden, mal Tage der Woche, an denen die Exponate beleuchtet werden, mal Lux-Wert in der Ausstellung ergibt die Gesamt-Luxstunden (lxh). Die Beleuchtungsdauer berechnet sich wie folgt:

$$\text{lxh} = \text{Beleuchtungsstärke in Lux (lx)} \times \text{Beleuchtungsdauer in Stunden (h)}$$

Beispiele zur Berechnung der zulässigen Beleuchtung einer Cyanotypie:

1. 8 h/Tag für 30 Tage bei 50 lx = 12.000 lxh
2. 8 h/Tag für 20 Tage bei 75 lx = 12.000 lxh
3. 8 h/Tag für 30 Tage bei 100 lx = 24.000 lxh

Grundsätzlich sollte eine Cyanotypie mit maximal 42.000 lxh pro Jahr belastet werden.

- Im 1. Fall bedeutet dies, dass die Cyanotypie bei 50 lx maximal 1 Monat ausgestellt werden darf.

- Im 2. Fall wird die Cyanotypie stärker beleuchtet, weshalb sich die Ausstellungsdauer verkürzt.

²⁵⁰ Eipper, 2002, 3621–3627; Herdin, 2016, 55–57

- Im 3. Fall ergibt sich die doppelte Menge an Luxstunden (lxh), sodass in einem Monat die doppelte Jahresbelastung erfolgt. Zum Ausgleich müsste die Cyanotypie dann doppelt so lange nicht ausgestellt werden, es ergibt sich also nun eine Ruhezeit von 6 Jahren!

Bei einer Ausstellung gemischter Verfahren müssen eventuell Kompromisse gemacht werden. Optionen sind beispielsweise:

- unterschiedliche Beleuchtungsstärken in den Räumen an verschiedenen Tagen
- Lichtschranken zum Auslösen der Beleuchtung, wenn Besucher anwesend sind (Bewegungsmelder)
- Ruhezeiten für individuelle Objekte einhalten
- Auswechseln von Fotografien während der Ausstellung
- Nutzung von Faksimiles
- besondere Ausstellungsgestaltung/Nutzung der Fähigkeit des menschlichen Auges zur Akkommodation

Durch Berücksichtigung von individuellen Anforderungen ist es möglich, den Verfall zu verlangsamen. Dabei spielen Verhältnismäßigkeit, das Finden von individuellen Lösungen, die bewusste Wahl der Materialien, die Kommunikation zwischen Beteiligten sowie die Beratung durch Restauratoren eine entscheidende Rolle.

Kategorien der Lichtempfindlichkeit

1. Extraordinarily light-sensitive

- Autochromplatten o. ä. und frühe Farbstoffverfahren
- experimentelle Verfahren
- stabilisierte silberhaltige Fotografien
- frühe Tintenstrahldrucke

Jede Art der Ausstellung der Verfahren in dieser Kategorie wird nicht empfohlen, da diese Fotografien eine sehr hohe Lichtempfindlichkeit vorweisen und Exemplare in der Vergangenheit immer wieder selbst durch kurze Ausstellungszeiten beschädigt wurden.

2. Very light-sensitive

- Abzüge mit schlechter Verarbeitung oder Verfallserscheinungen

- Cyanotypien, Kallotypien
- Pigmentdrucke mit synthetischen Pigmenten
- chromogene Farbfotos (vor 1990)
- Dye Transfer
- Diffusionsverfahren
- PE-Papiere (vor 1980)
- Objekte in Etais oder Passepartoutrahmen (Daguerreotypien, Ambrotypien, Ferrotypien)
- farbige Papiere und Träger
- handkolorierte Fotografien
- Fotografien mit gefärbtem Bindemittel
- Digitaldrucke

Maximale Beleuchtung/Jahr: 12.000–50.000 lxh, danach drei Jahre Ruhezeit.

Diese Verfahren sollten nur einer jährlichen Maximalbeleuchtung von 12.000–50.000 Luxstunden (lxh) ausgesetzt werden und nach dieser Belastung möglichst drei Jahre Ruhezeit erhalten. In dieser Zeit „erholen“ sie sich nicht, denn Lichtschäden summieren sich und sind irreversibel. Es geht eher darum, die Verfallsrate, die während jeder Ausstellung zunimmt, über die Gesamtlebensdauer der Fotografie hinaus zu verlangsamen.

3. Light-sensitive

- Albumin
- Kollodium und Gelatine POP
- Platin- oder Palladiumdrucke
- Salzpapier
- PE-Papiere (nach 1980)
- chromogene Farbfotos (nach 1990)

Maximale Beleuchtung/Jahr: 42.000–100.000 lxh, danach zwei Jahre Ruhezeit.

Fotografien der dritten Kategorie können einer jährlichen Maximalbeleuchtung von 42.000–100.000 Luxstunden (lxh) ausgesetzt werden und sollten nach dieser Belastung möglichst zwei Jahre Ruhezeit erhalten. Es wird dringend empfohlen, sich möglichst an die unteren

Beleuchtungswerte zu halten, da hierdurch eine unbeabsichtigte Schädigung eher unwahrscheinlich ist.

4. Less light-sensitive

- Silbergelatine DOP auf Barytpapier
- Pigmentdrucke mit Erdpigmenten
- Daguerreotypien ohne Kolorierung
- fotomechanische Drucke

Maximale Beleuchtung/Jahr: 84.000–300.000 lxh, danach ein Jahr Ruhezeit.

Fotografien der vierten Kategorie können einer jährlichen Maximalbeleuchtung von 84.000–300.000 Luxstunden (lxh) ausgesetzt werden und sollten nach dieser Belastung möglichst ein Jahr Ruhezeit erhalten. Auch hier gilt, dass eine Ausstellung mit 84.000 Luxstunden oder weniger erstrebenswert ist als eine mit 300.000 Luxstunden.

Fazit

Durch Beleuchtung wird Energie frei, diese Energie verändert das Umgebungsklima und setzt bei Oberflächenerwärmungen vielerlei VOCs frei, welche wiederum Objekte schädigen.

Lichtschutz ist immer auch Objektschutz. Beleuchtungen sollten immer außerhalb von Vitrinen angebracht sein. LED- und Glasfaserbeleuchtungssysteme sollten bevorzugt werden.

Integrated Pest Management

Die Überwachung und Aufzeichnung des Klimas in einem Museum/Depot sollte durch das Integrated Pest Management begleitet werden. Bestimmte klimatische Verhältnisse begünstigen die Ausbreitung von Schadinsekten in geschlossenen Räumen, wo sie Schutz und Nahrung finden.²⁵¹ Ihre Ausscheidungen und Überreste dienen anderen Schadinsekten und Mikroorganismen wiederum als Nahrungsquelle.

Manipulationen/Transport

²⁵¹ Querner, Kimmel, Morelli, 2018, 59–66

Ein weiteres, sich der Präventions-Thematik „Kunstobjekte und Schadensvermeidung“ anschließendes Thema stellt die Manipulation an sich dar.²⁵² Hier sind die Institutionen gefordert, ihre Mitarbeiter zu sensibilisieren und zu schulen. Denn eine ernstzunehmende Schadensquelle für Kunstgegenstände stellt bekanntlich bereits ihre Bewegung schon innerhalb einer Institution dar. Werden Objekte aus den Depot- oder Ausstellungsräumen verlagert, müssen sie nicht nur angefasst, sondern auch verpackt werden. Diese Manipulationen stellen eine hohe Gefährdung dar und waren schon Hintergrund für eingehende Untersuchungen zu diesem Thema.²⁵³ Erst recht aber ist der Transport zu auswärtigen Ausstellungen eine Gefahr. Vor allem Erschütterungen und Klimawechsel stellen für das verpackte Ausstellungsgut – auch wenn es durch Versandkisten während des Transportes geschützt ist – Gefährdungen dar. Deshalb sollte man sich hausintern wie auch vonseiten der Anbieter für den Kunsttransport hauptsächlich um Eingrenzung und Reduzierung der Schäden, die durch Erschütterungen verursacht werden, das nicht ausreichend geregelte Klima sowie die Materialien, aus welchen Versandkisten gefertigt werden, kümmern. Prinzipiell sollten Versandkisten und Vitrinen über Raumtemperatur zumindest drei Monate ausdampfen, bevor sie befüllt werden. Dauereinlagerungen in solchen Verpackungen sind nicht sinnvoll. Personal- und Sicherheitsfragen begleiten auch diesen Bereich. Auch seitens der Versicherer wird hier immer mehr nachgeschärft und auf Vereinheitlichung von internationalen Standards gepocht. Die Befundung von Objekten zumindest vor und nach dem Transport spielt auch hier eine wichtige Rolle. Bereits vor vielen Jahren stand die Überprüfung der bewegten Kunstgegenstände seitens der Institutionen, wie z. B. durch das VASARI-Projekt.²⁵⁴ Die technischen Möglichkeiten limitieren dabei bis heute die Effizienz und Justiziabilität von Dokumentationsmöglichkeiten, wie z. B. die 3-D-Oberflächenabtastung durch Streifenprojektionen, da diese in der Größenerfassung limitiert sind und Abbildungen aus mehreren Teilbildern zusammengefügt werden müssen.

Literatur

Achternkamp, P., „Der Rückseitenschutz von Gemälden. Historische und zeitgenössische Praxis“, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung (1), Worms 1991, 17–47

²⁵² Pelludat, Axer, 2004, 1–112; Huber, Lerber, 2003, 1–194

²⁵³ Siehe Fußnoten 6, 7

²⁵⁴ Burmester & Müller, 1992, 335–345

Adolfs, N. C., „Mit modernen Materialien verpacken und schützen“, in: *Restauro* (1), München 2010, 28

Althöfer, M., *Transporter – Restorer – Conserver – Emballer*, Diplomarbeit, Université Paris I Pantheon-Sorbonne, Paris 1995

Appelbaum, B., *Guide to Environmental Protection of Collections*, Madison, Connecticut 1991

Ashley-Smith, J., Umney, N., Ford, D., „Let's be honest – Realistic Environmental Parameters for Loaned Objects“, in: *Preventive Conservation: Practice, Theory and Research*, Preprints of the IIC-Congress Ottawa 12.–16. Sept. 1994, hg. v. International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, London 1994, 28–31

ASHRAE, „Museums, libraries and archives (chapter 21)“, in: *ASHRAE handbook: Heating, ventilating, and air-conditioning applications*, SI edition, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. 2007, 21.1–21.23.

Bamberger, J. A., Howe, E. G., Wheeler, G., „A variant Oddy test procedure for evaluating materials used in storage and display cases“, in: *Studies in conservation* (44), Nr. 2, London 1999, 86–90

Banou, P., Alexopoulou, A., Chranioti, C., Tsimogiannis, D., Terlix, A.-V., Zervos, S., Singer, B. W., „The effect of oil binders on paper supports via VOC analysis“, in: *Journal of cultural heritage* 20, Amsterdam 2016, 589–598

Bauer, U., *Verpackung: Materialien – Verarbeitung – Lagerung – Transport*, Würzburg 1981

Beiner, G. G., Lavi, M., Seri, H., Rossin, A., Lev, O., Gun, J., Rabinovich, R., „Oddy tests: adding the analytical dimension“, in: *Collection forum* 29, no. 1–2, New York 2015, 22–36

Bellendorf, P., Wittstadt, K., „Risiken frühzeitig erkennen: Einsatz von Dosimetern zur Verifizierung von musealen Lager- und Ausstellungsbedingungen“, in: *Restauro* (7), München 2011, 43–47

Bendtfeld, S., Prestel, T. & Werdin, H., „Dunkle Aussichten für die Kunst. Kein Licht ist auch keine Lösung. Die Auswirkungen der momentanen Beleuchtungssituation in der Gemäldegalerie Alte Meister Dresden“, in: *Restauro* (8), München 2016, 49–53

Berndt, H., „Assessing the detrimental effects of wood and wood products on the environment inside display cases“, in: *Preprints of papers presented at the fifteenth annual meeting of the American Institute for Conservation, Vancouver 1987*, 22–33

Bernhardt, R., Kruschke, D., „Modellemails. Herstellung und Materialverhalten“, in: *Restauro forum* (6), München 2000, 433–435

Bertolin, C., Strojceki, M., Kozlowski, R., „Particle Penetration, Emission and Deposition in the Diocesan Museum in Udine, Italy to Assess Soiling of Giambattista Tiepolo's Wall Paintings“, in: *Studies in Conservation, Supplement 1, Preventive Conservation, IIC Turin Congress preprints*, 2018, 326–328

Bertolotti, G., „Coatings for Wooden Components of Museum Showcases“. The British Museum, Internal report PR7628-2015_5

Blackshaw, S. M., Daniels, V. D., „Selecting safe materials for use in the display and storage of antiquities“, in: *ICOM Committee for Conservation 5th Triennial Meeting, Zagreb 1978*, 78/23/2

Blackshaw, S. M., Daniels, V. D., „The testing of materials for use in storage and display in museums“, in: *The Conservator* 3, 1979, 16–19

Bodrogi, P., Quoc Khanh, T., „Blue and UV content of white LED light sources in comparison with fluorescent lamps, daylight and incandescent light“, *Laboratory of Lighting Technology, Technische Universität Darmstadt*, 2014, 1–3

https://www.usailighting.com/stuff/contentmgr/files/1/2753ce9f7bb62f5acb854942e4b161/misc/vangogh_bedrogi.pdf

Böhmer, S., „Displaying a Large Scale Gouache on a Curved Wall“, in: *Journal of Paper Conservation* (2), hg. v. IADA, Göttingen 2017, 41–43

Booth, P., „Framing for Loan“, in: *Moving Pictures. The International Journal of Museum Management and Curatorship* (4), 1985, 41–45

Botzenhart, K., Müller, H., Strubelt, O., *Innenraum-Luftverunreinigungen*, Tübingen 2001

Braun, N., *Transport von Gemälden – Grundlegende Aspekte und Vibrationsmessungen während eines Kunsttransports*, Bachelor-Arbeit, TU München, Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt, 2013, 1–73

Brazel, C. S., Rosen, L., „*Fundamental Principles of Polymeric Materials*“, Wiley 2012, 3rd Edition, 1–432

https://www.academia.edu/35555530/Fundamental_Principles_of_Polymeric_Materials-Wiley_2012_3rd_Edition_by_Christopher_S._Brazel_Stephen_L._Rosen

Brimblecombe, P., Shooter, D., Kaur, A., „Wool and reduced sulphur gases in Museum air“, in: *Studies in Conservation*, London 1992, 53–60

Brunner, P., *Der Rückseitenschutz von Gemälden*, Diplomarbeit, Institut für Technologie der Malerei an der Akademie der Bildenden Künste, Stuttgart 1988, 1–162

Buces, J. A., „Technical Recommendations for the Packing and Transportation of Painted Works of Art: No, Neither Guernica nor Las Majas!“, in: *Kermes* Vol. 12 Issue 35, 1999, 51–58

Budd, M. K., „Corrosion of metals in association with wood“, in: *Applied materials research* 4, no. 2, 1965, 124–125

Buddle, A., „Road transport“, in: *Touring Exhibitions: The Touring Exhibitions Group's Manual of Good Practice*, hg. v. Mike Sixsmith, Oxford 1995, 214–218

Burmester, A., Müller, M., „The Registration of Transport Damage using Digital Image Processing“, in: *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung* (2), Worms 1992, 335–345

Burmester, A., „Es sind also alle Gefahren: Vom Museumsbau, fauler Luft und Staub“, in: *Schadstoffvermeidung im Museum*, hg. v. Merzenich, C., u. a., Germanisches Nationalmuseum, Nürnberg 2006

Byne, L. St. George, „The corrosion of shells in cabinets“ (1899), in: *Historical perspectives on preventive conservation*, Readings in conservation, 6, ed. by Staniforth, S., The Getty Conservation Institute, Los Angeles 2013, 276–285

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

Camuffo, D., Pagan, E., Bernardi, A., Becherini, F., „The impact of heating, lighting and people in re-using historical buildings: a case study“, in: *Journal of Cultural Heritage* (5), Amsterdam 2004, 409–416

Cannon-Brookes, P., „The Transportation of a Consignment of Paintings from Cape Town to Southampton by Sea, September 1977“, in: *Preprints of the 5th Triennial Meeting, Zagreb, 1.–8.10.1978, Vol. 2*, ed. by International Council of Museums (ICOM), Paris 1978, 78/12/2/2–78/12/2/5

Casadio, F., Xie, S., Rukes, S. C., Myers, B., Gray, K. A., Warta, R., Fiedler, I., „Electron energy loss spectroscopy elucidates the elusive darkening of zinc potassium chromate in Georges Seurat's *A Sunday on La Grande Jatte—1884*“, in: *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, Springer-Verlag 2011 (399), 2909–2920; DOI 10.1007/s00216-010-4264-9

Cassar, M., Martin, G., „The environmental performance of display cases“, in: IIC, Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress, 12.–16. Sept. 1994, London 1994, 171–173

Cassar, M., *Environmental Management: Guidelines for Museums and Galleries*, London, New York 1995

Chiantore, O., Riedo, C., Poli, T., Cotrufo, G., Hohenstatt, P., „Risk Assessment and Preservative Measures for Volatile Organic Compounds in Museum Showcases“, in: Studies in Conservation, Supplement 1, Preventive Conservation, IIC Turin Congress preprints, 2018, 58–63

Clarke, S. G., Longhurst, E. E., „The corrosion of metals by acid vapours from wood“, in: Journal of applied chemistry 11, no. 11, Society of Chemical Industry (Great Britain), London 1961, 435–443

Clarricoates, R., Dowding, H., Gent, A., *Colour Change in Paintings*. London 2016, 1-138

Comelli, D., MacLennan, D., Ghirardello, M., Phenix, A., Schmidt Patterson, C., Khanjian, H., Gross, M., Valentini, G., Trentelman, K., Nevin, A., „Degradation of Cadmium Yellow Paint: New Evidence from Photoluminescence Studies of Trap States in Picasso’s *Femme (Époque des “Demoiselles d’Avignon”)*“, in: Analytical Chemistry, 2019, 3421-3428,

<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.analchem.8b04914> [Zugriff: 06.08.2019]

Costain, C., „Scientific Rationale for Studies on Packing and Transportation of Paintings“, in: *Art in Transit: Studies in the transport of paintings*, Proceedings of the International Conference on the packing and transportation of paintings, London, 9.–11. Sept. 1991, ed. by Mecklenburg, M. F., Washington 1991, 19–24

Costain, C., „Conference Highlights in Packing and Transporting Paintings“, in: CCI Newsletter No. 9, April 1992, 8–9

Coughlin, M., „Monitoring acidic off-gassing of plastics“, in: *Conserve o gram*, 8/5 United States National Park Service, Museum Management Service, Washington, D.C., United States 2011, 1–5

Curran, K., „A System Dynamics Approach to the Preventive Conservation of Polymeric Materials in Collections“, in: *Studies in Conservation, Supplement 1, Preventive Conservation, IIC Turin Congress preprints*, 2018, 342–344

Curran, K., Strlič, M., „Polymers and volatiles: using VOC analysis for the conservation of plastic and rubber objects“, in: *Studies in conservation* 60, no. 1, 2015, 1–14

Curteis, T., „The Cathedrals of England: Environmental Performance, Conservation and Exhibitions“, in: *Studies in Conservation, Supplement 1, Preventive Conservation, IIC Turin Congress preprints*, 2018, 392–396

Dedecker, K., Pillai, R. S., Nouar, F., Pires, J., Steunou, N., Dumas, E., Maurin, G., Serre, C., Pinto, M. L., „Metal-organic frameworks for cultural heritage preservation: the case of acetic acid removal“, in: *ACS applied materials & interfaces* 10, no. 16, 2018, 13886–13894

De Laet, N., Lycke, S., Van Pevenage, J., Moens, L., Vandenaabeele, P., „Investigation of pigment degradation due to acetic acid vapours: Raman spectroscopic analysis“, in: *European journal of mineralogy* 25, no. 5, 2013, 855–862

Derieux, A., Lavier, C., Le Bourg, É., Masson, É., Nguyen, T.-P., Rogaume, C., Rottier, V., „Composés organiques volatils émis par les boîtes d'archives anciennes en bois“, in: *Support tracé*, no. 14, 2014, 68–76

Derrick, M., Daniel, V., Parker, A., „Evaluation of Storage and Display Conditions for Cellulose Nitrate Objects“, in: *Preventive Conservation: Practice, Theory and Research*, Preprints of the IIC Congress, Ottawa, 12.–16. Sept. 1994, ed. by International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (IIC), London 1994, 207–211

Desauziers, V., Bourdin, D., Mocho, P., Plaisance, H., „Innovative tools and modeling methodology for impact prediction and assessment of the contribution of materials on indoor air quality“, in: *Heritage science* 3, 2015, 1–8

Dietz, G., Lippmann, R. (Hg.), *Verpackungstechnik*, Heidelberg 1986

Dinnebier, R. E., Fischer, A., Eggert, G., Runčevski, T., Wahlberg, N., „X-ray powder diffraction in conservation science: towards routine crystal structure determination of corrosion products on heritage art objects“, in: *Journal of visualized experiments*, no. 112, 2016, 1–17

Dix, A., Raquet, M., „Schadstoffvermeidung in Vitrinen im Germanischen Nationalmuseum“, in: *VDR-Beiträge zur Erhaltung von Kunst und Kulturgut* (2), Bonn 2016, 78–87

Dolezel, B., *Die Beständigkeit von Kunststoffen und Gummi*, München 1978

Donovan, P. D., Moynehan, T. M., „The corrosion of metals by vapours from air-drying paints“, in: *Corrosion science* 5, no. 12, Kidlington 1965, 803–814

Dörr, H., Holzinger, F., *Kronos Titandioxid in Dispersionsfarben. Hohe Qualität und Wirtschaftlichkeit durch optimales Formulieren*, Leverkusen 1989, 1–122

Dubus, M., Le-Hô, A.-S., Moulherat, C., „Impact of the textiles used to decorate showcases on the corrosion of silver collections“, in: *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung* (2), Worms 2008, 256–259

Dubus, M., Laurent, A.-M., „Tout ce que vous devez savoir sur les vitrines en bois“, in: *Technè: la science au service de l'histoire de l'art et des civilisations*, no. 29, 2009, 101–108

Dubus, M., Asensi Amoros, V., Bouvet, S., Brarda-Wieber, J.-M., Colson, I., Dupont, A.-L., Lattuati-Kotajima, T., Ro, T., Hayashi, R., Suga, M., Sano, C., „Change in gas concentration in a display case“, in: *Hozon kagaku*, no. 54, 2015, 205–213

Eggert, G., Fischer, A., Wahlberg, N., Dinnebier, R., Runčevski, T., Kuitert, R., Schüch, M., Kampe, S., Sulzer, E., Wollmann, A., „Efflorescence X? Case solved: $\text{Ca}_3(\text{CH}_3\text{COO})_3\text{Cl}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$! The research history, identification, and crystal structure of thecotrichite“, in: Recent advances in glass and ceramics conservation 2016: ICOM-CC Glass and Ceramics Working Group Interim Meeting, ed. by Roemich, H., Fair, L., ICOM-CC, Paris 2016, 135–144

Eggert, G., Kuitert, R., Ziegler, J., Bette, S., Stelzner, J.: „Metal Conservation, Cellulose Nitrate and the Oddy Test“, in: METAL 2019 Proceedings of the interim meeting of the ICOM-CC metals working group, September 2–6, 2019, Neuchâtel, Switzerland (Chemello, C., Brambilla, L., Joseph, E. Hg.) 2019, 125-131

Eibl, M., „Die Reinigung musealer Räume als Maßnahme der präventiven Konservierung. Erster Teil, Grundlagen der Verschmutzung und Reinigung“, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung 1, 2009, 79–114

Eibl, M., „Die Reinigung musealer Räume als Maßnahme der präventiven Konservierung. Zweiter Teil, Reinigung und präventive Konservierung in der Praxis“, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung 2, 2009, 215–244

Eipper, P.-B., „Zum Malmaterial und zur Maltechnik Egon Schieles“, in: *Egon Schiele Jahrbuch (IV-VIII)*, hg. v. Ambrózy, J. T., Carmona, C., Tretter, S. & Werth, E., Wien 2019, 246-271

Eipper, P.-B., „Acrylfarben-Oberflächenreinigung“, in: *Handbuch der Oberflächenreinigung*, hg. v. Eipper, P.-B., 6. Auflage, München 2017, 153–189

Eipper, P.-B., „Examination of untreated and treated acrylic paint surfaces by 3D measurement technology at the Universal-Museum Joanneum, Graz, Austria“, in: *Paints: Types, Components and Applications*, ed. by Sarrica, S. M., New York 2011, 57–83

Eipper, P.-B., „Lichtschutz in Ausstellungsräumen“, in: *Restauro* (3), München 2009, 161–165

Eipper, P.-B., „Sicherheit in der Kiste“, in: Der Kunsthandel (12), Teil 1, 2009, 28–30, bzw. Der Kunsthandel (1), Teil 2, 2010, 32–34

Eipper P.-B., „Materialien für den Bau und Ausstattung von Vitrinen und Versandkisten“, in: Museum aktuell (160), München 2009, 30–37

Eipper, P.-B., „UV-Schutz im Museum“, in: Museum aktuell (147), München 2008, 7–15

Eipper, P.-B., Oberle, A., Scharf, A., „Nicht irgendetwas, sondern ein „Kat“: Die richtige Wand- und Deckenfarbe für Museen“, in: Museum aktuell (131), München 2006, 23–24

Eipper, P.-B., „Ein neuer Rückseitenschutz für Gemälde“, in: Museum aktuell (107), München 2004, 27–30

Eipper, P.-B., „Filzbeschichtungen an Innenfalzen von Gemäldezierrahmen“, in: Museum aktuell (97), München 2003, 4186–4188

Eipper, P.-B., „UV-Schutzmaßnahmen an Fenstergläsern und Beleuchtungskörpern“, in: Museum aktuell (85), München 2002, 3621–3627

Eipper, P.-B., „Filzbeschichtungen an Innenfalzen von Gemäldezierrahmen“, in: *Arbeitsblätter für Restauratoren*, Mainz 2000, 45–50

Eipper P.-B., „Materialien für den Bau und Ausstattung von Vitrinen und Versandkisten. Von der Holzstäbchenplatte bis zum Wollfilz“, in: Museum aktuell (61), München 2000, 2449–2457

Eipper, P.-B., „Ein neuer Rückseitenschutz für Gemälde“, in: *Arbeitsblätter für Restauratoren*, Mainz 1996, 14–19

Eipper, P.-B., „Materialien für den Vitrinen- und Versandkistenbau“, in: *Mitteilungsblatt* (51), Museumsverband Niedersachsen und Bremen, Hannover 1996, 27–32

Eipper, P.-B., „Materialien für den Vitrinen- und Versandkistenbau“, in: *Der Präparator* (42), Heft 1, Bochum 1996, 9–12

Eipper, P.-B., „Modifizierter Wollfilz für Objekte und Vitrinen“, in: *Der Präparator* (42), Bochum 1996, 13–15

Eipper, P.-B., „Filzbeschichtungen an Innenfalzen von Gemäldezierrahmen“, in: *Mitteilungsblatt* (49), Museumsverband Niedersachsen und Bremen, Hannover 1995, 47–50

Eipper, P.-B., „Ein neuer Rückseitenschutz für Gemälde“, in: *Mitteilungsblatt* (48), Museumsverband Niedersachsen und Bremen, Hannover 1994, 59–65

Eipper P.-B., *Die Reinigung von Gemäldeoberflächen mit Tensiden und der Einsatz von modifizierten Polyvinylacetaten zur Konservierung von textilen Bildträgern*, Bern 1993, 1–134

Engemann-Wendt, C., „Chronologie einer Schatzkammer. Vom barocken Gesamtkunstwerk zu „Hightech“-Vitrinen“, in: *Achtung Kunst!*, 6. Restauratorentag des VDR, 20.11.2009, Bonn, Zusammenfassung der Vorträge, Bonn 2009, 5

Eremin, K., Wilthew, P., „The Effectiveness of Barrier Materials in Reducing Emissions of Organic Gases from Fibreboard: Results of Preliminary Tests“, in: ICOM Committee for Conservation, 11th Triennial Meeting, ed. by Bridgland, J., London 1996, 27–35

Erhardt, D., „Art in Transit: Material Considerations“, in: *Art in Transit: Studies in the transport of paintings*, Proceedings of the International Conference on the packing and transportation of paintings, London, 9.–11. Sept. 1991, ed. by Mecklenburg, M. F., Washington 1991, 25–34

Erhardt, D., Mecklenburg, M., „Relative Humidity re-examined“, in: *Preventive Conservation: Practice, Theory and Research*, Preprints of the IIC Congress, 12.–16.

Sept. 1994, ed. by International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (IIC), London 1994, 32–38

Erhardt, D., Mecklenburg, M., Tumosa, C. S., McCormick-Goodhart, M., „The Determination of Allowable RH Fluctuations“, in: WAAC Newsletter, Vol. 17, No. 1, 1995

Fallon, D., Peters, M., Hunt, M., „Cleaning protocol for mercuric chloride-contaminated herbarium cabinets at the Smithsonian Museum Support Center“, in: Collection forum 30, no. 1, 2016, 51–62

Felix, M., Otero, V., Pinto, J., Vilarigues, M., Carlyle, L., Melo, M. J., Matias, V., „Barium, zinc and strontium yellows in late 19th–early 20th century oil paintings“, in: Heritage Science, 2017, 1–13, DOI 10.1186/s40494-017-0160-3

Fisch, N. M., Kübler, R., *Wärmespeicher (BINE – Bürger-Information Neue Energietechniken, Nachwachsenden Rohstoffe, Umwelt – ein Informationspaket)*, hg. v. Fachinformationszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information, Köln 1992

Fischer, A., *Glasinduzierte Metallkorrosion an Museums-Exponaten*, Dissertation, Staatliche Akademie der Bildenden Künste Stuttgart, 2016

Fox, S.-J., Babington, C., Macalister, Bower, F., de Fonjaudran, C. M., „Monitoring and Mitigating Particulate Matter Deposition on Decorative Surfaces: Current and Future Approaches in the Palace of Westminster“, in: Studies in Conservation, Supplement 1, Preventive Conservation, IIC Turin Congress preprints, 2018, 81–86

Freitag, S., Smallwood, M., „Collections Management – Packing and Crating“, in: The New Registration Methods, ed. by Buck, R, and Gilmore, J. A., American Association of Museums, Washington, D.C. 1998, 131–138

García-Gómez, J., Juárez Marcos, B., „Climate Control Vitrines“, in: IIC Congress „Modern Art, New Museums“, Bilbao 2004, 225

Garside, P., Walker, O., „The formation of microenvironments in polyester enclosures“, in: *Journal of conservation & museum studies* 13, no. 1, 2015, 1–4

Giacopetti, L., Nevin, A., Comelli, D., Valentini, G., Buongiorno Nardelli, M., Satta, A., „First principles study of the optical emission of cadmium yellow: Role of cadmium vacancies“, in: *AIP ADVANCES* 8, 2018, 065202

Gilberg, M., Grattan, D., „Oxygen-free Storage Using Ageless Oxygen Absorber“, in: *Preventive Conservation: Practice, Theory and Research*, Preprints of the IIC Congress, Ottawa, 12–16. Sept. 1994, ed. by International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (IIC), London 1994, 177–180

Girard, S., „Beva 371-based Synthetic Leather“, in: *Journal of Paper Conservation* 1/2018, 18–32

Goffard, C., „Eviter l'erreur: le choix de matériaux stables pour le stockage et l'exposition des collections muséales“, in: *CeROArt: conservation, exposition, restauration d'objets d'art*, no. 3, 2009, 1–15

Grau-Bové, J., Mazzei, L., Thickett, D., Strlic, M., „New Perspectives on the Study of Particulate Matter Deposition within Historic Interiors“, in: *Studies in Conservation* (4), 2019, 193–202

Grau-Bové, J., Mazzei, L., Budič, B., Thickett, D., Strlič, M., „Modelling of Indoor Particulate Matter. Deposition and of its Degradative Effects“, in: *ChemCH 2014 Third International Congress on Chemistry for Cultural Heritage*, July 1 – 5, 2014, Academy of Fine Arts Vienna. Book of Abstracts, Wiesinger, R., Schreiner, M. (Hg.), Wien 2014, 42–44

Grau-Bové, J., Mazzei, L., Malkii-Ephstein, L., Thickett, D., Strlič, M., „Simulation of particulate matter ingress, dispersion, and deposition in a historical building“, in: *Journal of Cultural Heritage*, ElsevierMassonSAS 2015, 1–10;
<http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2015.08.006>

Grau-Bové, J., Strlič, M., „Fine particulate matter in indoor cultural heritage: a literature review“, in: *Heritage Science*, 2013, 1-8

Grau-Bové, J. Mazzei, L., Strlič, M., „Implementation and validation of the drift-flux model for particle deposition using environmental aerosols in a test tunnel“, in: *Journal of Aerosol Science*, 2014

Grayburn, R. A., Dowsett, M. G., Adriaens, A., „Further advances in lead carboxylate coatings: coating unprimed heritage lead“, in: *Heritage science* 4, 2016, 1–3

Green, T., „Packing for Transport“, in: *Moving Pictures. The International Journal of Museum Management and Curatorship* 4/1985, 45–49

Green, T., „A Cushioned Transit Frame for Paintings“, in: *Art in Transit*, National Gallery of Art, Washington 1991, 37–48

Green, T., „Vibration Control: Paintings on Canvas Supports“, in: *Art in Transit*, National Gallery of Art, Washington 1991, 59–67

Griesser, M., Schaaf-Fundneider, C., „Zu Auswirkungen von (Luft-)Schadstoffen im Sammlungsbereich, deren Nachweis und Monitoring: ein Überblick“, in: *Collection care*, hg. v. Krist, G., Wien 2015, 167–186, 583

Griffith, R., *Storage. Not simple. Improved Storage Specifications for Modern Furniture Collections*, Diplomarbeit, London 1997

Grøntoft, T., Lankester, P., Thickett, D., „Reduction of acidic pollutant gases inside showcases by the use of activated carbon adsorbers“, in: *e-Preservation science* 12, 2015, 28–37,

http://www.morana-rtd.com/e-preservation-science/2015/ePS_2015_a5_Grontoft.pdf

[Zugriff: 06.08.2019]

Grøntoft, T., Schmidbauer, N., Wisthaler, A., Mikoviny, T., Eichler, P., Müller, M., Hackney, S., Sommer-Larsen, A., „VOC emissions from canvas and acetic acid deposition to canvas and glass“, in: *e-Preservation science* 11, 2014, 22–28

Grøntoft, T., Schmidbauer, N., Wisthaler, A., Mikoviny, T., Eichler, P., Müller, M., Hackney, S., Sommer-Larsen, A., „VOC emissions from canvas and acetic acid deposition to canvas and glass“, in: *e-Preservation science* 11, 2014, 22–28

Grøntoft, T., „Performance evaluation for museum enclosures: measurement, modelling and mitigation of pollutant impact on objects in museum enclosures“, in: *e-Preservation science* 9, 2012, 36–46

Grosjean D., Williams, E. L., Grosjean, E., „Atmospheric chemistry of isoprene and its carbonyl products“, in: *Environmental Scientific Technology* (27), 1993, 830–840

Grzywacz, C. M., *Monitoring for gaseous pollutants in museum environments*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles 2006

Grzywacz, C. M., Tennent, N. H., „Pollution Monitoring in Storage and Display Cabinets: Carbonyl Pollutant Levels in Relation to Artifact Detoriation“, in: *Preventive Conservation: Practice, Theory and Research*, Preprints of the IIC Congress, Ottawa, 12.–16. Sept. 1994, ed. by International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (IIC), London 1994, 164–170

Gul, W., Khan, A., Shakoor, A., „Impact of Hot Pressing Temperature on Medium Density Fiberboard (MDF) Performance“, in: *Advances in Material Science and Engineering* 2017, Article ID 4056360, 1-6

Hackney, S., Green, T., „Packing Case Design“, in: *Art in Transit: Studies in the transport of paintings*, Proceedings of the International Conference on the packing and transportation of paintings, London, 9.–11. Sept. 1991, ed. by Mecklenburg, M. F., Washington 1991, 69–78

Hahn, O., Wilke, O., Jann, O., „Indoor air quality in show cases – an attempt to standardise emission measurements“, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung (2), Worms 2008, 256–259

Haiyan T. H., Tian, H., Verbeeck, J., Monico, L., Janssens, K., Van Tendeloo, G., „Nanoscale Investigation of the Degradation Mechanism of a Historical Chrome Yellow Paint by Quantitative Electron Energy Loss spectroscopy Mapping of Chromium Species“, in: Angewandte Chemie, Volume 125, Issue 43, Weinheim 2013, 11360–11363,

https://www.academia.edu/12424248/Nanoscale_Investigation_of_the_Degradation_Mechanism_of_a_Historical_Chrome_Yellow_Paint_by_Quantitative_Electron_Energy_Loss_spectroscopy_Mapping_of_Chromium_Species [Zugriff: 06.09.2019]

Halbe, D., *Mythos Glas – Das Museumsglas*, in: Restauro (8), München 2019, 28–31

Halbe, D., *Mythos Glas – Praxistipps*, in: Restauro (1), München 2020, 46–49

Hatchfield, P. B., *Pollutants in the Museum Environment. Practical Strategies for Problem Solving in Design, Exhibition and Storage*, London 2002, 10–22,

<https://cool.conservation-us.org/waac/wn/wn26/wn26-2/wn26-204.pdf> [Zugriff: 06.09.2019]

Heimann, E. H., *Der Stoff, der aus der Wärme kommt. Durch die weite Welt*, Band 53, hg. v. Filzfabrik Fulda, o. J., 1–11

Heine, H., Jeberien, A., „Oddy Test Reloaded: Standardized Test Equipment and Evaluation Methods for Accelerated Corrosion Testing“, in: Studies in Conservation, Supplement 1, Preventive Conservation, IIC Turin Congress preprints, 2018, 362–365

Henningsson, A., „A Model for Vibration Monitoring of Immovable Art in Churches: Reflections on Monitoring as a Tool for Preventive Conservation“, in: Studies in Conservation, Supplement 1, Preventive Conservation, IIC Turin Congress preprints, 2018, 113–120

Herdin, M., „Kunst(licht)beleuchtung“, in: Restauro (8), München 2016, 55–57

Hilbert, G. S., „Klimatisierung von Kunsttransportbehältern“, in: *Museumskunde* (54), 1989, 2–7

Hilbert, G. S., *Sammlungsgut in Sicherheit*, Berliner Schriften zur Museumskunde, Bd. I, 3. Aufl., Berlin 2002

Hiller, V., *Stabilisierung des Klimas in Transportkisten für Kunstobjekte. Einsatzmöglichkeiten von Latentwärmespeichermaterialien*, Diplomarbeit, FH Köln 2002, 1–197

Hodgson, A. T., Wooley, J. D., Daisey, J. M., „Volatile organic chemical emissions from carpets: final report (Interagency Agreement CPSC-IAG-90-1256)“, in: *United States Consumer Product Safety Commission, Directorate for Health Science*, Bethesda, Maryland 1992, 1–122

Holl, K., Kilian, R., Klemm, L., Lengsfeld, K., Bichlmair, S., Krus, M., „Sustainable Museum Storage Building for Long-term Preservation“, in: *Studies in Conservation, Supplement 1, Preventive Conservation, IIC Turin Congress preprints 2018*, 366–368

Hopfner, I., „Measuring of Movement of Medieval Panel Paintings for Handling and Transport“, in: *Cultural Heritage Preservation, Proceedings of the European Workshop on Cultural Heritage Preservation*, Berlin, 26.–28. September 2011, 205–210

Horne, S. A., *Way to Go: Crating Artwork for Travel*, New York Gallery Association of New York State, Hamilton 1985

Huber, J., Lerber, K. v., *Handhabung und Lagerung von mobilem Kulturgut – Ein Handbuch für Museen, kirchliche Institutionen, Sammler und Archive*, Bielefeld 2003, 1–194

Hubert, V., „Kulturgüterschutz durch Korrosionsdatenlogger: ein neuer Weg zur Bewertung der Luftqualität“, in: *Restauro* (8), München 2012, 22–27

ICOM Deutschland, *Präventive Konservierung. Ein Leitfaden*, Beiträge zur Museologie, Bd. 5, 2014, 1–95

Jägers, E., „Täglich benutzt und überall zu haben – Plastiktüten“, in: VDR-Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut (2), Bonn 2008, 105–109

Jann, O., Wilke, O., Brödner, D., Schneider, U., Marten, S., „Die Umgebungsluft von Exponaten. Belastung durch flüchtige Verbindungen“, in: *Restauro forum* (6), München 2000, 428–432

Jann, O., Mull, B., „Biozidemissionen aus Materialien in der Luft“, in: *Restauro* (7), München 2013, 41

Janssens, K., Monico, L., Miliani, C., Van Der Snickt, G., Legrand, S., Vanmeert, F., Alfeld, M., Brunetti, B. G., Cotte, M., Falkenberg, G., „X-Ray Based Imaging and Spectroscopy of Paintings by V. Van Gogh from the dm to the nm Level“, in: *ChemCH 2014 Third International Congress on Chemistry for Cultural Heritage*, July 1 – 5, 2014, Academy of Fine Arts Vienna. Book of Abstracts, Wiesinger, R., Schreiner, M. (Hg.), Wien 2014, 62–63

Kalabis, S., „Vorbeugende Konservierung & Archäologie“, in: *Konservierungswissenschaften und Restaurierung heute*, hg. v. Krist, G., Griesser-Stermschegg, M., Wien 2010, 1–367

Kamba, N., „Variations in Relative Humidity and Temperature as Measured in a Packing Case“, in: *Preprints of the 9th Triennial Meeting*, Dresden, 26.–31.8.1990, Vol. 1., ed. by International Council of Museums (ICOM), Los Angeles 1990, 405–409

Kamba, N., „Measurement of the Dimensional Change of Wood in a Closed Case“, in: *Preprints of the 10th Triennial Meeting* Washington, D.C., 22.–27. 8. 1993, Vol. 1., ed. by International Council of Museums (ICOM), Washington, D.C. 1993, 406–409

Kang, Y.-S., Seo, J.-H., „Analysis of VOCs emitted from the Annals of the Joseon Dynasty by dynamic chamber system“, in: *Pojon kwahak yön'gu* 31, 2010, 9–16

Kearney, M., Parkin, I., Townsend, J. H., Hidalgo, M., Curran, K., „Characterisation of VOCs Surrounding Naum Gabo’s Construction in Space ‚Two Cones‘ by in situ SPME GC-MS Monitoring“, in: *Studies in Conservation, Supplement 1, Preventive Conservation, IIC Turin Congress preprints*, 2018, 369–371

Keune, K., Mass, J., Meirer, F., Pottasch, C., van Loon, A., Hull, A., Church, J., Pouyet, E., Cottégh M., Metha, A., „Tracking the transformation and transport of arsenic sulfide pigments in paints: synchrotronbased X-ray micro-analyses“, in: *Journal of Analytical Atomic Spectrometry, The Royal Society of Chemistry* 2015 (30), 813–827

Kim, I. K., Seo, Y. S., Lee, J. H., „Study on environmental factors for movable cultural properties in museum“, in: *Munhwa yusan, pojon kurigo sot'ong: Munhwajae Pojon Kwahak Kukche Simp'ojiom palp'yo nonmunjip 2008 (= Cultural Heritage, conservation and communication: papers presented at the International Symposium of Conservation Science for Cultural Heritage 2008. National Research Institute of Cultural Heritage)*, Daejeon, South Korea, 2009, 241–249

Knight, B., „Passive Monitoring for Museum Showcase Pollutants“, in: *Preventive Conservation: Practice, Theory and Research*, Preprints of the IIC Congress, Ottawa, 12.–16. Sept. 1994, ed. by International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (IIC), London 1994, 174–176

Korenberg, C., Bertolotti, G., „Emissions from MDF: Govering Factors and Mitigation Strategies“, in: *Studies in conservation* (64), Nr. 5, London 2019, 249–260

Kracht, K., Tegeler, K., „Der schwingungsisierte Sockel der Goldenen Tafel im Landesmuseum Hannover“, in: *Restauro* (1), München 2020, 38–43

Kreutner, J., Richter, R., „Verminderung von Schadstoffemissionen in bestehenden Vitrinen“, in: *Achtung Kunst!*, 6. Restauratorenvortrag des VDR, 20.11.2009, Bonn, Zusammenfassung der Vorträge, Bonn 2009, 6

Kreutner, J., Richter, R., „Verminderung von Schadstoffen in bereits vorhandenen Vitrinen“, in: VDR-Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut (2), Bonn 2010, 22–26

Kuchling, H., *Taschenbuch der Physik*, München, Wien 1999

Kühn, H., *Erhaltung und Pflege von Kunstwerken: Material Technik, Konservierung und Restaurierung*, München 2001, 1–607

Lafuente, D., Cano, E., Martín, E. „Indoor pollution and metal corrosion by organic acids: case study of the Oteiza Museum (Spain)“, in: Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage, ed. by Rogierio-Candelera, M. A., Lazzari, M., Cano, E., CRC Press 2013, 1-4

Lafuente, D., Cano, E., Llorente, I., Crespo, A., Künne, J., Schieweck, A., „The Effects of Organic Pollutants on Metals in Museums: Corrosion Products, Synergistic Effects and the Influence of Climatic Parameters“, in: METAL 2013 Edinburgh, Scotland, 16th – 20th September 2013, Edinburgh Interim Meeting of the ICOM-CC Metal Working Group Conference Proceedings, Hyslop, E., Gonzalez, V., Troalen, L., Wilson, L. (Hg.), 2013, 229-233

Larkin, N., Blades, N., Makridou, E., „Investigation of volatile organic compounds associated with polyethylene and polypropylene containers used for conservation storage“, in: The conservator 24, 2000, 41–51

Lattuati-Derieux, A., Egasse, C., Thao-Heu, S., Balcar, N., Barabant, G., Lavédrine, B., „What do plastics emit? HS-SPME-GC/MS analyses of new standard plastics and plastic objects in museum collections“, in: Journal of cultural heritage 14, no. 3, 2013, 238–247

Lattuati-Derieux, A., Ramalho, O., Egasse, C., Thao-Heu, S., Dupont, A.-L., „Evaluation of solid-phase microextraction on-fiber derivatization for the analysis of paper degradation compounds“, in: e-Preservation science 12, 2015, 38–49

Lee, L. R., Thickett, D., „Selection of Materials for the Storage or Display of Museum Objects. British Museum, Occasional Paper 111, Department of Conservation, London 1996

Levin, B. D. A., Nguyen, K. X., Holtz, M. E., Wiggins, M. B., Thomas, M. G., Tveit, E. S., Mass, J. L., Opila, R., Beebe, T., Muller, D., A., „Detection of Cds Nanoparticles and Implications for Cadmium Yellow Paint Degradation in Edvard Munch’s *The Scream* (c. 1910, Munch Museum)“, in *Microscopy Society of America* (23), 2017

Lithgow, K., Golfomitsou, S., Dillon, C., „Coming Clean about Cleaning. Professional and Public Perspectives: Are Conservators Truthful and Visitors Useful in Decision-making?“, in: *Studies in Conservation, Supplement 1, Preventive Conservation, IIC Turin Congress preprints*, 2018, 392–396

Liu, J., Zhai, J. Z., Pei, J., Li, Y., „Measurement and assessment of VOC and formaldehyde contamination during the construction of a new museum in China“, in: *ASHRAE transactions* 113, no. 2, 2007, 355–361

Luciani, A., „*Historical climates and conservation environments - Historical perspectives on climate control strategies within museums and heritage buildings*“, Dissertation, Politecnico di Milano, 2013, 1–166

Lunz, M., Talgorn, E., Baken, J., Wagemans, W., Veldman, D., „Can LEDs help with art conservation? Impact of different light spectra on paint pigment degradation“, in: *Studies in conservation* (5), London 2017, 294–303

Luo, X., Wu, L., Zhang, W., Du, Y., Zhang, W., Zhou, X., Zhang, L., „Perspectives on composing a standard document ,Control of the Museum Environment: Formaldehyde Adsorbent Materials“, in: *Wen wu bao hu yu kao gu ke xue* 28, no. 3, 2016, 109–113

Maekawa, S., „Las salas de exposición y almacenes para restos momificados: vitrinas: análisis de volátiles, ¿por qué huelen las momias?“, in: *Momias: manual de buenas prácticas para su preservación*, hg. v. Valentín, N., García, M., Ministerio de Educación,

Cultura y Deporte, Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales y de Archivos y Bibliotecas, Madrid 2012, 133–145

Makowski, M., Ohlmeyer, M., „Impact of Drying Temperature and Pressing Time Factor on VOC Emissions from OSB Made of Scots Pine“, in: *Holzforschung* (60), Wien 2006, 417–422

Magnusson, Y., „Verpackungsmaterial als Korrosionsschutz: die Sicherung und Verpackung der ‚Silberschatz-Ausstellung‘ im Kunstmuseum KODE 1“, in: *Restauro* (6), München 2016, 24–29

Marcon, P. J., „Shock, Vibration and Protective Package Design“, in: *Art in Transit*, National Gallery of Art, Washington, D.C. 1991, 107–120

Marcon, P. J., „Shock, Vibration and the Shipping Environment“, in: *Art in Transit*, National Gallery of Art, Washington, D.C. 1991, 121–136

Marcotte, S., Estel, L., Leboucher, S., Minchin, S., „Occurrence of organic biocides in the air and dust at the Natural History Museum of Rouen, France“, in: *Journal of cultural heritage* 15, no. 1, 2014, 68–72

Martens, M. H., „Climate risk assessment in museums: degradation risks determined from temperature and relative humidity data“, Technische Universiteit Eindhoven 2012, 1-214. DOI: 10.6100/IR729797

Masson, I., „Malerei auf Sperrholz – Konsolidierung delaminierter Sperrholzbildträger des Malers Max Feldbauer“, in: *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung* (2), Worms 2017, 288–315

Art in Transit: Studies in the Transport of Paintings, Proceedings of the International Conference on the packing and transportation of paintings, London, 9.–11. Sept. 1991, ed. by Mecklenburg, M. F., Washington, D.C. 1991

Mecklenburg, M. F., Tumosa, C. S., „An Introduction into the Mechanical Behaviour of Paintings under Rapid Loading Conditions“, in: *Art in Transit: Studies in the transport of paintings*, Proceedings of the International Conference on the packing and transportation of paintings, London 9.–11. Sept. 1991, ed. by Mecklenburg, M. F., , Washington, D.C. 1991, 137–172

Mecklenburg, M. F., Tumosa, C. S., „Mechanical Behaviour of Paintings Subjected to Changes in Temperature and Relative Humidity“, in: *Art in Transit: Studies in the transport of paintings*, Proceedings of the International Conference on the packing and transportation of paintings, London 9.–11. Sept. 1991, ed. by Mecklenburg, M. F., , Washington, D.C. 1991, 173–216

Merck, E., *Tabellen für das Labor*, Darmstadt o. J., 1–89

Merrill, R. M., „In the service of exhibitions: the history, problems and potential solutions of cultural materials in transit“, in: *The American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Preprints of Papers at the 16th Annual Meeting*, New Orleans, Louisiana, 1.–5. Juni 1988, American Institute for Conservation (AIC), ed. by Rosenberg, S. Z., Washington, D.C. 1988, 138–147

Meyer, F., Volland, G., „A new housing concept for the Karl Friedrich Schinkel collection: chemical and mechanical aspects“, in: *Restaurator: international journal for the preservation of library and archival material* 38, no. 1, 2017, 1–31

Michalski, S., „Temperature and Relative Humidity: The Definition of Correct/Incorrect Values“, in: *A Systematic Approach to the Conservation (Care) of Museum Collections*, ed. by Michalski, S., Ottawa, 1992

Michalski, S., „Relative Humidity: A Discussion of Correct/Incorrect Values“, in: *10th Triennial Meeting* Washington, D.C. 22.–27. Aug. 1993, Vol. 2, ed. by International Council of Museums (ICOM), Washington, D.C. 1993, 624–629

Miles, C., „Wood Coatings for Display and Storage Cases“, in: *Studies in conservation* (31), Nr. 3, London 2019, 114–124

Mitchell, G., Higgitt, C., Gibson, L. T., „Emissions from polymeric materials: characterised by thermal desorption-gas chromatography“, in: *Polymer degradation and stability* 107, 2014, 328–340

Mödlinger, M., Piccardo, P., „Corrosion on prehistoric Cu-Sn-alloys: the influence of artificial environment and storage“, in: *Applied physics. A, Materials science, processing* 113, no. 4, 2013, 1069–1080

Mølhave, L., „Human reactions to controlled exposures to VOC's and the ,total-VOC‘ concept“, in: *Chemical, microbiological, health, and comfort aspects of indoor air quality: state of the art in SBS*, hg. v. Knöppel, H., Wolkoff, P., Dordrecht 1992, 247–261

Mølhave, L., „Volatile organic compounds, indoor air quality and health“, in: *Indoor air* 1, no. 4, Copenhagen 1991, 357–376

Monico, L., Janssens, K., Miliani, C., Van der Snickt, G., Brunetti, B. G., Cestelli Guidi, M., Radepont, M., Cotte, M., „Degradation Process of Lead Chromate in Paintings by Vincent van Gogh Studied by Means of Spectromicroscopic Methods. 4. Artificial Aging of Model Samples of Co-Precipitates of Lead Chromate and Lead Sulfate“, in: *Analytical Chemistry* 2013 (85), American Chemical Society, 860–867

Monico, L., Janssens, K., Miliani, C., Brunetti, B. G., Vagnini, M., Vanmeert, F., Falkenberg, G., Abakumov, A., Yinggang, L., He, T., Verbeeck, J., Radepont, M., Cotte, M., Hendriks, E., Geldof, M., van der Loeff, L., Salvant, J., Menu, M., „Degradation process of lead chromate in paintings by Vincent van Gogh studied by means of spectromicroscopic methods. 3. Synthesis, characterization, and detection of different crystal forms of the chrome yellow pigment“, in: *Analytical chemistry* 85, no. 2, 2013, 851–859

Monico, L., Van der Snickt, G., Janssens, K., Denolf, W., Miliani, C., Dik, J., Radepont, M., Hendriks, E., Geldof, M., Cotte, M., „Degradation Process of Lead Chromate in Paintings by Vincent van Gogh Studied by Means of Synchrotron X-ray

Spectromicroscopy and Related Methods. 2. Original Paint Layer Samples“, in:
Analytical Chemistry 83, 2011 (4), 1224–1231

Monico, L., Van der Snickt, G., Janssens, K., Denolf, W., Miliani, C., Verbeek, J., Tian, H., Tan, H., Dik, J., Radepon, M., Cotte, M., „Degradation Process of Lead Chromate in Paintings by Vincent van Gogh Studied by Means of Synchrotron X-ray Spectromicroscopy and Related Methods. 1. Artificially Aged Model Samples“, in: Analytical Chemistry 83, 2011 (4), 1214–1224

Morris, J. W., „Packing“, in: *Touring Exhibitions: The Touring Exhibitions Group's Manual of Good Practice*, ed. by Mike Sixsmith, Oxford 1995, 181–185

Müller, W., Adam K., Kruschke, D. Neelmeijer, C., Mäder, M., „Welche Ursachen haben die Schäden an Emaille Kunstwerken?“, in: *Restauratio forum* (6), München 2000, 414–418

Müller, W., Engemann-Wendt, C., „Das Projekt. Modellhaftes Konservierungskonzept für umweltgeschädigte Emaillepretiosen im Grünen Gewölbe Dresden“, in: *Restauratio forum* (6), München 2000, 402–404

National Park Service, Museums Management Program: The Museum Handbook, Washington, D.C. 2016, Part I: Museum Collections, 1:1–13:15,
<https://www.nps.gov/museum/publications/mhi/mhi.pdf> [Zugriff: 28.08.2019]

Nazaroff, W. W., Ligocki, M. P., Salmon, L. G., Cass, G. R., Fall, T., Jones, M. C., Liu, H. I. H., Ma, T., *Airborne Particles in Museums*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles 1993

Neily, C., *Interactions between metal components and poly(vinyl chloride) textiles in the preservation of 20th century material culture*, Master's thesis, Queen's University, Kingston, Ontario 2008, 1–55

Noble, P., Loon, A. v., „Evaporation of fatty acids and formation of whitish deposits on the inside of the glass/ microclimate boxes: a case study in the Mauritshuis'.“, in: *PROPAINT Improved Protection of Paintings during Exhibition, Storage and Transit*.

Final Activity Report. Dahlin, E. (Ed.), Norwegian Institute for Air Research, 2010, 147–164

Oddy, W. A., „Un unsuspected Danger in Display“, in: *Museums Journal*, 1997, 27–28

Odegaard, N., Sadongei, A., *Old poisons New problems. A Museums Resource for Managing Contaminated Materials*, Walnut Creek 2005, 1–126

Odlyha, M., Bozec, L., Dahlin, E., Grøntoft, T., Chelazzi, D., Baglioni, P., Bonaduce, I., Colombini, M. P., Larsen, R., Scharff, M., Hackney, S., Thickett, D., „Memori Project: evaluation of damage to exposed organic-based heritage materials and NANOFORART: evaluation of nanoparticle-based conservation treatment“, in: *International journal of heritage in the digital era* 1, no. supplement 1, 2012, 319–324

Odlyha, M., Jakiela, S., Bergsten, C. J., Slater, J. M., Niklasson, A., Svensson, J.-E., Cavicchioli, A., de Faria, Dalva L. A., Thickett, D., Grøntoft, T., Dahlin, E., „Dosimetry for monitoring in organ pipes and in microclimate frames for paintings“, in: *Metal 2010*, Proceedings of the interim meeting of the ICOM-CC Metal Working Group, 11.–15. Oktober, 2010, Charleston, South Carolina, ed. by Mardikian, P., Chemello, C., Watters, C., Hull, P., Clemson University, Clemson, South Carolina 2011, 430–436

Oikawa, T., Matsui, T., Matsuda, Y., Takayama, T., Niinuma, H., Nishida, Y., Hoshi, K., Yatagai, M., „Volatile organic compounds from wood and their influences on museum artifact materials. II, Inference of causal substances of deterioration based on intercomparison of laser Raman spectra of deteriorated products“, in: *Journal of wood science* 52, no. 2, 2006, 140–146

Otero, V., Pinto, V. J., Carlyle, L., Vilarigues, M., Cotte, M., Melo, M. J., „Nineteenth century chrome yellow and chrome deep from Winsor & Newton“, in: *Studies in Conservation* (3, 4), London 2017, 123–149

Parmar, S. S., Grosjean, D., *Removal of Air Pollutants from Museum Display Cases*, Final report to the Getty Conservation Institute, Marina del Rey 1989

Pateman, R., „Air freight“, in: *Touring Exhibitions: The Touring Exhibitions Group's Manual of Good Practice*, ed. by Sixsmith, M., Oxford 1995, 219–221

Pateman, R., „Sea transport“, in: *Touring Exhibitions: The Touring Exhibitions Group's Manual of Good Practice*, ed. by Sixsmith, M., Oxford 1995, 222–224

Pavlopoulou, L.-C., Watkinson, D., „The degradation of oil painted copper surfaces“, in: *Reviews in Conservation* (7), London 2006, 55-65

Pawcenis, D., Smoleń, M., Aksamit-Koperska, M. A., Łojewski, T., Łojewska, J., „Evaluating the impact of different exogenous factors on silk textiles deterioration with use of size exclusion chromatography“, in: *Applied physics. A, Materials science & processing* 122, no. 6, 2016, art. 576, 1–10

Pelludat, I., Axer, P., *Kunst und Antiquitäten: Empfehlungen zur Handhabung, Reinigung und Aufbewahrung*, 2004, 1–112

Pelludat, I., Seidel, S., „Der Eigenbau von ‚clima-safes‘ – eine Möglichkeit der Optimierung des Klimaschutzes für Gemälde“, in: *Museum aktuell* (107), München 2004, 31–34

Pilz, M., „Umweltsituation im Grünen Gewölbe Dresden“, in: *Restauro forum* (6), München 2000, 422–427

Podany, J., „Corrosion of metal artifacts and works of art in museum and collection environments“, in: *Corrosion: environments and industries*, ASM handbook, V. 13C, ed. by Cramer, S. D., Covino, B. S., Jr., ASM International, Materials Park, Ohio 2006, 279–288

Poggendorf, R., *Die Stabilisierung des Klimas beim Transport von Gemälden*, Seminararbeit für das externe Diplomverfahren, Dresden 1998

Pohlmann, A., Schäning, A.: „Flying Colours“, Lichteinheitstests an Künstlerfarben im 18. und 19. Jahrhundert – und heute. In: *Restauro* (7), München 2011, 21-29

Pospischil, R., „Die Einschleppung von Schädlingen im Rahmen des Klimawandels und der Globalisierung“, in: *Restauro* (2), München 2019, 50–53

Poulin, J., Coxon, H., Anema, J. R., Helwig, K., Corbeil, M.-C., „Investigation of Fogging on Glass Display Cases at the Royal Ontario Museum“, in: *Studies in conservation* (65), Nr. 1-2, London 2020, 1–13

PROPAIN Improved Protection of Paintings during Exhibition, Storage and Transit. Final Activity Report. Dahlin, E. (Ed.), Norwegian Institute for Air Research, 2010, 1–164

Querner, P., Kimmel, T., Morelli, M., „Prävention vor einem Schädlingsbefall durch Reinigung“, in: *Handbuch der Oberflächenreinigung*, hg. v. Eipper, P.-B., 6. Aufl., München 2018, 59–66

Ramalho, O., Dupont, A.-L., Egasse, C., Lattuati-Derieux, A., „Emission rates of volatile organic compounds from paper“, in: *e-Preservation science* 6, 2009, 53–59

Rembrandt. Radierungen, Katalog zur Ausstellung, hg. v. Alte Galerie am Landesmuseum Joanneum, Beiträge von Becker U., Holle, H., Leitner-Ruhe, K. und Schreiner, M., Graz 2006, 1–304

Ryhl-Svendsen, M., „Luftschadstoffe in Museen. Eine Einführung in Wirkungsweise, Monitoring und Kontrolle“, in: *Restauro* (8), München 2001, 613–619

Ryhl-Svendsen, M., Scharff, M., Wadum, J., Grøntoft, T., Dahlin, E., Lopez-Aparicio, S., Odlyha, M., Andrade, G., Ortega, A., Obarzanowski, M., Czop, J., Hackney, S., Thickett, D., Colombini, M. P., Bonaduce, I., „Gaseous pollutants inside microclimate frames: results from the PROPAIN project“, in: *Facing the challenges of panel paintings conservation: trends, treatments, and training*, Proceedings from the symposium Facing the Challenges of Panel Paintings Conservation: Trends, Treatments, and Training organized by the Getty Conservation Institute, the Getty Foundation, and the J. Paul

Getty Museum, Los Angeles, May 17–18, 2009, ed. by Phenix, A., Chui, S. A., The Getty Conservation Institute, Los Angeles 2011, 165–177

Richard, M., „Control of temperature and relative humidity in packing cases“, in: *Art in transit: Studies in the transport of paintings*, Proceedings of the International Conference on the packing and transportation of paintings, London 9.–11. Sept. 1991, ed. by Mecklenburg, M. F., Washington, D.C. 1991, 279–297

Richard, M., „The transport of paintings in microclimate display cases“, in: *Preventive Conservation: Practice, Theory and Research*, Preprints of the IIC Congress, Ottawa 12.–16. Sept. 1994, ed. by International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (IIC), London 1994, 185–189

Richard, M., Mecklenburg, M. F., Merrill, R. M. (Hg.), *Art in Transit: Handbook for Packing and Transporting Paintings*, veröffentlicht aus Anlass des International Workshop, Köln 21.–22. April 1997, Washington, D.C. 1997

Richter, R., „Schäden an den Emaillepretiosen des Grünen Gewölbes“, in: *Restaurorum* (6), München 2000, 406–412

Rink, G., Schwahn, M., „Einführung in die Kunststoffchemie“, Frankfurt 1983, 1–191

Ro, T., Kotajima, T., Hayashi, R., Suga, M., Sano, C., „Control of pollutants in a display case“, in: *Hozon kagaku*, no. 55, 2016, 125–138

Ro, T., Kotajima, T., Hayashi, R., Sano, C., „Measurement and evaluation of the gas emission of wallpaper for the display space in museums“, in: *Hozon kagaku*, no. 52, 2013, 207–216

Ro, T., Sano, C., Kato, K., „A comparison of the air environment in storages with different interior materials“, in: *Hozon kagaku*, no. 50, 2011, 91–99

Rockstroh, O., *Handbuch der industriellen Verpackung*, München 1972

Rogers, G. D., „Research and development of instrumentation, methods and materials for the protection of work of art in transit, Part One: A study of factors influencing the international environment of packing cases in transit“, in: 4th Triennial Meeting, Venice, 15. October 1975, ed. by International Council of Museums (ICOM), 1–30

Röhrs, S., Kames, J., Acksel, A., Gómez-Sánchez, E., Simon, S., „Monitoring air pollutants in showcases by proton-transfer-reaction mass spectrometry and passive samples tubes“, in: ICOM-CC 17th triennial conference preprints, Melbourne, 15.–19. September 2014, ed. by Bridgland, J., ICOM Committee for Conservation, Paris 2014, art. 1609, 1–8

Roidl, E., „Aus der Industrie ins Museum: Reinraumtechnik und ihre Anwendung für Vitrinen“, in: *Restauro* (1), München 2016, 36–41

Sano, C., Kotajima, T., Ro, T., „Estimation of acetic acid quantity from temporarily-used wooden boxes for display“, in: *Hozon kagaku*, no. 55, 2016, 79–88

Sano, C., Kotajima, T., Ro, T., „Performance evaluation method for passive use of absorbents in exhibition cases“, in: *Hozon kagaku*, no. 53, 2014, 33–43

Saunders, D., Clarke, R., „Monitoring the Environment within Packing Cases Containing Works of Art in Transit“, in: Preprints of the 9th Triennial Meeting, Dresden, 26.–31. Aug. 1990, ed. by International Council of Museums (ICOM), Los Angeles 1990, 415–422

Saunders, D., „Temperature and Relative Humidity Conditions Encountered in Transportation“, in: *Art in transit: Studies in the transport of paintings*, Proceedings of the International Conference on the packing and transportation of paintings, London 9.–11. Sept. 1991, ed. by Mecklenburg, M. F., Washington, D.C. 1991, 299–309

Sauvage, L., Wie, W., Martinez, M., „When Conservation Meets Engineering: Predicting the Damaging Effects of Vibrations on Pastel Paintings“, in: *Studies in Conservation*, Supplement 1, Preventive Conservation, IIC Turin Congress preprints, 2018, 418–420

Schaaf-Fundneider, C., Grießer, M., „Zum Monitoring von (Luft-)Schadstoffen als Werkzeug der Präventiven Konservierung: Einführung und erste Erfahrungen aus dem Zentraldepot Himberg“, in: *Technologische Studien: Konservierung, Restaurierung, Forschung, Technologie* 9/10, 2013, 228–255

Schäfer, M., Roffael, E., „Einfluß der Extraktstoffe von Fichten- und Kiefernspänen auf die Formaldehyd-Abgabe“, in: *Holz als Roh- und Werkstoff* (57), Heidelberg 1999, 340, <https://doi.org/10.1007/s001070050354> [Zugriff: 28.08.2019]

Schäfer, M., Roffael, E., „On the formaldehyde release of wood“, in: *Holz als Roh- und Werkstoff* (58), Heidelberg 2000, 259–264

Schäfer, M., Roffael, E., *Proceedings of the 3rd European Panel Products Symposium* Llandudno, Wales 1999, 136

Schieweck, A., Salthammer, T., „Indoor air quality in passive-type museum showcases“, in: *Journal of cultural heritage* 12, no. 2, 2011, 205–213

Schieweck, A., Salthammer, T., „Emissions from construction and decoration materials for museum showcases“, in: *Studies in conservation* 4, 2009, 218–223

Schieweck, A., „Mitigation strategies for the sustainable improvement of microclimates within cultural heritage objects and museum institutions“, in: *Cultural heritage preservation: EWCHP-2011*, *Proceedings of the European Workshop on Cultural Heritage Preservation*, Berlin, September 26–28, 2011, ed. by Krüger, M., Stuttgart 2011, 40–44

Schieweck, A., Markewitz, D., Salthammer, T., „Chemical substances in newly constructed showcases“, in: *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung* (2), Worms 2007, 280–286

Schieweck, A., „Schadstoffemissionen in Museumsvitrinen – Grenzen und Möglichkeiten von Materialprüfungen“, in: *Achtung Kunst!*, 6. Restauratorenvortrag des VDR, 20.11.2009, *Zusammenfassung der Vorträge*, Bonn 2009, 7

Schieweck, A., Salthammer, T., „Emissions from Konstruktion and Decoration Materials for Museum Showcases“, in: *Studies in Conservation* (54/4), IIC, London 2009, 218–235

Schieweck, A., „Materialemissionen und Luftqualität in Museumsvitrinen. Schadstoffprävention im musealen Umfeld“, in: *Restauro* (5), München 2011, 21–29

Schieweck, A., Salthammer, T., *Schadstoffe in Museen, Bibliotheken und Archiven: Raumluft – Baustoffe – Exponate*, 2. Aufl., Stuttgart 2014

Schieweck, A., Markewitz, D., Salthammer, T., „Screening emission analyses of construction materials and evaluation of airborne pollutants in newly constructed display cases“, in: *Museum microclimates*, Contributions to the Copenhagen conference, 19–23 November 2007, ed. by Padfield, T., Borchersen, K., Christensen, M. C., Nationalmuseet, Copenhagen 2007, 67–72

Schikorr, G., „Über die Korrosion von Metallen in hölzernen Gehäusen“, in: *Werkstoffe und Korrosion* 12, no. 1, Weinheim 1961, 1–10

Schoder, M., „Die neue Vitrinenausstattung des Freiburger Augustinermuseums“, in: *Museum aktuell* (10), München 2010, 23–25

Schweitzer, P. A., „*Fundamentals of Corrosion: Mechanisms, Causes, and Preventative Methods*“, CRC Press, 1st Edition, 2009, 1-416;
https://www.academia.edu/14723665/Fundamentals_of_CORROSION_Mechanisms_Causes_and_Preventative_Methods

Sease, C., Selwyn, L. S., Zubiato, S., Bowers, D. E., Atkins, D. R., „Problems with coated silver: whisker formation and possible fillform corrosion“, in: *Studies in Conservation*, London 1997, 1–10

Shashoua, Y., „Extending the lifetime of cellulose acetate designs“, in: *Il futuro del contemporaneo: conservazione e restauro del design*, ed. by Cassese, G., Rome, 2016, 128–133

Shelley, M., *The Care and Handling of Art Objects: Practises at the Metropolitan Museum of Art*, New York 1987

Shelton, S. Y., *Byne's „disease“: how to recognize, handle and store affected shells and related collections*, United States National Park Service, Museum Management Service, Washington, D.C. 2008, 1–4

Sitwell, C. L., „Packing: A Range of Alternatives“, in: *Moving Pictures*, The International Journal of Museum Management and Curatorship (4), 1985, 49–52

Spanka, G., Thielen, G., *Freisetzung flüchtiger Substanzen aus zementgebundenen Bauprodukten*, https://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/Betontechnische_Berichte/123-134_fl_ch.ge_Substanzen.pdf [Zugriff: 28.08.2019]

Spiegel, E., *Emissionen im Museum: Ein Gütezeichen für emissionsarme Ausstellungsmaterialien und Vitrinen als mögliches Instrument zur Schadstoffbegrenzung*, Köln 2012

Stammer, A., „Silicon hydrides as water repellents, a lower VOC alternative to alkoxysilanes and alkoxy functional polysiloxanes“, in: *Hydrophobe VII: 7th international conference on water repellent treatment and protective surface technology for building materials: proceedings*, ed. by Charola, A. E., Delgado Rodrigues, J., Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisbon 2014, 19–28

Stephens, C., H., Buscarino, I., Breitung, E., „Updating the Oddy Test“, in: *Studies in Conservation, Supplement 1, Preventive Conservation, IIC Turin Congress preprints*, 2018, 425–427

Stolow, N., „Fundamental Case Design For Humidity Sensitive Museum Collections“, in: *Museum News* Nr. 1 Februar 1966, 45–51

Stolow, N., „Standards for the Care of Works of Art in Transit“, in: IIC London Conference on Museum Climatology September 1967, ed. by Thomson, G., London 1967, 271–284

Stolow, N., *Procedures and conservation standards for museum collections in transit and on exhibition* (Museum and Monuments 17), UNESCO, Paris 1979

Stolow, N., „Care of Works of Art in Transit and on Exhibition: Review and Assessment“, in: Preprints of the 6th Triennial Meeting Ottawa 1981 Vol. 2, ed. by International Council of Museums (ICOM), Ottawa 1981, 81/12/1/1–81/12/1/14

Stolow, N., *Conservation and Exhibitions*, London 1987

Stühler, W., „Möglichkeiten zur Reduzierung der Einwirkung von Erschütterungen beim Transport von Kunstgegenständen“, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung (1), Worms 1990, 107–112

Tan, H., Tian, H., Verbeeck, J., Monico, L., Janssens, K., Tendeloo, G. v., „Nanoscale Investigation of the Degradation Mechanism of a Historical Chrome Yellow Paint by Quantitative Electron Energy Loss spectroscopy Mapping of Chromium Species“, in: Science for Conservation and Restoration of Cultural Heritage. 2013 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim Wiley online Library, Angew. Chem. Int. Ed. 2013, 52, 11360–11363; DOI: 10.1002/anie.201305753

Taurins, I., „Collections Management – Shipping“, in: *The New Registration Methods*, ed. by Buck, R., Gilmore, J. A., American Association of Museums, Washington 1998, 141–146

Teng, F., Hu, G., „Performance of volatile compound WB-1 corrosion inhibitor on rusty iron coins of the Qing dynasty“, in: Wen wu bao hu yu kao gu ke xue 28, no. 1, 2016, 18–23

Tétreault, J., *Airborne Pollutants in Museums, Galleries and Archives: Risk Assessment, Control Strategies and Preservation Management*, Canadian Conservation Institute, Ottawa 2003

Tétreault, J., „Coatings for display and storage in museums“, in: Technical bulletin (Canadian Conservation Institute) [= Bulletin technique (Institut canadien de conservation)], 21. Canadian Conservation Institute, Ottawa, Ontario 1999, 1–46

Tétreault, J., *Display materials: the good, the bad and the ugly. Exhibitions and Conservation*, Preprints of the Conference held at the Royal College of Physicans, ed. by Edinburgh, Sage, J., The Scottish Society for Conservation and Restoration (SSCR), Edinburgh 1994, 79–86

Tétreault, J., Williams, S., „Guidelines for Selecting Materials for Exhibit, Storage and Transportation, May 1993“, in: *A Systematic Approach to the Conservation (Care) of Museum Collections*, ed. by Michalski, S., Ottawa 1992

Tétreault, J., „Materials for Construction, Materials for Destruction“, englische Übersetzung des Beitrags „Matériaux de construction, matériaux de destruction“, Postprint of the 3rd Colloque international de l'association des restaurateurs d'art et d'archéologie de formation universitaire: la conservation préventive, Paris 1992, 163–176

Thickett, D., „Sealing MDF to Prevent Corrosive Emissions“, in: *The Conservator*, (229), London 1998, 49–56

Thickett, D., „Frontiers of Preventive Conservation“, in: *Studies in Conservation*, Supplement 1, Preventive Conservation, IIC Turin Congress preprints, 2018, 262–267

Thickett, D., Lankester, P., „Critical knowledge gaps in environmental risk assessment and prioritising research“, in: *Collections: a journal for museum and archives professionals* 8, no. 4, 2012, 281–295

Thickett, D., Lee, L. R.: Selection of Materials for the Storage or Display of Museum Objects. British Museum Occasional Paper 111, London 2017, 1–30
https://www.britishmuseum.org/pdf/OP_111%20selection_of_materials_for_the_storage_or_display_of_museum_objects.pdf [Zugriff: 14.09.2029]

Thomson, G., „Relative Humidity-Variations with Temperature in a Case Containing Wood“, in: Studies in Conservation (6), London 1964, 153–169

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

Toishi, K., Gotoh, T., „A Note on the Movement of Moisture between the Components in a Sealed Package“, in: Studies in Conservation (39), London 1994, 265–271

Toishi, K., „Jet Transport of Art Objects, in: IIC-London Conference on Museum Climatology, ed. by Thomson, G., London 1967, 41–44

Toishi, K., „Humidity Control in a Closed Package“, in: Studies in Conservation (4), London 1959, 81–87

Torge, M., Jann, O., Pilz, M., „Das Simulieren von Schadstoff- und Klimabelastungen“, in: Restauro forum (6), München 2000, 436–441

Torge, M., Brödner, D., Wilke, O., „Materialemissionen auf historischen Glasmalereien. Über den Einfluss so genannter organischer Verbindungen“, in: Restauro (7), München 2007, 458–463

Tsang, J., Schmidt, R. S., Hollshwander, C., „Conservation meets sustainability: recycling wooden exhibition cases“, in: Newsletter (Western Association for Art Conservation) 35, no. 2, 2013, 18–20

Urquhart, A. R., „Sorptions Isotherms“, in: *Moisture in Textiles*, ed. by Hearle, J. W. S., Peters, R. H., London 1960, 1–203

Velosa, A., „Revestimentos saudáveis: o papel da cal“, in: *Pedra & cal*: revista da conservação do património arquitectónico e da reabilitação do edificado 18, no. 61, 2016, 46–48

Wadum, J., „Mikroklimavitrinen ohne Feuchtigkeitspuffer“, in: *Restauro* (2), München 2000, 96–100

Waentig, F., *Kunststoffe in der Kunst*, Petersberg 2004, 1–383

Wagner, J., *Schadstoffe in Vitrinen*, Vortrag zur Tagung: „Bücher, Fotos, Grafiken: Ausleihen und Ausstellen“, Wolfenbüttel 2005

Wagner, M., Frischat, G. H., Hellmond, P., „Email auf Edelmetall. Haftung und mechanische Eigenschaften“, in: *Restauro forum* (6), München 2000, 419-421

Wagner, W., *Wärmeübertragung: Grundlagen*, Würzburg 1998

Waller, C., *Long Life for Art. Schutz für wertvolles Gut. Reduzierung von Luftschadstoffen in Museen und Archiven*,
http://www.cwaller.de/deutsch.htm?teil4_2_luftschadstoffe.htm~information [Zugriff: 28.08.2019]

Watkinson, D. E., Rimmer, M. B., Emmerson, N. J., „The Influence of Relative Humidity and Intrinsic Chloride on Post-excavation Corrosion Rates of Archaeological Wrought Iron“, in: *Studies in Conservation*, London 2019, 456–471

Watts, S., Crombie, D., Jones, S., Yates, S. A., „Museum showcases: specification and reality, costs and benefits“, in: *Museum microclimates*, Contributions to the Copenhagen conference, 19–23 November 2007, Padfield, ed. by Timothy, Borchersen, K., Christensen, M. C., Nationalmuseet, Copenhagen 2007, 253–260

Wei, W., Watts, S., Seddon, T., Crombie, D., „Protecting Museums Collections from Vibrations Due to Construction: Vibration Statistics, Limits, Flexibility and

Cooperation“, in: *Studies in Conservation, Supplement 1, Preventive Conservation, IIC Turin Congress preprints*, 2018, 293–300

Werner, U., Ankersmit, B., Joosten, I., Ruijter, M. d., Megens, L., „The change of the Tropenmuseum: doing risk assessments in the coin collection“, in: *Metallrestaurierung – Metallkonservierung. Geschichte, Methode und Praxis*, Sammelband anlässlich der Fachtagung „Metallrestaurierung-Metallkonservierung“ der Universität für angewandte Kunst Wien 2007, hg. v. Griesser-Stermscheg, M., Krist, G., Wien 2009, 91–104

White, R., „Packing: the chemical environment“, in: *National Gallery Bulletin Vol. 11*, London 1987, 39–41

Wiegner, K., Nohr, M., Farke, M., Horn, W., Kalus, S., Jann, O., Hahn, O., „Frische Luft für Museumsvitrinen. Neue Methode zur Untersuchung von Vitrinenbaumaterialien als Beitrag zur Präventiven Konservierung“, in: *Restauro* (5), München 2011, 30–35

Wiegner, K., Farke, M., Horn, W., Jann, O., Hahn, O., „Den Schadstoffen auf der Spur: die Bewertung von Emissionen aus Materialien für Museumsausstattungen mithilfe des neuen BEMMA-Schemas“, in: *Restauro* (3), München 2012, 38–44

Willet, L., Newnham, M., Nel, P., „Preliminary testing of tea leaves as alternative adsorbents for preserving early cellulosic motion picture film“, in: *AICCM bulletin* 36, no. 2, 2015, 97–104

Wilson, P., „Temperature and Relative Humidity Control in Packing Cases“, in: *Packing Cases: Safer Transport for Museum Objects*, Preprints of the United Kingdom Institute for Conservation Meeting 1985, 1–3

Wilson, P., „Mathematical Predictions of Transit Case Performance, ‚Topplability‘, Thermal Insulation, Weight and Volume“, in: *Preprints of the 8th Triennial Meeting*, Sydney, 6.–11. Sept. 1987, Vol. 2, ed. by International Council of Museums (ICOM), 1987, 617

Wong, L., Beltran, V., Yang, C., Maekawa, S., Lardinois, S., Hussein, H., Agnew, N., „Improving Environmental Conditions in the Tomb of Tutankhamen“, in: Studies in Conservation, Supplement 1, Preventive Conservation, IIC Turin Congress preprints, 2018, 307–315

Xu, F., Xie, Y., Liu, X., Shi, C., Wu, L., „Fast determination of volatile acids emitted from lumber used for the storage or display of museum objects“, in: Wen wu bao hu yu kao gu ke xue 22, no. 2, 2010, 1–5

Ziegler, J., Kuhn-Wawrzinek, C., Eska, M., Eggert, G., „Popping stoppers, crumbling coupons: Oddy testing of common cellulose nitrate ceramic adhesives“, in: ICOM-CC 17th triennial conference preprints, Melbourne, 15–19 September 2014, ed. by Bridgland, J., ICOM Committee for Conservation, Paris 2014, art. 0508, 1–8