

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

Paul-Bernhard Eipper (1/2024)

## 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-, Masonite-, Weichfaser-, MDF-, HDF-, OSB-Platten)

Papiere, Kartons und Pappen

Textilien

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

Dichtungsmassen, Naturkautschuk- oder Zellkautschukklebebänder)

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.<sup>1</sup>

Im Herstellungsprozess verwendete Materialien sind bis heute oft nicht vollständig deklariert. Wechselnde Produzenten wie Lieferanten tragen weder zur Konstanz der Materialien noch zur Sicherheit beim Endbezieher bei. Auch Wechselwirkungen einzelner, nicht deklariertes

---

<sup>1</sup> Curran, 2018, 342–344; Kimmel, 2022

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 Schadinsektenbehandlung<sup>2</sup> sowie auf die Museumsobjekte (insbesondere Filme,<sup>3</sup> wie auch moderne Kunst) selbst.<sup>4</sup> 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 führen<sup>5</sup> 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.<sup>6</sup> Innerhalb und außerhalb der Institutionen konzentrierten sich die Bemühungen der Anbieter für den Kunsttransport – vor allem aus Gründen der Haftungsfragen – hauptsächlich auf die

---

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

<sup>3</sup> Kammer, Truong, Boissard, 2021, 50–58

<sup>4</sup> Z. B. Weichmacher aus Kunststoffen und Farben, Schwefel aus Wolle und Seide. National Park Service, 2016, 4:58

<sup>5</sup> Chiantore, Riedo, Poli, Cotrufo, Hohenstatt, 2018, 58–63

<sup>6</sup> Grzywacz, 2006, 94; Eipper, 1996, 9–12; ders. 1996, 27–32; ders. 2000, 2449–2457; ders. 2009, 30–37

Eingrenzung und Reduzierung der Schäden,<sup>7</sup> welche durch Erschütterungen,<sup>8</sup> bei Objektmanipulation und Langstrecken-Transporten, sowie auf Beeinträchtigungen, welche durch ein nicht ausreichend geregeltes Klima<sup>9</sup> in Aufbewahrungsbehelfen sowie Versandkisten entstehen und letztlich auch bei Bauarbeiten in und in der Nähe von Bauten mit historischer Ausstattung<sup>10</sup> sowie bei der bloßen Aufstellung der Objekte auf Sockeln,<sup>11</sup> verursacht durch Geräusche<sup>12</sup> und umhergehende Besucher auftreten können.<sup>13</sup>

Die große Vielzahl der verwendeten Materialien wurde in den letzten Jahrzehnten auf ihre Zusammensetzung hin untersucht<sup>14</sup> 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 verwendet<sup>15</sup> und empfohlen werden.<sup>16</sup> 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.<sup>17</sup> Langzeiterfahrungen zu Materialien, welche in Depots, Vitrinen- und Versandkisten eingesetzt werden, sowie die zu erwartenden Wechselwirkungen

---

<sup>7</sup> 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, 78/12/2/2–78/12/2/5; 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

<sup>8</sup> 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; Bäschlin, Läuchli, Palmbach, Hoess, Ryser, Frankhauser, Sautter, 2015, 211–235; Sauvage, Wei, Martinez, 2018, 418–420; Yang, Ma, Ge, Li, Zhang, Min, Liu, 2020, 212–220

<sup>9</sup> Mecklenburg, Tumosa, 1991, 137–172; Mecklenburg, Tumosa, 1991, 173–216; Hiller, 2002, 1–197

<sup>10</sup> Henningsson, 2018, 113–120; Wei, Watts, Seddon, Crombie, 2018, 293–300

<sup>11</sup> Kracht, Tegeler, 2020, 41f

<sup>12</sup> Alami, Baars, Pullin, Grigg, 2021, 16

<sup>13</sup> Kracht, 2018, 30–33; Maekawa, Ankersmit, Neuhaus, Schellen, Beltran, Boersma, 2007, 99–105; Wei, Sauvage, Wölk, 2014, 1–7; Smyth, Brewick, Greenbaum, Chatzis, Serotta, Stünkel, 2002, 90–95; Thickett, 2002, 90–95

<sup>14</sup> [https://www.smb.museum/fileadmin/website/Institute/Rathgen-Forschungslabor/02\\_Forschung/01\\_Forschungsergebnisse/Oddy\\_Test\\_Ablauf\\_und\\_Bewertung.pdf](https://www.smb.museum/fileadmin/website/Institute/Rathgen-Forschungslabor/02_Forschung/01_Forschungsergebnisse/Oddy_Test_Ablauf_und_Bewertung.pdf)  
[https://www.smb.museum/fileadmin/website/Institute/Rathgen-Forschungslabor/02\\_Forschung/01\\_Forschungsergebnisse/Oddy\\_Liste\\_Dezember2019.pdf](https://www.smb.museum/fileadmin/website/Institute/Rathgen-Forschungslabor/02_Forschung/01_Forschungsergebnisse/Oddy_Liste_Dezember2019.pdf)

<sup>15</sup> Appelbaum, 1991; Nazaroff et al., 1993; Lee, Thickett, 1996; Eipper, 2000, 2449–2457; Hatchfield, 2002; Tétrault, 2003; Eipper, 2009, 30–37

<sup>16</sup> 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

<sup>17</sup> 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

zwischen Materialien und Objekten haben Eingang in Überlegungen gefunden, wie Schadstoffe von vornherein ausgeschlossen, minimiert oder auch neutralisiert werden können.<sup>18</sup> Der schnelle Angebotswechsel von Produkten sowie fortlaufende Änderungen der Produktzusammensetzungen erschwert jedoch länger gültige Aussagen. 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 (Beton<sup>19</sup>, Glas, Keramik, Ton und Stein)
- Metall (unbehandelte und eloxierte Aluminiumbleche, pulverbeschichtete Eisen- bzw. Stahlbleche)
- Bodenbeläge jedweder Art (Kork, PVC, Linoleum, Teppich)<sup>20</sup> und damit verwendete Klebmaterialien
- Holzwerkstoffe: Vollholz (abgelagert, harzfrei), Holzstäbchenplatten, Sperrholz-, Multiplex- und Pressspanplatten, Masonite<sup>21</sup>, Weichfaser-, MDF-, HDF-, OSB-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)

---

<sup>18</sup> Burmester, 2006; Grzywacz, 2006, Schieweck, 2014; Spiegel, 2012; Tétrault, 2003

<sup>19</sup> Spanka, Thielen, [https://www.vdz-](https://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/Betontechnische_Berichte/123-134_fl_ch.ge_Substanzen.pdf)

[online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/Betontechnische\\_Berichte/123-134\\_fl\\_ch.ge\\_Substanzen.pdf](https://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/Betontechnische_Berichte/123-134_fl_ch.ge_Substanzen.pdf)

<sup>20</sup> 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

<sup>21</sup> Auch als Quartrboard, Isorel, hermit, karlit, torex, treetex, pressboard, Hartfaser bezeichnet.

## 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, welche durch Luftzüge, Raumhöhe, Beleuchtung, Außen- und Innenwände, partielle Sonneneinstrahlung, Heizung etc. bedingt sind.<sup>22</sup> Dies sollte bei allfälligen Messungen<sup>23</sup> 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 Absorbern<sup>24</sup> 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 Außenluft<sup>25</sup> und Besucher eingebrachte Partikelschmutz von Bedeutung, welcher durch Luftzüge – auch solche Luftbewegungen, die aufgrund unterschiedlicher Wärmeverteilung in einem Gebäude entstehen – transportiert<sup>26</sup> und auch an

---

<sup>22</sup> Luciani, 2013, 1–166; Camuffo, Pagan, Bernardi, Becherini, 2004, 409–416; Ferreira, de Freitas, Delgado, 2020, 127–141

<sup>23</sup> 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

<sup>24</sup> Gilberg, Grattan, 1994, 177–180

<sup>25</sup> Grau-Bové, Mazzei, Malkii-Ephstein, Thickett, Strlič, 2015, 1–10

<sup>26</sup> Curteis, 2018, 392–396

senkrechten Oberflächen (Verglasungen, Wandmalereien<sup>27</sup>, Tapisserien) abgelagert wird<sup>28</sup> und dort als Feuchtigkeitskompressen, Korrosionsbeschleuniger<sup>29</sup> und Nährstofflager für Mikroorganismen wirkt.

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.<sup>30</sup> Vor diesem Hintergrund bekommt nicht nur die Prävention,<sup>31</sup> sondern auch die fortlaufende digitale Dokumentation des Erhaltungszustandes eines Objektes eine besondere Bedeutung. Weiter sollten exakte Schadstoffmessungen der Umgebungsluft valide Ergebnisse gewährleisten.<sup>32</sup> Dieses komplexen Bereichs der Kulturguterhaltung nimmt sich das EU-Projekt „Preventive solutions for Sensitive Materials of Cultural Heritage“ („SENSMAT“) mit 17 Kooperationspartnern aus Frankreich, Deutschland, Schweden, Italien, Dänemark, Luxemburg und Österreich während 38 Monaten zwischen 2019 und 2022 an.<sup>33</sup>

Ein weiteres EU-Projekt „Active & intelligent **P**ackaging materials and display cases as a tool for preventive conservation of **C**ultural **H**eritage“ („APACHE“), 2019–2022 widmet sich der Erforschung idealer Verpackungsmaterialien.<sup>34</sup> Auch das „EU-Projekt „Innovative packing solutions for storage and conservation of 20th century cultural heritage of artefacts based on cellulose derivate“ („NEMOSINE“) widmet sich Verpackung und Archivierung von Kulturgut.<sup>35</sup> 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. Hier ergeben sich Überschneidungen zum EU-Projekt „Collection Care“ - Innovative and affordable service for the Preventive Conservation monitoring of

---

<sup>27</sup> Wong, Beltran, Yang, Maekawa, Lardinois, Hussein, Agnew, 2018, 307–315; Bertolin, Strojceki, Kozlowski, 2018, 326–328

<sup>28</sup> Fox, Babington, Macalister, Bower, de Fonjaudran, 2018, 81–86; Grau-Bové, Mazzei, Thickett, Strlic, 2019, 193–202; Grau-Bové, Mazzei, Budič, Thickett, Strlič, 2014, 42–44; Grau-Bové, Strlič, 2013, 1–8; Grau-Bové, Mazzei, Strlič, 2014

<sup>29</sup> <https://blog.scienceandindustrymuseum.org.uk/keep-it-clean-the-dangers-of-dust/>

<sup>30</sup> Lithgow, Golfomitsou, Dillon, 2018, 392–396

<sup>31</sup> National Park Service, 2016, 3:1–3:7; ICOM, 2014, 1–95

<sup>32</sup> El Masria, Lescopa, Talbota, Nguyen Viena, Becker, Thierry, Riouala, 2020, 1–7

<sup>33</sup> <https://www.sensmat.eu/> 2019–2021

<sup>34</sup> <https://www.apacheproject.eu/> 2019–2022

<sup>35</sup> <https://nemosineproject.eu/> 2018–2021

individual Cultural Artefacts during display, storage, handling and transport, welches 2019 mit einer Laufzeit von 36 Monaten begann.<sup>36</sup>

### „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.<sup>37</sup> Farbveränderungen<sup>38</sup> und „Ausblühungen“<sup>39</sup> 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 Luftreinhaltung relevanten Maß durch Verdunsten in die Gasphase übergehen können, d. h. flüchtig sind – unterstützen diesen Abbau. Sie werden nach dem Siedegrenzbereich eingeteilt und in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  bzw. in  $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$  gemessen. Bei den VOCs<sup>40</sup>

---

<sup>36</sup> 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 (NO<sub>2</sub>), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Ozon (O<sub>3</sub>) oder Partikel), Vibrationen und ihre Synergien. Artefakte passen sich im Laufe der Zeit allmählich an die Umweltbedingungen an, sofern sie konstant gehalten werden. Die Abbauraten steigen 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 unterschiedlichen 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 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 Lagerungsdienstleistern, Kunstverwaltungssoftware und auf Kunst spezialisierte Versicherungsunternehmen zugeschnitten ist. <https://www.collectioncare.eu/>; <https://www.collectioncare.eu/category/collectioncare/>; [https://www.collectioncare.eu/basic\\_sensor\\_node\\_ready\\_for\\_deployment/](https://www.collectioncare.eu/basic_sensor_node_ready_for_deployment/)

<sup>37</sup> Byne, L. St. George: The corrosion of shells in cabinets (1899), 2013, 276–285; Shelton, 2008, 1–4

<sup>38</sup> De Laet, Lycke, Van Pevenage, Moens, Vandenabeele, 2013, 855–862

<sup>39</sup> Mödlinger, Piccardo, 2013, 1069–1080

<sup>40</sup> 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,

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<sub>4</sub>) ist oft nicht eingeschlossen und wird 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,<sup>41</sup> jedoch fehlt eine einheitliche Definition, was ein VOC ist, sowie der Grenzwerte für deren Menge in der Luft.<sup>42</sup> 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.<sup>43</sup> In den letzten Jahren wurden daher vermehrt Wechselwirkungen zwischen Aufbewahrungseinrichtungen und Objekten untersucht<sup>44</sup>, festgestellt<sup>45</sup>, gemessen,

---

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-pentandiolmonoisobutytrat; **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](https://www.bmnt.gv.at/dam/jcr:9c4014a5-4055-4e18-a1e2.../VOC_Allgemein.pdf)

Nachweis für VOC z.B. mit Messgerät ppbRAE3000, tragbarer Photoionisationsdetektor (PID) VOC-Messung im ppb-Bereich von 1 bis 10.000 ppm. (gasdetection@honeywell.com).

<sup>41</sup> Caron, Guichard, Robert, Verrielle, Thevenet, 2020; Cincinelli, Martellini, Amore, Die, 2016, 333–339

<sup>42</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Flüchtige\\_organische\\_Verbindingen](https://de.wikipedia.org/wiki/Flüchtige_organische_Verbindingen)

<sup>43</sup> 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; Mølhave, 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

<sup>44</sup> 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

<sup>45</sup> 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

analysiert<sup>46</sup> und thematisiert<sup>47</sup>. Auch Inhaltsstoffe und Abbauprodukte der Objekte<sup>48</sup> sowie bei deren Konservierung eingesetzte Substanzen (Naphthalene, 2-Chloroethanol, 2-Bromoethanol, Furfural, 1-Methylnaphthalene, Azulene, 2,4-Dioctylphenol) tragen zur Emission bei.<sup>49</sup>

Das EU-Projekt MUSECORR (Protection of cultural heritage by real-time corrosion monitoring)<sup>50</sup> 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 Assets. Innovative Research for Market Transfer“)<sup>51</sup> 2010–2013 dem Transport<sup>52</sup> und den Effekten der VOCs auf Objekte.<sup>53</sup> Das EU-Projekt „Sensitive Materials“ hat VOC-Obergrenzen für Kulturgut in Sammlungen definiert: Essigsäure 40–280 ppb, Ameisensäure 5–20 ppb, Formaldehyd 10–20 ppb, Acetaldehyd weniger als 1–20 ppb, Total VOC: weniger als 100 ppb.<sup>54</sup>

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.<sup>55</sup>

Durch die saisonal bedingten Temperaturveränderungen werden aus natürlichem Holz wie auch aus holzbasierten Werkstoffen unterschiedliche Mengen an Essigsäure in die Luft

---

<sup>46</sup> 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.cwaller.de/deutsch.htm?teil4\\_2\\_luftschadstoffe.htm~information](http://www.cwaller.de/deutsch.htm?teil4_2_luftschadstoffe.htm~information)

<sup>47</sup> 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

<sup>48</sup> 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

<sup>49</sup> 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

<sup>50</sup> <https://cordis.europa.eu/project/rcn/91251/factsheet/de>

<sup>51</sup> <https://cordis.europa.eu/project/rcn/96933/factsheet/en>

<sup>52</sup> Hubert, 2012, 22–27

<sup>53</sup> Thickett, Lankester, 2012, 281–295; Schaaf-Fundneider, Grießer, 2013, 228–255

<sup>54</sup> EU-Projekt „Sensitive Materials“, Conference, Venice 2021, in Übereinstimmung mit Grzywacz, 2006

<sup>55</sup> Korenberg, Bertolotti, 2019, 250

abgegeben,<sup>56</sup> aber auch Terpene, Formaldehyde,<sup>57</sup> Acetaldehyde, Ameisensäure freigesetzt.<sup>58</sup> Die Abgabe von Ameisen- und Essigsäure ist temperaturabhängig. Je niedriger Luftfeuchtigkeit und Temperatur umso weniger wird vom Archivgut abgegeben. Eine Reduktion von 22 auf 10 °C führt zu 54–94% weniger Emissionen.<sup>59</sup> Essig- und Ameisensäure<sup>60</sup> sind schwer aus der Luft zu entfernen<sup>61</sup> und werden u. a. für Glaskorrosion verantwortlich gemacht.<sup>62</sup> Da VOCs prinzipiell nur schwierig auszusondern sind und sich mit Adsorbentien zumeist nur ein Ausgleich erreichen lässt,<sup>63</sup> wird mittlerweile auf Adsorbentien verzichtet. Emittierende Materialien werden ausgebaut und – wo nicht möglich – beschichtet, was allerdings nur kurzfristige Erfolge zeitigt.<sup>64</sup> In geschlossenen Vitrinen<sup>65</sup> herrschen besonders hohe VOC-Konzentrationen,<sup>66</sup> die vor allem durch Lüftung reduziert werden können.<sup>67</sup> Über Versuche, die Korrosion von Eisen-<sup>68</sup> bzw. Bleiobjekten<sup>69</sup> 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.<sup>70</sup> Auch die Modifizierung von Bauteilen aus Beton<sup>71</sup> oder Putz mit temperatur- und feuchtigkeitsausgleichenden, schadstoffminimierenden kalkhaltigen Beschichtungen an Bauteilen<sup>72</sup> wird erörtert. Geeignete Materialien für Aufbewahrungsbehälter werden gesucht.<sup>73</sup> Adsorbentien- bzw. Puffer-<sup>74</sup> und Verpackungsmaterialien<sup>75</sup> (selbst die häufig genutzten Polypropylen- und Polyethylen-Verpackungen geben in den ersten Monaten noch VOCs ab, weshalb man sie auf jeden Fall ausdampfen

---

<sup>56</sup> 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

<sup>57</sup> Durch die Fokussierung auf das humanschädliche Formaldehyd wurden Ameisen-, und Essigsäure eher außer Acht gelassen. Korenberg, Bertolotti, 2019, 257

<sup>58</sup> Ro, Sano, Kato, 2011, 91–99

<sup>59</sup> Smedemark, Rhyll-Svendsen, 2021, 22, 27, 29

<sup>60</sup> Während die Formaldehydanteile in den Holzwerkstoffen kontinuierlich reduziert wurden, wurden die für Museumsobjekte gefährlichen Ameisen-, und Essigsäureanteile eher vernachlässigt. Korenberg, Bertolotti, 2019, 257

<sup>61</sup> Dedecker, Pillai, Nouar, Pires, Steunou, Dumas, Maurin, Serre, Pinto, 2018, 13886–13894

<sup>62</sup> Dinnebier, Fischer, Eggert, Runčevski, Wahlberg, 2016, 1–17

<sup>63</sup> z. B. durch Beipacken von Aktivkohle oder kupferhaltigen, korrosionshemmenden Folien und Schäumen [www.intercept-technology.com](http://www.intercept-technology.com)

<sup>64</sup> Meyer, Volland, 2017, 1–31; Korenberg, Bertolotti, 2019, 256

<sup>65</sup> Schieweck, Salthammer, 2011, 205–213; Bellendorf, Wittstadt, 2011, 43–47

<sup>66</sup> Lafuente, Cano, Martín, 2013, 1–4; Schieweck, 2011, 40–44

<sup>67</sup> Ro, Kotajima, Hayashi, Suga, Sano, 2016, 125–138

<sup>68</sup> Teng, Hu, 2016, 18–23

<sup>69</sup> Grayburn, Dowsett, Adriaens, 2016, 1–3

<sup>70</sup> Watkinson, Rimmer, Emmerson, 2019, 456

<sup>71</sup> Stammer, 2014, 19–28

<sup>72</sup> Velosa, 2016, 46–48

<sup>73</sup> Dix, Raquet, 2016, 78–87; Wiegner, Farke, Horn, Jann, Hahn, 2012, 38–44; Goffard, 2009, 1–15; Schieweck, Markewitz, Salthammer, 2007, 67–72

<sup>74</sup> Shashoua, 2016, 128–133; Willet, Newnham, Nel, 2015, 97–104; Grøntoft, 2012, 36–46

<sup>75</sup> Magnusson, 2016, 24–29; Garside, Walker, 2015, 1–4

lassen sollte)<sup>76</sup> werden gesucht und getestet;<sup>77</sup> wie auch Versuche unternommen werden, Schadstoffe auszuschließen.<sup>78</sup> Es zeigt sich, dass 2- bis 5-malige Lüftungen von Vitrinen pro Tag den Essig- und Ameisensäuregehalt um 78 % bis 96 % senken.<sup>79</sup> Die Beibehaltung historischer Vitrinen zwingt zu deren Umrüstung.<sup>80</sup> Auch die dichten Gemäldevitrinen, in denen höhere Konzentrationen gemessen werden als außerhalb, müssen hinterfragt werden.<sup>81</sup> So wurden im EU-PROPAIN 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<sup>-3</sup>, Stickstoffdioxid 0–4 µg m<sup>-3</sup>, Essig- und Ameisensäure 100 und 2,100 µg m<sup>-3</sup> sowie andere VOCs 100–4,500 µg m<sup>-3</sup>. In einem Fall kam man zu folgenden Ergebnissen: Essig- und Ameisensäure 2.800 µg m<sup>-3</sup>, VOCs, 28.000 µg m<sup>-3</sup>.<sup>82</sup> Die sichtbaren Niederschläge („Fogging“) an Vitrineninnenseiten orientieren sich dabei meist an nicht zuvor entfernten Produktionsrückständen oder an Resten zuvor verwendeter Reinigungsmittel an der Oberfläche.<sup>83</sup> Die Entfernung von Emissionen von ehemals eingesetzten Insektiziden<sup>84</sup> sowie die allgemeine Reinigung von Schauräumen spielen eine Rolle.<sup>85</sup> Kommen hohe Luftfeuchtigkeiten und Emissionen organischer Materialien zusammen, steigt das Risiko von Schäden, vor allem bei Metall und Glas.<sup>86</sup> Von Wechselwirkungen muss ausgegangen werden. Es wurde belegt, dass auch von historischen Gläsern durch Reaktion mit Luftfeuchtigkeit benachbartes Metall angegriffen wird.<sup>87</sup> 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

---

<sup>76</sup> Es gibt verschiedenen Polyethylen (PE)-Sorten: Hochdichtes PE aus schwach verzweigten Polymerketten, mit höherer Kristallinität (High-Density-Polyethylen (PE-HD oder HDPE), Linear-Low-Density-Polyethylen aus Polymermolekülen mit nur kurzen Verzweigungen (PE-LLD) und Low-Density-Polyethylen aus stark verzweigten Polymerketten (PE-LD oder LDPE). Die stabilste Form, HDPE (high density polyethylene) sollte deshalb – wenn häufigere Verwendungen von solchen Folien über längere Zeit angedacht sind – bevorzugt werden. Larkin, Blades, Makridou, 2000, 41–51; <https://de.wikipedia.org/wiki/Polyethylen> [Zugriff: 27.1.2022]

<sup>77</sup> Ethafoam und Tyvek sind unbedenklich, während 3M Hot Melt Adhesive 3764Q nicht verwendet werden sollte. Araya Monasterio, Icaza Toro, 2016, 25–40

<sup>78</sup> Roidl, 2016, 36–41; Kim, Seo, Lee, 2009, 241–249

<sup>79</sup> Grøntoft, Lankester, Thickett, 2015, 28–37

<sup>80</sup> Tsang, Schmidt, Hollshwander, 2013, 18–20

<sup>81</sup> Odlyha, Bozec, Dahlin, Grøntoft, Chelazzi, Baglioni, Bonaduce, Colombini, Larsen, Scharff, Hackney, Thickett, 2012, 319–324; Watts, Crombie, Jones, Yates, 2007, 253–260

<sup>82</sup> 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

<sup>83</sup> Poulin, Coxon, Anema, Helwig, Corbeil, 2020, 1–13

<sup>84</sup> Fallon, Peters, Hunt, 2016, 51–62

<sup>85</sup> Eibl, 2009, 79–114; Eibl, 2009, 215–244

<sup>86</sup> 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

<sup>87</sup> Eggert, Fischer, 2020, 116

alkalische Flüssigkeitsfilme, die als Elektrolyt an benachbarten Metallen Korrosion verursachen können. Der Einfluss von Formaldehyd, Ameisen- oder Essigsäure aus der Innenraumluft 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, Dagherreotypen und Taschenuhren zu beobachten. Die von der glasinduzierten Metallkorrosion betroffenen Metalle und Glasbestandteile, die am Korrosionsprozess beteiligt sind, und der Einfluss der Innenraumluft<sup>88</sup> darauf kann mit der  $\mu$ -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.<sup>89</sup> So wie neue Vitrinen nicht sofort bestückt werden sollten, sollen auch neue Gebäude nicht unmittelbar besiedelt werden, da es hier zu sehr hohen Emissionen aus den frischen Baustoffen kommt.<sup>90</sup>

---

<sup>88</sup> Draaisma, 2017, 1–107; Guerranti, Benetti, Cucciniello, R., et alii, 2016, 754e761; Zorpas, Skouroupatis, 2016, 52–60

<sup>89</sup> Fischer, 2016; <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/artdok/5210/>

<sup>90</sup> Liu, Zhai, Pei, Li, 2007, 355–361

## **Bemerkungen zu den derzeit allgemein verwendeten Materialien**

Die meisten Museen befinden sich in Stadtzentren, noch dazu in relativ undichten historischen Gebäuden, in denen gasförmige Luftschadstoffe<sup>91</sup> und Partikelschmutz<sup>92</sup> von außen zusätzlich mit den in Museen und Depots freigesetzten Emissionen zusammenwirken können.<sup>93</sup>

**Baustoffe aus Beton<sup>94</sup>, 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. Falls es aber mit Ameisen- und Essigsäure abgebenden Materialien verbaut wird, kann es zu Wechselwirkungen kommen, wobei korrosive Substanzen aus der Beschichtung freigesetzt werden.<sup>95</sup>

**Bodenbeläge** bestehen bis 2015 zumeist aus PVC<sup>96</sup> und nach dem EU-weiten Phthalat-Verbot nun aus Vinyl,<sup>97</sup> einer modernen Variante des PVC-Bodens. Diese Böden sind weniger geeignet als Linoleum<sup>98</sup>-Böden, welche vor allem zwischen 1880 und 1970 verlegt wurden.

---

<sup>91</sup> SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>. National Park Service, 2016, 4:56–4:58

<sup>92</sup> National Park Service, 2016, 4:56–4:63

<sup>93</sup> Die Schadstoffwerte in der Luft städtischer Gebiete sind immer noch hoch, aber in Italien ist zwischen 2000 und 2019 ein Rückgang zu beobachten. „Specific risk maps for Cultural Heritage materials and airborne pollutants: an open data approach to risk-based management.“ Giada Bartolini, Renato Iannelli, Carlo Resta, (Department of Energy, Systems, Territory and Construction Engineering, DEStEC, University of Pisa); Anna De Falco, Francesca Giuliani (Department of Civil and Industrial Engineering, DICI, University of Pisa). Presentation at the conference APACHE Heri-Tech - The Future of Heritage Science And Technologies Conference, Florence online 16.–18.5.2022

<sup>94</sup> Die Eignung von Beton wird nur im versiegelten Zustand bestätigt. National Park Service, 2016, 4:56

<sup>95</sup> Raquet, Hoppe, Dix., Helbig, Mack, Kaliwoda, 2017, 21

<sup>96</sup> 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.

<sup>97</sup> Anstelle der Phthalate werden hier Mischungen verschiedener Alkylsulfonsäureester (Handelsname Mesamoll und Mesamoll II) als Weichmacher eingesetzt.

<sup>98</sup> 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)

Korkböden werden zumeist nach dem Verlegen versiegelt, um nicht zu verschmutzen, sind 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“)**

Während Nadelhölzer prinzipiell mehr Terpene abgeben, emittieren im Lauf der Alterung natürliche, unbehandelte Hölzer wie Eiche, Buche, Birke und Kastanie vor allem Essig- und Ameisensäure, geben 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.<sup>99</sup> 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).<sup>100</sup>

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.

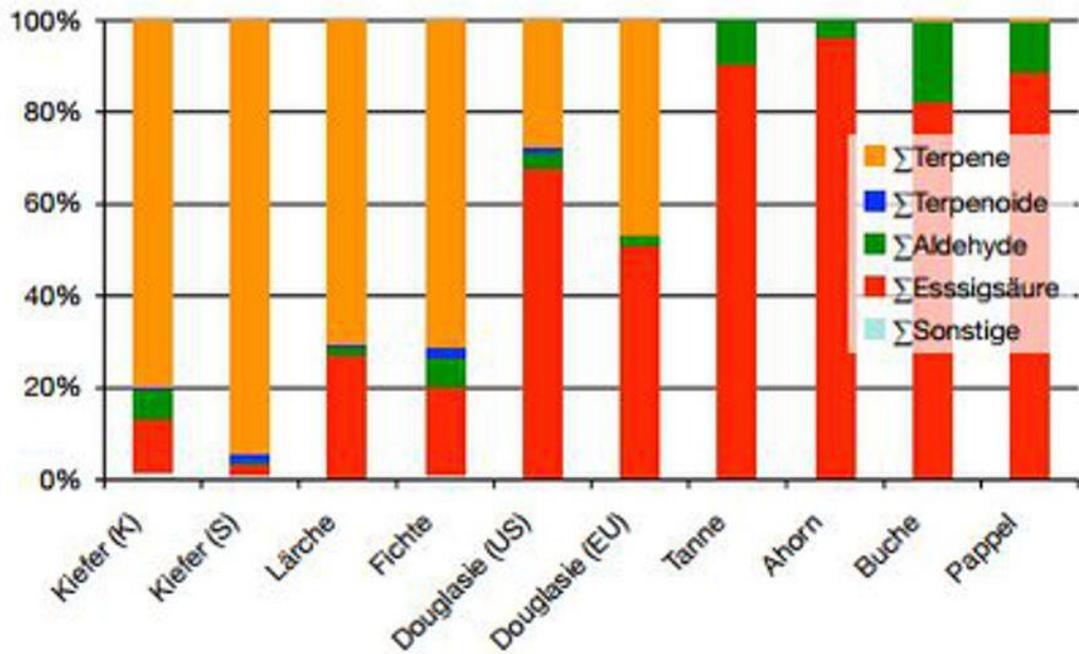
Abgelagertes Holz ist prinzipiell frischem Holz, welches mehr freie organische Säuren enthält, vorzuziehen.<sup>101</sup>

---

<sup>99</sup> Korenberg, Bertolotti, 2019, 254; Makowski, Ohlmeyer, 2006, 417–422

<sup>100</sup> Über durch Vollholz hervorgerufene Salzausblühungen an Keramik berichtet: Korenberg, Bertolotti, 2019, 249f

<sup>101</sup> 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



Zusammensetzung der VOC-Emissionen verschiedener Holzarten nach 20 Minuten und bei 60 °C im Thermoextraktor<sup>102</sup>

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 Literatur<sup>103</sup> 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:<sup>104</sup>

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

<sup>102</sup> Quelle: <http://www.eggbi.eu/forschung-und-lehre/zudiesemthema/emissionen-aus-holz-und-holzwerkstoffen/#c768>

<sup>103</sup> Meyer, Boehme, 1994, 1969ff

<sup>104</sup> Quelle: <http://www.eggbi.eu/forschung-und-lehre/zudiesemthema/emissionen-aus-holz-und-holzwerkstoffen/#c768>

Natürliche Emissionen aus verschiedenen Holzarten sind abhängig von der jeweiligen Holzart, von dem Alter und Feuchtegehalt des Holzes.<sup>105</sup> Neben den wesentlichen holzeigenen 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-methyl-pentan-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.<sup>106</sup>

**Carbonsäuren**<sup>107</sup>, insbesondere Essig- und Ameisensäure, haben ein eher höheres Gefährdungspotenzial<sup>108</sup> für Kunstgut.<sup>109</sup> Nahezu alle Institute ordnen derzeit bereits bei der Summenberechnung (TVOC) Essigsäure den VOCS und nicht den VVOCS zu.<sup>110</sup>

**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 (**A**usschuss zur **g**esundheitlichen **B**ewertung von **B**auproduktemissionen) 2012 zur Bewertung von Bauprodukten der NIK-Wert (**N**iedrigste **I**nteressierende **K**onzentration, im englischen LCI, dient als Hilfsgröße zur

---

<sup>105</sup> Ohlmeyer, Makowski, Schöler, Hasch, Fried, 2008, 23; [https://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/dk040782.pdf](https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dk040782.pdf)

<sup>106</sup> <http://www.eggbi.eu/forschung-und-lehre/zudiesemthema/emissionen-aus-holz-und-holzwerkstoffen/#c768>

<sup>107</sup> Xu, Xie, Liu, Shi, Wu, 2010, 1–5

<sup>108</sup> 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

<sup>109</sup> „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

<sup>110</sup> Nach Aussage Umweltbundesamt zur Zuordnung TVOC: „Es sei ergänzend darauf verwiesen, dass in einem solchermaßen 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&oe\\_gpk=1](https://www.baubook.info/m/PHP/Kat.php?SKK=2206.10159.10245.10246.10247&ST=35&rg=K&win=y&SW=16&oe_gpk=1)

gesundheitsbezogenen Einzelstoffbewertung im AgBB-Schema) für Essigsäure von 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  auf 1.250  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  erhöht.

**Ameisensäure** wirkt auf Kunstgut hauptsächlich korrosiv. Nach der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe geht von der Ameisensäure ein mehr als zweimal so großes Gefährdungspotenzial aus. Während die Essigsäure mit einem AGW (Arbeitsplatzgrenzwert) von 10 ppm (25  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) geführt wird, ist für die Ameisensäure ein AGW von 5 ppm (9,5  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) festgelegt. Daraus abgeleitet: Arguk (Arbeitsgemeinschaft Umweltkontrolle)-Vorsorgewert, nutzungsüblich: Ameisensäure: 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; Arguk-Gefahrenwert, nutzungsüblich: Ameisensäure: 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .<sup>111</sup>

**Acetaldehyd:** Hat auf den menschlichen Körper besonders vielfältige schädigende Wirkungen.<sup>112</sup> Auch hier ist man sich noch nicht über Obergrenzen einig: Die Richtwerte variieren zwischen 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  und 1.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Acetaldehyd/ $\text{m}^3$ . Natureplus setzt einen niedrigeren Grenzwert von 36  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Acetaldehyd fest.<sup>113</sup>

**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.“<sup>114</sup>

## 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

---

<sup>111</sup> [https://www.arguk.de/infos/documents/Essigsaeure\\_in\\_der\\_Raumluft\\_von\\_Fertighaeusern\\_red.pdf](https://www.arguk.de/infos/documents/Essigsaeure_in_der_Raumluft_von_Fertighaeusern_red.pdf)

<sup>112</sup> „Zum Schutz der Gesundheit der Bevölkerung setzt die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumluftthygiene 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  $\text{mg}$  Acetaldehyd/ $\text{m}^3$  für den Endpunkt nasale Epithelschädigung.“; „Mit einem Extrapolationsfaktor von 1 für interspeziesunterschiede, 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  $\text{mg}/\text{m}^3$  (=100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Acetaldehyd/ $\text{m}^3$  Raumluft und ein Richtwert II (Gefahrenrichtwert) von 1  $\text{mg}/\text{m}^3$  (= 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Acetaldehyd/ $\text{m}^3$ “.

<sup>113</sup> <https://www.natureplus.org/>

<sup>114</sup> Dipl.-Chem. Dr. Wigbert Maraun auf: [https://www.arguk.de/forschung/Maraun2018-Carbonsaeuren\\_in\\_Holzmodul\\_und\\_Holzstaenderbauten.jpeg](https://www.arguk.de/forschung/Maraun2018-Carbonsaeuren_in_Holzmodul_und_Holzstaenderbauten.jpeg)

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.<sup>115</sup> Vor holzbasierten Materialien wird 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 Leime<sup>116</sup> gerben. Die Kleber der Holzstäbchenplatten sollten durch formaldehydfreie und weichmacherfreie Klebstoffe<sup>117</sup> oder reine PVAc-Dispersionen<sup>118</sup> 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.

---

<sup>115</sup> Korenberg, Bertolotti, 2019, 256

<sup>116</sup> Proteinhaltige Leime (z. B. Knochen-, Fisch-, Hasenhaulleim) wurden an Kunst- und Kulturgütern vieler Jahrhunderte als Bindemittel eingesetzt.

<sup>117</sup> Z. B. Hoechst Mowilith DHS, ca. 50 %, homopolymere Polyvinylacetat-Dispersion. Die klebestarken PVAc-Leime können jedoch saure Abbauprodukte abgeben.

<sup>118</sup> Z. B. Mowilith D, DN, DNN; Wacker Vinnapas bzw. Vinac H 60, H 65, D 50; D 50 G, M 50

vernachlässigbar, gemessen an der Gefahr, welche von anderen VOCs, insbesondere Essig- und Ameisensäure ausgeht.<sup>119</sup>

Mit der Verwendung von **PUR**-Produkten wurde zwar das Formaldehyd-Problem im Wesentlichen gelöst, diskutiert werden dabei aber die ökologischen Nachteile und 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 sein<sup>120</sup>), 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/m<sup>3</sup> 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.<sup>121</sup>

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.<sup>122</sup> Holzwerkstoffplatten werden derzeit nach ihrem Formaldehydgehalt gekennzeichnet:

---

<sup>119</sup> Korenberg, Bertolotti, 2019, 256f

<sup>120</sup> Korenberg, Bertolotti, 2019, 253–256; Gul, Khan, Shakoor, 2017, 1–6

<sup>121</sup> Korenberg, Bertolotti, 2019, 251

<sup>122</sup> 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

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 ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

E2 Das Material lässt unter festgelegten Bedingungen nicht mehr als 1,0 ppm Formaldehyd in der Raumluft entstehen ( $1,2 \text{ mg}/\text{m}^3$ ).

E3 Das Material lässt unter festgelegten Bedingungen nicht mehr als 2,3 ppm Formaldehyd in der Raumluft entstehen ( $2,3 \text{ mg}/\text{m}^3$ ).

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  $0,2 \text{ mg}/\text{m}^3$ ; monocyclische Monoterpene  $1,0 \text{ mg}/\text{m}^3$ ; gesättigte azyklische aliphatische C4-C11-Aldehyde  $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ ; 2-Furaldehyd (Furfural)  $0,01 \text{ mg}/\text{m}^3$ ; Benzaldehyd  $0,02 \text{ mg}/\text{m}^3$ ; Formaldehyd  $0,08 \text{ ppm}$ .<sup>123</sup>

**Holzstäbchenplatten:** Die sehr stabilen, biegesteifen Holzstäbchenplatten (auch Tischlerplatte) sind im Vergleich zu Vollholz weniger klimaaktiv. Sie sollten aufgrund ihrer Klebemittelanteile (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

---

<sup>123</sup> Quelle: <http://www.eggbi.eu/forschung-und-lehre/zudiesemthema/emissionen-aus-holz-und-holzwerkstoffen/#c768>

Melamin-Formaldehyd-Kondensationsharze) ausdampfen. Die nicht dauerhaften Klebmaterialien und das gegenläufig arbeitende Material können bei künstlerischer Gestaltung konservatorische Probleme mit sich bringen.<sup>124</sup>

### **Holzfaserplatten**

**Spanplatten:** Die ersten Spanplatten wurden bereits 1937 erzeugt.<sup>125</sup> 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.<sup>126</sup> 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 (mechanisch durch Schleifen oder chemisch durch das Sulfat- oder Sulfitverfahren) wurde ab 1920 durch das Dampfexplosionsverfahren nach Mason (masonite = engl. für Hartfaserplatten) verbessert (1924 patentiert). 1931 erhielt Asplund in Schweden das Patent für das sogenannte Dampfzerfaserungsverfahren für Faserplatten.<sup>127</sup> Für höhere Wasserbeständigkeit, Schlagfestigkeit, Härte, Steifigkeit und Zugfestigkeit wird die Hartfaserplatte mit einem Film aus Leinöl beschichtet und unter hohem Druck und Hitze (170

---

<sup>124</sup> Masson, 2017, 288–315

<sup>125</sup> Felix Pfohl erhielt 1937 das Patent für "eine Platte für Möbel- und Bautischler und für das Verfahren zur ihrer Herstellung".

<sup>126</sup> Hilbert, 2002, 269

<sup>127</sup> <https://en.wikipedia.org/wiki/Defibrator>. Ab Ende der 20er Jahre des 20. Jh. ist mit Hartfaserplatten in der Kunst zu rechnen. In einem Brief des Malers Albert König vom 20.12.1932 an seinen Kollegen Hugo Friedrich Hartmann, erwähnt dieser eine Masonit-Platte. Auch bei Albers, Bacon Hartley, Lawrence, Miró, Schad etc. finden sich solche Malträger. Runeberg, 2021, 108

°C) verpresst. Eine Sättigung (5 bis 6 %) der Platte in Leinöl oder Tungöl ist ebenso möglich.<sup>128</sup>

Die im Nassverfahren (Siebstruktur auf Rückseite) hergestellten, harten (Rohdichte ab circa 800 kg/m<sup>3</sup>), aber leicht elastischen Holzfaser- bzw. Hartfaserplatten<sup>129</sup> haben verglichen mit MDF-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-Platten<sup>130</sup> sind komplett bindemittelfrei (können aber imprägniert sein, d.h. "tempered")<sup>131</sup> und unter den Hartfaserplatten am ehesten geeignet. Im Nassverfahren, aus zerfaserten, zermahlenden und verfilzten Holzgangsstoffen (Holz, Stroh, Bagasse)<sup>132</sup> und mit wenig Bindemittel vermischt 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 (LDF):** Die hauptsächlich zu Dämm- und Schallabsorptionszwecken eingesetzten („Gutex“-) Platten (Rohdichte circa 230 kg/m<sup>3</sup>) 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 120–190 °C getrocknet. Im Nassverfahren ohne Zusatzstoffe hergestellte Weichfaserplatten sind nahezu unbedenklich<sup>133</sup> 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. Die Sundaela-Platte hat eine Papierfaser- bzw. Baumwolle-komponente. Feuchteresistente

---

<sup>128</sup> <http://mussenstellen.com/article/hartfaserplatten>

<sup>129</sup> Bei nach diesem Verfahren hergestellten Platten erfolgt die Verklebung der Fasern durch holzeigene Stoffe. Brunner, 1988, 62, 125–128; Achternkamp, 1991, 38–40

<sup>130</sup> 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.

<sup>131</sup> *Our hardboard supplier does not use urea-formaldehyde glue in the manufacturing process. They rely on the natural lignin in wood for the bonding of the wood fibers, making our board environmentally sound. Ampersand's Hardbord is considered HWR hardboard (High Water Resistant) and is suitable for those applications where improved water resistance is required over normal hardboard.* <https://ampersandart.com/the-story-of-hardbord.php>

<sup>132</sup> Zu den Ausgangsstoffen siehe auch: Erbreich, 2004, 24

<sup>133</sup> Brunner, 1988, 62, 125–128; Achternkamp, 1991, 38–40; Runeberg; 2021, 79

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,<sup>134</sup> welche die geringe Formaldehydemission von bis zu 0,1 ppm<sup>135</sup> aufweisen, besitzen eine gewisse Eignung<sup>136</sup> für den temporären Ausstellungs- und Versandkistenbau.<sup>137</sup> Die Ausgangsmaterialien werden mit Bindemitteln<sup>138</sup> gemischt und im Trockenverfahren unter Druck bei 230 °C verpresst (Rohdichte zwischen 565 und 800 kg/m<sup>3</sup>). Die Platten sind in allen Stärken von 6 bis 38 mm verfügbar, können aber auch in jeder Schreinerei problemlos dünner geschliffen werden.<sup>139</sup>

Die Sonae Arauco Deutschland GmbH<sup>140</sup> stellt MDF-Platten<sup>141</sup> (UF-verleimt<sup>142</sup>) her. Diese MDF-Platten weisen eine Formaldehydemission von 0,1 ppm<sup>143</sup> auf. Das entspricht einem Perforatorwert<sup>144</sup> 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/m<sup>3</sup> und entspricht in seiner Ausgleichsfeuchte etwa dem Vollholz. Diese glatten<sup>145</sup> oder strukturierten<sup>146</sup> Platten werden im Gegensatz zu den Holzspanplatten aus entrindetem Kiefern- und Fichtenholz sowie einem minimalen Tannenholzanteil, mit gleichmäßigen Fasern, die mit Bindemitteln<sup>147</sup> gemischt und im Trockenverfahren unter Druck bei 230 °C verpresst werden, hergestellt.

---

<sup>134</sup> MDF = **Mitteldichte Faserplatte (medium density fiberboard)**, nach EMB-Entwurf CEN N 592

<sup>135</sup> 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.

<sup>136</sup> Die glatte MDF-Topan®-Platte hat den Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor  $\mu = 50$ . Auch aus natürlichem Holz gefertigte Platten geben Schadstoffe ab (vgl. Schieweck, 2011, 26)

<sup>137</sup> Böhmer, 2017, 41–43

<sup>138</sup> Harnstoff-Formaldehydharz mit chloridfreien Härtern. Seit Sommer 1994 sind formaldehydfrei verleimte MDF-Platten erhältlich. Eipper, 2004, 29

<sup>139</sup> Die dickeren Platten sind jedoch sehr schwer und deshalb für große Kisten ungeeignet.

<sup>140</sup> Ehem. Glunz Consult GmbH, seit 2018 Sonae Arauco Deutschland GmbH, Postfach 1310, D-49703 Meppen, Grecostraße 1, D-49716 Meppen

<sup>141</sup> MDF-Platten sind in verschiedenen Standarddicken (6–38 mm) erhältlich.

<sup>142</sup> 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.

<sup>143</sup> Für formaldehydarme MDF-Platten ist derzeit ein Grenzwert von max. 10 mg/100 g nach der Perforatormethode DIN EM 120 vereinbart.

<sup>144</sup> Nach der Perforator-Methode entsprechend der Norm EN 120.

<sup>145</sup> Eine glatte unbehandelte MDF-Platte hat einen Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor von  $\mu = 50$ .

<sup>146</sup> MDF-Strukturplatten sind auf der geprägten Seite mit einem speziellen, harzgetränkten Kraftpapier beschichtet, welches die Funktionen einer Grundierung übernimmt.

<sup>147</sup> Harnstoff-Formaldehydharz mit chloridfreien Härtern.

Seit 1994 sind auch formaldehydfrei verleimte MDF-Platten erhältlich. Als Bindemittel liegt hier ein Gemisch aus Polyurethan (PUR)<sup>148</sup> und Polyharnstoff<sup>149</sup> vor, welches in geringeren Mengen<sup>150</sup> eingesetzt wird, als dieses für Harnstoff-Formaldehydharze<sup>151</sup> infrage käme. Die Rohdichte<sup>152</sup> dieser PUR-verleimten Platten liegt um 700 kg/m<sup>3</sup> und ist damit geringer als die der herkömmlichen UF-verleimten MDF-Platte, weshalb sie auch weniger Feuchtigkeit aufnehmen kann.<sup>153</sup> Die Formaldehydemission, welche von dieser Platte ausgeht, beträgt 0,01 ppm. Der Blindwert der 1 m<sup>3</sup> großen Prüfkammer schwankt zwischen 0,01 und 0,015 ppm, d. h. diese MDF-Platten (z. B. Topan<sup>®</sup> 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.<sup>154</sup> Diese Platte weist eine geringere Rohdichte auf, quillt nicht so stark wie die herkömmliche MDF-Platte<sup>155</sup> 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.<sup>156</sup>

Die Spanplattenindustrie Fritz Egger<sup>157</sup> 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 38 mm und sind bis 2,65 m breit. Als Bindemittel wird ein formaldehydfreies 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 %).<sup>158</sup>

---

<sup>148</sup> 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

<sup>149</sup> Polyharnstoff entsteht wie Polyurethan bei der Vernetzung von Bindemittelmolekülen. Polyharnstoff wird nicht als Härter zugesetzt.

<sup>150</sup> Der Bindemittelanteil von PUR-verleimten MDF-Platten beträgt 3 %.

<sup>151</sup> Der Bindemittelanteil von UF-verleimten MDF-Platten beträgt 11 %.

<sup>152</sup> Rohdichte: bei einer höheren Faserdichte besitzt die Platte theoretisch eine höhere Aufnahmekapazität, bei stark verpresster und verdichteter Faser hingegen ist die Feuchtigkeits- oder Wasseraufnahmekapazität vermindert, zumindest vorübergehend. MDF-Platten haben gelegentlich ein starkes Faserquellverhalten, v.a. die mit wenig Bindemittelzusätzen, während v.a. tempered HDF-Platten so gut wie nicht quellen.

<sup>153</sup> 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.

<sup>154</sup> Zitate von Prüfberichten. Mitteilung der Glunz Consult GmbH

<sup>155</sup> Bei der herkömmlichen MDF-(TOPAN-<sup>®</sup>) Platte sind Cellulose und Bindemittelanteile höher. Es liegt eher eine punktuelle Verklebung vor. Dagegen ist bei der TOPAN-<sup>®</sup>-FF-Platte die Cellulosefaser vom Bindemittel (aus Polyurethan und Polyharnstoff) umhüllt.

<sup>156</sup> Eipper, 1994, 61 ff.

<sup>157</sup> 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.

<sup>158</sup> Mitteilung der Firma Egger, Zitate aus Prüfberichten.

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  $\mu < 50$ .<sup>159</sup>

Im Prinzip können beide MDF-Sorten für den temporären Vitrinen- und Transportkistenbau infrage kommen.<sup>160</sup> 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.<sup>161</sup>

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.<sup>162</sup>

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

---

<sup>159</sup> Zitate von Prüfberichten. Mitteilung der Glunz Consult GmbH

<sup>160</sup> Böhmer, 2017, 41–43

<sup>161</sup> Kalabis, 2010, 79–90

<sup>162</sup> 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 Lauta

Medite LF (gemäß Euro-Norm MDF 1, entspricht in etwa MDF-Topan<sup>®</sup>, 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.<sup>163</sup>

Für Versiegelungen von MDF-Platten kommen Melinex-Folien oder Moistop 622 (Polyester/Aluminium/Polyethylen-Folie) oder auch Marvelseal<sup>164</sup> 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.<sup>165</sup>

**HDF-Platten:** Neben den MDF-Platten, gibt es auch HDF-Platten<sup>166</sup>, welche der MDF-Platte relativ ähnlich sind (z. B. Homadur<sup>®167</sup>, Rohdichte über 800–1.050 kg/m<sup>3</sup>), aber nicht so feuchtigkeitspuffernd wie diese. Die aus fein aufgeschlossenen, heimischen Nadelholzfasern (Fichte und Kiefer) im Trockenverfahren<sup>168</sup> 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. Standard-HDF-Platten sollten theoretisch bindemittelfrei sein, da HDF üblicherweise durch das enthaltene Lignin verbacken bzw. verpresst wird. Tungöl und andere Mittel, Wachse etc. werden häufig zur Imprägnierung beigemischt = "tempered".

---

<sup>163</sup> Korenberg, Bertolotti, 2019, 253–256; Gul, Khan, Shakoore, 2017, 1–6

<sup>164</sup> <https://ilfa.de/marvelseal.html>

<sup>165</sup> Miles 1986, 114–124; Eremin, Wilthew 1996, 27–35; Thickett 1998, 49–56; Korenberg, Bertolotti, 2019, 256; Bertolotti, 2015

<sup>166</sup> HDF = **Hochdichte Faserplatte**, nach DIN 68750

<sup>167</sup> Hersteller: z. B. Homanit GmbH & Co. KG, Postfach 1253, D-37402 Herzberg am Harz; Bahnhofstraße 30, D-37412 Herzberg am Harz. Eipper, 2004, 28

<sup>168</sup> Dabei werden Hackschnitzel unter Druck und Temperatur zerfasert, anschließend mit Bindemittel gemischt und in der Heißpresse unter Druck verpresst. HDF Homadur<sup>®</sup>, technisches Datenblatt der Homanit GmbH & Co. KG, Herzberg, o. S., o. J.

Die Homadur<sup>®</sup>-Platte hat einen Leimanteil<sup>169</sup> von 1,5 %<sup>170</sup> 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<sup>®</sup>-Platte ist wie MDF-Topan<sup>®</sup> 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 (fotometrisch bei einer Bezugsfeuchte von 6,5 %), der Gasanalysenwert zwischen 1,2 HCHO/(h·m<sup>2</sup>) und 1,6 HCHO/(h·m<sup>2</sup>).

## OSB-Platten

Grobspanplatten, auch OSB-Platten (englisch für **oriented strand board**, bzw. **oriented structural board**, bzw. „Coarse chipboard“, = „Platte aus ausgerichteten Spänen“), sind Holzwerkstoffe, die aus langen, schlanken Spänen (strands) hergestellt werden. Erfinder war Armin Elmendorf im Jahre 1963. Sie wurden ursprünglich aus Abfallprodukten der Furnier- und Sperrholzindustrie hergestellt. Bei der Produktion werden aus entrindetem Rundholz in Längsrichtung durch rotierende Messer Späne (Strands) herausgeschnitten. Die natürliche Feuchtigkeit der Späne wird bei hohen Temperaturen reduziert, um die Späne danach mit ausreichend Bindemittel benetzen zu können. Während des Pressvorgangs darf nicht zu viel Feuchtigkeit in den Spänen vorhanden sein, da sonst der entstehende Dampfdruck die Rohplatte zum Platzen bringen könnte. Das Bindemittel wird in einer Beilemmaschine fein verteilt auf die Späne aufgebracht. Die etwa 100–200 mm langen, 10–50 mm breiten und 0,6–1,5 mm dicken Späne werden im Wurfverfahren längs und quer orientiert so gestreut, dass sie kreuzweise in drei Schichten angeordnet werden. Unter hohem Druck und hoher Temperatur (200–250 °C) werden die Platten größtenteils auf kontinuierlichen Pressen hergestellt. Zur Verklebung werden PF-Bindemittel (USA), MUPF-Bindemittel (Melamin-Harnstoff-Phenol-Formaldehyd) und PMDI-Bindemittel<sup>171</sup> verwendet, wobei vor allem aus qualitativen Gründen der Anteil an PMDI überwiegt. Sehr häufig wird in der Mittelschicht PMDI eingesetzt und in den Deckschichten MUF- bzw. MUPF-Bindemittel. Bei nach der E1-Norm

---

<sup>169</sup> 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.

<sup>170</sup> Die Dichte der HDF-Homadur<sup>®</sup>-Platte ist vor allem an der Oberfläche höher als die der MDF-Platten (600–850 kg/m<sup>3</sup>) oder der Masonit-Platte, weshalb sie weniger feuchtigkeitsausgleichend wirkt.

<sup>171</sup> Polymeres Diphenylmethandiisocyanat. PMDI ist eine braune, sehr schwer entzündliche Flüssigkeit (Flammpunkt über 200 °C), und hat eine höhere Dichte als Wasser. Der Schmelzpunkt liegt bei ca. –24 °C. Bei 20 °C beträgt die Dichte rund 1,23 g·cm<sup>-3</sup>. Im Vergleich zu anderen Bindemitteln ist PMDI zwar teurer, aber niedriger im Verbrauch, weist eine hohe Hydrolysebeständigkeit auf, ist frei von Formaldehyd. Beim Be- und Verarbeiten dieser Holzwerkstoffe sind besondere Schutzmaßnahmen (TRGS – Technische Regel für Gefahrstoffe) zu beachten, da die Stäube und die Gase bei Erhitzung (z. B. durch Bohren und Schleifen) gesundheitliche Beeinträchtigungen hervorrufen können. Im Brandfall entwickelt sich Blausäure. Die Einstufung in die Brandklassen (B2) sagt nichts über diese Vergiftungsgefahr aus.

hergestellten OSB-Platten beträgt der Grenzwert für Formaldehyd,<sup>172</sup> der der Chemikalien-Verbotsverordnung zu Grunde liegt, 0,1 ppm (124 µg/m<sup>3</sup>).<sup>173</sup>

## 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 separat gelagert werden.<sup>174</sup>

## 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/m<sup>2</sup>). Es ist chlor-, holz-, säurefrei und korrosionsneutral erhältlich. Unbedenklich sind die holzfreien Hadern- und Büttenpapiere (zwischen 70 und 135 g/m<sup>2</sup>). 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/m<sup>2</sup>.

**Pappe**<sup>175</sup> (ab 225 g/m<sup>2</sup>) wird aus Holz, Zellstoff, Halbzellstoff oder Altpapier durch Zusammenkleben oder -pressen hergestellt. Lediglich Archivpappe/Feinpappe – eine

---

<sup>172</sup> Klasse E1: ≤ 8 mg Formaldehyd pro 100 g Werkstoff / Klasse E2: 8 bis 30 mg Formaldehyd pro 100 g Werkstoff.

<sup>173</sup> Makowski, Ohlmeyer, 2006, 417–422; Ohlmeyer, Makowski, Schöler, Hasch, Fried 2008, 1–86;

<https://de.wikipedia.org/wiki/Grobspanplatte>; [https://www.chemie-schule.de/KnowHow/PMDI?utm\\_content=cmp-true](https://www.chemie-schule.de/KnowHow/PMDI?utm_content=cmp-true)

<sup>174</sup> Martens, 2012, 48-50; ASHRAE, 2007.

<sup>175</sup> 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.

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<sup>176</sup> 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<sub>3</sub>) 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.<sup>177</sup>

## **Textilien**

Auch „stuhlröhe“ 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 Flammenschutzmitteln<sup>178</sup> 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).

---

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.

<sup>176</sup> Eipper, 2004, 28; Lipp, Kracht, 2021, 48

<sup>177</sup> Pospischil, 2019, 50–53

<sup>178</sup> Z. B. ECOGARD® B45 = Diethylenglykolmonobutylether (2-(2-Butoxyethoxy)ethanol)

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

Ungeeignet sind nicht alterungsbeständige PU-haltige Gewebe (z. B. Lycra<sup>®</sup>, Elasthan<sup>®</sup>).

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.<sup>179</sup> Baumwolle oder Polyestergewebe sind hierfür besser geeignet.

**Wollfilz:** Die Eigenschaft der Wolle, Schwankungen der relativen Luftfeuchtigkeit auszugleichen,<sup>180</sup> 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 (CS<sub>2</sub>) und Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) nachgewiesen werden. Die Feuchtigkeitsanteile der Wolle (20–80 Gew.-%) erhöhen die Abgabe von COS und CS<sub>2</sub> 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 (Ag<sub>2</sub>S) bzw. zu Veränderungen der Oberfläche.<sup>181</sup> Sollte Wolle verwendet werden, sollten nur ungefärbte, unbeschichtete<sup>182</sup>, reine<sup>183</sup>, im Walkverfahren<sup>184</sup> hergestellte Stückfilze<sup>185</sup> zur Beschichtung eingesetzt werden. Dieser Filz muss der Europäischen Norm EN 71 (Spielzeugnorm) entsprechen, da sonst die

---

<sup>179</sup> Dubus, Le-Hô, Moulherat, 2007, 259

<sup>180</sup> 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

<sup>181</sup> Brimblecombe, Shooter, Kaur, 1992, 58; Sease, Selwyn, Zubiato, Bowers, Atkins, 1997, 7

<sup>182</sup> D. h. nicht selbstklebender Filz oder nicht mit Klebefoliebeschichtung ausgestatteter Filz.

<sup>183</sup> Z. B. für feine Filze reine Schurwolle, wie z. B. von Merinoschafen. Heimann, o. J., 7

<sup>184</sup> 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

<sup>185</sup> Auch „feltine“ genannt. Mitteilung der Filzfabrik Fulda. Die Verwendung von „Formfilz“ ist nicht anzuraten, da dieser viel zu hart ist. Eipper 1995, 47f

Gefahr ausdünstender Farb- und Klebemittel sowie hochsiedender Lösemittel (Weichmacher) gegeben ist. Aufgrund dieser Einschränkungen kann es angezeigt sein, statt Wollfilz auf **Polyesterfilze** zurückzugreifen. Diese sind härter und nicht klimaaktiv. Stückfilze sollten durch Tackerklammern<sup>186</sup> oder durch weichmacherfreie<sup>187</sup> Klebedispersionen<sup>188</sup> rückseitig auf der Weichfaserplatte fixiert werden.

Erwähnt wird in der Literatur auch ein **Aktivkohletuch**,<sup>189</sup> welches für Vitrinen Verwendung finden könnte. Dass die vorgeschlagenen Aktivkohlefilter<sup>190</sup> 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.<sup>191</sup>

### **Kunststoffprodukte<sup>192</sup> (Platten, Folien, Formteile, Schaumstoffe, Isolierungen, Kabel, Dichtungsmassen)**

Kunststoffe sind aufgrund ihrer Emissionen ein nicht zu unterschätzender Faktor. Flüchtige organische Verbindungen (VOC)<sup>193</sup> 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.<sup>194</sup> 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®

---

<sup>186</sup> Diese Klammern sollten durch ein Tape/Filz/Klettband abgeklebt werden, um sie so vor dem möglichen Abfallen zu sichern.

<sup>187</sup> D. h. bei Polyvinylacetaten (PVAc) innerlich weichgemachte PVAc, also copolymere PVAc.

<sup>188</sup> Z. B. copolymere Polyvinylacetat (PVAc)-Dispersionen: Hoechst Mowilith DM 5, DM 105; Wacker Vinnapas bzw. Airflex EP 1, EP 11, EP 17. Auch die weniger klebestarken Acryldispersionen, wie z. B. Röhm Plectol D 498, Plectol B 500, sind einsetzbar. In der Restaurierung gebräuchliche PVAc-Dispersionen und ihre Mischungen untereinander sind behandelt in: Eipper, 1993, 53–81

<sup>189</sup> Griffith, 1997, zit. in Waentig, 2004, 170

<sup>190</sup> Erhardt, 1991, 33; Parmar, Grosjean, 1989; Grosjean, Williams, Grosjean, 1993, 830–840

<sup>191</sup> Griffith, 1997, zit. in Waentig, 2004, 170

<sup>192</sup> Dolezel, 1978; Rink, Schwahn, 1983; Waentig, 2004; Brazel, Rosen, 2012

<sup>193</sup> 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/Fl%C3%BCchtige\\_organische\\_Verbindingen](https://de.wikipedia.org/wiki/Fl%C3%BCchtige_organische_Verbindingen); 20.2.2019)

<sup>194</sup> Kearney, Parkin, Townsend, Hidalgo, Curran, 2018, 369–371

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

Polyethylen<sup>195</sup> (dabei ist PE-HD stabiler als PE-LD, bzw. PE-LLD), z. B. Alathon<sup>®</sup>, Dyneema<sup>®</sup>, Hostalen<sup>®</sup>, Lupolen<sup>®</sup>, Polythen<sup>®</sup>, Spectra<sup>®</sup>, Trolen<sup>®</sup>, Vestolen<sup>®</sup> und Dibond<sup>®</sup> (PELD beschichtet mit Aluminium).

Polycarbonat, z. B. Lexan<sup>®</sup>, Tuffak<sup>®</sup>, Makrolon<sup>®</sup>

Polymethylmethacrylat (PMMA), z. B. Lucite<sup>®</sup>, Plexiglas<sup>®</sup>, Perspex<sup>®</sup>

Polypropylen (PP)<sup>196</sup>, z. B. Cellplas<sup>®</sup>, Tyvek<sup>®</sup>,<sup>197</sup> 3M<sup>™</sup> Propore<sup>®198</sup>

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.<sup>199</sup> Es sollten bei Schaumstoffen keine Rückstände aus der Produktion auftreten. Unter den Schaumstoffen sind physikalisch aufgeschäumte Niederdruck-Polyethylenschäume<sup>200</sup> (z. B.

---

<sup>195</sup> Jägers, 2008, 105. Der Schmelzpunkt als auch die CO<sub>2</sub>- und Wasserdampfdurchlässigkeit von LDPE sind geringer als jene von HDPE, weshalb LDPE als Schrumpffolie eingesetzt wird. LDPE-Folien sind weicher und flexibler als HDPE-Folien.

<sup>196</sup> Folien und Verpackungscontainer aus PE sind solchen aus PP vorzuziehen. Larkin, Blades, Makridou, 2000, 44

<sup>197</sup> Tyvek<sup>®</sup> 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). Als Alternative zu Tyvek bietet sich „Lyocell“ an. Im Vergleich zu Kunststofffasern (PE, PP, Polyester) nimmt Lyocell aus Cellulosefasern aber Feuchtigkeit aus der Umgebung auf und gibt sie wieder ab. Somit kann das Verpackungsmaterial über längere Zeitspannen oder raschen Klimawechseln mit der jeweiligen Objekt Oberfläche verkleben. Es ist bei Objektberührung zudem abrasiv. Das Material ist temperaturstabil bis ca. 180°C (an der Luft) und hat keinen Erweichungs- bzw. Schmelzpunkt. Allerdings befinden sich Reste eines finishes, einer nicht-tensidischen Zubereitung aus Fettsäureglykolestern darauf, welche zur Einstellung der Faser-Faserhaftung dienen. Die Auftragsmenge beträgt 0,1% w/w, der Großteil wird während der Wasserstrahlverfestigung wieder ausgewaschen. Die Herstellung von Lyocell ist sehr energieintensiv. [www.lenzing.com](http://www.lenzing.com)

<sup>198</sup> Unter Druck und Hitze fließgepresste Polypropylenfasern. Adolfs, 2010, 28; Araya Monasterio, Icaza Toro, 2016, 25–40

<sup>199</sup> Morris, 1985, 182; Erhardt, 1991; White, 1987

<sup>200</sup> Die PE-HD (High Density) sind den PE-LD (Low Density) sowie den PE-LLD (Linear Low Density)-Produkten an Alterungsbeständigkeit überlegen (<https://de.wikipedia.org/wiki/Polyethylen>; 27.01.2022).

Neopolen<sup>®</sup>, Ethafoam<sup>®</sup>, Plastazote<sup>®</sup>),<sup>201</sup> Polypropylen (z. B. Microfoam<sup>®</sup>) 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 Stoffen<sup>202</sup>) und Weichverschäumung (diese erfolgt chemisch durch Anwendung wasserhaltiger Polyolkomponenten<sup>203</sup>) unterschieden werden. Bei der formgebenden Polyaddition reagiert das Wasser mit einem Teil des Isocyanats<sup>204</sup> unter Bildung von Kohlendioxid, das die Masse verschäumt, wobei diese zugleich gummiartig erstarrt. Diese Schäume sind ebenfalls nicht hygroskopisch. Vulkanisierte Gummischäume- und -matten verschwärzen silberhaltige Gegenstände und sind nicht stabil. 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.<sup>205</sup> Dies sollte vor allem bei genormten Leihkisten beachtet werden, welche durch Schaumstoffeinlagen für den zu verpackenden Kunstgegenstand passend gemacht werden.

Sockel in Vitrinen für leichtgewichtige Exponate können aus Hochdruck-Polyethylenschäumen (PE-HD)<sup>206</sup> oder auch aus Corian<sup>207</sup> oder idealerweise aus Metall-(Aluminium-)schäumen<sup>208</sup> gefertigt werden.

**Holzleime, Klebstoffe, Klebebänder, Heißsiegelkleber und Dichtungen** sind nach Möglichkeit zu vermeiden. Keinesfalls sollten diese Materialien mit den Objekten in Kontakt

---

<sup>201</sup> Diese Polyethylenschäume enthalten keine Weichmacher, sind säurefrei, FCKW-frei, abriebfest und chemisch inert. Sie sind leicht passend zuzuschneiden. Ihre Wiederverwertbarkeit und recycling-Fähigkeit macht sie auch für das „Grüne Museum“ beachtenswert. Araya Monasterio, Icaza Toro, 2016, 25–40

<sup>202</sup> Araya Monasterio, Icaza Toro, 2016, 25–40

<sup>203</sup> Z. B. Polyalkohole, Polyhydroxy-Verbindungen mit mindestens zwei alkoholischen Hydroxylgruppen im Molekül, wie z. B. Diöle, Glykole, Glycerin u. a., Zuckeralkohole wie Sorbit, Ionosit.

<sup>204</sup>  $R-NCO + H_2O \rightarrow R-NH_2 + CO_2$

<sup>205</sup> Waldemar Stühler, TU Berlin, stellte dies bereits auf dem BDR-Symposion „Die Kunst zu verpacken ...“, 19.11.1994, Köln, fest.

<sup>206</sup> Neopolen<sup>®</sup>, Ethafoam<sup>®</sup>, Plastazote<sup>®</sup>), bzw. Polypropylen (z. B. Microfoam<sup>®</sup>). Kreutner, Richter, 2010, 22–26

<sup>207</sup> 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. <http://de.wikipedia.org/wiki/Verbundwerkstoff>. Der Kunststoff besteht zu etwa 66 % seines Gewichts aus Gibbsite (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); Kompatscher, Ankersmit, Neuhaus, van Aarle, van Schijndel, Schellen, 2020, 266

<sup>208</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Metal\\_foam](https://en.wikipedia.org/wiki/Metal_foam); <https://de.wikipedia.org/wiki/Metallschaum>

geraten oder in abgeschlossenen Vitrinen verbaut werden.<sup>209</sup> 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.<sup>210</sup>

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.<sup>211</sup>

Einige Acrylharzkleber (z. B. Paraloid B 72) oder transparente Acrylharzkleber auf Polyesterklebebandern (Scotch Brand Tape # 415), Zwei-Komponenten-Epoxidharzkleber (z. B. Hxtal NYL-1, EpoTek 301-2) und auch PVAc-Emulsionen wie Mowilith DMC 2 sind 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 Ethylenvinylacetat (EVA) stellen ebenfalls eine sichere Variante dar.<sup>212</sup>

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

---

<sup>209</sup> Dix, Raquet, 2016, 78–87

<sup>210</sup> Schieweck, Markewitz, Salthammer, 2007, 67–72

<sup>211</sup> Eipper, 1993, 72-78

<sup>212</sup> 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

**Naturkautschuk- oder Zellkautschukklebebänder:** Diese Dichtungsbänder sind an sich nicht empfehlenswert.<sup>213</sup> Sollten diese eingesetzt werden, dann unbeschichtet und separat mit einer Dispersion<sup>214</sup> 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.<sup>215</sup> 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.

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, Alginate, 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-100, Triton X-405;

---

<sup>213</sup> Curran, Underhill, Gibson, Strlic, 2016, 909–918

<sup>214</sup> 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.

<sup>215</sup> National Park Service, 2016, 4:56; Tétreault, 1999, 1–46

Dispergierhilfen, z. B. Oligophosphat, Polycarboxylat, Kalium- oder Kalziumsalmze; Filmbilde-Hilfsmittel, z. B. Alkoholester, Benzoatester, Glykolether, Glykoletherester, n-methyl-2-pyrrolidon, Dibutylphtalat; 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.<sup>216</sup>

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 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.<sup>217</sup>

In der Regel werden handelsübliche Dispersionsfarben eingesetzt. Ihre hohe Deckfähigkeit, vielfältige Tönbarkeit und einfache Verarbeitung sprechen für ihren Einsatz. Doch

---

<sup>216</sup> Eipper, 2017, 155; ders. 2011, 57–83

<sup>217</sup> Die gefährlichen Bestandteile der Farbe stellen hierbei die Zusatzstoffe oberflächenaktiver Substanz, Filmbildhilfsmittel, 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

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.<sup>218</sup>

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 Titandioxidpigmente<sup>219</sup> – in der Regel durch UV-Licht – energetisch angeregt, 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.<sup>220</sup> 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.

---

<sup>218</sup> Botzenhart, Müller, Strubelt, 2001

<sup>219</sup> 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

<sup>220</sup> Eipper, 2002, 3621–3627

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 wischbeständig<sup>221</sup> und zweikomponentige Reinsilikatfarben schwierig zu verarbeiten sind.

Weiter gibt es Aktivkohleanstriche,<sup>222</sup> 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,<sup>223</sup> werden den Dispersions- und Latexfarben beigegeben und können über längere Zeit ausdampfen.<sup>224</sup>

### **Schutzlacke/Überzüge**

Auch Schutzüberzüge auf Metallen können sich auf die Umgebung auswirken: Silbercyanid/-Nitrat Korrosion wird durch Zellulosenitratprodukte forciert, weshalb der Einsatz solcher Klebearze bzw. Überzüge, vor allem wenn in korrosiven Lösemitteln wie Ethylacetat oder in Kombination mit Weichmachern verwendet, sorgsam überlegt sein sollte.<sup>225</sup>

**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

---

<sup>221</sup> Vgl. Eipper, 2000, 2577

<sup>222</sup> Griffith, 1997, zit. in Waentig, 2004, 170

<sup>223</sup> 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).

<sup>224</sup> 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. Rhyll-Svendsen, 2001, 613–619

<sup>225</sup> Eggert, Kuitert, Ziegler, Bette, Stelzner, 2019, 129; Schweitzer, 2009, 1–416

aufsummieren. Die verwendeten Stoffe sollten möglichst keinen Staub, keine Sporen oder schädliche Fasern enthalten oder freisetzen, sie sollten keine Schädlinge anziehen oder saure Produkte abspalten. Farbstoffe und Pigmente in Textilien, die nicht farbecht sind und ausbluten können, sollten besonders hier vermieden werden. Dichtheit bewahrt die Exponate also nicht nur vor äußeren Einflüssen, sie kann im Gegenteil sogar auch Schaden anrichten. Um hier die Vielfalt der möglichen verwendbaren Materialien einzugrenzen und Richtlinien für möglichst objektschonende Präsentationsbehältnisse zu erstellen, wurde der Versuch einer Normierung unternommen: Die ÖNORM EN 15999-1 aus dem Jahr 2014 für die „Erhaltung des kulturellen Erbes – Leitfaden für die Konstruktion von Schauvitriolen zur Ausstellung und Erhaltung von Objekten“ bezieht sich auf den Schutz vor UV-Strahlung, Schadstoffen aus der Umgebungsluft, Temperaturschwankungen, Mikroben und Bakterien, Schädlingen sowie Schwankungen der Luftfeuchtigkeit. Es ist möglich, die Schadstoffe mit Filtern aus der Luft zu entfernen oder aber „frische“ Luft in die Vitrine zuzuführen, um die Aufsummierung schädlicher Stoffe gar nicht erst aufkommen zu lassen. Um dies zu ermöglichen wird eine Luftwechselrate (LWR) von  $\approx 0,2$  in Verbindung mit einer aktiven Belüftung oder bestenfalls einer Klimatisierung empfohlen. Der entstehende Überdruck verhindert das Eindringen von mit Staub versetzter Umgebungsluft, wobei die kontrolliert eingeleitete Luft die Verhältnisse in der Vitrine steuert. Bei einer hochwertigen Museumsvitrine dauert es durchschnittlich zwischen zweieinhalb (AER 0,4) und zehn Tagen (AER 0,1), bis sich die gesamte Luft einmal komplett ausgetauscht hat. Ermittelt wird die LWR, indem über einen bestimmten Zeitraum der Abfall der Konzentration eines in ein Raumvolumen eingebrachten Indikatorgases gemessen wird, wobei die Geschwindigkeit des Konzentrationsabfalls die Berechnungsgrundlage der LWR bildet. Für die Auswertung der Messergebnisse wird fast ausschließlich das „lineare Austauschgesetz“ herangezogen, das unter nicht optimalen Bedingungen jedoch sehr fehleranfällig ist. 2011 ein Forschungsprojekt gestartet, in dem das lineare Austauschgesetz um bestimmte Parameter erweitert wurde, wodurch nun äußere Umstände und Einflüsse auf den Luftaustausch berücksichtigt werden. Eine Konstruktion ganz ohne Schadstoffe ist im Vitriolenbau aufgrund der verwendeten Kleber und Dichtstoffe nicht möglich, weshalb das fertige Produkt immer einen geringen Teil an Schadstoffen in die Luft entlässt. Zur Überprüfung schädlicher Inhaltsstoffe bei den verwendeten Materialien gibt es verschiedene Testverfahren, wie z. B. der – auch kommerziell erhältliche – Oddy-Test.<sup>226</sup> Er wird eingesetzt, um die Schädlichkeit und das Ausmaß der ausdiffundierenden Gase zu

---

<sup>226</sup> Oddy, 1997, 27–28; Bamberger, Howe, Wheeler, 1999, 86–90; Stephens, Buscarino, Breitung, 2018, 425–427; Heine, Jeberien, 2018, 362–365; Korenberg, Keable, Phippard, Doyle, 2018, 2–12; DOI: 10.1080/00393630.2017.1362177; [https://en.wikipedia.org/wiki/Oddy\\_test](https://en.wikipedia.org/wiki/Oddy_test)

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 oder einer Pinzette angefasst werden. Die Metall- und Materialproben werden in die Vitrine gehängt/gelegt.

Wie Untersuchungen zeigen, muss auch bei der Kombination verschiedener Materialien Vorsicht walten: In einem Beispiel zeigte sich Silberkorrosion selbst bei der Verwendung von eloxiertem Aluminium, welches mit Ameisen- und Essigsäure abgebenden Materialien verbaut war.<sup>227</sup> Die Wechselwirkung der Materialien untereinander wie auch die aus der Beschichtung stammenden schädigend wirkenden Substanzen sollten vor der Vitrinenbestückung gemessen werden. Mehrfach – auch für verschiedene Formate – verwendbare Kisten mit einer zumindest 20-jährigen Lebensdauer.<sup>228</sup>

**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.**<sup>229</sup>

Vitrinen sollten von der Raumschale entkoppelt sein.<sup>230</sup> Eine Klimatisierung von Vitrinen kann also nicht nur technisch aufwendig durch kleine Klimaanlage in Sockeln oder Aufsätzen von Vitrinen erfolgen – wobei die Variante der Klimaanlage auf den Vitrinen sinnvoller ist, da die erzeugte Wärme nach oben hin abgegeben wird, dennoch ist davon auszugehen, dass betriebsbedingte Erschütterungen durch diese Apparate ausgelöst werden können – sondern auch durch die in der Vitrine verwendeten Baustoffe. Eine gewisse Dichtigkeit des Gehäuses setzt dies selbstredend voraus. Dennoch sollten Vitrinen natürlich jederzeit<sup>231</sup> zur Lüftung wie auch Bestückung zu öffnen sein.

Eine andere Möglichkeit der passiven, kostengünstigen, wenig wartungsintensiven Befeuchtung stellen Salze dar<sup>232</sup> - welche auch die Fähigkeit haben Formaldehyd zu

---

<sup>227</sup> Raquet, Hoppe, Dix, Helbig, Mack, Kaliwoda, 2017, 21ff

<sup>228</sup> Verhoeff, Kracht, 2021, 30

<sup>229</sup> Grzywacz, 2006, 94; Korenberg, Bertolotti, 2019, 257

<sup>230</sup> Kompatscher, Ankersmit, Neuhaus, van Aarle, van Schijndel, Schellen, 2020, 266

<sup>231</sup> Schoder, 2010, 23–25

<sup>232</sup> Lampropoulos, Maneta, 2021, 35

binden,<sup>233</sup> die je nach der Empfindlichkeit und den Erfordernissen, die das eingelagerte Kunstgut bedingt, im Sockel in Edelstahlwannen eingelagert werden können.<sup>234</sup> In geschlossenen Gehäusen erzeugen nachstehende Salze folgende relative Luftfeuchtigkeiten bei 20 °C über der Lösung:<sup>235</sup>

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	$\text{NaNO}_2$	65 % r. L.
Ammoniumnitrat	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	63 % r. L.
Calciumnitrat	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	55 % r. L.
Kaliumcarbonat	$\text{K}_2\text{CO}_3$	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.

Eine ideale Verwahrung von Gemälden stellt eine Glasvitrine innerhalb des Zierrahmens dar. Viele Erfahrungsberichte liegen diesbezüglich schon vor. Derzeit findet diese Variante eher bei wertvollen oder sehr gefährdeten Objekten Anwendung. Die Gemäldevitrine ist in der Größe limitiert.<sup>236</sup>

### 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

<sup>233</sup> Lösungen können wasserlösliche Schadstoffe wie Säuren oder Aldehyde aus der Atmosphäre absorbieren, was für Formaldehyd in Kammerversuchen erfolgreich nachgewiesen wurde. Die alkalische Kaliumcarbonatlösung löst Säuren und Aldehyde nicht nur auf, sondern reagiert auch chemisch mit ihnen. Eggert, 2022, 1–6

<sup>234</sup> Die Luft in der Vitrine von Tizians „Der Zinsgroschen“, um 1516, Öl auf Holz, in den Staatlichen Gemäldesammlungen Dresden wird seit Jahrzehnten auf diese Weise konditioniert.

<sup>235</sup> Merck, Tabellen für das Labor, o. J., 80

<sup>236</sup> Wadum, 2000, 96–100; Pelludat, Seidel, 2004, 31–34; García-Gómez, Juárez Marcos, 2004, 225; Verticchio, Frasca, Garcia-Diego, Siani, 2019, 7, 98; doi:10.3390/cli7080098

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 %  $\text{SiO}_2$  und 3 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . 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 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  $\pm 2$  % r. L.<sup>237</sup>

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.<sup>238</sup> 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.<sup>239</sup> Dicht schließende Vitrinen weisen folgende Mängel auf:

- Sie sind höchst unpraktikabel: Ein Öffnen ist nur durch das Aufschneiden der Silikonfugen möglich. Im Katastrophenfall<sup>240</sup> 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 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 im Bereich von Lichtkegeln punktueller Beleuchtung.
- Aufgrund des schädlichen Vitrinenklimas (Glasfaserbeleuchtung inkl. Trafo führt zur Erwärmung, spots in der Vitrine, besonders Halogenlampen, heizen das Klima auf) kann es an Tafelbildern zu Haftungsverlust und Abblätterungen der Malschicht

---

<sup>237</sup> <http://www.cwaller.de/deutsch.htm?artsorb.htm~information>

<sup>238</sup> Kongress des VDR (Verband der Restauratoren e.V.) in Köln am 20.11.2009

<sup>239</sup> 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; Rhyll-Svendsen, 2001, 613–619; Richter, 2000, 406–412; Torge, Jann, Pilz, 2000, 436–441; Wagner, Frischat, Hellmond, 2000, 419–418

<sup>240</sup> Safeguarding Cultural Heritage through Technical and Organisational Resources Management; Current practice for management and conservation of Cultural Heritage; 2017, 1–208. STORM Project: European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement n°700191, 2016-2019. <https://cordis.europa.eu/project/id/700191/de>

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-Butanonoxim<sup>241</sup>) 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.).<sup>242</sup>

- Vor der Anschaffung verklebter Vitrinen<sup>243</sup> muss dringend abgeraten werden: Sie schädigen die Objekte und verursachen unnötige Kosten.<sup>244</sup>
- Es sollte uns bewusst sein, dass verklebte Vitrinen objektschädigend und unpraktikabel sind, egal in welchem Museum und unabhängig von den Objekten, die

---

<sup>241</sup> 2-Butanonoxim kann durch katalytische Ammoxidation 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 Methyläthylketonoxim, 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/m<sup>3</sup>, obere Explosionsgrenze: 12,3 Vol.-% bzw. 445,3 g/m<sup>3</sup>. 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)

<sup>242</sup> Korenberg, Bertolotti, 2019, 249

<sup>243</sup> Solche Vitrinen wurden 2005 von der Kunsthistorikerin Barbara Kaiser an der Alten Galerie, Schloss Eggenberg installiert. Sie sind bis heute in Verwendung. Sie sind nicht nur mit einem Polyisocyanatkleber zugeklebt, sondern beinhalten auch einen, mit Acrylfarbe überstrichenen, ausdampfenden Pressspansockel im inneren.

<sup>244</sup> Dix, Raquet, 2016, 78–87

darin präsentiert werden sollen.<sup>245</sup> Auch kurzfristige Aufbewahrungen in solcher Atmosphäre schädigen die Objekte.<sup>246</sup>

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.<sup>247</sup> 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 Tafelsilber<sup>248</sup> hingegen wurde nach einer umfassenden Restaurierung 2017 in einer nach neuesten technischen Erkenntnissen und mit Luftfiltern ausgestatteten Reinraumvitrine aufgestellt.<sup>249</sup>

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.<sup>250</sup> 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, ungeeignete Materialien zu ersetzen oder Schadstoffe aus der Umgebungsluft auszufiltern.<sup>251</sup> Prinzipiell gilt: Nirgendwo wird zum ersten Mal das einzige Depot- bzw. das erste Museumsgebäude geplant und gebaut. Ein interdisziplinärer Austausch auf Augenhöhe hilft

---

<sup>245</sup> 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; Rhyll-Svendsen, 2001, 613–619; Schieweck, 2009, 7; Schieweck, Salthammer, 2009, 218–235; Sease, Selwyn, Zubiato, Bowers, Atkins, 1997, 1–10; Thomson, 1986; Wagner, 2005

<sup>246</sup> 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

<sup>247</sup> Costa, 2001, 19–35; Sease, Selwyn, Zubiato, Bowers, Atkins, 1997, 1–10; Chiantore, Poli, 2021, 364

<sup>248</sup> Das Geschirr des Hildesheimer Fürstbischofs Friedrich Wilhelm von Westphalen besteht aus über 200 Einzelteilen.

[https://www.bayerisches-](https://www.bayerisches-nationalmuseum.de/index.php?id=491&tx_paintingdb_pi%5Bp%5D=21&cHash=bf43e2f9b1957e1da644d18ab8f18fc2)

[nationalmuseum.de/index.php?id=491&tx\\_paintingdb\\_pi%5Bp%5D=21&cHash=bf43e2f9b1957e1da644d18ab8f18fc2;](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>

<sup>249</sup> Roidl, 2016, 36–41; <https://www.bayerisches-nationalmuseum.de/index.php?id=917&L=0>

<sup>250</sup> Holl, Kilian, Klemm, Lengsfeld, Bichlmair, Krus, 2018, 366–368

<sup>251</sup> Thickett, 2018, 262–267

Fehler zu vermeiden und Folgekosten zu sparen. Bei zeitgemäßen Depots sollte die Klimastabilität und Energieeffizienz oberste Priorität haben.

### **UV-Schutz**

Schon seit vielen Jahrhunderten schützt man Gemälde vor Licht. Manche Maler wie Rembrandt oder Adriaen van der Spelt und Frans van Mieris haben Trompe-l'Oeils davon gemalt.<sup>252</sup> Licht ist Energie und infolgedessen löst jede Bestrahlung Prozesse im bestrahlten bzw. erwärmten Ausstellungsgut aus. Die schädigende Wirkung der vor allem im Tageslicht, aber auch im Licht von Beleuchtungskörpern enthaltenen kurzwelligeren UV-Strahlen ist bekannt.<sup>253</sup> In verschieden langen Zeiträumen können sie chemische Reaktionen an fast allen empfindlicheren Museumsobjekten (z. B. Textilien, Papier, Gemälde, ethnografische Objekte, Holz, Kunststoffe, insbesondere beim Abbau von Malmaterial und bestimmten Pigmenten) verursachen.<sup>254</sup> Vor diesen gefährlichen, zerstörenden UV-Strahlen muss das Kulturgut geschützt werden, d.h. vor allem Fenster, aber auch Vitrinen und andere Verglasungen (z.B. von Graphiken, Gemälden) sowie Beleuchtungskörper in Ausstellungsräumen sollten mit einem UV-Schutz ausgestattet werden. Fotoblitze sollten nicht gestattet werden.

### **Allgemeine Definitionen**

Lumineszenz (Wie entsteht Licht?): Nach dem Bohrschen Atommodell bewegen sich Elektronen nicht in beliebigem Abstand um den Kern, sondern nur auf ganz bestimmten, durch eine Quantenbedingung ausgezeichneten Bahnen, den sog. stationären oder erlaubten Bahnen oder Quantenbahnen. Die Elektronen bewegen sich auf diesen stationären Bahnen strahlungsfrei, d. h. ohne Energieverlust. Je größer der Abstand der Bahnen vom Kern ist, um so größer ist das Energieniveau des Elektrons. Der Übergang von einer Quantenbahn auf eine andere, der so genannte Elektronen- oder Quantensprung, erfolgt dabei immer unter Aufnahme oder Abgabe der entsprechenden Energiedifferenz. Beim Übergang zu einer niedrigeren Energiestufe wird die Energiedifferenz in Form eines Photons abgegeben. Absorption oder Emission von Strahlung kann nur in dem Energieabstand entsprechenden Frequenzen erfolgen. Die Energie wird dabei in Elektronenvolt (eV) angegeben.

Man unterscheidet zwischen strahlungsphysikalischen Größen, die sich auf Strahlung

---

<sup>252</sup> Z. B.: Rembrandt: Die heilige Familie vor dem Vorhang; Holztafel; 45 x 67 cm; signiert und datiert: Rembrandt ft. 1646; Kassel, Gemäldegalerie; Adriaen van der Spelt (Dutch, 1630–1673), Frans van Mieris (Dutch, 1635–1681), Trompe-l'Oeil Still Life with a Flower Garland and a Curtain, 1658, Oil on panel, 46.5 x 63.9 cm, Wirt D. Walker Fund, 1949.585, The Art Institute of Chicago

<sup>253</sup> Harrison, 1954; Krochmann, 1985/1986, 20; Hilbert, 1987,14, 68–70; Strasser, Masson, 1995, 47; Fischer et al, 1997, 331

<sup>254</sup> Schaeffer, 2001; Pohlmann, Schäning, 2011, 21–29; Druzik, Glaeson, Pearlstein, Pesme, Riedler, 2011, 30–35; Zorn, Dobrusskin, 2011, 257–266; Venosa, Burge, Nishimura, 2011, 267–280; Calienno, Pelosi et alii, 2015, 131

beliebiger Wellenlänge beziehen, und lichttechnischen Größen, die das sichtbare Licht, bezogen auf die spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Auges, bezeichnen.

Für den sichtbaren Bereich verwendet man zur Bewertung von Lichtstrom und Lichtstärke die fotometrischen Einheiten Lumen (lm) und Candela (cd). Diese bauen auf die Strahlungsbewertung durch das menschliche Auge auf. Für den übrigen Wellenlängenbereich werden strahlungsphysikalische Einheiten (z. B. Watt/sterad usw.) gebraucht. Der strahlungsphysikalischen Größe Strahlungsfluss (in Watt) entspricht die lichttechnische Größe Lichtstrom (in Lumen).

Die Lichtfarbe ist der Farbeindruck, den das Auge vom Licht des entsprechenden Leuchtmittels empfindet. Die Lichtfarbe wird durch die Farbtemperatur Kelvin bestimmt. Die Farbwiedergabeeigenschaften werden durch den Farbwiedergabe-Index (Ra) ausgedrückt. Ideal ist es, wenn ein Beleuchtungskörper die Gegenstände so wiedergibt, wie es bei natürlichem Tageslicht der Fall wäre. Man kann aber auch bestimmte Farben durch die Beleuchtung hervorheben und andere unterdrücken um so einen Gegenstand in einem „besseren Licht“ erscheinen zu lassen. Leider befinden sich aber in den Randbereichen des sichtbaren Lichtes für Kunstgüter schädliche Strahlungsanteile.

### **Energiespektrum der auf die Erde einwirkenden Strahlung**

Unsichtbar für das menschliche Auge sind: Kosmische Strahlung, radioaktive Strahlung, Röntgen-Strahlung, UV-Strahlung (100–380 nm). Für den Menschen sichtbares Licht hat Wellenlängen von 380–780 nm. Unsichtbar ist Infrarot-Strahlung (780–10.000 nm), Radar, Fernsehen, Rundfunk und technische Wechselströme. Der Mensch sieht tagsüber am besten bei etwa 555 nm (gelb-grün). Nachts reagieren andere Rezeptoren des menschlichen Auges, sie sind am empfindlichsten im blauen Bereich. Sehr starke Lichtquellen, deren Wärme wir fühlen können, sehen wir auch im infraroten Bereich (IR) bis etwa 1100 nm. Wir könnten auch ultraviolettes Licht wahrnehmen, wenn nicht die Augenlinse dieses Licht verschluckte. Menschen, deren Linse etwa wegen eines Grauen Stars operativ entfernt wurde, sehen bis zu etwa 300 nm. Insekten wiederum sind für ultraviolettes Licht besonders empfindlich.

### **UV-Strahlung**

Die ultravioletten Anteile des optischen Spektrums liegen jenseits des blauviolettten Bereichs und haben eine Wellenlänge von weniger als 380 nm. Je kürzer die Wellenlänge der UV-Strahlen, desto energiereicher, d. h., desto schädlicher für das Ausstellungsgut ist sie. Es werden drei ultraviolette Strahlungsbereiche unterschieden:

**UV-A = 320–380 nm.** Strahlen dieser längeren Wellenlängen dienen der Fluoreszenzanregung. Sie werden auch zur Behandlung von Hautkrankheiten und in Solarien zur Bräunung der Haut eingesetzt und sind nicht gesundheitsschädlich. In der Restaurierung dienen sie zur Sichtbarmachung späterer Firnisse und Übermalungen auf Kunstobjekten.

**UV-B = 280–320 nm.** Sie stellen die niedrigsten Wellenlängen der natürlichen Sonneneinstrahlung, welche die Erdoberfläche erreichen, dar. Wirken sie längere Zeit stark auf die Haut ein, können sie gesundheitsschädliche Wirkungen haben.

**UV-C = 100–280 nm.** Strahlen dieser kurzen Wellenlängen sind die energiereichsten. Sie "verbrennen" bereits nach kurzer Zeit die menschliche Haut, wirken keim- und bakterientötend (weshalb sie in Luftbefeuchtern eingesetzt werden) und lösen viele photochemische Prozesse aus.

## **Lichtquellen**

In der Optik unterscheidet man eine Vielzahl von Strahlungsquellen, die in die beiden Gruppen thermische Strahlungsquellen und Lumineszenzstrahler unterteilt werden können. Bei den thermischen Strahlungsquellen lassen sich natürliche Strahlungsquellen (z. B. die Sonne) und künstliche Strahlungsquellen (Temperaturstrahler, z. B. Kohle, Glühlampe) unterscheiden. In gleicher Weise kennt man bei den Lumineszenzstrahlern natürliche Strahler (z. B. kalte Oxidation in der Tierwelt) und künstliche Strahler (z. B. Metallampfen oder Gasentladungslampen, Leuchtstofflampen, Halbleiterlumineszenzdioden).

Es versteht sich von selbst, dass die wirksamste Reduzierung der Beleuchtungsstärke und -zeit durch künstliche Leuchtmittel dadurch erreicht wird, dass man die Leuchtkörper ausschaltet, sobald sich keine Besucher in der Sammlung aufhalten.<sup>255</sup>

## **UV-Schutzvorkehrungen an Beleuchtungskörpern**

Die schädigenden UV-Strahlen an Beleuchtungskörpern können durch relativ unaufwändige Maßnahmen ausgefiltert werden.

## **Mischlichtstrahler**

Dies „Spots“, also Quecksilberdampfhochdrucklampen (high-pressure mercury lamps) gehören wie die Leuchtstofflampen und Halogenmetallampfen zu den

---

<sup>255</sup> Hilbert, 2000, 456; Ulman, 2011, 52

Plasmalichtquellen (z. B. Osram Vitalux). Aufgrund ihrer sehr hohen Wärmeentwicklung, der sehr hohen Erzeugung von UV-A und UV-B Strahlung, bei sehr kurzer Lebensdauer von circa 3.000 Std. sollten diese häufig brandauslösenden Lampen schnellstmöglich durch geeignetere Leuchtsysteme ersetzt werden.

### **Vorkehrungen an Glühlampen**

Heute finden sich Glüh“birnen“ hauptsächlich nur noch an musealen Objekten. Das Licht der Glühlampe entsteht durch einen Draht (Glühfaden), der an elektrischen Strom angeschlossen wird, wodurch der Faden zu glühen beginnt und Temperaturstrahlung abgibt. Die Glaskolben sind zumeist mit Argon- oder Kryptongas gefüllt. Die aufgenommene elektrische Leistung wird jedoch nur zum Teil in Form elektromagnetischer Strahlung (hauptsächlich Infrarot, sichtbares Licht sowie sehr wenig Ultraviolett) abgestrahlt. Ein nennenswerter Teil wird über Wärmeleitung und -konvektion an Füllgas und Glaskolben sowie über Wärmeleitung an die Zuleitungs- und Haltedrähte der Glühwendel abgegeben. Der Anteil des sichtbaren Lichts erreicht maximal ca. 5 Prozent. Der Glühfaden strahlt mit einer Wellenlängenverteilung entsprechend dem Planckschen Strahlungsgesetz. Das Strahlungsmaximum der Strahlung verschiebt sich mit steigender Temperatur gemäß dem Wienschen Verschiebungsgesetz zu kleineren Wellenlängen hin. Um eine möglichst hohe Lichtausbeute zu erhalten und auch, damit das Licht möglichst natürlich „weiß“ erscheint, strebt man danach, das Strahlungsmaximum durch Temperaturerhöhung aus dem Bereich der langwelligen Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung) in den Bereich des sichtbaren Lichtes zu verschieben. Die Höchsttemperatur wird allerdings durch die Eigenschaften des Glühfadenmaterials begrenzt. Um möglichst hohe Temperaturen zu ermöglichen, verwendet man heute für Glühfäden das hochschmelzende Metall Wolfram (Schmelztemperatur  $(3422 \pm 15^\circ\text{C})$ ), früher auch Osmium oder Kohle. Allerdings lässt sich auch mit diesem Material die für tageslichtähnliches Licht wünschenswerte Farbtemperatur von etwa 6200 K nicht erreichen, da Wolfram bei dieser Temperatur bereits gasförmig (Siedetemperatur  $5660^\circ\text{C}$ ) ist. Bei den praktisch in Glühlampen erreichbaren Temperaturen von etwa 2300 bis  $2900^\circ\text{C}$  erreicht man kein Tageslicht und auch kein weißes Licht; Glühlampenlicht ist daher immer deutlich gelb-rötlicher als weißes oder Tageslicht. An diese typische Farbtemperatur von Glühlampen werden auch andere Lichtquellen für Wohnräume (z. B. Energiesparlampen und Leuchtstofflampen) angeglichen, sie wird hier als „Warmton“ bezeichnet.<sup>256</sup>

---

<sup>256</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Glühlampe>

Vorkehrungen an Glühlampen (auch „Glühbirnen“, mit mattem oder klarem Glaskörper) selbst, im Sinne einer Nachrüstung durch UV-Schutzfilter, sind nicht möglich, es sei denn die Glühlampen befinden sich in abgeschlossenen Lampenfassungen, welche sich beschichten lassen. Die hohe Wärmeentwicklung dieser Leuchtmittel setzt diesem Vorhaben, auch durch den Brandschutz bedingt, Grenzen.

Mittlerweile sind die Glühlampen, wegen der hohen Wärmeentwicklung in der EU verboten. Positive Aspekte wie das „heimelige“ gelbstichige Licht, bei Abgabe von wenig UV-Strahlung, konnten den Ersatz dieser Beleuchtungskörper durch LED in Schloss Schönbrunn 2011 nicht verhindern, zumal ihre kurze Lebensdauer (2.500–15.000 Std.) hohe Wartungskosten erzeugten.

### **Vorkehrungen an Kompakt-Leuchtstofflampen („Energiesparlampen“)**

Wenngleich auch dieses Modelle mittlerweile als technisch überholt gelten, finden wir sie dennoch vereinzelt vor. Sie weisen zwar eine geringe Wärmeentwicklung auf, erzeugen aber einen höheren UV-Strahlungsanteil, bei kürzerer Lebensdauer als LEDs (4.500-20.000 Std.). Die Funktion der Kompaktleuchtstofflampen entspricht im Wesentlichen derjenigen der konventionellen Leuchtstofflampen. Sie arbeiten diesen gegenüber jedoch bei höherem Innendruck (deshalb das dickere Glas), sind kleiner und haben eine höhere Leuchtdichte. Der Druckaufbau beziehungsweise die Verdampfung des Quecksilbers geschieht beim Einschalten durch Vorheizung der Kathoden beziehungsweise Heizfäden (direkt geheizte Kathoden) und nachfolgender Eigenerwärmung. Daher erreichen Kompaktleuchtstofflampen nicht sofort ihre volle Leuchtkraft. Die Röhre, in der die Gasentladung stattfindet, ist bei diesen Lampen gegenüber anderen Leuchtstofflampen kleiner und gebogen oder mehrfach gefaltet, um sie platzsparender unterzubringen, daher das Präfix „Kompakt“.

Um Lampe und Vorschaltgerät zu trennen, gibt es die im Folgenden genannten Bauformen von Kompaktleuchtstofflampen. Diese erfordern ein Vorschaltgerät (elektronisch oder konventionell) in der Leuchte, als separates Teil mit Schraubsockel oder im Stecker: Stecksockel mit zwei Stiften (z. B. Sockel G23). Zwischen den beiden Kontakten am Sockel befindet sich ein länglicher, quaderförmiger Block aus Kunststoff der den Starter (Glimmzünder mit Entstörkondensator) enthält. Die Leuchte, in die dieses Leuchtmittel eingesteckt wird, benötigt für den Betrieb ein konventionelles Vorschaltgerät (eine 50-Hz-Drosselspule). Der Starter ist in die Lampe integriert und wird bei jedem Wechsel mit ausgetauscht. Diese Ausführung ist relativ kostengünstig. Die Schaltung entspricht elektrisch

einer Leuchtstofflampe mit konventionellem Vorschaltgerät (KVG). Elektronische Vorschaltgeräte (EVG) können bei diesen Lampen zu Startproblemen führen. Stecksockel mit vier Stiften (z. B. Sockel GX24q). Diese Version enthält keinen Starter, sondern nur die Leuchtstofflampe selbst, alle vier Heizdraht- beziehungsweise Kathodenanschlüsse sind herausgeführt. Sie ist technisch äquivalent zu großen rohrförmigen Leuchtstofflampen. Der Sockel ist relativ kurz und daher kompakt. Die für diese Lampen geeigneten Leuchten können entweder mit elektronischen oder mit konventionellen Vorschaltgeräten ausgestattet sein.

Da Kompakt-Leuchtstofflampen bei gleicher Lichtleistung weniger Wärme entwickeln als Glühlampen, können sie trotz begrenzter Leistung mehr Licht abgeben. Leuchten mit einer Leistungsbegrenzung auf 25 Watt können so ohne weiteres mit einer 20-Watt-Energiesparlampe auf die Helligkeit einer 100-Watt-Glühlampe aufgerüstet werden, wenn ausreichende Kühlung der Energiesparlampe selbst gewährleistet ist.

Kompakt-Leuchtstofflampen sind in verschiedenen Farbtemperaturen erhältlich. Damit kann die Lichtfarbe optimal auf die Beleuchtungssituation angepasst werden. Sowohl gemütliches, gelbliches Licht ähnlich Glühlampenlicht (warmweiß, extra-warmweiß) als auch eher sachliches Licht (neutralweiß, tageslichtweiß) ist erhältlich.

Energiesparlampen werden durch entsprechende Wahl der Leuchtstoffe auch einfarbig (rot, gelb, grün, blau) sowie in Ultraviolett (UV-A, „Schwarzlicht“) gefertigt. Sie arbeiten in allen diesen Fällen effektiver als entsprechend gefilterte Glühlampen.

Die Farbwiedergabe von Energiesparlampen ist schlechter als diejenige einer Glühlampe, bei älteren und billigeren Modellen kann sich dieses Problem noch verstärken. Der Grund für die schlechtere Farbwiedergabe ist, dass Energiesparlampen nicht das gesamte Lichtspektrum wiedergeben, sondern nur die Bereiche, in denen der Mensch empfindlich reagiert.

Höherwertige, teurere sogenannte Vollspektrum-Lampen erreichen dank Verbesserungen durch Fünfbanden-Leuchtstoffe deutlich bessere Farbwiedergabeindizes, die je nach Farbtemperatur vergleichbar mit denen von Glühlampen oder Tageslicht sind.

Ein weiterer Nachteil von Energiesparlampen ist, dass sie ursprünglich nicht in Kombination mit normalen Dimmern verwendet werden können. Nur Energiesparlampen mit speziell angepasstem elektronischem Vorschaltgerät können den Lampenstrom variieren, um so eine Helligkeitsregelung (beispielsweise 3 % bis 100 % der Helligkeit) der Lampe zu erreichen.

Bei geringerer Helligkeit ist die Leistungsaufnahme des elektronischen Vorschaltgeräts entsprechend niedriger. Solche Kompaktleuchtstofflampen sind speziell gekennzeichnet und lassen sich mit gewöhnlichen Dimmern – wie sie für Glühlampen verwendet werden –

dimmen. Des Weiteren werden Energiesparlampen angeboten, welche sich, durch mehrfaches Ein- und Ausschalten, ohne einen Dimmer in mehreren Stufen dimmen lassen.<sup>257</sup>

Vorkehrungen an Kompakt-Leuchtstofflampen selbst, im Sinne einer Nachrüstung durch UV-Schutzfilter, sind derzeit nicht möglich, es sei denn die Lampen befinden sich in abgeschlossenen Lampenfassungen, welche sich beschichten lassen. Da Energiesparlampen aber empfindlich gegenüber hohen Temperaturen sind, wie sie in engen oder geschlossenen Leuchten auftreten können, würde sich ihre Lebensdauer dadurch verkürzen. 20–30 ° C Umgebungstemperatur sind ideal.

### **Vorkehrungen an Leuchtstoffröhren**

Leuchtstofflampen werden im Volksmund oft als „Neonröhren“ bezeichnet, obwohl sie kein Neon, sondern Quecksilberdampf und als Edelgas das wesentlich häufigere Argon enthalten. Neonlampen erzeugen normalerweise nur rotes Licht. Leuchtstoffröhren weisen eine geringe Wärmeentwicklung bei hoher UV-Strahlung auf. Sie haben eine kürzere Lebensdauer als LEDs (circa 5.000 Std.). Demnächst ist mit einem EU-weiten Verbot zu rechnen.

Die Leuchtstoffröhre ist eine Niederdruck-Gasentladungslampe, die innen mit einem fluoreszierenden Leuchtstoff beschichtet ist. Als Gasfüllung dient Quecksilberdampf (Emission von Ultraviolettstrahlung) und zusätzlich meist Argon. Die Ultraviolettstrahlung wird von der Leuchtstoff-Beschichtung auf der Innenseite in sichtbares Licht umgewandelt. Leuchtstoffröhren sind Niederdruck-Gasentladungslampen. Licht wird darin durch Entladungsvorgänge in ionisierten Gasen erzeugt. Durch Vorheizen der Elektroden beim Starten werden Elektronen frei, die durch Zusammenprall mit Quecksilberatomen eine Strahlung erzeugen. Die Zündspannung beim Starten ist erforderlich, um die Gasfüllung (wie Natrium, Quecksilber, Krypton, Argon) der Leuchtstoffröhren zu ionisieren. Dadurch wird das Gas elektrisch leitend. Es entsteht ein Niederdruck-Plasma, das so lange erhalten bleibt, wie die u.a. von der Röhrenlänge und dem Gasdruck abhängige Brennspannung aufrechterhalten bleibt. Das trifft auf alle Gasentladungslampen zu.

Das Plasma strahlt Licht aus, wenn die Hüllenelektronen des Quecksilbers von den beschleunigten freien Elektronen angeregt werden, und dann wieder auf ein niedrigeres Energieniveau zurückfallen. Im Falle von Quecksilbergas wird überwiegend UV-Strahlung emittiert. Der Anteil an sichtbarem Licht ist eher gering. Beobachtbar ist das, wenn die Beschichtung nicht ganz bis zur Endkappe reicht oder durch Erschütterung abgefallen ist.

---

<sup>257</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Spezial:Suche?search=kompaktleuchtstofflampe>

Das Plasma weist aufgrund der Stoßionisation einen negativen differentiellen Innenwiderstand auf. Prägt man der Röhre mehr Strom auf, sinkt der Spannungsabfall an ihr. Das bedeutet andererseits, dass der Strom bei Erhöhung über die Brennspannung extrem stark ansteigt, der Betriebspunkt ist somit unzureichend stabil, die Lampe würde ohne Strombegrenzung zerstört. Deshalb müssen Leuchtstofflampen, wie auch alle anderen Gasentladungslampen, mit einem Vorschaltgerät betrieben werden. Dieses besteht aus einer Induktivität (Drossel) in Reihe zur Röhre, die mit Wechselstrom betrieben wird. Der direkte Betrieb an Gleichstrom, der mit einem Vorwiderstand als Strombegrenzer prinzipiell denkbar wäre, ist aufgrund von Entmischungsvorgängen der Ionenarten in der Röhre problematisch, man benötigt daher einen Inverter, der den Gleichstrom in Wechselstrom umwandelt. Seit den 1990er Jahren werden Leuchtstoffröhren vorteilhaft an elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) betrieben.

Um die Ausbeute an sichtbarem Licht zu erhöhen, wird das Entladungsgefäß von innen mit einem Leuchtstoff beschichtet (daher der Name Leuchtstoffröhre), der im sichtbaren Spektrum zu leuchten beginnt, sobald er mit UV-Licht bestrahlt wird, in diesem Fall von innen. Der Leuchtstoff setzt einen Großteil der UV-Strahlung in sichtbares Fluoreszenzlicht um. Der Rest der ultravioletten Strahlung wird durch das Glas der Röhre weitgehend absorbiert, so dass nur wenig gesundheitsschädliche, aber doch für Kunstgut schädliche UV-Strahlung aus der Röhre dringt.

Der eingesetzte Leuchtstoff ist entsprechend der Lampenfarbe aus verschiedenen Leuchtstoffen zusammengesetzt. Durch das Mischungsverhältnis kann die Lichtfarbe eingestellt werden. Eine besonders gute Farbwiedergabe wird mit den sogenannten Fünfbanden-Leuchtstoffen erreicht. Hierbei treten nicht nur einzelne Farben (Wellenlängen) auf, um den Lichteindruck „weiß“ zu erzeugen, sondern es sind breitere, aneinandergrenzende Bereiche pro Leuchtstoff, so dass keine Farbe fehlt. Leuchtstoffe mit 1/100 s Abklingzeit der Fluoreszenz verringern das 100 Hz-Flackern (doppelte Netzfrequenz), längeres Nachleuchten (> 1 s) ist hingegen unerwünscht.<sup>258</sup>

Um die UV-Strahlung auszufiltern können um bestehende Leuchtstoffröhren röhrenförmige Filter für Leuchtstoffröhren aus UV-sperrendem Acrylglas, welches 92% des UV-Spektrums von Leuchtstoffröhren ausfiltert montiert werden. Auch zur Umwicklung von Leuchtstoffröhren konzipierte Polyesterfolien mit einem UV-Ausfilterungsgrad von 99%, (z. B. das Fabrikat "Saledata), sind erhältlich.<sup>259</sup>

---

<sup>258</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtstoffr%C3%B6hre>

<sup>259</sup> Prahl, Roessler, 1997, 244. Zu beziehen über: Mono-C GmbH, Kunoldtstraße 10-14, D-34131 Kassel

Die Firma Osram hat bietet seit dem Frühjahr 1996 Leuchtstoffröhren in verschiedenen Längen und Wattzahlen mit UV-Schutzschläuchen an. Die Leuchtstoffröhre LUMILUX® DE LUXE 22-940 UVS ist mit einem farblosen Polycarbonatschlauch versehen.

Bei der Leuchtstoffröhre LUMILUX® 21-840 SPS ist der farblose Polycarbonatschlauch besonders fest mit der Glasröhre verbunden und dient so als Splitterschutz versehen.

Die Leuchtstoffröhre UV STOP LF 62 GELB erscheint wegen ihres intensiv gelbfarbenen Polycarbonatschlauches weniger für den musealen Einsatz geeignet.

Weiter sollte darüber nachgedacht werden, das Flimmern der Leuchtstoffröhren zu verringern.

Unsere Augen sind nicht für das pulsierende Kunstlicht geschaffen. Die elektrischen Lichtimpulse in der Röhre werden hundertmal pro Sekunde ein- und ausgeschaltet. Sie werden also mit rasender Geschwindigkeit heller und wieder dunkler. Je näher die Lampe im Bereich des Kopfes befestigt ist, desto unangenehmer wirkt sich dieses Flimmern aus.

Obwohl man dieses Flimmern nicht bewusst sieht, wird es wahrgenommen und über den Sehnerv an das Gehirn übermittelt. Das solchem Licht ausgesetzte Aufsichtspersonal und die Besucher ermüden schneller. Es ist daher sinnvoll dieses Flimmern durch geeignete Vorschaltgeräte zu eliminieren.<sup>260</sup>

Um Leuchtstofflampen (Leuchtstoffröhren) möglichst flimmerfrei anzusteuern bzw. zu betreiben, muss man ein elektronisches Vorschaltgerät (EVG) einsetzen. Man benötigt dann auch keinen Starter mehr. Damit wird das Licht, je nach Hersteller, nun mit ca. 35.000 bis 50.000 Unterbrechungen je Sekunde erzeugt. Diese hohe Unterbrechungsfrequenz ist von unseren Augen und auch vom energetischen Anteil der Sehbahnen kaum bis nicht mehr wahrzunehmen. Die Folge ist, dass das Sehen mit diesem Licht deutlich weniger anstrengend, im Vergleich zu den mit konventionellen Vorschaltgeräten (KVG-gesteuerten Leuchten, welche am zusätzlich benötigten Starter erkennbar sind) ist. Damit wird nicht nur ein wichtiges Qualitätsmerkmal des Lichtes verbessert, sondern auch ein effizienteres Arbeiten bei geringeren Bearbeitungszeiten durch kürzere Reaktionszeiten ermöglicht.<sup>261</sup> Eine Nachrüstung führt zu besseren Arbeitsbedingungen, weil flimmerfrei, zu einer Energieersparnis von mind. 20 % und verlängert die Lebensdauer der Leuchtstoffröhren. Geeignete Vorschaltgeräte und Leuchtmittel, welche den Anforderungen für Museen entsprechen, werden beispielsweise durch die Fa. natur-nah angeboten.<sup>262</sup>

## **Vorkehrungen an Halogenstrahlern**

---

<sup>260</sup> Osram Lichtprogramm

<sup>261</sup> Grassegger, 2000, 540-542; Grassegger, 2001, 24-26.

<sup>262</sup> Natur-nah. Michael Grassegger, Ringstraße 7, D-29559 Wrestedt

Obwohl Halogenlampen die schädigende Wirkung des Tageslichtes halbieren, müssen dennoch Schutzvorkehrungen angedacht werden.<sup>263</sup> So war eine Halogenlampe 1992 die Ursache für den Brand der Great Hall in Windsor Castle. Halogenstrahler verursachen eine sehr hohe Wärmeentwicklung, vor allem wenn verbaut und die Wärme nicht rückseitig abgeführt werden kann. Sie geben UV-Strahlung ab und haben eine kürzere Lebensdauer als LED (circa 2000 Std.). Halogenlampen erzeugen Licht nach einem ähnlichen Prinzip wie dies bei der Glühbirne der Fall ist. Das Füllgas besteht hier jedoch aus Halogenen, zumeist Brom oder Jod. Die höhere Qualität des Füllgases ermöglicht höhere Temperaturen des Glühfadens bei höherer, weißerer Lichtausbeute und geringerem Stromverbrauch. Die Zugabe des Halogens Brom oder Iod steigert die Lebensdauer auf 2.000 bis 4.000 Stunden – bei einer Betriebstemperatur von ca. 3.000 K. Die so genannten Halogenglühlampen erreichen eine Lichtausbeute von ca. 25 lm/W (vergleiche mit herkömmlicher Glühlampe ca. 15 lm/W, Energiesparlampe 60 lm/W).

Das Iod reagiert (zusammen mit Restsauerstoff) mit den vom Glühdraht verdampften Wolframatomten und stabilisiert eine wolframhaltige Atmosphäre. Der Prozess ist reversibel: Bei hohen Temperaturen zerfällt die Verbindung durch Pyrolyse wieder in ihre Elemente – Wolframatomte kondensieren auf oder in der Nähe der Glühwendel. Kleine Temperaturdifferenzen entlang der Wendel spielen für die Zersetzung nur eine untergeordnete Rolle.

Der Halogenzusatz verhindert bei einer Glastemperatur von mehr als 250° C den Niederschlag von Wolfram auf dem Glaskolben. Aufgrund der wegfallenden Kolbenschwärzung kann der Glaskolben einer Halogenlampe sehr kompakt gefertigt werden. Das kleine Volumen ermöglicht einen höheren Betriebsdruck, welcher wiederum die Abdampftrate des Glühdrahtes vermindert. Hierdurch ergibt sich schlussendlich der lebensverlängernde Effekt bei Halogenlampen. Jedoch wird der Halogenprozess durch Dimmung der Halogenleuchte vermindert, da die hierfür notwendige Temperatur nicht mehr erreicht wird.

Das kleine Volumen ermöglicht zur Reduktion der Wärmeleitung die Befüllung mit schweren Edelgasen zu vertretbaren Kosten. Verunreinigungen auf dem Kolben (z. B. Fingerabdrücke durch Anfassen des Glases) verkohlen im Betrieb und führen zu lokalen Temperaturerhöhungen, die zum Platzen des Glaskolbens führen können. Zurückbleibende Salze können auch als Kristallisationskeime zur Entglasung beitragen und so Schäden verursachen.

---

<sup>263</sup> Weintraub, 2010, 1–10

Die erforderliche hohe Glaskolbentemperatur erzwingt eine kleine Bauform, um die Wärmeabgabe an die Umgebungsluft zu reduzieren, und den Einsatz von Kieselglas (Quarzglas), das der hohen Temperatur standhält und keine UV-Strahlung hindurch lässt. Gasdichte Stromdurchführungen werden bei den Quarzglas-Kolben von Halogenleuchtstofflampen und auch bei Quarzglas-Brennern von Gasentladungslampen mittels Molybdän-Foliebändern realisiert.

Verglichen mit Glühlampen und Leuchtstoffröhren geben Halogenstrahler wenig Infrarot- und UV-Strahlung ab. Vergleicht man Halogenstrahler mit LED-Lampen, können LED-Lampen im blauen Bereich weitaus höhere, schädigende Blauanteile als Halogenstrahler aufweisen,<sup>264</sup> bei neueren Produkten wird aber besonders darauf geachtet dieses zu verhindern.

Eine neuere Entwicklung sind die IRC-Halogenlampen (IRC = Infra Red Coating, Infrarotbeschichtung). Diese Lampen haben eine spezielle Beschichtung des Glaskolbens, die Licht passieren lässt, aber Wärmestrahlung (Infrarot) auf die Glühwendel zurück reflektiert. Dadurch wird der Wärmeverlust vermindert und folglich die Lichtausbeute erhöht. Nach Angaben von OSRAM können so der Energieverbrauch gegenüber Standard-Halogenlampen um bis zu 45 % vermindert und die Lebensdauer verdoppelt werden. IRC-Halogenlampen erreichen damit zwar nicht die Effizienz von Energiesparlampen, haben aber sowohl den Vorteil, dass sie als direkter Ersatz für Standard-Halogenlampen eingesetzt werden können, als auch die spektral kontinuierliche und vom Menschen als angenehm empfundene Lichtqualität.<sup>265</sup>

Für Halogenstrahler sind neben den relativ kurzlebigen Kunststofffiltern und Gelfiltern vor allem die hoch hitzebeständigen Borsilikatgläser,<sup>266</sup> welche einen 99% Schutz vor UV-Strahlen bieten, wie sie von Halogenstrahlern erzeugt werden, empfehlenswert. Diese dichroitischen<sup>267</sup> UV-Filter mit einem Durchmesser von 50 mm (DF-410) sind vor allem an älteren Halogenstrahlern (MR 16) anzubringen, bei welchen der Brenner nicht aus Quarzglas besteht. Man kann jedoch auch auf die beispielsweise seit Frühjahr 1996 von Osram serienmäßig mit Quarzbrenner angebotenen Halogenleuchtkörper Decostar® 51 mit Kaltlichtreflektor<sup>268</sup> und Halostar® UV-Stop, bei welchen die Ausbleichwirkung nach CIE

---

<sup>264</sup> Ulmann, 2011, 50

<sup>265</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Glühlampe>

<sup>266</sup> Optivex®. Zu beziehen über: Mono-C GmbH, Kunoldtstraße 10-14, D-34131 Kassel

<sup>267</sup> Dichroismus (griech.): Die Eigenschaft doppelbrechender Kristalle, das Licht des entstehenden ordentlichen und außerordentlichen Strahls in verschiedener Richtung in verschiedenem Maße zu absorbieren

<sup>268</sup> Decostar 51 bietet neben dem UV-Schutz eine Abstrahlung der Wärmeenergie nach hinten bis zu zwei Dritteln

auf bis zu 80%, gegenüber herkömmlichen Stiftsockellampen, verringert ist<sup>269</sup> sowie auf Capsuline-Halogenlampen von Philips<sup>270</sup> zurückgreifen.

Lassen sich Halogenstrahler dimmen, ist es empfehlenswert die Beleuchtungsstärke von Halogenstrahlern so herabzudimmen, dass es zu einer Verschiebung der spektralen Strahlungsverteilung hin zu größeren Wellenlängen kommt, was gleichbedeutend mit einer Verringerung der Farbtemperatur (Rotverschiebung) ist.<sup>271</sup> Bei Halogenstrahlern ist darauf zu achten, dass die Infrarotanteile, konstruktiv bedingt, rückseitig abgeführt werden.

Sollten Halogenbeleuchtungssysteme heute noch installiert werden, ist zu bedenken, dass mancherorts bereits davon ausgegangen wird, dass in wenigen Jahren diese Lampen nicht mehr erhältlich sein werden.<sup>272</sup> 2010 wurden in der Silberkammer, Hofburg Wien, aufgrund hoher Wartungskosten die Hologenlampen durch LED ersetzt.

### **Glasfaseroptische Beleuchtungssysteme**

Die Glasfaseroptik besichert konservatorisch gesehen besonders bemerkenswerte Resultate. Zumeist wird bei dieser Beleuchtungstechnik an einer externen Quelle Licht durch Halogenstrahler erzeugt, welches durch biegsame Lichtleiter zum Objekt geleitet wird. Dabei ist nicht das sehr wenig wenig UV/IR-Strahlen beinhaltende austretende Licht problematisch, sondern die Vorschaltgeräte und Lichtquellen (Halogen) welche sehr viel Wärme abgeben. Durch einen hohen technischen Aufwand bei der Installation ergibt sich eine relativ kostspielige Art der Beleuchtung von Objekten. Sie gewährleistet bei stufenlos regulierbarer Lichtstärke eine homogene Flächenbeleuchtung. Auch lassen sich mit ihr punktuelle Lichtakzente setzen. Der geringe Stromverbrauch und ein Gewinn an Sicherheit im vorbeugenden Brandschutz spricht für diese Beleuchtungstechnik.

Beim Einsatz von Glaserfaserbeleuchtungssystemen sollte klar sein, ob die Lichtleiter aus Kunststoff (Polymethylmethacrylat, PMMA) oder aus mineralischem Glas bestehen. Bei beiden Fasertypen gibt es zwar unterschiedliche Dämpfungen der UV-Strahlung, aber keine 100%ige UV/IR-Absorption durch die Lichtleiter per se. Für eine vollständige Absorption werden spezielle Filter mit definierten Kantenlängen (380, 400 oder 420 nm) zwischen Lichtquelle und gemeinsames Faserende geschaltet, die den gewünschten Schutz gewährleisten.<sup>273</sup> Die Lichtquelle sollte beim Einsatz von glasfaseroptischen

---

<sup>269</sup> Mittlg. von A. Stolzenberg, Vertriebsingenieur der Osram GmbH

<sup>270</sup> Mittlg. von L. Reeker, Vertriebsingenieur der Philips Licht GmbH

<sup>271</sup> Prah, Roessler, 1997, 244; <http://de.wikipedia.org/wiki/Halogenlampe>.

<sup>272</sup> LEDs-die Nonplusultra-Beleuchtung für Kunstwerke? In: Restauro (7), 12–15

<sup>273</sup> Mittlg. von Herrn K. Förster, Fa. Vitrinen- und Glasbau Reier, J.-S.-Bach Straße 10 b, D-02991 Laut. Eipper, 2002, 3621–3627

Beleuchtungssystemen stets ausserhalb der Vitrinen liegen, um keine Wärmeentwicklung in der Vitrine herbeizuführen. Diese Art der Beleuchtung von Objekten scheidet oft auch aufgrund des Montageaufwandes aus.

## **LED-Beleuchtung**

Die Entwicklung dieser Beleuchtungstechnik verläuft äußerst rasant. Diese Technologie hat bereits die Glasfaser- und Halogenbeleuchtung überholt.<sup>274</sup> In den letzten Jahren erhielt sie Einzug in die Museen, wie z. B. 2011 an der National Gallery, London. Sie gewährleistet bei stufenlos regulierbarer Lichtstärke eine homogene Flächenbeleuchtung. Auch lassen sich mit ihr punktuelle Lichtakzente setzen, ohne die Objekte mit Infrarot und UV-Strahlen zu belasten. Das in der Anschaffung teure aber im Betrieb äußerst kostengünstige System, welches sich einfach montieren lässt und durch geringen Stromverbrauch und dem Gewinn an Sicherheit im vorbeugenden Brandschutz auszeichnet, kann als nahezu ideal angesehen werden.<sup>275</sup>

### **Zur LED-Beleuchtung allgemein**

Anders als Glühlampen sind Leuchtdioden keine Temperaturstrahler. Sie emittieren Licht in einem begrenzten Spektralbereich, das Licht ist nahezu monochrom. Deshalb ist z.B. der Einsatz in Signalanlagen im Vergleich zu anderen Lichtquellen, bei denen Farbfilter den größten Teil des Spektrums herausfiltern, besonders effizient.

Leuchtdioden oder LED (Engl.: **light emitting diodes**) basieren auf Halbleiterverbindungen, die den Strom direkt in Licht umwandeln. Bezogen auf Größe, Effektivität, Haltbarkeit und Lebensdauer verhalten sich die Leuchtdioden zu konventionellen Glühlampen wie Halbleiterdioden zu Röhrendioden. Licht emittierende Halbleiter (LED) müssen den der gewünschten Lichtfrequenz entsprechenden Energieabstand, der bei der Rekombination überbrückt wird, haben. Kurzwelliges Licht (blau oder UV) emittierende LED müssen also eine größere Energielücke bieten. Bei den lichtemittierenden Dioden (LED) erfolgt die Strahlungserzeugung durch Rekombination von Ladungsträgerpaaren in einem Halbleiter mit entsprechendem Bandabstand.

---

<sup>274</sup> Müller-Straten, 2009, 18

<sup>275</sup> National Park Service, Museums Management Program: The Museum Handbook. Washington, D. C. 2016, Part I: Museum Collections, 4:55–4:56

Leuchtdioden gehören somit zu den Elektrolumineszenzstrahlern. Sie sind Halbleiterdioden, die nach Anlegen der Durchlassspannung aus der Sperrschicht heraus Licht emittieren. Sie basieren auf Halbleiterverbindungen, am häufigsten vertreten sind dabei die III/V-Halbleiter, die aus Elementen der 3. und 5. Gruppe des Periodensystems bestehen, weil sie passende Bandabstände haben und weil ihre Bandstruktur effektiv strahlende Rekombination ermöglicht. Dazu gehören Stoffe wie Galliumphosphid (GaP), Aluminiumgalliumarsenid (AlGaAs) oder Indiumgalliumnitrid (InGaN).

Der Halbleiter einer LED bildet eine Diode. Durch Anlegen einer äußeren Spannung in Durchlassrichtung wandern Elektronen zur Rekombinationsschicht am p-n-Übergang. Auf der n-dotierten Seite bevölkern sie das Leitungsband, um nach Überschreiten der Grenzfläche auf das energetisch günstigere p-dotierte Valenzband zu wechseln, sie rekombinieren mit den dort vorhandenen Löchern. Beispielsweise erfolgt bei Silizium-Dioden der Übergang strahlungslos durch Phononenanregung, indem das Gitter den Impuls der Teilchen aufnimmt. Der direkte Übergang bei Gallium-Arsenid (GaAs) geht mit der Aussendung eines Photons einher. Ein weiterer Ursprung der Photonen besteht in einer plasmonisch-polaronischen Wechselwirkung, die durch einen spinfreien Übergang direkt zur Emission eines Auger-Photoelektrons führt. Dieser Mechanismus spielt insbesondere bei excitonischer Emission in grünen GaP-Leuchtdioden eine Rolle. Die Bandstruktur des Halbleiters bestimmt das Verhalten der Energieübertragung. Halbleitermaterialien mit direktem Übergang und Photonenwechselwirkung, wie Gallium-Arsenid werden in der Literatur als direkte Halbleiter bezeichnet. Halbleitermaterialien mit indirektem Übergang, wie bei Silizium und Phononenwechselwirkung, dieses ist eine Gitterschwingung, die zur Erwärmung des Halbleiters führt, werden als indirekte Halbleiter bezeichnet. Für LEDs kommen als Werkstoff nur direkte Halbleitermaterialien zur Anwendung.

Der Bandabstand und damit die Wellenlänge des Lichtes ist also durch die Wahl der Halbleiterstoffe in Zusammenhang mit dem entsprechenden Dotiermaterial bestimmt.

Mit LED können (im Vergleich zu Temperaturstrahlern) schmalbandige Strahlungen im nahen UV, im sichtbaren oder im Infrarotbereich erzeugt werden. Auch die Laserdiode beruht auf dem LED-Konzept. Lumineszenzdioden sind bis zum MHz-Bereich modulierbar (Optoelektronik) und benötigen nur niedrige Spannung. Im Gegensatz zur Glühwendel sind sie unempfindlich gegen mechanische Stöße, sie haben keinen Hohlkörper, der implodieren kann. Die Größe der Leuchtfläche liegt bei etwa  $10^{-3}\text{mm}^2$  bis  $1\text{mm}^2$  (z. B.  $0,4\text{ mm} \times 0,4\text{ mm}$ ). Praktisch hat man also eine punktförmige Strahlungsquelle verfügbar.

Um weiß leuchtende LED erzeugen zu können, gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder fasst man mehrere LED-Chips unterschiedlicher Farbe in einem gemeinsamen LED-Gehäuse zusammen und mischt so die verschiedenen Farbanteile zu weißem Licht, oder man versieht die blau leuchtende LED mit einer internen Leuchtschicht, die ein Teil des blauen Lichtes in gelbes Licht umwandelt, um so alle Spektralanteile zu erzeugen, die für weißes Licht erforderlich sind. Diese blauleuchtenden LEDs haben aber kürzere Wellenlängen und sind daher schädlicher als die warmen, weißen LEDs, welche die geringsten Schäden hervorrufen.<sup>276</sup> Bei der Lebensdauer (20.000-60.000 Stunden) liegen die kühleren ins Blau tendierende LEDs vor den wärmeren ins Gelb tendierenden LEDs. Die neueren Multi LEDs (RGB-) beinhalten verschiedenfarbige LED-Chips in einer Lampe und geben ein gutes Mischlicht.<sup>277</sup> Hohe Farbtemperaturen haben höheres Schadenspotential.

Durch den sehr geringen Wärme- und UV-Anteil im Lichtstrahl ist LED ideal zur Beleuchtung von wärme- oder UV-empfindlichen Objekten aus kürzester Entfernung, z. B. von wärmeempfindlichen Objekten in Vitrinen. Betrachtet man die Beeinflussung des Raumklimas durch die durch Beleuchtungskörper hervorgerufene Erwärmung, sind LED als die schonendste Beleuchtungsmöglichkeit zu bewerten. Auch bieten Sie hohes Einsparungspotenzial bei den Energiekosten.

Hell-weiß oder warm-weiß? Kühles oder warmes Ambiente? Je nach Anwendung kann die richtige Lichtstimmung gewählt werden, z. B. hellweißes Licht mit dem kühlen Ambiente für kalte Diamanten oder Bilder mit vielen Blau-Tönen.<sup>278</sup> Warmweißes Licht z. B. für Goldschmiedearbeiten, also Rot- und Gelb-Töne.

Weißlicht LED: Die letzten technischen Entwicklungen haben den Lichtstrom der LED stark optimiert und erst mit der Verfügbarkeit einer blauen LED mit hoher Lichtausbeute die Möglichkeit geschaffen, auch weißes Licht herzustellen. Um weiß leuchtende LED erzeugen zu können, gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder fasst man mehrere LED-Chips unterschiedlicher Farbe in einem gemeinsamen LED-Gehäuse zusammen und mischt so die verschiedenen Farbanteile zu weißem Licht, oder man versieht die blau leuchtende LED mit

---

<sup>276</sup> Weintraub, 2010, 1–10

<sup>277</sup> Müller-Straten, 2009, 18

<sup>278</sup> Auf die Gefahren für das Kunstgut bei hohen Blauanteilen im LED-Licht wurde hingewiesen: Ulmann, 2011, 50

einer internen Leuchtschicht, die ein Teil des blauen Lichtes in gelbes Licht umwandelt, um so alle Spektralanteile zu erzeugen, die für weißes Licht erforderlich sind.

#### Einfluss der Umgebungstemperatur auf LED

LED zeigen eine ausgeprägte Abhängigkeit des Lichtstroms von der Temperatur. Der Temperaturkoeffizient ist abhängig vom Material. Die Strahlungsleistung fällt bei den meisten LED bei einer Temperaturerhöhung um 100° C auf weniger als die Hälfte ab.

Je kälter also die Umgebung ist, um so effizienter ist die LED.

Temperaturstrahler verhalten sich genau umgekehrt. Dies ist ein Grund, warum bei der Entwicklung und dem Einsatz von LED besonders auf den Wärmehaushalt geachtet werden muss. Ein Wärmestau im LED-Lampenkörper muss vermieden werden.

Die Lichtfarbe ist je nach Halbleitertyp mehr oder wenig von der Umgebungstemperatur abhängig. Zu hohe Temperaturen (z. B. beim Verlöten) können die Leistung der LED dauerhaft mindern oder die Lebensdauer herabsetzen.

#### **Vorteile von LED-Leuchten**

LED sind unbestreitbar das Mittel der Wahl bei Beleuchtungen. Sie geben keine UV-Strahlung und keine IR-Strahlung (Wärme) ab und haben im Vergleich zu anderen Beleuchtungssystemen einen geringen Energieverbrauch, und eine geringe Wärmeentwicklung, wodurch sich in Folge eine Reduzierung der Klimatisierungskosten und der Beleuchtungskosten,<sup>279</sup> ergibt. Sie haben eine extrem lange Lebensdauer (20.000–60.000 Std.), wodurch sich Einsparungen bei Wartung und Reinigung ergeben. Die Transportkosten sind geringer, die Entsorgungskosten ebenso. Durch die Produktionstechnik können kleinere Bauformen erzielt werden. Miniaturisierte SMD-Ausführungen passen in herkömmliche Leuchten und erlauben ein feinstrukturiertes Design, bei einer individuellen Formbarkeit des Leuchtmittels durch unterschiedliche Anordnung der LED. Dimmen ist ohne Änderung der Lichttemperatur möglich, die Lichtfarbe ist bei Verwendung verschiedenfarbiger LED regelbar, alle Lichtfarben sind möglich (LUCO-LED oder Farbkombination). Eine große Typenvielfalt bei geringem Einsatz von Ressourcen ist verfügbar. LED sind stoß- und vibrationsfest, können nicht implodieren, plötzliche Ausfälle sind unwahrscheinlich. Eine präzise Lichtlenkung ohne zusätzlichen Reflektor durch LED mit definiertem Abstrahlwinkel ist gegeben, gute Blendungsbegrenzung sind möglich. Die Lampen leuchten brummfrei, es sind keine Lampenfassungen erforderlich, es ergibt sich ein geringerer Energiebedarf im

---

<sup>279</sup> Schitthelm, 2009, 21

Betrieb, mehr Sicherheit durch Schutzkleinspannung. LED sind praktisch trägeitslos schalt- oder modulierbar bei guten Farbwiedergabeeigenschaften bei RGB (Rot, Grün und Blau)-Mischung. LED sind ideal zur Beleuchtung von wärme- oder UV-empfindlichen Objekten aus kürzester Entfernung.

### **Nachteile von LED-Leuchten**

Energieeffizienz und gesetzliche Vorgaben lassen heute LED alternativlos erscheinen. Dennoch gibt es einige erwähnenswerte Nachteile. Der teure Einbau wird letztlich durch geringe Wartungskosten und hohe Lebensdauer wirtschaftlich. Es gibt eine geringere Lebensdauer bei High-Brightness-LED, hier ist eine große Zahl von LED nötig, um Leuchtstärke konventioneller Leuchtmittel zu erreichen. Die zunächst hohen Entwicklungskosten der Platinen sind heute weniger ein Thema, der hohe Energiebedarf bei der Fertigung durchaus. Die Effizienz und Lichtfarbe ist mehr oder weniger temperaturabhängig, die Farbwiedergabe weißer LED (blaue LED + ein Leuchtstoff) ist nicht in allen Anwendungsfällen ausreichend, LED müssen farblich selektiert werden, um homogene Farben zu erlangen. Vorschaltgeräte die Wärme (nach außen) abgeben sind notwendig.<sup>280</sup>

Die in den Vitrinen der Rembrandt Ausstellung in Graz bereits 2006/2007 eingesetzte LED-Leuchtleistenbeleuchtung „Type L0431 Trettioen“ wurde mit einem ELSEC 774 Scientific Engineering (<http://www.elsec.co.uk>) auf UV-Strahlen-Emission bei einem Abstand von 20 und 200 mm überprüft. Es wurde kein UV-Anteil gemessen, bzw. der UV-Anteil war unter der Nachweisgrenze des Messinstrumentes.<sup>281</sup>

Da alles Licht Energie ist, schädigen auch LED-Lampen die Kunstwerke.<sup>282</sup> Zwar laufen diese Prozesse beim Einsatz von LED sehr viel langsamer ab als bei anderen Leuchtmitteln, aber dennoch kann man nicht bei einer LED-Beleuchtung von Kunstwerken höhere LUX-Werte zugrunde legen. Gerade bei empfindlichen Objekten (Graphiken, Fotos, Textilien, bestimmte Farben bei Ölgemälden etc.) sind dreimonatige Expositionen bei 50 Lux und einer nachfolgenden zwei-dreijährigen Pause sakrosankt.<sup>283</sup>

### **UV-Schutzfolien für Fenstergläser**

---

<sup>280</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtdiode>

<sup>281</sup> Gutachten von Herrn Dipl.-Ing. Manfred Mayer, Universitätsbibliothek, Abteilung für Sondersammlungen, Buchrestaurierung, Universitätsplatz 3, A-8010 Graz.

<sup>282</sup> Weintraub, 2010; Kronkright, 2010

<sup>283</sup> Leitfaden Leihfähigkeit und Intervalle, BDA 2022, 7

Besonders hohe UV-Einträge finden durch Fenstergläser statt. Die Transmission der UV-Strahlung, besonders ab Wellenlängen über 310 nm, ist dabei abhängig vom Eisen- und Schwefelgehalt der Fenstergläser und variiert daher von Hersteller zu Hersteller. Eine einheitliche Degradationsrate lässt sich nicht erstellen, da Messungen an verschiedenen Fenstergläsern Unterschiede zwischen 100% und 300% ergaben.<sup>284</sup> In vielen Fällen wird, vor allem an kleineren Häusern, Sammlungen und Archiven, der Ausbau der normalen Isoliergläser<sup>285</sup> und sein Ersatz durch geeignetere Fensterverglasungen aus Kostengründen nicht möglich sein. Dann können moderne, nicht geblasene Fensterscheiben kostengünstig durch die Montage von UV-Schutzfolien<sup>286</sup> nachgerüstet werden.

UV-Schutzfolien können Wärme reflektieren, bzw. absorbieren und so eine Aufheizung von Räumen welche beispielsweise architektonisch gestaltete große Glasflächen besitzen, reduzieren. Nach Huber können UV-Schutzfolien in Fensterkästen, während der Sommermonate, eine starke Wärmeakkumulation hervorrufen.<sup>287</sup>

Sie verändern die Lichttransmission und reduzieren den Spiegeleffekt von Fenstergläsern. UV-Schutzfolien vermindern auch den Wärmefluss durch die Fenster und reduzieren so den Wärmeverlust zwischen 14% und 34%. Der Hauptnutzen von UV-Schutzfolien liegt in der Absorption von ca. 95%–99% der UV-Strahlen und auch, vor allem bei außen angebrachten Folien, der Infrarot-Strahlen. Zudem halten auf Fensterglas aufgebrachte Folien Splitter bei Glasbruch zusammen.

Innen montierte Folien sind länger haltbar und effektiver als außen aufgebrachte Folien. Als Folge der Installation dieser Folien müssen die Putzgewohnheiten der Fenster geändert werden. Die Folien sind gegen mechanische Einwirkungen (kratzende, scheuernde Schwämme, Stahlwolle, Klingen usw.) nicht resistent und verkratzen relativ leicht. Auch dürfen bestimmte Putzmittel nicht mehr eingesetzt werden. Die Folien sind in der Regel beständig gegenüber Alkoholen, Kohlenwasserstoffen, Ketonen, Ester, verdünnten Säuren und Alkalien.

---

<sup>284</sup> Ketola, Robins, 1994, 133

<sup>285</sup> „Normales“ Isolierglas weist eine UV-Transmission im Bereich von 315–380 nm von ca. 40% auf.

<sup>286</sup> Hinweise auf Folien finden sich bei Thomson, 1986, 18; Stolow, 1994, 116, 120; sowie in der Ausstellung: Beleuchtung und Klimakontrolle in Museen. Eine Ausstellung des ICCROM. Abtei Brauweiler, 15. 7.–16. 8. 1981.

<sup>287</sup> Huber, 1995, 166

Nach Burmester<sup>288</sup> sollte die untere Absorptionskante einer guten UV-Schutzfolie bei ca. 420 nm liegen, d.h. vor allem die besonders gefährlichen kurzen Strahlungsanteile bis 395, bzw. 410 nm sollten herausgefiltert werden.<sup>289</sup>

Eine Empfehlung für "die beste Folie" kann an dieser Stelle nicht ausgesprochen werden. Die unterschiedlichen Anforderungen, welche die verschiedensten Häuser stellen, lassen keine pauschalen Vergleiche zu. Eine Folie, welche für das Haus X geeignet ist, kann für das Haus Y nicht ausreichend sein, da hierfür bestimmte Folieneigenschaften wichtiger oder gar ungeeignet sind. Selbstredend kann es notwendig sein auch innerhalb eines Hauses je nach Anbringungsort die Folien zu variieren.

Die Leistungsdaten der verschiedenen Folien werden mit bestimmten solaroptischen Fachausdrücken beschrieben. Die Messungen werden normalerweise von unabhängigen Testinstituten nach ASHRAE-Vorgaben durchgeführt. Zum besseren Verständnis der Fachbegriffe, sollen diese nachfolgend kurz beschrieben werden.<sup>290</sup>

**Transmission:** Die %-Angabe bezeichnet die Summe der durch ein Verglasungssystem hindurchdringenden Sonnenenergie.

**Reflektion:** Die %-Angabe bezeichnet die Summe der Sonnenenergie, welche vom Verglasungssystem nach außen reflektiert wird.

**Absorption:** Die %-Angabe bezeichnet die Menge der vom Verglasungsmaterial aufgenommenen Sonnenstrahlung. Diese wird allerdings nur begrenzt im Verglasungssystem gespeichert und geht je nach Temperaturgefälle nach außen oder innen über.

**UV-Transmission:** Die %-Angabe bezeichnet die Summe der ultravioletten Sonnenenergieanteile, die durch das Verglasungssystem hindurch dringen.

**U-Faktor:** Faktor der Leitfähigkeit des Verglasungssystems für Wärme anderen Ursprungs als Strahlung (Strahlung ist hier gleichbedeutend mit dem Gesamt-Wärme-Übertragungskoeffizienten des Verglasungsmaterials). Der U-Faktor gibt den Umfang des

---

<sup>288</sup> A. Burmester auf der I. Internationalen Fachmesse für Museumswesen (MUTEC) in München, 1995

<sup>289</sup> Fischer et al, 1997, 331

<sup>290</sup> Diese Informationen stellte dankenswerterweise die Bruxafol Folien GmbH, D-Elfershausen, zur Verfügung.

Wärmefflusses an, der durch das Verglasungsmaterial möglich ist und ist ein Maß seines Isolierwertes. Je geringer der Wert, um so höher die Isolierfähigkeit. Der U-Faktor wird ausgedrückt in BTU (British Thermal Units) pro Quadratfuß pro Stunde pro Grad Fahrenheit.

Abschattungskoeffizient (SC-Faktor = Shading Coefficient): Das Verhältnis des Sonnenwärmegewinns durch ein bestimmtes Verglasungssystem zu dem Sonnenwärmegewinn, der unter den gleichen Umständen auftreten würde, wenn das Fenster mit klarem, doppelt starkem Fensterglas (DSA) verglast wäre. Dies ist die Sonnenabschirmfähigkeit des Glases. Je geringer der Wert, desto wirksamer ist die Folie gegen Sonneneinstrahlung.

NI-Faktor: Dieser Wert bezeichnet den Prozentsatz absorbiertes Wärme, der innerhalb der Verglasung fließt.

Prozentsatz der gesamten reflektierenden Sonnenenergie: Der Prozentsatz der Sonnenenergie, der durch Reflektion und Ableitung zurückgeworfen wird.

Emissivity: Emissivity bezeichnet die Befähigung einer Oberfläche Wärme aufzusaugen und sie zu reflektieren. Je niedriger der E-Wert, desto weniger Raumwärme wird absorbiert, wodurch mehr Wärme in den Raum reflektiert wird.

## Hersteller und Lieferanten

Die nachfolgende Auflistung stellt eine Auswahl dar. Weitere Anbieter von UV-Schutzfolien finden sich im Europäischen Museumsbranchenbuch aufgelistet.<sup>291</sup> Die erwähnten Daten stammen, soweit nicht anders angegeben, vom Hersteller selbst.

Das Lieferprogramm der Firma Courtaulds, Bielefeld,<sup>292</sup> umfasst über fünfzig Folien, welche für die Beschichtung von Flachglas eingesetzt werden und eine UV-Transmission von unter 1% aufweisen. Davon empfiehlt Courtaulds zwei speziell für Museen geeignete, sog. SL-LLumar-UV-Schutzfolien, in den Breiten 122 mm bzw. 152 mm. Es handelt sich um Folien aus Polyethylenterephthalat (PET), welche mit einem wasseraktivierbarem Acrylharzkleber beschichtet sind. Zusätzlich tragen diese Folien eine sehr kratzfeste Oberflächenbeschichtung. Im Folgenden sollen diese Folien kurz beschrieben werden:

- NUV 65 SR PS4. Dieser zweilagige, nickelchrom-gesputterte, klare Film, mit UV-Absorbern in beiden PET-Schichten, reduziert die UV-Strahlung um 100%, ist 100 µm dick und bietet so einen Splitterschutz nach DIN 52337 sowie einen guten Hitzeschutz. Der Film hat folgenden Leistungsdaten: Strahlungsdurchlässigkeit: 85%;

---

<sup>291</sup> Europäisches Museumsbranchenbuch, 2002, 60. Verlag Dr. C. Müller-Straten, Kunzweg 23, D-81243 München

<sup>292</sup> Ehem. Courtaulds Performance Films Vertriebs GmbH, Herforder Straße 119–131, D-33609 Bielefeld; heute CP Films Vertriebs GmbH, Katzbergstrasse 1a, 40764 Langenfeld; <https://www.eastman.com/en/who-we-are/locations/langenfeld-germany-cpfilms>

Strahlungsreflexion: 8%; Strahlungsabsorption: 7%; Lichtdurchlässigkeit: 90%; Lichtreflexion: 9%; UV-Durchlässigkeit: 0%; Abschirmgrad (b-Faktor) 0,99%; Zurückweisung der Gesamtsonnenenergie: 13%.

- UV CL SR HPR. Dieser 0,1 mm starke Film aus PET ist dreilagig. Er besteht aus zwei mit UV-Absorbern ausgestatteten, klaren Schichten und einer metallisierten (Chrom/Nickel) Schicht, welche ihm ein leicht grau-gelbliches Erscheinungsbild verleihen. Dieser speziell für Museen entwickelte Film hat folgenden Leistungsdaten: Strahlungsdurchlässigkeit: 64%; Strahlungsreflexion: 9%; Strahlungsabsorption: 27%; Lichtdurchlässigkeit: 68%; Lichtreflexion: 10%; UV-Durchlässigkeit: 0,5%; Abschirmgrad (b-Faktor) 0,81%; Zurückweisung der Gesamtsonnenenergie: 28%.
- NR 70 GR SR HPR. Dieser blau-grau eingetönte, zweilagige klare Film, mit UV-Absorbern in beiden PET-Schichten, reduziert die UV-Strahlung um 99%. Dieser Film dunkelt nicht so gleichmäßig ab wie NUV 65 SR PS4 und verändert die Farbwiedergabe leicht. Er hat folgenden Leistungsdaten: Strahlungsdurchlässigkeit: 73%; Strahlungsreflexion: 9%; Strahlungsabsorption: 16%; Lichtdurchlässigkeit: 73%; Lichtreflexion: 8%; UV-Durchlässigkeit: 1%; Abschirmgrad (b-Faktor) 0,91%; Zurückweisung der Gesamtsonnenenergie: 20%.

Der Hersteller vermittelt Zwischenhändler,<sup>293</sup> welche die exakte Ausmessung der Fenster, den Zuschnitt und die Montage der Folien vornehmen. Die Montage der Folie erfolgt von innen. Dadurch sind die Folien länger haltbar und effektiver als außen aufgebraachte Folien.

Die Bruxsafol Folien GmbH, Elfershausen,<sup>294</sup> bietet ein breites Angebot von Innen- und Außenfolien an. Dabei wird zwischen Abdunkelungsfolien, Sichtschutzfolien, Mattierungsfolien, Sicherheitsfolien zur Unfallverhütung und durchwurfhemmende Sicherheitsfolien unterschieden. Aus dem Bruxsafol®-Angebot sollen für museale Zwecke geeignete Folien herausgegriffen sein. Es handelt sich bei diesen um Polyesterfolien, welche durch Sputtering<sup>295</sup> beschichtet werden. Im Folgenden sollen diese Folien kurz beschrieben werden:

- Typ 102 h.c.: Diese silbergrau-farbene, 0,037 mm starke Folie hat folgende Leistungsdaten: Transmission: 25,6%; Absorption: 38,8%; Reflektion: 35,6%; Emissivity: 0,73; UV-Transmission (gemessen bei 300-380nm): 0,5%; U-Faktor: 1,06; Prozentsatz der gesamten reflektierenden Sonnenenergie: 63,0%
- Typ TI 140 h.c. Titanium: Diese sehr leicht silbergrau-farbene, 0,050 mm starke Folie hat folgende Leistungsdaten: Transmission: 58,8%; Absorption: 32,7%; Reflektion: 8,5%; Emissivity: 0,89; UV-Transmission (gemessen bei 300-380nm): 0,8%; U-Faktor: 1,13; Prozentsatz der gesamten reflektierenden Sonnenenergie: 34,0%; Schattierungskoeffizient: 0,76.
- Typ TI 165 h.c. Titanium: Diese silbergrau-farbene, 0,050 mm starke Folie hat folgende Leistungsdaten: Transmission: 27,7%; Absorption: 54,1%; Reflektion: 18,2%; Emissivity: 0,87; UV-Transmission (gemessen bei 300-380nm): 0,4%; U-Faktor: 1,14; Prozentsatz der gesamten reflektierenden Sonnenenergie: 57,0%; Schattierungskoeffizient: 0,50.
- Typ SS 175 h.c. Stainless Steel: Diese silbergrau-farbene, 0,050 mm starke Folie hat folgende Leistungsdaten: Transmission: 19,7%; Absorption: 55,5%; Reflektion: 24,8%; Emissivity: 0,84; UV-Transmission (gemessen bei 300-380nm): 0,3%; U-Faktor: 1,13; Prozentsatz der gesamten reflektierenden Sonnenenergie: 64,0%.
- Typ SS 140 h.c. Stainless Steel: Diese leicht grau-farbene, 0,050 mm starke Folie hat folgende Leistungsdaten: Transmission: 56,2%; Absorption: 33,5%; Reflektion: 10,3%; Emissivity: 0,88; UV-Transmission (gemessen bei 300-380nm): 2,0%; U-Faktor: 1,13; Prozentsatz der gesamten reflektierenden Sonnenenergie: 34,0%; Schattierungskoeffizient: 0,76.
- Typ 2041 h.c.: Diese sehr leicht gelblich eingetönte, 0,070 mm starke Folie hat folgende Leistungsdaten: Transmission: 81,0%; Absorption: 11,0%; Reflektion: 8,0%; Emissivity: 0,90; UV-Transmission (gemessen bei 300-380nm): 0,0%; U-Faktor: 1,07; Schattierungskoeffizient: 0,98.
- Typ SB 150 h.c. Solar Bronze, Typ SB 165 h.c. Solar Bronze und Typ SB 175 h.c. Solar Bronze haben auch gute Reduzierungswerte im Bereich der infraroten Strahlung, sind aufgrund ihrer kupferfarbenen Tönung nur bedingt einsatzfähig.

Sollte ein UV-Schutz von außen auf die Fenster aufgebracht werden müssen, bieten sich hierfür die farbneutralen grau eingetönten Außenfolien Typ A 10 h.c. Stainless Steel, Typ A 20 Silber sowie bedingt die kupferfarbene Folie Typ A 40 h.c. Solar Bronze an.

Als Kleber für diese Folien dienen Silikon-Haftkleber (PST). Dabei gibt es eine Sorte, welche durch einfaches Andrücken auf Glas arbeiten, da sie von Natur aus schon relativ klebrig ist. Eine andere, nicht klebende, harte Sorte muss durch Wasser aktiviert werden. Der Hersteller leistet mindestens fünf Jahre Garantie. Die Verlegung kann selbst oder durch eine firmeneigene Montagetruppe erfolgen.

---

<sup>293</sup> Z. B. für Österreich: <https://www.zapster.at/produkte/sonnenschutzfolien>; <https://www.llumar.at/uv-schutzfolien>

<sup>294</sup> Bruxsafol Folien GmbH, Auraer Straße 12-14, D-97725 Elfershausen; <https://bruxsafol.de>

<sup>295</sup> Beim Sputtering werden positiv geladene Argon-Ionen in eine Vakuumkammer geleitet. Elektrisch geladene Gas Ionen beschließen dann das reine Metall (z.B. Aluminium), welches als Platte unter der rotierenden Polyesterfolie liegt. Das beschlossene Metall löst sich auf und setzt sich Atom für Atom im Polyesterfilm ab. Das Sputtering-Verfahren gewährleistet glatte, gleichmäßige Folienoberflächen, welche gegen eine Demetallisierung unempfindlich sind.

Von der 3M AG, Neuss,<sup>296</sup> werden unter anderem auch UV-Schutzfolien hergestellt. Aus dem Angebot der 3M AG sind für museale Zwecke folgende Folien geeignet:

- Scotchtint P 60: Es handelt sich bei dieser Folie um einen aus 0,025 mm dickem Polyester/Polypropylen-Laminat Trägermaterial bestehenden Film. Die weiche, farbneutrale Graufärbung der Folie, ergibt sich durch die Beschichtung mit Aluminiumoxid. Der Klebstoff besteht aus einem wasseraktivierbaren Spezialacrylat. Diese, auch als UV-Schutzfilm für Schaufenster verwendete Folie, hat folgende Leistungsdaten: totale Sonnenenergie Reflexion: 19%; totale Sonnenenergie Absorption: 36%; totale Sonnenenergie Transmission: 45%; sichtbares Licht Transmission: 57%; sichtbares Licht Reflexion: 20%; UV-Lichtdurchlässigkeit (gemessen bei 380 nm): < 2%; Strahlungs-Abschirmfaktor: 0,63; K-Wert: 6,00.

Der exakten Ausmessung der Fenster, folgt die Montage der Folie, ebenfalls durch Mitarbeiter der 3M AG, von innen.

Sollte ein UV-Schutz von außen auf die Fenster aufgebracht werden müssen, bieten sich hierfür die Außenfilme RE 15 SIX und RE 40 SIX an.

Nach zwei Jahren erlischt der Garantieanspruch gegenüber dem Hersteller. Der geäußerten Vermutung, dass im Laufe mehrerer Jahre mit einer nachlassenden UV-Undurchlässigkeit gerechnet werden muss, wurde vom Hersteller mit dem Verweis auf die Beschichtung der Folie mit Aluminiumoxid widersprochen.

Die Josef Bohle Stiftung & Co. KG, Haan,<sup>297</sup> führt in ihrem Angebot für Glas, Bild und Rahmen Reflektionsfolien (Sicht-, Sonnen- und Splitterschutzfolien) an, welche zur Montage von innen und außen vorgesehen sind. bei den Folien handelt es sich um mehrschichtige, zum Teil mit Aluminium metallisierte Polyesterlamine, welche mit einem druckempfindlichen, UV-stabilisierten Kleber verarbeitet sind, sowie an der klebenden Seite mit einem wasseraktivierbaren Spezialacrylat als Haftkleber ausgestattet sind. Die Folien sind mit einer kratzfesten Oberflächenvergütung versehen.

- Splitterschutzfolie klar: Diese Folie hat folgende Leistungsdaten: Transmission: 79,0%; Absorption: 7,0%; Reflexion: 14,0%; UV-Transmission (gemessen bei 300-380nm): 2,0%; U-Faktor: 1,06; Prozentsatz der gesamten reflektierenden Sonnenenergie: 18,0%; Schattierungskoeffizient: 0,94.

- Bei der Reflexionsfolie silber-mittel handelt es sich um einen stark silbergrau eingefärbten, stark spiegelnden Film, bei der Reflexionsfolie silber-dunkel um eine sehr stark silbergrau eingetönten, sehr stark spiegelnden Film, weshalb sie m. E. weniger für den Einsatz geeignet sind.

Die Filme der Josef Bohle Stiftung & Co. KG sind bis zu vier m<sup>2</sup> groß und können selbst oder durch ein Montageteam der Firma montiert werden. Nach drei bis vier Tagen Trocknungszeit kann die Folie berührt werden, nach vier Wochen kann sie mit weichen Tüchern und ammoniakfreien Putzmitteln gereinigt werden. bei einer Lebensdauer von zumindest 5–6 Jahren außen und 8–12 Jahren innen, gewährt die Josef Bohle Stiftung & Co. KG zwei Jahren Garantie auf ihre Produkte.

Die Hans Neschen GmbH, Bückeberg,<sup>298</sup> führt in ihrem Angebot an selbstklebenden Spezialprodukten zwei mit UV-Schutz ausgestattete, einseitig selbstklebende Folien.

- filmolux® S 75: Diese ca. 75 µm starke, hochglänzende, kristallklare, weichmacherfreie Polyesterfolie reflektiert UV-B-Strahlen. Der lösungsmittelfreie, alterungsbeständige und dauerelastische Polyacrylatkleber ist wie die Folie von –30°C bis +100°C temperaturbeständig.

- filmolux® lustre: Diese ca. 77 µm starke, seidengänzende, mit UV-Schutz ausgerüstete Weich-PVC-Folie ist für den Innen- und Außenbereich geeignet. Als Kleber wird ein von –30°C bis +50°C temperaturbeständiges Polyacrylat eingesetzt.

Die Filme der Hans Neschen GmbH, sind in diversen Maßen lieferbar und können selbst montiert werden.

Die ASLAN, Schwarz GmbH & Co., Overath-Untereschbach,<sup>299</sup> bietet selbstklebende, reflektierende und nicht reflektierende UV-Schutzfolien für die Montage von innen und außen an. Reflektierende Außenfolien sind blendungshemmend und besonders für Infrarotabstrahlungen im Bereich von Isolier- und Funktionsverglasungen, wie z.B. Dachverglasungen sinnvoll. Reflektierende Innenfolien verwandeln normales Fensterglas in hitzereflektierendes Spiegelglas. Für den musealen Bereich erscheint folgende Auswahl an nicht reflektierenden Folien sinnvoll:

- OPAL-Sonnenschutzfolie "diamant-jade 70 sr". Eine ausgewogene gesputterte Metall-/Pigmentmischung garantiert eine hohe Farbechtheit des wenig spiegelnden Films. Der Heizenergieverlust wird durch diesen Innenfilm um 15% verringert, die fensterbezogene Raumerhitzung um 50% reduziert. Dieser farbneutrale, klarsichtige, kratzefeste, auch als UV- Schutzfilm für Schaufenster verwendete Folie, hat folgende

<sup>296</sup> 3M (Deutschland) GmbH, Carl Schurz Straße 1, D-41460 Neuss; <https://www.3mdeutschland.de>; 3M (Schweiz) AG, Energy Control Products, Eggstraße 93, CH-8803 Rüschlikon; <https://www.3mschweiz.ch>

<sup>297</sup> Josef Bohle Stiftung & Co. KG, Dieselstraße 10, D-42781 Haan; <https://www.bohle.com>

<sup>298</sup> Hans Neschen GmbH, Windmühlenstraße 6, D-31665 Bückeberg; <https://www.neschen.de>

<sup>299</sup> ASLAN, Schwarz GmbH & Co., Bahnhofstraße, D-51491 Overath-Untereschbach; <https://www.aslanfolien.de>

Leistungsdaten: totale Sonnenlicht Reflexion: 24%; totale Sonnenenergie Absorption: 37%; totale Sonnenlicht Transmission: 39%; sichtbares Licht Transmission: 66%; sichtbares Licht Reflexion: 10%; ultraviolette Transmission (gemessen bei 300- 380 nm): 0,4%; Gesamtenergieabschirmung: 52%.

- OPAL-Schaufensterfolie "glasklar UV 90 NR sr". Diese glasklare, wenig spiegelnde Folie besitzt eine gehärtete, kratzfesteste Durital-Oberfläche. Sie hat folgende Leistungsdaten: totale Sonnenlicht Reflexion: 08%; totale Sonnenenergie Absorption: 0,7%; totale Sonnenlicht Transmission: 85%; sichtbares Licht Transmission: 86%; sichtbares Licht Reflexion: 0,9%; ultraviolette Transmission (gemessen bei 300- 380 nm): 0,1%; Gesamtenergieabschirmung: 13%.

- ASLAN SL 17: Diese glasklare, glänzende, polymerweichgemachte PVC-Folie für die Montage von außen, wird auf Papier (ASLAN SL 17 Art. Nr. 11817 P) oder Karton (ASLAN SL 17 Art. Nr. 11817 K) geliefert. Sie hat eine hohe UV-Schutzwirkung, ist dimensionsstabil, bedruck- und beschriftbar. Sie ist mit einem weichmacherfreien Haftkleber auf Acrylbasis beschichtet. Nähere technische Daten liegen nicht vor.

- ASLAN SL 99 Art. Nr. 11999: Diese glasklare, glänzende Polyvinylfluorid-Folie für die Montage von außen, hat eine hohe UV-Beständigkeit und ist im sehr haltbar. Aufgetragene Farben und Lacke (Graffiti) bilden keine Verbindung mit ihr. Sie ist dimensionsstabil und mit einem weichmacherfreien Haftkleber auf Acrylbasis beschichtet. Nähere technische Daten liegen nicht vor.

Die Filme der ASLAN, Schwarz GmbH & Co. sind in Rollen erhältlich und können selbst montiert werden.

Die HAVACO Folientechnik GmbH, Münster,<sup>300</sup> bietet unter dem Namen "OPALFILM" eine Vielzahl von Folien an. Die reflektierenden Außenfolien besitzen zwar sehr gute UV-Schutz Werte, sind aber ihrer reflektierenden Wirkung wegen im musealen Bereich nicht einsetzbar. Für den musealen Bereich erscheint folgende Auswahl an UV-Schutzfolien, welche aus mehrschichtigem Polyethylenterephthalat (PET) bestehen und mit einer kratzfesten Oberfläche versehen sind sowie mit einem wasseraktivierbaren Spezialacrylat beschichtet sind, für die Montage von innen sinnvoll:

- OPALFILM Schaufensterfolie UV 90 NR sr: Diese glasklare, wenig spiegelnde, ca. 50 µm starke Folie hat folgende Leistungsdaten: totale Sonnenlicht Reflexion: 8%; totale Sonnenenergie Absorption: 7%; totale Sonnenlicht Transmission: 85%; sichtbares Licht Transmission: 86%; sichtbares Licht Reflexion: 9%; ultraviolette Transmission (gemessen bei 300-380 nm): 0,5%; Gesamtenergieabschirmung: 13%.

Diese Folie ist auch unter der Bezeichnung OPALFILM Sonnen-Splitterschutzfolie UV 90 Spezial in der Stärke von 125 µm erhältlich.

- OPALFILM Schaufensterfolie UV 70 NR: Diese leicht grau eingetönte, wenig spiegelnde, ca. 50 µm starke Folie hat folgende Leistungsdaten: totale Sonnenlicht Reflexion: 9%; totale Sonnenenergie Absorption: 16%; totale Sonnenlicht Transmission: 75%; sichtbares Licht Transmission: 73%; sichtbares Licht Reflexion: 8%; ultraviolette Transmission (gemessen bei 300–380 nm): 0,5%; Gesamtenergieabschirmung: 20%.

- OPALFILM gr NUV 65 NR sr: Diese in neutralem grau eingetönte, wenig spiegelnde, 100 µm starke Folie hat folgende Leistungsdaten: totale Sonnenlicht Reflexion: 9%; totale Sonnenenergie Absorption: 27%; totale Sonnenlicht Transmission: 64%; sichtbares Licht Transmission: 65%; sichtbares Licht Reflexion: 11%; ultraviolette Transmission (gemessen bei 300–380 nm): 0,5%; Gesamtenergieabschirmung: 30%.

Die Folien werden auf Rollen geliefert und sind, falls das Klebemittel nicht aktiviert wird, nur bedingt selbstklebend. Bei der Montage werden Folie und Fensterglas mit Wasser eingesprüht, um so das Klebemittel zu aktivieren und eine ausreichende Klebung zu erreichen. Die Montage kann durch Firmenmitarbeiter oder selbst erfolgen.

Die Dittmar GmbH, Wuppertal,<sup>301</sup> bietet diverse durchwurfhemmende, splitterbindende UV-Schutzfolien für innen und außen an. Auf die glasklaren oder getönten Polyesterfolien wird im Hochvakuum Aluminium aufgedampft. Durch die Dichte der Aufdampfung wird die Stärke der Reflektionsfähigkeit gesteuert. Die aufgedampfte Aluminiumschicht wird durch einen aufkaschierten, glasklaren Polyesterfilm geschützt. Die Filme sind mit einem selbstklebenden oder mit Wasser aktivierbaren, vernetzbaren Acrylkleber ausgestattet. Aus dem Angebot seien folgende klare, kratzfesten Filme herausgegriffen:

- CLX 200: Dieser 50 µm starke, mäßig glassplitterbindende Film hat folgende Leistungsdaten:

Lichtdurchlässigkeit: 89%; UV-Strahlungsdurchlässigkeit 0–4%; reflektierende Sonnenwärme: 19%.

- CLX 400: Dieser 100 µm starke, glassplitterbindende Film hat folgende Leistungsdaten: Lichtdurchlässigkeit: 89%; UV-Strahlungsdurchlässigkeit 0–4%; reflektierende Sonnenwärme: 19%.

- CLX 600: Dieser 150 µm starke, besonders glassplitterbindende Film hat folgende Leistungsdaten: Lichtdurchlässigkeit: 89%; UV-Strahlungsdurchlässigkeit 0–4%; reflektierende Sonnenwärme: 19%.

- SAF 400: Dieser 100 µm starke, glassplitterbindende Film hat folgende Leistungsdaten: Lichtdurchlässigkeit: 89%; UV-Strahlungsdurchlässigkeit 0–4%; reflektierende Sonnenwärme: 19%.

---

<sup>300</sup> HAVACO Folientechnik GmbH, Zum Kaiserbusch 26, D-48165 Münster; <https://www.haverkamp.de>

<sup>301</sup> Dittmar GmbH, Märkische Straße 200, D-42281 Wuppertal; <https://www.dittmar-ek.de>

- SAF-A 400 Außenfilm: Dieser 100 µm starke, glassplitterbindende Film hat folgende Leistungsdaten: Lichtdurchlässigkeit: 89%; UV-Strahlungsdurchlässigkeit 0–4%; reflektierende Sonnenwärme: 19%. Die 30,5 m langen und 1,5 bzw. 1,2 m breiten Rollen können in 1–4 Wochen geliefert werden. Die Verlegung der Filme kann selbst, mit oder ohne Anleitung durch Mitarbeiter der Dittmar GmbH, oder von Mitarbeitern der Dittmar GmbH allein erfolgen. Die Dittmar GmbH gewährt fünf Jahre Garantie auf ihre Filme.

Die Lonza Folien GmbH, Weil am Rhein, hat bis 1996 zwei UV-Schutzfolien angeboten:

- Ultraphan®: Diese 0,05 mm starke, transparente oder stark orange gefärbte, nicht klebbare Folie aus gegossenem Dicelluloseacetat wurde in der Stückgröße 100 x 120 cm hergestellt. Die Folie bietet einen 100% Schutz vor UV-Strahlung bis zur Wellenlänge 380 nm. Diese Folie war nur in ihrer ungefärbten Variante hauptsächlich zur Nachrüstung von Vitrinen für Einzelobjekte oder zur Abdeckung von kleineren Objekten geeignet. Die Lonza Folien waren in diversen Maßen lieferbar und konnten selbst montiert werden. Die nachfolgende Folie Ultralen wurde durch Pokalon (Polycarbonat), Triphan (Celluloseacetat) und andere High Performance Products ersetzt.

Auf dem deutschen Markt ist zudem eine 50 µm starke, glasklare UV-Polyester-Filterfolie erhältlich, mit welcher sich Fenstergläser, Vitrinen und Gemäldeverglasungen abdecken lassen. Diese nicht klebende Folie absorbiert 99% des UV-Spektrums und ist feuchtigkeits- und chemikalienbeständig. Da die Folie nicht selbstklebend ist oder mit einem wasseraktivierbaren Kleber ausgestattet ist, muss sie mit einem doppelseitigen Polyesterklebeband (weichmacherfreier, permanenter Acrylkleber) fixiert werden, weshalb sie hauptsächlich für einen temporären UV-Schutz geeignet erscheint.<sup>302</sup> Diese Folie ist in diversen Maßen lieferbar und kann selbst montiert werden.

Die Sun-Foiltec GmbH, Thayngen,<sup>303</sup> bietet eine Vielzahl außen und innen montierbarer UV-Schutzfolien sowie Sonnenschutzlacke mit einem Wärmeschutz von 60-70%, an. Für den musealen Bereich erscheinen vor allem zwei Folien besonders geeignet.

- AG 71 Schaufensterfilm UV-Schutz/Sonnenschutz: Diese 20 µm starke, leicht grau gefärbte Folie aus Polyester ist mit Aluminiumoxid bedampft. Die Folie hat folgende Leistungsdaten: totale Sonnenlicht Reflexion: 12%; totale Sonnenenergie Absorption: 29%; totale Sonnenlicht Transmission: 59%; sichtbares Licht Transmission: 70%; sichtbares Licht Reflexion: 21%; ultraviolette Transmission (gemessen bei 300-380 nm): 0,4%; am Glas zurückgewiesene Strahlung: 33%. Die Folie ist mit einem wasseraktivierbaren Spezialkleber ausgerüstet.

- CLS-200: UV-Schutz: Diese 50 µm starke, minimal gelbliche, laminierte Folie aus Polyester ist hat folgende Leistungsdaten: totale Sonnenlicht Reflexion: 12%; totale Sonnenenergie Absorption: 10%; totale Sonnenlicht Transmission: 78%; sichtbares Licht Transmission: 85%; sichtbares Licht Reflexion: 10%; ultraviolette Transmission (gemessen bei 300-380 nm): 0%; am Glas zurückgewiesene Strahlung: 19%. Die Folie ist mit einem wasseraktivierbaren Spezialkleber ausgerüstet.

Die Sun-Foiltec GmbH gewährt fünf Jahre Garantie auf ihre Folien, welche in diversen Maßen lieferbar sind und von einem Montageteam der Firma installiert werden.

In der älteren Literatur wird ein weiterer UV-Schutzfilm (AC-1 type ultraviolet-absorbing film = Cellulose triacetat, mit UV-Absorber, Stärke 0,1 mm) angesprochen, welcher vor Leuchtkörper und Fenster angebracht werden kann und seine Eigenschaft der UV-Reduzierung auf nahezu null nicht verlieren soll.<sup>304</sup> Weiter werden noch die Lichtschutzfolien Trapex-Fol (gelochte, metallbedampfte Polyurethanfolie mit einem Reflexionsgrad von 85%) sowie Bergaflex (gold-, silber- bzw. aluminiumbedampftes Polyurethanlaminat, Reflexionsgrad 80-87%) erwähnt.<sup>305</sup>

## UV-Lichtschutzlacke für Fenstergläser

Ein weiteres, sehr interessantes Produkt der Dittmar GmbH stellen die Solar Perlweiß G Sonnenschutzlacke dar. Diese leicht weiß, opal getönten oder glasklaren Lacke auf Epoxidharzbasis können mit Spritzpistolen und Airless-Geräten auch auf unebene Gläser

---

<sup>302</sup> Zu beziehen über: Mono-C GmbH, Kunoldtstraße 10–14, D-34131 Kassel; <https://monochrom.com>

<sup>303</sup> Sun-Foiltec GmbH, Thayngen, Schweiz; <https://sun-foiltec.ch>

<sup>304</sup> Yuming, 1987, 931

<sup>305</sup> Diese Folien werden in Österreich von der Fa. Fenstertechnik-Grundmann, A-1180 Wien; <https://www.grundmann-sonnenschutz.at>, hergestellt. Huber, 1995, 169

(Oberlichter, Lichtkuppeln, Sheddächer, Industrieverglasungen, Lichtbänder, Riffel-, Waben- und Waffelgläser, Glasbausteine) nach der Reinigung derselben aufgetragen werden. Diese Lacke reduzieren die Blendung um bis zu 92%, die Einstrahlwärme um bis zu 76% ohne hohe Lichtverluste. Die Lichtstreuung verdoppeln sie. Die UV-Strahlungsdurchlässigkeit liegt bei 1%.

An Schrägverglasungen sollte der härtere Perlweiß PU Sonnenschutzlack eingesetzt werden. An Kunstgläsern, Acryl und Skobalit sollten die Perlweiß Typ K Sonnenschutzlacke eingesetzt werden.

Die wirksamste Reduzierung von UV- und IR-Strahlung im Museum erfolgt durch

1. UV/IR-Schutzfolien und -lacken an den Fenstern
2. UV/IR-Schutz an den Objekten selbst (Schutzverglasung; Abdeckung)
3. UV/IR-Schutzfilter an den Beleuchtungskörpern
4. UV/IR-Schutzfarben im Innenbereich
5. Ausschalten der Leuchtkörper, sobald sich keine Besucher in der Sammlung aufhalten

Bekannt sind Ausbleichungen bei natürlichen Farbstoffen, wie z. B. Alizarin-Krapplack. Aber auch Pigment-Farben sind gefährdet.<sup>306</sup> So kommt es bei Barium-, Zink- und Strontiumchromat der späten 19. und frühen 20. Jh.-Gemälde zu Verdunklungen,<sup>307</sup> vor allem aber Chromgelb<sup>308</sup> und Cadmiumsulfid<sup>309</sup> 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,  $\text{PbCrO}_4$ ) einen Wandel durch, es verschwindet unter UV-Einfluss<sup>310</sup> unter einer immer dunkler werdenden bräunlichen Schicht,<sup>311</sup> wie z. B. bei van Goghs *Ufer der Seine*, 1887, *Sonnenblumen*, 1888, *Les Alyscamps*, 1888, *Ansicht von Arles mit Schwertlilien*, 1888,<sup>312</sup> vor allem dann, wenn es in Öl gebunden wurde. Die sulfatreichen, vorwiegend aus orthorhombischen Kristallformen bestehende Chromgelbfarben werden bräunlich,<sup>313</sup> wenn

---

<sup>306</sup> Bei Vincent van Gogh's *Iris und Rosen* entfärbt sich Rosa zu weiß und violett zu blau. Centeno, Hale, Carò, Cesaratto, Shibayama, Delaney, Dooley, van der Snickt, Janssens, Stein, 2017, 1–11; Casadio, Xie, Rukes, Myers, Gray, Warta, Fiedler, 2011, 2919A

<sup>307</sup> Felix, Otero, Pinto, Vilarigues, Carlyle, Melo, Matias, 2017, 1–13

<sup>308</sup> Otero, Pinto, Carlyle, Vilarigues, Cotte, Melo 2017, 136; Tan, Tian, Verbeeck, Monico, Janssens, Tendeloo, 2013, 11360–11363

<sup>309</sup> 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]

<sup>310</sup> Vgl. Monico, van der Snickt, Janssens, Denolf, Miliani, Verbeeck, He Tian, Tan, Dik, Radepon, Cotte, 83, 2011 (4), 1214–1224; Monico, van der Snickt, Janssens, Denolf, Miliani, Dik, Radepon, Hendriks, Geldof, Cotte, 83, 2011 (4), 1224–1231

<sup>311</sup> Vgl. Pohlmann, Schäning 2011, 21–29

<sup>312</sup> Vgl. Clarricoates, Dowding, Gent 2016, 1–138

<sup>313</sup> Casadio, Xie, Rukes, Myers, Gray, Warta, Fiedler, 2011, 2919

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.<sup>314</sup> Ursprünglich handelte es sich bei der Farbe um eine Mischung von Bleichromat-, Bleisulfat- sowie Bleichromatsulfat-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  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , 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.<sup>315</sup> Bei den relativ stabilen Chromgelbfarben des britischen Herstellers Winsor & Newton zeigen lediglich die mittel- und dunkelgelben Farben starke Veränderungen durch eine starke Lichtexposition.<sup>316</sup>

Cadmiumsulfid-haltige Farben wurden u. a. von Ensor, van Gogh<sup>317</sup>, Monet, Matisse, Munch<sup>318, 319</sup>, Picasso,<sup>320</sup> Seurat,<sup>321</sup> Schiele<sup>322</sup> verwendet. Weisen die verwendeten Farben häufige Defekte in der Kristallstruktur auf, sind sie besonders anfällig für eine Entfärbung.

---

<sup>314</sup> Sulfatreiche und vorwiegend aus orthorhombischen Kristallformen bestehende Chromgelbfarben neigen zur Verbräunung. Casadio, Xie, Rukes, Myers, Gray, Warta, Fiedler, 2011, 2919

<sup>315</sup> Janssens, Monico, Miliiani, Van Der Snickt, Legrand, Vanmeert, Alfeld, Brunetti, Cotte, Falkenberg, 2014, 62–63; Haiyan, Tian, Verbeeck, Monico, Janssens, Van Tendeloo, 2013, Vol. 125, 43

<sup>316</sup> Vgl. Otero, Pinto, Carlyle, Vilarigues, Cotte, Melo 2017, 136

<sup>317</sup> Vincent van Gogh mischte in seinen Sonnenblumenbildern Chromgelb und Cadmiumgelb mit sulfatreichem ( $\geq 50\%$ ) gelbem Bleichromat und weißem Bleisulfat, welches unter Einwirkung von ultraviolettem Licht verbräunt. Mohamed, 2016

<sup>318</sup> Levin, Nguyen, Holtz, Wiggins, Thomas, Tveit, Mass, Opila, Beebe, Muller, 2017

<sup>319</sup> Cadmiumgelb (in Öl, wie auch in Ei-Kasein gebunden) und Chromgelb. Singer, Aslaksby, Topalova-Casadio, Storevik Tveit, 2010, 275

<sup>320</sup> Z. B. bei „Femme“, um 1907. Giacometti, Nevin, Comelli, Valentini, Buongiorno Nardelli, Satta, 2018, 065202; Comelli, MacLennan, Ghirardello, Phenix, Schmidt Patterson, Khanjian, Gross, Valentini, Trentelman, Nevin, 2019, 3421–3428

<sup>321</sup> Sulfatreiche und vorwiegend aus orthorhombischen Kristallformen bestehende Chromgelbfarben neigen zur Verbräunung. Casadio, Xie, Rukes, Myers, Gray, Warta, Fiedler, 2011, 2919

<sup>322</sup> Z. B. bei Egon Schiele (1890–1918): *Stadtende/Häuserbogen III*, Universalmuseum Joanneum, Graz. Eipper, 2019, 252

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, wofür auch die variablen Schwefelanteile verantwortlich gemacht werden.<sup>323</sup> Dies gilt auch für die Arsensulfide Realgar ( $\text{As}_4\text{S}_4$ ) und Auripigment ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ), welche sich – bedingt durch mobile wasserlösliche Komponenten – zu transparenten, weißlichen und zerbröckelnden Farben zersetzen.<sup>324</sup> Es wird daher empfohlen bei der Beleuchtung Wellenlängen unter 525 nm zu 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.<sup>325</sup> Kurzfristigen Klimawechsels kann mit Montagen der gefährdeten Objekte in Gemäldevitrinen begegnet werden.<sup>326</sup>

### **UV-Schutzverglasungen von Gemälden**

Jede Bestrahlung löst Prozesse im Ausstellungsgut aus. Erwärmungen regen die Bewegung von Luft an, welche das Ausstellungsgut austrocknet, den Transport von Partikeln in der Luft anregt und somit objektverschmutzend wirkt.<sup>327</sup> Gemälde und Graphiken können beispielsweise durch Verglasung mit Polycarbonathartgläsern (z. B. Makrolon<sup>®</sup> 281) oder Polymethylmethacrylatgläsern (z. B. ICI-Perspex<sup>®</sup>, Röhm-Plexiglas<sup>®</sup>, True Vue: Optium Museum Acrylic)<sup>328</sup> oder durch mineralische UV-Schutzgläser (z. B. Mirogard) sehr wirksam vor UV-Strahlung geschützt werden.

Normale Gläser bieten lediglich einen 45% igen Schutz vor UV- Strahlen bis 380nm. Um einen UV-Schutz zu gewährleisten, werden auf die Gläser in der Regel zwischen 4–7 Lagen verschiedener Metalloxide (Titan- und Siliziumdioxid (d. h.  $\text{TiO}_x$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SnArH}_2$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{NbO}_x$ ) - z. B. durch Tauchen und Einbrennen bei Schott, durch Magnetronspattern bei TrueVue - aufgebracht. Neben diesen interferenzspiegelten Gläsern<sup>329</sup> gibt es

---

<sup>323</sup> Giacometti, Nevin, Comelli, Valentini, Buongiorno Nardelli, Satta, 2018, 065202. 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

<sup>324</sup> Keune, Mass, Meirer, Pottasch, van Loon, Hull, Church, Pouyet, Cottegh, Metha, 2015 (30), 813–827

<sup>325</sup> Vgl. Lutz, 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; Casadio, Xie, Rukes, Myers, Gray, Warta, Fiedler, 2011, 2919

<sup>326</sup> Wadum, 2000, 96–100; Eipper, 2022, 124; Eipper, 2022, 73–80

<sup>327</sup> Eipper, 2002, 3621–3627; ders. 2008, 7–15 ders. 2009, 161–165

<sup>328</sup> Z. B. zu beziehen über EVONIK [www.plexiglasshop.de](http://www.plexiglasshop.de)

<sup>329</sup> Zur Funktionsweise der interferenzspiegelten 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,

Zweischeibensicherheitsgläser, welchen den UV-Schutz in Form einer Splitterschutzfolie zwischen den beiden Scheiben haben.<sup>330</sup> Ein UV-Schutz bringt eine leicht gelbliche/bräunliche Farbverschiebung mit sich.<sup>331</sup>

Interferenzentspiegelte Gläser sind mit mehreren Lagen verschiedener Metalloxide beschichtete 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.<sup>332</sup> Ein UV-Schutz bringt eine leicht gelbliche/bräunliche Farbverschiebung mit sich. Beispiele für UV-Schutzgläser sind:

Flabeg<sup>333</sup>: ArtControl UV 90 (92 % UV-Schutz), Art Control UV 100 mit Splitterschutz (100% UV-Schutz).

Schott<sup>334</sup>: Mirogard®-Gläser: Plus (82 % UV-Schutz), Protect Standard oder Magic (99 % UV-Schutz).

Berliner Glas<sup>335</sup>: Tegla classic (90,3–91,3 % UV-Schutz), Tegla Galerieglas (91,3 % UV-Schutz).

Berninger<sup>336</sup>: GB VSG (99 % UV-Schutz), GB UV-Schutzglas (98 % UV-Schutz).

Groglass<sup>337</sup>: Artglass UV (92 % UV-Schutz), Artglass Protect (100 % UV-Schutz).

Nielsen<sup>338</sup>: ClearColour UV 92 (92 % UV-Schutz).

Trösch<sup>339</sup>: Luxar Classic VSG 2-2-1 Verbundglas (99 % UV-Schutz).

Tru Vue<sup>340</sup>: Conservation Clear (98 % UV-Schutz), Conservation Reflection Control (98 % UV-Schutz),

Museum Glass (99 % UV-Schutz).

Wybenga<sup>341</sup>: 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 –

---

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

<sup>330</sup> Polyvinylbutyral (PVB) Folie, 0,38 mm dick. Halbe, 2020, 46

<sup>331</sup> Halbe, 2019, 30

<sup>332</sup> Halbe, 2019, 28

<sup>333</sup> [http://www.flabeg.com/uploads/media/FLABEG\\_ARTControl\\_D.pdf](http://www.flabeg.com/uploads/media/FLABEG_ARTControl_D.pdf)

<sup>334</sup> [www.schott.com/architecture](http://www.schott.com/architecture)

<sup>335</sup> [http://www.tegla.de/htdocs\\_de/produkte/index.php?ID=2](http://www.tegla.de/htdocs_de/produkte/index.php?ID=2) (seit 2010 keine Produktion von UV-Schutzgläsern mehr)

<sup>336</sup> [www.tegla.de](http://www.tegla.de)

<sup>337</sup> [www.groglass.com](http://www.groglass.com)

<sup>338</sup> [www.nielsen-design.de](http://www.nielsen-design.de)

<sup>339</sup> [www.glastroesch.ch](http://www.glastroesch.ch)

<sup>340</sup> [www.tru-vue.com](http://www.tru-vue.com)

<sup>341</sup> [www.wybenga.de](http://www.wybenga.de)

aus,<sup>342</sup> 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.<sup>343</sup>

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,<sup>344</sup> 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.<sup>345</sup> 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.<sup>346</sup> 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.<sup>347</sup> Auch bei den grafischen Arbeiten des „Wiener Aktionisten“ Günter Brus (\*1938) finden wir zum Teil höchst minderwertige Papiere. Diese Beispiele zeigen, wie inhomogen 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 zwei - dreijährige 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.<sup>348</sup> Für Fotografien gelten ähnliche Ruhezeiten. Mittlerweile ist das unmerkliche Ausbleichen (Microfading) mehererorts thematisiert und wird objektiv messbar.<sup>349</sup>

---

<sup>342</sup> Bendtfeld, Prestel, Werdin, 2016, 49–53; Clarricoates, Dowding, Gent, 2016, 1–138; Pohlmann, Schäning, 2011, 21–29

<sup>343</sup> Im EU PROPAIN project (SSPI – 044254) wurden diese Vorgänge 2007–2010 näher untersucht. Noble, Loon, 2010, 157–160

<sup>344</sup> Rembrandt. Radierungen, Katalog, 2006, 261–301

<sup>345</sup> Arthur Roessler sandte 1911 Japanpapiere zu Schiele nach Krumau. Erw. in Nebehay, 1979, #114

<sup>346</sup> Margaret Hollen Ellis zit. in Nebehay, 1979, #1579

<sup>347</sup> Egon Schiele, Brief vom 13. Juni 1918

<sup>348</sup> Eipper, 2002, 3621–3627; Herdin, 2016, 55–57

<sup>349</sup> Butze-Rios, Weixelbaumer, 2022, 55–60

## Beleuchtung/Leuchtmittel

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.
- 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, auch in Hinblick auf das grüne Museum erscheint ein genereller Umstieg auf LED dringend geboten.<sup>350</sup>

### **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.<sup>351</sup> Ihre Ausscheidungen und Überreste dienen anderen Schadinsekten und Mikroorganismen wiederum als Nahrungsquelle.

### **Manipulationen/Transport**

Ein weiteres, sich der Präventions-Thematik „Kunstobjekte und Schadensvermeidung“ anschließendes Thema stellt die Manipulation an sich dar.<sup>352</sup> 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

---

<sup>350</sup> Saunders, 2021, 11

<sup>351</sup> Querner, Kimmel, Morelli, 2018, 59–66

<sup>352</sup> Pelludat, Axer, 2004, 1–112; Huber, Lerber, 2003, 1–194

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.<sup>353</sup> 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.<sup>354</sup> 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. Mit der 3D-Streifenprojektion lassen sich heute Veränderungen der Oberflächenbeschaffenheit von Kunstwerken dokumentieren,<sup>355</sup> und zwar in verschiedenen hohen Auflösungen, aber nur für kleinformatige Objekte. Die 3D-Streifenprojektion ermöglicht es, Dimensionsänderungen<sup>356</sup> auf Oberflächen<sup>357</sup> viel schneller<sup>358</sup> als bisher zu messen,<sup>359</sup> aber die größte Schwierigkeit bleibt: eine geeignete Software zu entwickeln, die mehrere Bilder miteinander kombinieren kann, so dass auch größere Objekte in hoher Auflösung gemessen und zusammenhängend abgebildet werden können - ohne Nähte oder sichtbar störende Übergänge.<sup>360</sup> Erst dann wird es möglich sein,

---

<sup>353</sup> Siehe Fußnoten 6, 7

<sup>354</sup> Burmester, Müller, 1992, 335–345

<sup>355</sup> Eipper; Frankowski, 2007, 473–486; Eipper, 2020, 31–35

<sup>356</sup> Bilder und Profile eines Risses in einer Holzplatte, dessen Breite sich mit dem Klima ändert: Bajraszewski et al 2007, 507–511; cf. Bauermeister, Struchtrup 2011, 25

<sup>357</sup> Vigl, 89–94; Bomholt, 2010, 20f

<sup>358</sup> Vigl, 89–94

<sup>359</sup> B. Rouba, Vortrag auf der „Lacona VI“, conference Vienna, 23.9.2005; E. Bernikola auf der „Lacona VII“, conference Madrid, 21.9.2007

<sup>360</sup> Schaich 2005, 16–20; Eipper, Kovinjal, Pongrácz, Hajny, Zernig, 2023, 42–51

den Zustand eines Objekts vor und nach dem Transport zu fotografieren, um Veränderungen (Craquelé) oder Partikelverluste von Objekten zu überprüfen. Dann kann die zeitaufwändige und veraltete VASARI-Methode abgelöst werden. Die heutigen Vorstufen dazu wurden bereits im FINGaRtPRINT-System<sup>361</sup> geschaffen und weiter verbessert.<sup>362</sup> Belichtung, Messfeldgröße, Auflösung, die Grenzen der CCD-Kameratechnik, die Kompatibilität verschiedener Bilder untereinander und die Montagen von flächenbegrenzten Einzelbildern zeigen die derzeitigen Grenzen dieser Vermessungstechnik, die in weiteren Untersuchungen noch im Detail zu klären wären.<sup>363</sup>

## Literatur

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

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

Alami, K., Baars, C., Pullin, R., Grigg, S.: „Sound-induced vibrations as a potential threat to museum artefacts“, in: Collection Care, online conference, Valencia, 1.–3. 12. 2021, Book of abstracts, 16

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

---

<sup>361</sup> Imhoff, 2007, 222ff; [https://cordis.europa.eu/docs/publications/1217/121790151-6\\_en.pdf](https://cordis.europa.eu/docs/publications/1217/121790151-6_en.pdf) (accessed 25.6.2022).

Heutige stitching software wie „hugin“ (<https://www.cyberlink.com/blog/photo-editing-best-software/1324/stitch-panoramic-pictures>) haben sich beeindruckend entwickelt, sind jedoch noch in zu geringer Auflösung vorhanden.

<sup>362</sup> Hein, Krekel, 2010, 146–159. Derzeit ist es noch nicht möglich, komplette Oberflächen großflächiger Formate objektiv zu vermessen, da es keine Software gibt, die einzelne Bilder von Teilflächen zu einem Gesamtbild zusammenfügen kann. Dies wäre aber die Voraussetzung für ein Dokumentationssystem von Kunstwerken, das hilft, den Erhaltungszustand vor und nach dem Transport zwischen verschiedenen Orten zu kontrollieren. In naher Zukunft sollte es möglich sein, auch bei großflächigen Formaten die messbaren Unterschiede zwischen den einzelnen Stationen zu erfassen und darzustellen. Voraussetzung dafür ist eine gut funktionierende Netzwerkanbindung. Insbesondere für die Dokumentation von Schäden in Museen und für Kunsttransportunternehmen wird dies ein großer Fortschritt sein. <https://www.4art-technologies.com/?lang=de> (accessed 25.6.2022)

<sup>363</sup> Kleine, 2010, 317–319; Bornschein et al, 2010, 320–325

Araya Monasterio, C., Icaza Toro, M.: „Evaluación de la calidad de conservación de materiales de embalaje: una realidad temporal (Assessment of the conservation quality of packaging materials: a temporary reality)“, in: *Conserva*, 2016, 25–40

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.

Bagda, E., Blessing, R., Finmans, P., Fischer, M.: *Emissionen aus Beschichtungsstoffen Stand der Technik, Analyse der Emissionen und deren Einfluß auf die Innenraumluft*. Expert Verlag, Renningen, 1996, 1-181

Bäschlin, N., Läuchli, M., Palmbach, C., Hoess, A., Ryser, M., Frankhauser, T., Sautter, K.: *Transport fragiler Gemälde – Forschungsergebnisse und Anwendungsbeispiele*, in: *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung* 2/2015, 211-235  
[https://gemaeldetransport.ch/kti/wp-content/uploads/2016/03/ZKK-2015-2\\_Transporte.pdf](https://gemaeldetransport.ch/kti/wp-content/uploads/2016/03/ZKK-2015-2_Transporte.pdf)

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., „Oddly 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

Beleuchtung und Klimakontrolle in Museen. Eine Ausstellung des ICCROM-International Centre for Conservation, Rom, Abtei Brauweiler, 15.7.-16.8.1981, 2-23.

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., Strojecki, M., Kozłowski, 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

Bajraszewski, T., Gorczyńska, I., Rouba, B., Targowski, P., „Spectral domain Optical Coherence Tomography as the Profilometric Tool for Examination of the Environmental Influence on Paintings on Canvas“, Springer Proceedings in Physics, vol.116; Lasers in

the Conservation of Artworks, LACONA VI Proceedings, Vienna, Austria, Sept. 21-25, 2005, J. Nimmrichter, W. Kautek, and M. Schreiner Editors, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2007, 507–511

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](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

Bomholt, M., „Verwölbungsmessungen an Gemäldetafeln von Jan Baegert“, in: Restauro (1), München 2010, 20–21

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

Bornschein, F., Torge, M., Drewello, R., Bellendorf, P., Wetter, N., Sterzing, N., „Konservierung mittelalterlicher Glasmalerei im Kontext spezieller materieller und umweltbedingter Gegebenheiten“, in: Restauro (5), München 2010 (5), 320–325

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](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

Bundesdenkmalamt (Hg.): *Leitfaden Leihfähigkeit und Intervalle – Bewegliches Kulturgut im internationalen Leihverkehr*, 1. Fassung, 1. September 2022, 1–128

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

Butze-Rios, F., Weixelbaumer, E., „Microfading – Ein Erfahrungsbericht aus den Landessammlungen Niederösterreich“ in: journal 15, Magazin des Berufsverbandes Österreichischer Restauratorinnen und Restauratoren, Wien 2022, 55–60

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

Calienzo, L., Pelosi, C., Picchio, R., Agresti, G., Santamaria, U., Balletti, F., Lo Monaco, A., „Light-induced color changes and chemical modification of treated and untreated chestnut wood surface“, in: *Studies in Conservation*, London 2015 (2), 131-139

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

Caron, F., Guichard, R., Robert, L., Verrièle, M., Thevenet, F., „Behaviour of individual VOCs in indoor environments: How ventilation affects emission from materials“, in: *Atmospheric Environment* (243), 2020, 117713; <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117713>

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

Centeno, S. A., Hale, C., Carò, F., Cesaratto, A., Shibayama, N., Delaney, J., Dooley, K., van der Snickt, G., Janssens, K., Stein, S., A., „Van Gogh’s Irises and Roses: the contribution of chemical analyses and imaging to the assessment of color changes in the red lake pigments“, in: *Heritage Science*, 2017, 1–11; DOI 10.1186/s40494-017-0131-8

Chiantore, O., Poli, T.: „Indoor Air Quality in Museum Display Cases: Volatile Emissions, Materials Contributions, Impacts“, in: *Atmosphere* (3), 2021, 364; <https://doi.org/10.3390/atmos12030364>

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

Cincinelli, A., Martellini, T., Amore, A., Die, L., et alii, „Measurement of volatile organic compounds (VOCs) in libraries and archives in Florence (Italy)“, in: *Science of the Total Environment* (572), 2016, 333–339; <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.201>

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]

Courtaulds: Museums-Info. SL-LLumar UV-Schutzfilme, Produktinformation.

Courtaulds Performance Films Vertriebs GmbH, Bielefeld (Hrsg.), o.S., o.J..

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

Costa, V. „The deterioration of silver alloys and some aspects of their conservation“, in: *Reviews in Conservation* (2), London 2001, 19–35

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., Underhill, M., Gibson, L. T., Strlic, M., „The development of a SPME-GC/MS method for the analysis of VOC emissions from historic plastic and rubber materials“, in: *Microchemical Journal* (124), 2016, 909–918;  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2015.08.027>

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., Vandenabeele, 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

Draaisma, L. J. M., *Indoor climate assessment of an exhibition area at the Kröller-Müller Museum considering object conservation, energy consumption, and human comfort*, Master-thesis, Eindhoven University of Technology, 2017, 1-107

Druzik, J., Glaeson, M., Pearlstein, E., Pesme, C., Riedler, R.: „Das Museum, die Vogelfeder und der Streit ums Licht“, in: Restauro (7), 2011, 30-35

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., „Glas-induzierte Metallkorrosion auf Museums-Exponaten (GIMME) – Ein Leitfaden für die restauratorische Praxis“, in: VDR-Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut (2), Bonn 2020, 105–122

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.: Saturated salt solutions in showcases: humidity control and pollutant absorption. In: Heritage Science, 2022, 10:54, 1–6; <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00689-3>

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., Kovinjal, I., Pongrácz, D., Hajny, B., Zernig, K.: „Zur Eignung von 3D-Streifenprojektionen und konfokalen Digitalmikroskopen bei der konservatorisch-restauratorischen Dokumentation“, in: Museum aktuell (289/290), Verlag Dr. Müller-Straten, München 2023, S. 42–51

Eipper, P.-B., „Degradation of Chrome Yellow ( $2\text{PbSO}_4/\text{PbCrO}_4$ ) and Cadmium Sulphide ( $\text{CdS}$ ) on Works of Art“, in: ExpoTime!, January 2022, Verlag Dr. Müller-Straten, München 2022, 73–80

Eipper, P.-B., „Degradation von Chromgelb und Cadmiumsulfid an Werken bildender Kunst. Schadensphänomene, Ursachen und Prävention“, in: VDR Beiträge, Heft 1/2022, Imhof Verlag, Petersberg 2022, 118–128

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-Schutzfolien für Fenstergläser“, in: *Mitteilungsblatt* (48). Museumsverband Niedersachsen und Bremen e. V., Hannover, 1994, 66-68

Eipper, P.-B., „UV-Schutzfolien“, in: *Mitteilungsblatt* (52). Museumsverband Niedersachsen und Bremen e.V., Hannover 1996, 45-48

Eipper, P.-B., „UV-Schutzvorkehrungen an Beleuchtungskörpern“, in: *Mitteilungsblatt* (55). Museumsverband Niedersachsen und Bremen e.V., Hannover 1998, 65-68

Eipper, P.-B., „UV-Schutz an Isolierglasfenstern und Beleuchtungskörper“, in: *Arbeitsblätter für Restauratoren*, Verlag des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz, 1998, 55-63

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

Eipper, P.-B., Frankowski, G. (2007): *Cleaning of Painted Surfaces and Examination of Cleaning by 3D-Measurement Technology at the August Deusser Museum, Zurzach*. In: *Lasers in Conservation. Lacona VI Proceedings, Vienna, Austria, Sept., 21–25, 2005*, Berlin, Heidelberg, New York 2007, 473–486

El Masria, I., Lescopa, B., Talbota, P., Nguyen Viena, G., Becker, J., Thierry, D., Riouala, S., „Development of a RFID sensitive tag dedicated to the monitoring of the environmental corrosiveness for indoor applications“, in: *Sensors & Actuators: B. Chemical* (322), Elsevier B.V., Amsterdam, 2020, 1–7;  
<https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.128602>

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

Erbreich, M.: *Die Aufbereitung und Wiederverwertung von Altholz zur Herstellung von Mitteldichten Faserplatten (MDF)*. Dissertation Universität Hamburg, 2004, 1–255;  
<https://ediss.sub.uni-hamburg.de/bitstream/ediss/610/1/Dissertation.pdf>

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

Fischer, B., Hecker, U., Jankowski, M.: „Ausstellung und Beleuchtung“, in: *Restauro* (5), 1997, 328-331.

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

Ferreira, C., de Freitas, V. P., Delgado, J. M. P. Q., „The Influence of Hygroscopic Materials on the Fluctuation of Relative Humidity in Museums Located in Historical Buildings“, in: *Studies in Conservation* (3), London 2020, 127–141, DOI: 10.1080/00393630.2019.1638666

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; <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.5018512>

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

Grassegger, M.: „Vollspektrales Licht am Arbeitsplatz. Sonnenlicht ist Leben“, in: *Kartoffelbau*. Gelsenkirchen, 2000, 540-542.

Grassegger, M.: „Das Licht muss stimmen“, in: *Dental-Spiegel* (5), Franz Werbe- und Verlagsgesellschaft mbH, München, 2001, 24-26.

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-preservationscience/2015/ePS\\_2015\\_a5\\_Grontoft.pdf](http://www.morana-rtd.com/e-preservationscience/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., „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., „Athmospheric chemistry of isoprene and ist 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, 1–176,  
[http://hdl.handle.net/10020/gci\\_pubs/monitoring\\_gaseous](http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/monitoring_gaseous) [Zugriff: 19.01.2022]

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

Guerranti C., Benetti, F., Cucciniello, R., et alii, „Pollutants monitoring and air quality evaluation in a confined environment: The ‘Majesty’ of Ambrogio Lorenzetti in the St. Augustine Church in Siena (Italy)“, in: *Atmospheric Pollution Research* (7), 2016, 754e761; <http://dx.doi.org/10.1016/j.apr.2016.04.002>

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](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

Harrison, L. S.: *Report on the Deteriorating Effect of Modern Lighting Sources*. NY, Metropolitan Museum of Art, 1954

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

Hein, N., Krekel, C., „3D-Weißlicht-Streifenprojektions-Scanner zur Untersuchung von Transport Schäden an Skulpturen“, in: *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung* 1, Worms 2010, 146–159

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

Henningson, 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
- Hilbert, G. S., *Sammlungsgut in Sicherheit. Teil II: Lichtschutz, Klimatisierung*. Gebr. Mann Verlag, Berlin, 1987, 1-220
- Hilbert, G. S.: *Sammlungsgut in Sicherheit. Beleuchtung und Lichtschutz, Klimatisierung, Sicherungstechnik, Brandschutz*. Berliner Schriften zur Museumskunde, Band 1. Gebr. Mann Verlag, Berlin, 1996, 1-426
- Hilbert, G. S.: Über das Beleuchten von Handschriften in Ausstellungen. In: *Scrinum Berolinense. Tilo Brandis zum 65. Geburtstag*. Becker, P. J., Nickel, H., Schipke, R., Staccioli, G. (Hrsg.), Staatsbibliothek zu Berlin – Preußischer Kulturbesitz, 2000, 445-461
- Huber, A.: Konservatorische Erfahrungen bei der Generalsanierung der Sammlung alter Musikinstrumente, 97-116. In: *Restauratorenblätter* (15), Schutz und Pflege von Kunst- und Baudenkmälern, Verlag Mayer und Comp. Klosterneuburg, 1995, 1-208.
- 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

Imhoff, H.-C. v., „FINGaRtPRINT – Tracing Your Treasures“, in: *Restauro* (4), München 2007, 222ff

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

Kammer, J., Truong, F., Boissard, C., et alii, „Quantitative and qualitative assessment of VOCs emitted from cellulose acetate movie films by PTR-ToF-MS“, in: Journal of Cultural Heritage (47), 2021, 50–58; <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.09.004>

Kang, Y.-S., Seo, J.-H., „Analysis of VOCs emitted from the Annals of the Joseon Dynasty by dynamic chamber system“, in: Pojon kwahak yŏn'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., Cottegh 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

Ketola, W. D., Robins, J. S.: UV transmission of single strength window glass. In: Accelerated and outdoor durability testing of organic materials: paper presented at the symposium held in Fort Lauderdale, FL, on 19-20 Jan. 1993, 133-152. Ketola, W. D., Grossmann, D. (Hg.), 1994

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'ojom 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

Kimmel, T., „Calculating the Greenhouse Gas Emissions of the Central Depot of the Kunsthistorisches Museum, Vienna“, Posterpresentation, IIC Biennial Congress Wellington 2022

Kleine, M., „Berührungslose Bestandsaufnahme“, in: Restauro (5), 2010, 317–319

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

Kompatscher, K., Ankersmit, B., Neuhaus, E., van Aarle, M. A. P., van Schijndel, J. W.M., Schellen, H. L., „Experimental and Numerical Analysis of a Novel Display Case Design: Case Study of the Renovated Anne Frank House“, in: *Studies in Conservation* (5), London 2020, 262–284, DOI: 10.1080/00393630.2019.1703401

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

Korenberg, C., Keable, M., Phippard, J., Doyle, A., „Refinements Introduced in the Oddy Test Methodology“, in: *Studies in Conservation* (63), London 2018, 2-12;  
DOI: 10.1080/00393630.2017.1362177

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

Kracht, K., „*Kulturgut auf dem Trampolin: wie Konzerte und Museumsbesucher Vitrinen zum Schwingen bringen.*“ in: *Restauro* (1), München 2018, 30–33

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: *Achtung Kunst!*, 6. Restauratorenentag des VDR, 20.11.2009, Bonn, Zusammenfassung der Vorträge, VDR-Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut (2), Bonn 2010, 22–26

Krochmann, J.: „Über die Bestimmung der relativen spektralen Lichtempfindlichkeit von Museumsgut“, in: *Mitteilungen des Deutschen Restauratorenverbandes*, 1985/86, 20-28.

Kronkright, D. P.: “Caution urged when considering LED light sources for light-sensitive materials”, in: *Conservation DistList Instance*, 2010, April, 4.

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

Lampropoulos, V., Maneta, C.: „Control of relative humidity inside a showcase with the use of saturated salt solutions“, in: Collection Care, Valencia 1.–3.12.2021, Book of abstracts, 35

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

Lipp, F., Kracht, K., „Painting-specific backing boards based on vibration testing and FEM simulation“, in: Collection Care, online conference, Valencia, 1.–12. 2021, Book of abstracts, 48

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

Maekawa, S., Ankersmit, B., Neuhaus, E., Schellen, H., Beltran, V., Boersma, F. „*Investigation into impacts of large numbers of visitors on the collection environment at Our*

*Lord in the Attic*," in: Museum microclimates: contributions to the Copenhagen conference, 19-23 November 2007; Nationalmuseet (Denmark), Copenhagen 2007, 99-105

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: *Restaurio* (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, B., Boehme, C.: *Formaldehyd-Abgabe von natürlich gewachsenem Holz*, in: *Holz-Zentralblatt* (120), 1994, 1965–1971

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, Appendix D

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

Mohamed, O., „Unstable Dye Blamed for Van Gogh's Fading Sunflowers“, in: *Chemistry World*, April 5, 2016, <https://www.scientificamerican.com/article/unstable-dye-blamed-for-van-gogh-s-fading-sunflowers/>

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., Radepon, 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: *Restaurator forum* (6), München 2000, 414–418

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

Müller-Straten, C., „Museologische Bemerkungen zu farbigen Innenwänden und Ausleuchtung von Museen“, in: *Museum aktuell* (153), 2009, 14-20

*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: PROPAIN 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* (1), 1973, 27–28

Odegaard, N., Sadonzei, 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

Ohlmeyer, M., Makowski, M., Schöler, M., Hasch, J., Fried, H., *Entwicklung von Konzepten zur Reduzierung von VOC-Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen unter Berücksichtigung*

*des Herstellungsprozesses – weiterführende Untersuchungen*. Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie Nr. 2008/1. Zentrum für Holzwirtschaft Universität Hamburg 2008, 1–86; [https://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/dk040782.pdf](https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dk040782.pdf)

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 Polutants 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: *Restaurator 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“, Lichtehtesttests an Künstlerfarben im 18. und 19. Jahrhundert – und heute. In: *Restaurator* (7), München 2011, 21-29

Pospischil, R., „Die Einschleppung von Schädlingen im Rahmen des Klimawandels und der Globalisierung“, in: *Restaurator* (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

Prahl, W., Roessler, G.: „Wie werden Exponate vor Licht geschützt?“, in: *Restaurator* (4), 1997, 240-246.

*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

Raquet, M., Hoppe, J., Dix, A., Helbig, U., Mack, O., Kaliwoda, M.: „Außergewöhnliche Silbersulfiderscheinungen an Exponaten in Vitrinen“, in: *Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut* (2), Bonn 2017, 16–23

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

Rhyl-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

Runeberg, U., „Hartfaserplatten als Bildträger, Konstruktions- und Restaurierungsmaterial. Historische, materialimmanente und ästhetische Aspekte eines Holzwerkstoffs in der Kunst“, in: *Handbuch der Oberflächenreinigung*, hg. v. Eipper, P.-B., 7. Auflage, München 2021, Bd. III, 79–115

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.: „Sustainability in Museum Lighting“, in: *Collection Care*, Valencia, 1.–3.12.2021, Book of abstracts, 11

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

Schaeffer, T. T.: *Effects of Light on Materials in Collections. Data on Photoflash and Related Sources*. Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2001, 1-211

Schaich, M., „Vom 3D-Scan zur fotorealistischen 3D-Dokumentation“, in: *Restaurations-Extra*, München 2005, 16–20

Schitthelm, K.: „Das Archäologische Institut der Universität Zürich erreicht optimale Beleuchtung und halbiert die Energiekosten“, in: *Museum aktuell* (153), 2009, 21

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 Construction 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](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

Singer, B., Aslaksby, T., Topalova-Casadiago, B., Storevik Tveit, E.: Investigation of Materials Used by Edvard Munch. In: *Studies in conservation* (3), 2010, 274–292

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

Smedemark, S. H., Rhyll-Svendsen, M.: „Indoor Air Pollution in Archives: Temperature Dependent Emission of Formic Acid and Acetic Acid from Paper“, in: *Journal of Paper Conservation* (1), 2021, 22–30

Smyth, A. W., Brewick, P., Greenbaum, R., Chatzis, M., Serotta, A., Stünkel, I., „Vibration mitigation and monitoring: a case study of construction in a museum“, in: *Journal of the American Institute for Conservation* (1), 2016, 32–55

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

Strecha, J.: „Dichtheitsprüfung bei Kunstvitrienen. Über den »richtigen« Umgang mit Indikatorgasmethode“, in: *Restauro* (7) 2013, 28–33

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

Stolow, N., „*The preservation of historic houses and sites in the interface of architectural and restoration and collections/display conservation principles*“, 116-122, in: IIC Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress, 12-16 September 1994, London, 1994, 1-244

Strasser, V., Masson, O.: Die Montage und Einrahmung von Kunstwerken auf Papier. Cabinet des estampes du Musée d'art et d'histoire, Genève und Schweizerischer Verband für Konservierung und Restaurierung (Hrsg.), 1995, 1-63

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 Physicians, Edinburgh, ed. by Sage, Joe, 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 1992“, 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., „Vibration damage levels for museum objects“, in: 13th triennial meeting, Rio de Janeiro, 22–27 September 2002: preprints, EarthscanLtd., London 2002, 90–95

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](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, 1–293

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

Ulmann, A. v.: „Neues Licht im Museum. Licht als Schadensquelle“, in: *Restauro* (8), 2011, 48-53

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

Valet, A., Zorll, U.: Lichtschutzmittel für Lacke. C. R. Vincentz Verlag, Hannover 1996

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

Venosa, A., Burge, D., Nishimura, D., “Effect of Light on Modern Digital Prints”, in: *Studies in Conservation* (4), 2011, 267-280

Verhoeff, G., Kracht, K.: „Tailor-made protection of paintings against shock and vibration during transport“, in: *Collection Care, Valencia 1.–3.12.2021, Book of abstracts*, 30

Verticchio, E., Frasca, F., García-Diego, F.-J., Siani, A. M.: „Investigation on the Use of Passive Microclimate Frames in View of the Climate Change Scenario“, in: *Climate* 2019, 7, 98; doi:10.3390/cli7080098

Vigl, M., „Ein Gerät zur Erfassung von Oberflächendeformationen an Holztafeln am Beispiel eines Gemäldes von Bartholomäus Spranger“, in: *Restauratorenblätter* 19, *Gemälde auf Holz und Metall. Klosterneuburg*, without year, 89–94

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](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, ed. by Padfield, T., 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

Wei, W., Sauvage, L., Wölk, J., „Baseline limits for allowable vibrations for objects“, in: *ICOM-CC 17th triennial conference preprints*, Melbourne, 15–19 September 2014, ICOM Committee for Conservation, Paris 2014, art. 1516, 1–7

Weintraub, S.: Comments regarding LEDs and the risk to light sensitive materials. American Institute for Conservation, April 28, 2010, 1-10.

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

Yang, S., Ma, B., Ge, J., Li, M., Zhang, L., Min, C., Liu, J.: „Overview of Preventive Conservation Research Work on Seismic Mitigation and Subway Vibration Control in

Chengdu Museum of China“, in: *Studies in Conservation* (4), London 2020, 212–220, DOI: 10.1080/00393630.2019.1664148

Yuming, X.: Development of a UV-adsorbing Filter in China and its application to the protection of the mural paintings of Fahai Temple, Beijing. ICOM, 8<sup>th</sup> Triennial Meeting, Sydney. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1987, 931-934

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

Zorpas, A. A., Skouroupatis, A., „Indoor air quality evaluation of two museums in a subtropical climate conditions“, in: *Sustainable Cities and Society* (20), 2016, 52-60; <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.10.002>

## **Abstract**

Preventive conservation: pollutants in the depot atmosphere, storage and transport containers

The contribution shows that, due to use of different materials in storage and exhibition, the objects suffer due to ingredients of the surrounding environment. The article gives information on current EU-projects, dealing with contents of preventive conservation, discusses several materials in use and evaluates the pollutants next to exhibited, stored and transported objects (Volatile organic compounds, „VOCs“). Comments contemporary used materials (building materials made of concrete, glass, ceramics, clay, stone, clay, lime and gypsum plasters, metal, floor coverings), points out the hazards caused by wood (carboxylic acids, acetic acid, formic acid, acetaldehyde, formaldehyde) and wood-based materials (wooden sticks, plywood, multiplex panels), esp. wood fiber boards (pressboard, masonite, soft fiber, MDF, HDF boards) due to their evaporating ingredients. Papers, boxes and cardboard, textiles, plastic products (sheets, foils, molded parts, foams, insulation, cables, sealing compounds, natural rubber or cellular rubber adhesive tapes) and paints are mentioned as materials, which can shorten objects lifetime due to processes initiated by the presence of agents of deterioration. Transport box and showcase materials are compared, UV protection methods (filters, foils, paints, LEDs) are given, calculating light exposure times is explained,

Integrated Pest Management (IPM) is discussed. Additionally the contribution offers literature and links.