Licht im Museum[1]

Paul-Bernhard Eipper

Zusammenfassung Deutsch

Zerstörung setzt Energie voraus, die auch durch Licht oder Wärme geliefert wird. Im Museum ist Licht sicherlich präsenter als Wärme, vor allem in historischen Bauwerken. Infrarote und ultraviolette Lichtstrahlen wirken sich besonders schädlich aus, und ihre höchsten Anteile finden wir im Tageslicht. Diese Lichtanteile sollten ausgefiltert werden, Fenster sollten nicht zur Beleuchtung der Objekte dienen.
Vor allem Farben verändern sich unter Lichteinwirkung, aber grundsätzlich sind alle organischen Materialien tierischer und pflanzlicher Herkunft vom degradierenden Einfluss des Lichts betroffen, wie z. B. Papier, Holz, Pergament, Leder, Federn, Haare, natürliche wie synthetische Farbstoffe, Plastik, Textilien aus Jute, Baumwolle, Seide, Leinen und Wolle. Licht bewirkt auch, dass sich die Stabilität des Materials verringert, da Lichtenergie dazu in der Lage ist, Kohlenstoffketten zu spalten. Das betrifft auch Bindemittel wie Öl, Harze, Ei, Gummen und tierische Leime, welche auch vergilben. Deshalb müssen wir nahezu alle Materialien gegen den lichtbasierten Verfall schützen, auch die textilen Rückseiten von Gemälden.
Ohne Licht sind wir nicht in der Lage, die ausgestellten Kunstwerke zu sehen. Aber Licht erhöht auch die Temperatur, was starke Auswirkungen auf Luftfeuchtigkeitswerte hat. Schwankende Luftfeuchtigkeit führt wiederum zu Quell- und Schwundprozessen, was die strukturelle Degradation begünstigt.

Der Beitrag beleuchtet, wo im Museum Quellen von infraroten und ultraviolette Lichtstrahlen anzutreffen sind und beschreibt verschiedene Lichtquellen (Glühbirnen, Halogenstrahler, Neonröhren, Energiesparlampen, Glasfaserbeleuchtung, LED-Lampen). Weiters wird aufgezeigt, wie dem Lichteintrag effektiv begegnet werden kann, z. B. durch Montage von Lichtschutzfolien und -anstrichen auf Fenstern, die Verwendung von UV-absorbierenden Anstrichen, den Vorsatz von Filtern auf UV-emittierenden Leuchtkörpern. Neben der Erläuterung einiger technischer Begriffe wird auch darauf eingegangen, wo Schutzvorrichtungen bezogen werden können. Insgesamt wird klargestellt, dass Objekte am wirksamsten geschützt werden, indem das Licht abgeschaltet wird, sobald sich niemand in der Ausstellung aufhält.

English Summary:
Deterioration needs energy – either light or heat. Light is much more potent than heat in the museum, esp. historic houses. Damages on artworks can be provoked by ultraviolet and infrared rays. The highest proportions of these rays can be found in our natural daylight. Therefore these components have to be filtered. Windows should be used for views, not for lighting.
No one needs to be told that light changes colours. We can say that all organic material is at risk under light. This means all things which originated in animals or plants, eg. paper, wood, parchment, leather, feathers, hair, natural dyes as well as the synthetic dyes and plastics, further more textiles as jute, cotton, silk, linen, wool. Not only the colours are changing, even the strength of materials decreases, eg. binding medias as oil, resin, tempera, gum, glue.

[1] Dieser Beitrag ist eine überarbeitete, aktualisierte Fassung von: Eipper, 1994, 1996, 1998, 2000, 2002, 2006.

Therefore one has to protect nearly all material against decay, even if they are not visible, for example the backsides of paintings.
Without light we are not able to see our artworks. But light rises – when switched on – temperatures too, which can have severe effects on humidity change. The change of humidity allows the objects to dry out and cause therefore damages in their structure.
The report points out where in the museum the sources of these rays are. Describes different light sources (eg. bulbs, halogen-, neon-, fiber glass- lamps and non- ultraviolet rays emitting LED-lamps). Shows what can be done eg. covering insulated window panes with different transparent ultraviolet protection foils and paints, covering of ultraviolet-emitting lamps with filters, use of ultraviolet light-absorbent wall paints. Technical terms, abstracts and manufacturers are given. Reducing damage by light can be achieved by our most effective strategy: to reduce the illumination and the time of exposure.

Schädigungen durch Licht

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 (Rembrandt: Die heilige Familie vor dem Vorhang; Holztafel; 45 x 67 cm; signiert und datiert: „Rembrandt ft. 1646", Kassel, Gemäldegalerie; Adriaen van der Spelt (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)

Licht ist Energie. Die schädigende Wirkung der vor allem im Tageslicht, aber auch im Licht von Beleuchtungskörpern enthaltenen kurzwelligen UV-Strahlen ist bekannt[2]. In verschieden langen Zeiträumen können sie chemische Reaktionen an fast allen empfindlicheren Museumsobjekten (z.B. Textilien, Papier, Gemälde, ethnografische Objekte, Holz, Kunststoffe) verursachen[3]. 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.

---

2 Harrison, 1954; Krochmann, 1985/1986, 20; Hilbert, 1987,14, 68-70; Strasser & Masson, 1995, 47; Fischer et al, 1997, 331.

3 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, S. 131

Johann Georg Platzer (1704-1761): „Allegorie auf den Geschmack“, Öl auf Kupfer, 38,7 x 24,7 cm

Detail aus J. G. Platzer: „Allegorie auf den Geschmack“. Entfärbung des ursprünglichen Krapplacktones der Jacke des Kindes (Der originale Farbton hat sich im vor Licht geschützten Zierrahmenfalzbereich erhalten.)

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 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: Kosmische Strahlung
Radioaktive Strahlung
Röntgen-Strahlung
UV Strahlung (100 - 380 nm)

Für den Menschen sichtbares Licht (380 - 780 nm)

Unsichtbar: Infrarot-Strahlung (780 - 10.000 nm)
Radar
Fernsehen, Rundfunk
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 blauvioletten 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 Floureszenzanregung. 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.

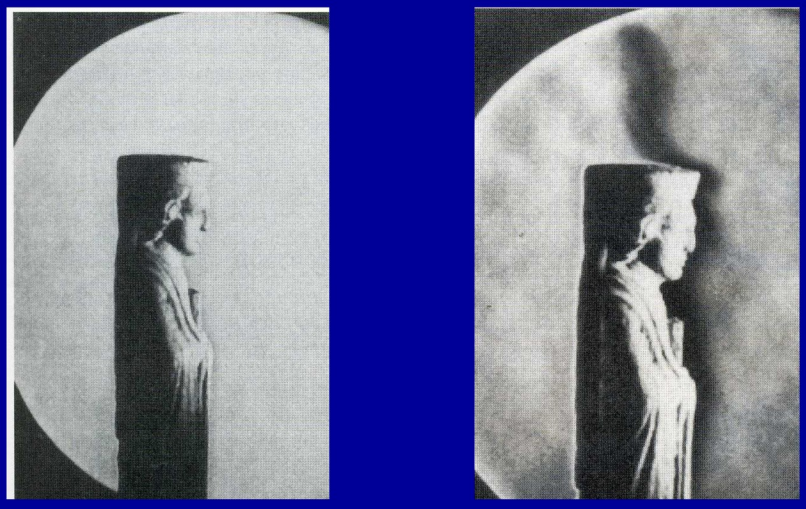
UV-C = 100 - 280 nm. Strahlen dieser kurzen Wellenlängen sind die energiereichsten. Sie "verbrennen" bereits nach kurzer Zeit die menschliche Haut, wirken keim- und bakterientötend (weshalb sie in Luftbefeuchtern eingesetzt werden) und lösen viele photochemische Prozesse aus.

Infrarot-Strahlung
Kunsthistorische Objekten sind auch durch Infrarotstrahlen im Bereich von 780 - 1400 nm gefährdet. Diese degradierenden, langwelligen Lichtstrahlen trocknen durch ihre thermische Wirkung die Objekte aus und beschleunigen durch Temperaturerhöhung irreversible fotochemische Prozesse[4].

Infrarot-Strahlung (780 - 10.000 nm)

[4] Hilbert, 1987, 88; Hilbert, 1996, 113; Prahl & Roessler, 1997, 244; Fischer et al, 1997, 331

IR-A = 780 - 1400 nm
IR-B = 1400 - 3000 nm
IR-C = 3000 – 10.000 nm



Heiligenfigur, 13. Jh. Eichenholz, 28 cm hoch:
Links: einige Sekunden nach Einschalten des Scheinwerfers
Rechts: Nach 2 Minuten: Die aufsteigende Warmluft markiert sich als schwarzer Schleier (Abb.: Hilbert, G.S.: Sammlungsgut in Sicherheit, 1996, 113).

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. Metalldampflampen 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[5].

UV-Schutzvorkehrungen an Beleuchtungskörpern

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

Vorkehrungen an Glühlampen
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.

[5] Hilbert, 2000, 456; Ulman, 2011, S. 52.

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 ± 15°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°C) ist.
Bei den praktisch in Glühlampen erreichbaren Temperaturen von etwa 2300 bis 2900°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[6].

Vorkehrungen an Glühlampen (auch „Glühbirnen“, mit mattem oder klarem Glaskörper) selbst, im Sinne einer Nachrüstung durch UV-Schutzfilter, sind derzeit 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.

Aus all diesen Gründen wurde nach der Sanierung der großen Galerie im Schloss Schönbrunn, Wien, 2011 die Wand und Deckenleuchter auf elektrisches Kerzenlicht umgestellt. “Ziel war es, den Eindruck, den die Kerzen im 18. Jahrhundert gemacht haben, wiederzugewinnen. Erst durch das Flackern von Kerzen kam der Hochglanz der polierten Wände ursprünglich so richtig zur Geltung und diesen Effekt wollten wir weitgehend wiederherstellen“, erklärte der Geschäftsführer Kippes. Bisher warden die Luster und Kronleuchter mit Glühkerzen bestückt. Im Schnitt mussten die 900 Glühkerzen im Saal zweimal pro Jahr ausgetauscht werden. Eine Weiterverwendung käme aber aufgrund des schrittweisen EU-Verbots für Glühbirnen nicht infrage. Wegen des hohen Energieverbrauchs, der hohen IR-Anteilen und auch der UV-Anteile sind geben Glühbirnen weniger ideal. Die neuen flammenförmigen energiesparenden Kristallleuchten wurden im Rahmen einer Partnerschaft von Swarovski entwickelt. Das Licht ist kühler und weniger gelb als das der Glühbirnen, hat aber unregelmäßige Stimmungsfarbvariationen, wie sie auch beim Flackern von Kerzen hervorgerufen werden. Dieses Flackern lässt sich steuern. Die LED-Technik ist nicht sichtbar im Schaft der Kristallleuchte versteckt.[7]

---

6 http://de.wikipedia.org/wiki/Glühlampe

7 Roman David-Freihsl, DER STANDARD, Printausgabe, 16./17.4.2011. derstandard.at/1302745364120/Schloss-Schoenbrunn-Das-historische-Flackern-der-LED-Kerzen

Vorkehrungen an Kompakt-Leuchtstofflampen ("Energiesparlampen")
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.

Kompaktleuchtstofflampen 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[8].

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 bis 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.

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.

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

[8] http://de.wikipedia.org/wiki/Spezial:Suche?search=kompaktleuchtstofflampe

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 Floureszenz verringern das 100 Hz-Flackern (doppelte Netzfrequenz), längeres Nachleuchten (> 1 s) ist hingegen unerwünscht[9].

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[10].
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 solchen Licht ausgesetzte Aufsichtspersonal und die Besucher ermüden schneller. Es ist daher sinnvoll dieses Flimmern durch geeignete Vorschaltgeräte zu eliminieren[11].
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

---

9 http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtstoffr%C3%B6hre

10 Prahl & Roessler, 1997, 244. Zu beziehen über: Mono-C GmbH, Kunoldtstraße 10-14, D-34131 Kassel

11 Osram Lichtprogramm

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 geringerem Bearbeitungszeiten durch kürzere Reaktionszeiten ermöglicht[12].

Folgende Vorteile bietet die Nachrüstung:
1. Bessere Arbeitsbedingungen weil flimmerfrei
2. Energieersparnis mind. 20 %
3. Höhere Lebensdauer der Leuchtstoffröhren
Geeignete Vorschaltgeräte und Leuchtmittel, welche den Anforderungen für Museen entsprechen werden beispielsweise durch die Fa. natur-nah angeboten[13].

Vorkehrungen an Halogenstrahlern
Obwohl Halogenlampen die schädigende Wirkung des Tageslichtes halbieren, müssen dennoch Schutzvorkehrungen angedacht werden[14]. 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 Wolframatomen und stabilisiert eine wolframhaltige Atmosphäre. Der Prozess ist reversibel: Bei hohen Temperaturen zerfällt die Verbindung durch Pyrolyse wieder in ihre Elemente – Wolframatome 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 Abdampfrate 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 (zum Beispiel 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.
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.

---

12 Grassegger, 2000, 540-542; Grassegger, 2001, 24-26.

13 Natur-nah. Michael Grasegger, Ringstraße 7, D-29559 Wrestedt

14 Weintraub, 2010, 1-10

Gasdichte Stromdurchführungen werden bei den Quarzglas-Kolben von Halogenglühlampen 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[15], bei neueren Produkten wir d 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[16].

Für Halogenstrahler sind neben den relativ kurzlebigen Kunststofffiltern und Gelfiltern vor allem die hoch hitzebeständigen Borsilikatgläser[17], welche einen 99% Schutz vor UV-Strahlen bieten, wie sie von Halogenstrahlern erzeugt werden, empfehlenswert. Diese dichroitischen[18] 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[19] und Halostar® UV-Stop, bei welchen die Ausbleichwirkung nach CIE auf bis zu 80%, gegenüber herkömmlichen Stiftsockellampen, verringert ist[20] sowie auf Capsuline-Halogenlampen von Philips[21] zurückgreifen.
Lassen sich Halogenstrahler dimmen, ist es empfehlenswert die Beleuchtungsstärke von Halogenstrahlern so herab zu dimmen, dass es zu einer Verschiebung der spektralen Strahlungsverteilung hin zu größeren Wellenlängen kommt, was gleichbedeutend mit einer Verringerung der Farbtemperatur (Rotverschiebung) ist[22]. 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 10 Jahren diese Lampen nicht mehr erhältlich sein werden.[23]

---

15 Ulmann, 2011, S. 50
16 http://de.wikipedia.org/wiki/Glühlampe
17 Optivex®. Zu beziehen über: Mono-C GmbH, Kunoldtstraße 10-14, D-34131 Kassel
18 Dichroismus (griech.): Die Eigenschaft doppelbrechender Kristalle, das Licht des entstehenden ordentlichen und außerordentlichen Strahls in verschiedener Richtung in verschiedenem Maße zu absorbieren
19 Decostar 51 bietet neben dem UV-Schutz eine Abstrahlung der Wärmeenergie nach hinten bis zu zwei Dritteln
20 Mittlg. von A. Stolzenberg, Vertriebsingenieur der Osram GmbH
21 Mittlg. von L. Reeker, Vertriebsingenieur der Philips Licht GmbH
22 Prahl & Roessler, 1997, 244; http://de.wikipedia.org/wiki/Halogenlampe.
23 LEDs-die Nonplusultra-Beleuchtung für Kunstwerke? In: Restauro (7), S. 12-15

Die Silberkammer in der Wiener Hofburg ist 2010 von Halogen auf LED-Leuchtmittel umgestiegen. Fast 2000-mal pro Jahr mussten bisher die kaputten Halogen-Lampen ausgetauscht werden. Da die Silberkammer eine Hochsicherheitszone ist, hatte dies zur Folge, dass Vitrinen immer nur gemeinsam von einem Vertreter des Eigentümers (Bundesimmobilienverwaltung) und des Pächters (Schloss Schönbrunn Kultur- und Betriebsges.m.b.H) geöffnet werden dürfen. Die geöffnete Vitrinen wurde dann von den Kustoden ausgeräumt. Dann konnte erst der Elektriker den Austausch vornehmen. Bei den Hologenlampen steigt die Oberflächentemperatur punktuell auf bis zu 1000 Grad. Und die Vitrinen kamen auf eine Außentemperatur von 35 bis 40 Grad, so dass man im Winter die Raumluftheizung abdrehen konnte. Die hohen Temperaturen in den Schaukästen führten außerdem zu einem erhöhten Luftwechsel - weshalb die Ausstellungsstücke schnell verschmutzten. Außerdem waren die hohen Temperaturen der Leuchten auch ein Sicherheitsproblem: Der Brand im Schloss Windsor wurde von einer Halogenleuchte ausgelöst. Ein Windstoß hatte durch ein offenes Fensters einen Vorhang auf eine Lampe geweht, worauf sich dieser an der Halogenlampe entzündete. Auch die geringe Lebensdauer der Halogenlampen von rund 2000 Betriebsstunden (die Silberkammer ist pro Jahr rund 3600 Stunden erleuchtet) sprach für den Austausch. Zudem amortisiert sich durch die geringeren Betriebskosten der Tausch in etwa zwölf Jahren, berücksichtigt man auch die Personalkosten, sind es nicht einmal zwei Jahre.[24]

Glasfaseroptische Beleuchtungssysteme

Die Glasfaseroptik beschert 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. Diese relativ kostspielige Art der Beleuchtung von Objekten gewährleistet im Hinblick auf die sehr geringen UV-und Infrarotanteile im Licht nahezu optimale Ergebnisse. 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 Glaserfaserbeleuchtungssytemen 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[25]. Die Lichtquelle sollte beim Einsatz von glasfaseroptischen 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 noch recht jungen Beleuchtungstechnik verläuft äußerst rasant. Diese Technologie hat bereits die Glasfaser- und Halogenbeleuchtung überholt[26]. Erst in jüngerer

---

24 Roman David-Freihsl, DER STANDARD - Printausgabe, 30. Juli 2010) – derstandard.at/1277339222611/Silberkammer-in-der-Hofburg-Die-Riesenprobleme-mit-den-kleinen-Laempchen

25 Mittlg. von Herrn K. Förster, Fa. Vitrinen- und Glasbau Reier, J.-S.-Bach Straße 10 b, D-02991 Lauta.

Eipper, 2002, 3621-3627.

26 Müller-Straten, 2009, 18.

Zeit 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. Wir sehen dieses in der Anschaffung teuere aber im Betrieb äußerst kostengünstige System, welches sich einfach montieren lässt und durch geringen Stromverbrauch und dem Gewinn an Sicherheit im vorbeugenden Brandschutz auszeichnet, als nahezu ideal an. Die bei der Rembrandt Ausstellung in Graz 2006/2007 verwendete Beleuchtung überschreitet 35 Lux nicht und hat einen unter der Nachweisgrenze liegenden UV-Anteil.

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.: **l**ight **e**mitting **d**iodes) 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 Licht emittierenden Dioden (LED) erfolgt die Strahlungserzeugung durch Rekombination von Ladungsträgerpaaren in einem Halbleiter mit entsprechendem Bandabstand.

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 $10^{-3}mm^2$ bis $1mm^2$ (z.B. 0,4mm x 0,4 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[27]. Bei der Lebensdauer (bis zu 30.000 Stunden) liegen die kühleren ins Blau tendierende LED´s vor den wärmeren ins Gelb tendierenden LED´s. Die neueren Multi LEDs (RGB-) beinhalten verschiedenfarbige LED-Chips in einer Lampe und geben ein gutes Mischlicht[28]. 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 ducrh Beleuchtungskörper hervorgerufene Erwärmung, sind LED als die schonendste Beleuchtungsmöglihkeit 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[29]. Warmweißes Licht z.B. für Goldschmiedearbeiten, also Rot- und Gelb-Töne.

---

27 Weintraub, 2010, 1-10.

28 Müller-Straten, 2009, 18.

29 Auf die Gefahren für das Kunstgut bei hohen Blauanteilen im LED Licht sei hingewiesen. Ulmann, 2011, 50

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 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

keine UV Strahlung, keine IR-Strahlung (Wärme), geringer Energieverbrauch, geringe Wärmeentwicklung, Reduzierung der Klimatisierungskosten, Reduzierung der Beleuchtungskosten[30], nahezu unbegrenzte Lebensdauer der Lampe, keine Wartungskosten, keine Reinigungskosten, geringere Transportkosten, geringere Entsorgungskosten, teilweise verfügbare Produktionstechnik, kleine Bauform, miniaturisierte SMD-Ausführungen passen in herkömmlichen Leuchten, feinstrukturiertes Design, individuelle Formbarkeit des Leuchtmittels durch unterschiedliche Anordnung der LED, Dimmen ist ohne Änderung der Lichttemperatur möglich, Lichtfarbe ist regelbar (bei Verwendung verschiedenfarbiger LED), alle Lichtfarben möglich (LUCO-LED oder Farbkombination), große Typenvielfalt, geringer Einsatz von Ressourcen, geringerer Energiebedarf im Betrieb, stoß- und vibrationsfest , kann nicht implodieren, plötzlicher Ausfall ist unwahrscheinlich, präzise Lichtlenkung ohne zusätzlichen Reflektor durch LED mit definiertem Abstrahlwinkel, gute Blendungsbegrenzung, brummfrei, keine Lampenfassungen erforderlich, Sicherheit durch Schutzkleinspannung, praktisch trägheitslos schalt- oder modulierbar, gute Farbwiedergabeeigenschaften bei RGB Mischung.

Nachteile von LED-Leuchten

geringere Lebensdauer bei High-Brightness-LED, große Zahl von LED nötig, um Leuchtstärke konventioneller Leuchtmittel zu erreichen, Entwicklungskosten der Platinen, hoher Energiebedarf bei der Fertigung, Effizienz und Lichtfarbe ist mehr oder weniger temperaturabhängig, 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 abgeben sind notwendig[31].

---

30 Schitthelm, 2009, 21.

31 http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtdiode

Die in den Vitrinen der Rembrandt Ausstellung in Graz 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[32].

Fazit: da alles Licht Energie ist, schädigen auch LED-Lampen die Kunstwerke.[33] Zwar laufen diese Prozesse beim Einsatz von LED´s 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 Objekte (Graphiken, Fotos, Textilien, bestimmte Farben bei Ölgemälden etc.) sind dreimonatige Expositionen bei 50 Lux und einer nachfolgenden zweijährigen Pause sakrosankt.

UV-Schutz durch Verglasung

Gemälde und Graphiken können beispielsweise durch Verglasung mit Polycarbonathartgläsern (z.B. Makrolon®281) oder Polymethylmethacrylatgläsern (z.B. ICI-Perspex®, Röhm-Plexiglas®) oder den DESAG-Mirogard® -gläsern Protect Standard oder Protect Magic sehr wirksam vor UV-Strahlung geschützt werden.

UV-Schutzfolien für Fenstergläser

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[34]. In vielen Fällen wird, vor allem an kleineren Häusern, Sammlungen und Archiven, der Ausbau der normalen Isoliergläser[35] und sein Ersatz durch geeignetere Fensterverglasungen aus Kostengründen nicht möglich sein. Dann können moderne, nicht geblasene Fensterscheiben kostengünstig durch die Montage von UV-Schutzfolien[36] 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[37].
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.

---

32 Gutachten von Herrn Dipl.-Ing. Manfred Mayer, Universitätsbibliothek, Abteilung für Sondersammlungen, Buchrestaurierung, Universitätsplatz 3, A-8010 Graz.

33 Weintraub, 2010; Kronkright, 2010

34 Ketola & Robins, 1994, 133.

35 „Normales“ Isolierglas weist eine UV-Transmission im Bereich von 315-380 nm von ca. 40% auf.

36 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.

37 Huber, 1995, 166.

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.
Nach Burmester[38] 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[39].

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[40].

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 Wärmeflusses 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 Coeffizient): Das Verhältnis des Sonnenwärmegewinns durch ein bestimmtes Verglasungssystem zu dem

---

38 PD Dr. A. Burmester auf der I. Internationalen Fachmesse für Museumswesen (MUTEC) in München, 1995.

39 Fischer et al, 1997, 331.

40 Diese Informationen stellte dankenswerterweise die Bruxafol Folien GmbH, D-Elfershausen, zur Verfügung.

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 absorbierter 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[41]. Die erwähnten Daten stammen, soweit nicht anders angegeben, vom Hersteller selbst.

Das Lieferprogramm der Firma Courtaulds, Bielefeld[42], 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 Polyethylentherephtalat (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%; 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, welche die exakten 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 aufgebrachte Folien.

Die Bruxsafol Folien GmbH, Elfershausen[43], bietet ein breites Angebot von Innen- und Außenfolien an. Dabei wird zwischen Abdunkelungsfolien, Sichtschutzfolien, Mattierungsfolien, Sicherheitsfolien zur Unfallverhütung

---

41 Europäisches Museumsbranchenbuch, 2002, 60. Verlag Dr. C. Müller-Straten, Kunzweg 23, D-81243 München.

42 Courtaulds Performance Films Vertriebs GmbH, Herforder Straße 119-131, D-33609 Bielefeld

43 Bruxsafol Folien GmbH, Auraer Straße 12-14, D-97725 Elfershausen

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[44] 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.

Von der 3M AG, Neuss[45], 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.

---

44 Beim Sputtering werden positiv geladene Argon-Ionen in eine Vakuumkammer geleitet. Elektrisch geladene Gas Ionen beschießen dann das reine Metall (z.B. Aluminium), welches als Platte unter der rotierenden Polyesterfolie liegt. Das beschossene 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.

45 3M (Deutschland) GmbH, Carl Schurz Straße 1, D-41460 Neuss. 3M (Schweiz) AG, Energy Control Products, Eggstraße 93, CH-8803 Rüschlikon

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[46], 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 Polyesterlaminate, 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%; Reflektion: 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 m2 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, Bückeburg[47], 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, seidenglänzende, 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[48], 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 diese Innenfilm um 15% verringert, die fensterbezogene Raumerhitzung um 50% reduziert. Dieser farbneutrale, klarsichtige, kratzfeste, auch als UV- Schutzfilm für Schaufenster verwendete Folie, hat folgende 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, kratzfeste Durital-Oberfläche. Sie hat folgende Leistungsdaten: totale Sonnenlicht Reflexion: 08%; totale Sonnenenergie Absorption: 0,7%; totale Sonnenlicht Transmission: 85%; sichtbares Licht Transmission:

---

46 Josef Bohle Stiftung & Co. KG, Dieselstraße 10, D-42781 Haan

47 Hans Neschen GmbH, Windmühlenstraße 6, D-31665 Bückeburg

48 ASLAN, Schwarz GmbH & Co., Bahnhofstraße, D-51491 Overath-Untereschbach

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[49], 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 Polyethylentherephtalat (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[50], 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, kratzfeste 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%.

---

49 HAVACO Folientechnik GmbH, Zum Kaiserbusch 26, D-48165 Münster

50 Dittmar GmbH, Märkische Straße 200, D-42281 Wuppertal

- 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 alleine erfolgen. Die Dittmar GmbH gewährt fünf Jahre Garantie auf ihre Filme.

Die Lonza Folien GmbH, Weil am Rhein[51], bietet zwei UV-Schutzfolien an.

- Ultraphan®: Diese 0,05 mm starke, transparente oder stark orange gefärbte, nicht klebbare Folie aus gegossenem Celluloseacetat wird in der Stückgröße 100 x 120 cm hergestellt. Die Folie bietet einen 100% Schutz vor UV-Strahlung bis zur Wellenlänge 380 nm. Diese Folie scheint jedoch nur in ihrer ungefärbten Variante hauptsächlich zur Nachrüstung von Vitrinen für Einzelobjekte oder zur Abdeckung von kleineren Objekten geeignet.

Die Lonza Folien sind in diversen Maßen lieferbar und können selbst montiert werden.

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[52]. Diese Folie ist in diversen Maßen lieferbar und kann selbst montiert werden.

Die Sun-Foiltec Gmbh, Thayngen[53], 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 tri-acetat, 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[54]. 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[55].

---

51 Vertrieb: J. Rachow, Gluckstraße 67, D-22081 Hamburg

52 Zu beziehen über: Mono-C GmbH, Kunoldtstraße 10-14, D-34131 Kassel

53 Sun-Foiltec Gmbh, Thayngen, Schweiz

54 Yuming, 1987, 931

55 Diese Folien werden in Österreich von der Fa. Fenstertechnik-Grundmann, A-1180 Wien, hergestellt. Huber, 1995, 169

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 (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.

UV-Schutz durch Innenwandanstriche
Ebenfalls können geeignete Wandanstriche UV-Anteile des Lichtes absorbieren[56]. Vor allem Zinkweiß hat UV-absorbierende Eigenschaften.

Die eingesetzten UV-absorbierenden Beschichtungen sollten sowohl lösemittel- als auch weichmacherfrei sein, besser noch photokatalytisch aktiv. In diesem Fall wird die Raumluft von Substanzen gereinigt, die problematisch für die Exponate sein könnten.
Nicht wenige Materialien – von Bodenbelägen über Sitzgelegenheiten und Reinigungsmittel bis hin zu Wandfarben[57] – emittieren Substanzen, die den Exponaten nicht zuträglich sind[58].

Umfassende Untersuchungen über den Einfluss von Lösemitteln, ammoniakalischen Verbindungen oder Formaldehyd auf die heterogenen Materialkombinationen vieler Kunstwerke stehen noch aus. Doch es kann davon ausgegangen werden, 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, und Weichmacher, also hochsiedende Lösemittel, lagern sich an Exponate an und verändern deren Löseparameter. In ungünstigen Fällen werden Feinstaubpartikel aus der Luft gebunden welche damit Verschmutzungen der Oberfläche verursachen. Bei diesem Fogging-Effekt

[56] Eipper, 2000, 2449-2457.
[57] Bagda, Blessing, Finmans & Fischer, 1996.
[58] Eine normale, hochwertige Wandfarbe für den Innenanstrich besteht in der Regel aus ca. 22% Pigment, 17% Füllstoffen, 9% Bindemittel und Wasser, oberflächenaktiver Substanz, Schutzkolloide, Puffer, Cellulose (als Verdicker), Entschäumer, Mikrobiozide, Antioxidantien, Antistatica (vor allem zum Feuchthalten der Farbe beim Aufstrich, damit diese besser verläuft). Sie hat einen pH-Wert von 7,8 - 8,5 und sollte mit 5-8 Gew.% Wasser verdünnt werden. Eipper, 2000, 2576.

genannten Vorgang sind noch nicht alle Ursachen vollständig geklärt, fest steht jedoch, dass Weichmacher einen entscheidenden Anteil am Effekt haben[59],[60].

Vor etwa drei Jahren kamen die ersten Wandfarben mit photokatalytischem Zusatzeffekt auf den Markt. Die Photokatalyse beschreibt einen Vorgang, bei dem in der Regel UV-Licht Titandioxidpigmente[61] energetisch anregt, 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 Motiven in Ausstellungsräumen möglichst kein kurzwelliges UV-Licht vorhanden sein, um eine photochemische Schädigungen der Exponate auszuschließen. Gewährleistet ist dies in der Regel dadurch, dass sowohl Fensterglas als auch übliche Leuchtmittel (Leuchtstoffröhren, Halogenlampen) mit einem UV-Filter ausgestattet sind[62]. 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 photokatalytisch aktiven Farben (StoClimasan Color)[63]. Sie stellt sicher, dass der luftreinigende Prozess auch ohne UV-Strahlung im Museumsinneren stattfinden kann.

Farbe und Photokatalyse

Starke Farbigkeiten und photokatalytische Aktivität schließen sich nach dem derzeitigen Stand der Technik aus – zumindest in direkter Kombination. Doch die Fassung der Wände mit hochwertigen, lösemittel- und weichmacherfreien Dispersionsfarben kann ohne Probleme mit einer photokatalytischen Deckenbeschichtung verbunden werden. Diese Lösung eignet sich auch für Wechselausstellungsräume, in denen meist nur die Wände verändert werden. Natürlich ersetzt die Photokatalyse keine aktive Belüftung oder Klimatisierung der Ausstellungsräume. Sie produziert keinen Sauerstoff, sondern baut Schadstoffe ab. Hinzu müssen entsprechende Luftwechselraten kommen, die gewährleisten, dass beispielsweise durch große Besuchermengen eingetragene Feuchtigkeit sicher abgeleitet wird.
Diese im sichtbaren Lichtspektrum photokatalytisch aktiven Innenfarben, die zudem einer strikten Schadstoffkontrolle unterliegen, wurden zwar nicht speziell für den Museumseinsatz konzipiert, doch mit ihrem Eigenschaftsprofil kommen sie einer „Museumsfarbe" sehr nahe. Sie tragen zu einem „kunstfreundlichen" Klima bei – für die Exponate, aber auch für Aussteller, Besucher, Versicherer und Leihgeber.

---

[59] Die gefährlichen Bestandteile der Farbe stellen hierbei die Zusatzstoffe oberflächenaktiver Substanz, Filmbildehilfsmittel, Weichmacher, Mikrobiozide, Ammoniak, Antioxidantien und Lösemittel dar. Diese Komponenten können über Jahre hinweg ausdünsten und das Ausstellungsgut gefährden, indem sie ein Vielzahl chemischer Prozesse auslösen können. Eipper, 2000, 2576.

[60] Botzenhart, Müller & Strubelt, 2001.

[61] 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; 2000, 2576

[62] Eipper, 2002, 3621-3627

[63] Eipper, Oberle & Scharf, 2006, 23-24. Diese Farbe wurde 2006/2007 am Kunsthaus Graz eingesetzt.

Fazit
Bauliche Maßnahmen sind an historischen Häusern nur begrenzt umsetzbar. Eine um das Gebäude rotierende Fassade, wie am Audi Museum in Ingolstadt oder ein weit überkragendes Dach, wie bei der Fondation Beyeler in Riehen bei Basel sind nur bei Neubauten mitkonzipierbar. An allen anderen Häusern muss nachgebessert werden. Hier gilt es Kompromisslösungen zu finden.

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)
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

Literatur

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

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

Botzenhart, K., Müller, H. & Strubelt, O.: Innenraum-Luftverunreinigungen. Expert-Verlag, 2001.

Calienno, 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), S. 131-139

Courtaulds: Museums-Info. SL-LLumar UV-Schutzfilme, Produktinformation. Courtaulds Performance Films Vertriebs GmbH, Bielefeld (Hrsg.), o.S., o.J..

Doerner, M.: Malmaterial und seine Verwendung im Bilde, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 1980, 15. Auflage, 1-282.

Dörr, H., Holzinger, F.: Kronos / Titandioxid in Dispersionen, Herausgeber: Kronos TITAN GmbH, 1989.

Druzik, J., Glaeson, M., Pearlstein, E., Pesme, C. & Riedler, R.: Das Museum, die Vogelfederund der sterit ums Licht. In: Restauro (7), 2011, 30-35

Eipper, P.-B.: UV-Schutzfolien für Fenstergläser. Mitteilungsblatt (48). Museumsverband Niedersachsen und Bremen e. V., Hannover, 1994, 66-68.

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

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

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

Eipper, P.-B.: Bemerkungen zum Wandanstrich in Museen. Museum aktuell (64), München, 2000, 2576-2577.

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

Eipper, P.-B., Oberle, A. & Scharf, A.: Nicht irgendetwas, sondern ein "Kat": Die richtige Wand- und Deckenfarbe für Museen. Museum aktuell (131), Verlag Dr. C. Müller-Straten, München, 2006, 23-24.

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

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.

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

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.

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 symposion held in Fort Lauderdale, FL, on 19-20 Jan. 1993, 133-152. Ketola, W. D. & Grossmann. D. (Hrsg.), 1994.

Kittel, H. (Hrsg.): Pigmente, Wissenschaftliche Verlagsbuchhandlung Stuttgart, 1960.

Koch, C.: Grosses Malerhandbuch. Verlagsgesellschaft Heinrich Killinger, Nordhausen am Harz, 1936, 1-1202.

Krochmann, J.: Über die Bestimmung der relativen spektralen Lichtempfindlichkeit von Museumsgut. Mitteilungen des Deutschen Restrauratorenverbandes, 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.

Leitner-Ruhe, K. & Eipper, P.-B.: Rembrandt in Graz. Eine Sonderausstellung des Kupferstichkabinetts der Alten Galerie am Landesmuseum Joanneum. In: Museum aktuell (131), Verlag Dr. C. Müller-Straten, München, 2006, 33-36.

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

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

Prahl, W. & Roessler, G.: Wie werden Exponate vor Licht geschützt? Restauro (4), 1997, 240-246.

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

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

Stolow, N.: The preservation of historic houses and sites in the interface of architectual 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.

Schramm, H.-P. & Hering, B.: Historische Malmaterialien und ihre Identifizierung. U. Schießl (Hrsg.), Enke Verlag, Stuttgart, 1995, 1-272.

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

Thomson, G.: The Museum Environment. Butterworth & Co. Ltd., London, 1986, 1-293.

Trillich, H.: Das Deutsche Farbenbuch, II. Teil, B. Heller Verlag, München, 1925.

Ulmann, A. v.: Neues Licht imMuseum. Licht als Schadensquelle. In: Restauro (8), 2011, 48-53

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

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

Wehlte, K.: Werkstoffe und Techniken der Malerei. Otto Maier Verlag, Ravensburg, 1967, 1-856.

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

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 , 8th Triennial Meeting, Sydney. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1987, 931-934.

Zorn, S. & Dobrusskin, S.: Diasec and other Finishing Techniques. In: Studies in Conservation (4), 2011, 257-266