

# Materialien

Heft 5

G.S. Hilbert

Eine neue konservatorische Bewertung  
der Beleuchtung in Museen

aus dem  
**Institut für  
Museums-  
kunde**

Staatliche Museen  
Preußischer  
Kulturbesitz · Berlin

Heft 5

G.S. Hilbert

Eine neue konservatorische Bewertung  
der Beleuchtung in Museen

Berlin 1983



- Vorwort

Das Institut für Museumskunde, Berlin, stellt in unregelmäßigen Zeitabständen Materialien aus seiner laufenden Arbeit für interessierte Fachleute zur Verfügung. Diese Hefte gelangen nicht in den Buchhandel und werden nur auf begründete Anfrage hin abgegeben.

Zu dem vorliegenden Heft:

Der theoretische Ansatz zu den hier vorgelegten Zwischenergebnissen von Arbeiten zu lichttechnischen Fragestellungen ist durch den Leiter des Technischen Dienstes der Staatlichen Museen PK, Dipl.-Ing. G.S. Hilbert, unter Mitwirkung von Prof.Dr.Ing. J. Krochmann vom Institut für Lichttechnik der Technischen Universität Berlin formuliert worden. Die notwendigen Berechnungen wurden im Auftrag des Instituts für Museumskunde an diesem Institut durchgeführt.

Die vorliegende Schrift führt in die Materie ein und resümiert die Ergebnisse. Gutachten und Berechnungen stehen am Institut für Museumskunde zur Einsichtnahme zur Verfügung.

Die Bedeutung dieser Ausführungen liegt darin, daß, soweit bekannt, hier zum ersten Mal der Versuch gewagt wird, die Einwirkungen von Licht, insbesondere des Tageslichtes, auf die Objekte in Museen unter Berücksichtigung der Faktoren Zeit und spektraler Verteilung zu quantifizieren. Es ist beabsichtigt, in naher Zukunft durch Langzeitversuche die farblichen Veränderungen zu messen, denen bestimmte Objektarten unter Lichteinwirkung unterliegen.

Der Gesamtkomplex wird durch Hilbert im Zusammenhang behandelt werden, und zwar in dem für 1984 vorgesehenen zweiten Teil seines Buches "Sammlungsgut in Sicherheit", das im Rahmen der Berliner Schriften zur Museumskunde erscheinen soll, die unter der Federführung des Instituts für Museumskunde beim Verlag Gebrüder Mann, Berlin, veröffentlicht werden.

Andreas Grote

Im April 1983

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort

<u>1. Rückblick - Der 'Russell and Abney Report'</u>	S. 5
Erste Konsequenzen	S. 8
Der 'Relative Damage Factor'	S. 10
Lichtechtheitsforschung und musealer Lichtschutz	S. 17
Der Faktor Zeit und die jährliche Belichtung	S. 20
Die '3-Banden'-Leuchtstofflampe	S. 23
Lichtschutz heute	S. 24
<u>2. Eine neue konservatorische Bewertung von Lichtquellen</u>	S. 26
Einleitung	S. 26
'Relative spektrale Objektempfindlichkeit'	S. 27
Der Gefährdungsfaktor	S. 29
Bewertungsbeispiel "Kunstlicht"	S. 34
Der 'Mittlere Himmel'	S. 35
Tageslicht im Innenraum	S. 37
Spektrale Zusammensetzung des Tageslichtes	S. 38
Die 'Relative Gefährdung'	S. 39
Einflußgrößen der Tageslichtbeleuchtung	S. 41
Ergebnisse der Bewertung	S. 42
Schlußbemerkung	S. 49
<u>3. Literatur</u>	S. 52
<u>4. Anhang - J. Krochmann: 'Grundlagen'</u>	S. 58
<u>5. Literatur zum Anhang</u>	S. 66

## 1. Rückblick

- Der 'Russell and Abney Report'

Die Geschichte des Lichtschutzes in Museen beginnt im Jahre 1886 in London mit einer Auseinandersetzung, die in aller Öffentlichkeit und mit einiger Heftigkeit geführt wurde. BROMELLE berichtet darüber ausführlich<sup>1)</sup>.

In den Zeitungen waren Forderungen laut geworden, die 'National Gallery' solle doch künftig auch noch nach Einbruch der Dunkelheit für die Besucher offen gehalten werden. Man nannte als Beispiel das 'South Kensington Museum' - heute das 'Victoria and Albert Museum' -, das zu dieser Zeit bereits Abendöffnungen anbot. Wie nicht anders zu erwarten, wies der Direktor der 'National Gallery' dieses Ansinnen unverzüglich zurück. 'Mit den Besuchermassen', so argumentierte er, 'würden zwangsläufig alle die schädlichen Bestandteile der Londoner Luft eingeschleppt, die zusammen mit der Feuchtigkeit der Atemluft und dem Staub aus den Kleidern einen fettigen, korrosiven Belag auf den Gemälden bilden müßten; dies alles würde durch den schädlichen Einfluß der künstlichen Beleuchtung noch verschlimmert'. Doch ungerührt ob dieser Einwände, und obgleich sich der angesehene Sir J. C. Robinson, der Verwalter der Gemäldesammlung der Königin, ebenfalls öffentlich dagegen aussprach, beschloß das House of Lords, man habe die Galerie an drei Abenden pro Woche zu öffnen.

Robinson hatte seinem Protestschreiben eine Attacke gegen das South-Kensington-Museum, dem er einmal angehört hatte, angeschlossen. Er warf der Direktion dieses Museums vor, eine wichtige Sammlung englischer Aquarelle 20 bis 30 Jahre hindurch permanent in Räumen mit vollem Tageslicht ausgestellt zu haben. 'Dadurch seien diese Kostbarkeiten unwiderruflich ruiniert worden und nunmehr bloß noch blasse Schatten ihrer selbst. Es habe sich also nur eine einzige Generation an ihnen ergötzen können, jetzt seien sie sozusagen aufgebraucht. Wenn man Zeichnungen schon nicht, wie im Britischen Museum, in Mappen aufbewahre', so führte er weiter aus, 'dann solle man sie wenigstens nur noch abends unter elektrischem Licht zeigen, weil die ausbleichende Wirkung dann unendlich viel kleiner sei'.

Mit diesem Schreiben zog sich Robinson den Zorn des Präsidenten des 'Royal Institute of Painters in Water Colour' zu. Dieser sah sich und seine Aquarellmaler dem - von keiner Seite erhobenen - Vorwurf des Pfuschens und der Verwendung ungeeigneten Materials ausgesetzt und versuchte mit einer rasch arrangierten Ausstellung von Aquarellen zu beweisen, daß sie keineswegs ausbleichen. Niemand Geringeres als John Ruskin, zu dieser Zeit schon "Papst" der Kunstkritiker, hielt ihm dabei die Stange, indem er Robinsons Äußerungen im Katalog zur Ausstellung als 'Mischung aus Bosheit und Impertinenz' bezeichnete. Das wiederum war nach Ansicht der TIMES einer der 'verdrießlichen inneren Widersprüche des Herrn Ruskin'; denn tatsächlich kannte Ruskin, das wußte man aus seinen früheren Veröffentlichungen, den schädigenden Einfluß des Lichts auf Aquarelle durchaus.

Die Kontroverse hatte die unerwartete Folge, daß die Preise für Aquarelle auf Christie's Auktionen deutlich fielen; doch sie hatte weit wichtigere Wirkungen: Nicht nur, daß das angegriffene South-Kensington-Museum die betreffenden Zeichnungen im Depot verschwinden und die vorhandenen, aber nicht benutzten Vorhänge zum Schutze vor dem Tageslicht wieder auf- und zuziehen ließ, beauftragte es überdies zwei Wissenschaftler, Russell und Abney, mit gründlichen Untersuchungen über die Wirkung des Lichts auf Aquarelle. Zwei Jahre später, im Juni 1888, lagen Ergebnisse vor und es erschien der sogenannte 'Russell and Abney-Report'. Er wurde den beiden Häusern des Parlaments unterbreitet und löste in vielen Museen Maßnahmen zum Schutze der Sammlung aus. Die beiden Forscher waren folgendermaßen zu Werke gegangen:

Sie hatten nicht weniger als 39 gebräuchliche Wasserfarben und 34 Misch-töne auf Whatman-Papier aufgebracht, teilweise abgedeckt und knapp zwei Jahre lang durch Tageslicht beleuchtet. Gleichzeitig wurden Messungen der Beleuchtungsstärken in den durch Tageslicht, Gaslicht und durch Glühlampen bzw. Kohlebogenlampen beleuchteten Galerieräumen vorgenommen.

Aus den Ergebnissen zogen die Forscher Schlußfolgerungen, die an Aktualität kaum verloren haben, was wiederum erklärt, warum der Bericht insbesondere im englisch-amerikanischen Schrifttum bis heute immer noch wieder zitiert wird. Sie lauten:

1. Strahlung (einer Lichtquelle), die von einem 'Partikel des Aquarellfarbstoffs absorbiert wird, verursacht einen Anstieg der Temperatur und, in einigen Fällen, auch eine chemische Veränderung.'
2. Zwei Faktoren bewirken diese Veränderungen, die 'Intensität der Strahlung' und die Dauer ihrer Einwirkung. 'Wird ein bestimmter Farbton einer Strahlungsintensität von 100 ausgesetzt und verbleicht er in einer Stunde, so wird ein gleicher Farbton bei einer Intensität von 1 erst in 100 Stunden denselben Bleicheffekt zeigen'.
3. 'Die größten Veränderungen werden von den blauen und violetten Komponenten des weißen Lichts hervorgerufen. Bezogen auf gleiche Beleuchtungsstärke dominieren diese im Lichte des (klaren) Himmels, sind sie schwächer im Sonnenlicht und im diffusen Licht des bewölkten Himmels. Im künstlichen Licht sind sie nur zu einem kleinen Teil vorhanden.'

Nach PADFIELD (a.a.O) bewerteten die Verfasser die photochemische Energie des Lichts bei gleicher Beleuchtungsstärke gemäß Tabelle 1.

Tab. 1 Bewertung von Lichtquellen durch Russell und Abney<sup>1)</sup>

<u>Lichtart</u>	<u>Bewertungsfaktor</u>
Blauer Himmel	20
Sonnenstrahlung	10
Gaslicht und Glühlampe	1

Mit diesen Faktoren wichteten sie zwecks konservatorischer Beurteilung die Strahlung verschiedener Lichtquellen, wobei sie Sonnenscheinstunden und Tageslicht von bewölktem bzw. klarem Himmel zeitlich unterschieden; ein bemerkenswerter Vorgriff auf entsprechende Bemühungen unserer Zeit !

- Erste Konsequenzen

Am 'South Kensington Museum' zog man sehr rasch die praktischen Schlußfolgerungen aus den Ergebnissen der Untersuchung. So wurden u.a. die Oberlichter des Raumes, in dem die Raffael-Kartons ausgestellt waren, mit farbigen Gläsern ausgestattet, die die kurzwelligen Anteile des Tageslichts herausfilterten, damit aber den Raum in ein gelbliches Licht tauchten. Da die Besucher darauf farblich nicht eingestimmt waren, stieß die Beleuchtung auf manche Kritik. Im zweiten Weltkrieg wurde die Verglasung zerstört und später in dieser Form nicht wieder erneuert.

Die Bedeutung des Russell-and-Abney-Reports muß im Lichte der damaligen Erkenntnisse gesehen werden. Zwar war die bleichende Wirkung des Sonnenlichts allgemein bekannt, wie es heißt, schon zu Zeiten des Aristoteles (350 v.Chr.)<sup>2)</sup>; zwar hatte man 1727 die Lichtempfindlichkeit von Silbersalzen entdeckt und die Photographie um 1830 bis zur Praxisreife entwickelt, doch 'die Geschichte der modernen Photochemie beginnt eigentlich erst im 2. Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts' (a.a.O). Der Russell-and-Abney-Report fand offenbar deshalb nicht überall das Interesse, das er eigentlich verdient hatte. Wie stellen sich die Ergebnisse aus heutiger Sicht dar ?

Die Feststellung zu 1.) läßt sich heute mit dem Korpuskularcharakter des Lichts erklären. Danach ist erwiesen, daß die Photonen, aus denen die Lichtstrahlung besteht, ihre Energie auf die Atome und Moleküle des beleuchteten Materials übertragen und diese in den Zustand der Anregung versetzen, woraus - unter bestimmten Voraussetzungen - photochemische Prozesse ('Aktive Absorption') oder thermische Wirkungen ('Passive Absorption') resultieren.

Die unter 2.) zitierte Schlußfolgerung wird heute als Reziprozitätsgesetz oder auch als 'Bunsen-Roscoe'sches Gesetz' bezeichnet. Danach gilt für Lichtstrahlung:

Die durch Beleuchtung hervorgerufene photochemische Wirkung ist eine Funktion der Beleuchtung. Diese ist definiert:

Beleuchtungsstärke in Lux (lx) x Zeitdauer in Stunden (h) =  
Belichtung in Luxstunden (lxh)

Handelt es sich nicht um Licht, sondern allgemein um Strahlung, so gilt Entsprechendes; dann ist:

Bestrahlungsstärke in  $W/m^2 \times \text{Zeit (h)} = \text{Bestrahlung (Wh/m}^2)$

Was Russell und Abney zu Punkt 3) feststellten, braucht heute nur noch dahingehend erweitert zu werden, daß auch ultraviolette Strahlung, und zwar besonders diese, photochemische Wirkungen hervorzurufen imstande ist, wenn lichtempfindliches Material damit beleuchtet - oder besser gesagt - bestrahlt wird.

Soweit bekannt, hat der Bericht im deutschsprachigen musealen Schrifttum zunächst keine wesentliche Beachtung gefunden; dennoch war man, zumindest in Museumskreisen, mit den aufgeworfenen Problemen vertraut. So wird 1905 über ein zoologisches Museum berichtet<sup>3)</sup>, daß man dort gegen die Lichteinwirkungen eine 'radikale Abhilfe getroffen habe, indem man das Schau-Museum nur noch an 2 Tagen jeder Woche für 2 Stunden öffne; dann allerdings sei die Belichtung eine möglichst reichliche. Im übrigen verdecke man die Fenster mit vollkommen lichtabschließenden Vorhängen, so daß die Dunkelheit einer photographischen Dunkelkammer herbeigeführt werde.' Noch weiter ging man im Falle einer völkerkundlichen Ausstellung: 'besonders lichtempfindliche Objekte, wie die außergewöhnlich kostbaren Federmäntel ... schützt man, indem man sie in Behältnissen aufbewahrt, die mit Vorhängen versehen sind, welche jeder Besucher zum Besichtigen ... der Gegenstände aufheben kann'<sup>4)</sup>.

Über entsprechende konservatorische Bemühungen in den folgenden Jahren scheint es keine bedeutsamen Berichte zu geben. Ein neuer Abschnitt der Geschichte des Lichtschutzes beginnt erst nach dem 2. Weltkrieg, hauptsächlich veranlaßt durch das Auftauchen einer neuen, besonders für Museen gut geeigneten Lichtquelle, der 'Leuchtstofflampe'. Sie wurde zu dieser Zeit noch als 'Fluoreszenzlampe' bezeichnet<sup>\*)</sup>. Ein 1949 gegründetes ICOM-Komitee<sup>\*\*)</sup> für Museumstechnik erörterte auf seiner ersten Konferenz 1950 in Stockholm die Vor- und Nachteile einer künstlichen Beleuchtung von

---

\*) Die heute noch zu hörende Bezeichnung "Neonröhre" ist total falsch.

\*\*\*) ICOM = International Committee of Museums (Internationaler Museumsrat)

Museen mit dieser Lampe. Aus diesem Anlaß wurden in einer Ausstellung Sammlungsobjekte gezeigt, die überwiegend vor 1850 erworben worden waren und durch unvorsichtiges Ausstellen erhebliche Lichtschäden erlitten hatten. In einem Aufsatz<sup>5)</sup>, der darauf Bezug nimmt, wird über die Prüfverfahren der Färbereitechnik und die Ergebnisse schwedischer Forschungsarbeiten berichtet. Es heißt dort abschließend, daß nicht nur die Kenntnis der Lichtarten, sondern vor allem auch die des Verhaltens der beleuchteten Stoffe, insbesondere der Farbstoffe, vertieft werden müßte.

Im folgenden Jahr auf einer Sitzung in Brüssel nahm das Komitee den Bericht von GENARD<sup>6)</sup> über seine Untersuchungsergebnisse entgegen. Er hatte 78 Leuchtstofflampen verschiedener Hersteller und unterschiedlicher Lichtfarben im Hinblick auf die UV-Strahlung spektralanalytisch gemessen und Strahlungsanteile von beachtlicher Intensität im Bereich von 290 - 300 nm festgestellt. Allerdings bemerkte er auch, daß je nach Fabrikat und Lichtfarbe erhebliche Abweichungen auftreten können. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse veröffentlichte das Komitee kurz darauf wichtige Hinweise und Ratschläge für den praktischen Museumsbetrieb<sup>7)</sup>.

#### - Der 'Relative Damage Factor'

Auch in den USA befaßte man sich mit Fragen des Lichtschutzes. Es waren die Verantwortlichen der Kongreß-Bibliothek in Washington, die 1949 die Frage aufgeworfen hatten, ob man die wichtigsten Dokumente der Vereinigten Staaten von Amerika, die Unabhängigkeitserklärung und die Verfassungsurkunde, ohne Schaden weiterhin ständig ausstellen dürfe. Die auf Pergament geschriebenen Urkunden waren schon damals, um sie, wie es im Vorwort heißt, 'dem amerikanischen Volke zur Einsichtnahme darbiehen zu können', in einem Schrein ("Shrine") untergebracht. Mit einer Untersuchung dieser Frage wurde das 'National Bureau of Standards' (NBS) beauftragt. Dieses führte systematische Belichtungsversuche mit Licht verschiedener Wellenlänge aus. Versuchsgut war Papier minderer Qualität. Man hatte bewußt dieses gewählt und nicht Pergament, weil es empfindlicher reagiert, so daß die Schutzmaßnahmen daher noch zusätzliche Sicherheit boten. Die Ergebnisse sind in einem Bericht<sup>8)</sup> niedergelegt. Dieser erhält besondere Bedeutung nicht allein dadurch, daß die getroffenen Schutzmaßnahmen gegen Luftverschmutzung sowie vor dem Luftsauerstoff und den Schwankungen der relativen Feuchte der Luft in allen Einzelheiten beschrieben werden, sondern

auch weil erstmals ein 'Relativer Schädigungsfaktor' (Relative Damage Factor) definiert wird, mit dem sich die schädliche Wirkung von Lichtstrahlung als Funktion der Wellenlänge darstellen läßt (siehe Tabelle 2).

Tab. 2 Relativer Schädigungsfaktor nach <sup>8)</sup>

<u>Wellenlänge <math>\lambda</math></u>	<u>Relative Schädigung</u>
546	1
436	22
405	60
389	90
365	135

Der Faktor bewertet willkürlich die bei  $\lambda = 546$  nm beobachtete Schädigung des Papiers mit dem Zahlenwert 1, so daß sich die bei kürzeren Wellenlängen gemessenen Wirkungen als Vielfache ergeben. In dem gleichen Bericht wird die Skala durch Extrapolation auf den Bereich von 360 - 720 nm erweitert. Die Schlußfolgerung lautet, daß durch Eliminierung der Wellenlängen kürzer als 500 nm eine deutliche Reduzierung der schädigenden Strahlung erreicht werden kann. Zu dieser Erkenntnis waren 60 Jahre früher schon Russell und Abney gelangt. Wie damals im South-Kensington-Museum wurde sie auch hier in die Praxis umgesetzt. Ein weiterer NBS-Bericht <sup>9)</sup> beschreibt, wie die Beleuchtung der Dokumente gestaltet wurde. Lichtquelle sind mit Glühlampen bestückte Scheinwerfer, die eine Beleuchtungsstärke von rund 100 lux hervorrufen; als Lichtfilter dient eine zwischen zwei Glasplatten eingeschweißte Folie, die im Bereich von 310 - 460 nm jegliche Strahlung absorbiert. In dieser Anordnung werden die Dokumente noch heute in der Kuppelhalle der 'National Archives' in Washington dargeboten. Die Objekte erhalten infolge der Filterwirkung der Folie einen reichlich gelben Farbton. Da jedoch die Scheinwerfer mit den gleichen Filtern ausgestattet sind und der gesamte Innenraum der Halle infolgedessen in ein gelbliches Licht getaucht ist, erfährt der Besucher eine farbliche Umstimmung, die Dokumente erscheinen ihm daher nahezu weiß.

Die Ergebnisse der NBS-Untersuchung fanden großen Widerhall, ohnehin war man durch die Arbeit GENARDS <sup>6)</sup> - genauer gesagt, durch die mißver-

ständige Formulierung des Titels<sup>\*)</sup> - aufs höchste alarmiert und noch im gleichen Jahr beauftragte das Metropolitan Museum of Art in New York ebenfalls das NBS mit einer entsprechenden Untersuchung der photochemischen Wirkungen der Lichtquellen, die zu dieser Zeit in Museen der Beleuchtung von Exponaten dienten. Dem Bericht von JUDD<sup>10)</sup> zufolge waren dies folgende:

Himmel (ohne Sonne)  
Sonne  
Glühlampe  
Leuchtstofflampe  
- Lichtfarbe 'cool-white'  
- " 'day-light'  
- " 'warm-white'

Um auch Strahlung unterhalb 360 nm erfassen zu können, extrapolierte JUDD die Werte des Schädigungsfaktors, den er dann mit  $D_\lambda$  bezeichnete, herab bis auf 300 nm. Das erschien zulässig, da sich auch bei einigen anderen Stoffen übereinstimmende Meßwerte der photochemischen Schädigung ergeben hatten (a.a.O). Der nächste Schritt bestand darin, auf der Basis der spektralen Verteilung der Strahlung dieser Lichtarten und des spektralen Transmissionsgrads einiger ausgewählter UV-Schutzfilter mit Hilfe von  $D_\lambda$  eine Aussage über die schädigende Wirkung zu gewinnen. Die Ergebnisse mußten zwecks Vergleichbarkeit auf die jeweilige Beleuchtungsstärke bezogen werden. JUDD bezeichnete sie als 'Probable Rate of Damage per Footcandle'<sup>\*\*)</sup> mit dem Zeichen D/fc (siehe Tabelle 3). Danach ergibt sich, daß das Licht des klaren Zenithimmels im Freien am schädlichsten ist und daß UV-gefiltertes Glühlampenlicht die geringsten Schädigungen hervorruft.

---

\*) Offensichtlich wollte Genard durch die Überschrift "Extreme Ultra-Violet Radiation ...." lediglich auf die besonders kurze, vom Sichtbaren weit entfernte Wellenlänge hinweisen; denn an anderer Stelle spricht er von der 'absolute low intensity'<sup>6)</sup>

\*\*\*) Footcandle (fc): In den USA gebräuchliche Einheit der Beleuchtungsstärke.  
1 fc = 10,76 lx

Tab. 3 Auf die Beleuchtungsstärke bezogene relative Schädigungsrate  
D/fc (Probable rate of damage per footcandle) nach JUDD<sup>10)</sup>  
- Ausschnitt -

Lichtart - ungefiltert -	Farbtemperatur K	D/fc	%
Tageslicht, Zenith, ohne Sonne	11000	4,8	100,0
"      Sonnenhöhe 30 <sup>0</sup>	5300	0,79	16,5
Leuchtstofflampe, cool-white	4300	0,554	11,5
"      warm-white	2900	0,444	9,2
"      day-light	8000	0,402	8,4
Glühlampe	2854	0,136	2,8
- gefiltert -			
Zenithlicht durch Fensterglas		1,58	32,9
"      "      UV-Filter		0,334	7,0
Glühlampe      "      "      "		0,053	1,1

So interessant diese Ergebnisse einer konservatorischen Bewertung von Lichtarten auch erschienen, so wenig konnte das Metropolitan Museum damit anfangen; denn die Bewertung ging von der Voraussetzung konstanter Beleuchtungsstärke aus. Diese Bedingung ist aber nur bei künstlicher Beleuchtung mehr oder weniger gegeben, weshalb die D/fc-Bewertung der Leuchtstofflampen und der Glühlampen hinreichende Aussagekraft besitzt; was jedoch das Tageslicht anbelangt, so sind die Beleuchtungsstärken im Museum immer höher und weder örtlich noch zeitlich konstant. Wenn man brauchbare Aussagen erhalten wollte, so mußte man also nicht einfach nur Lichtarten, sondern effektive im Museum anzutreffende Beleuchtungssituationen miteinander vergleichen. Es war also eine stark anwendungsbezogene Auswertung erforderlich. Diese Aufgabe übertrug das Metropolitan Museum 1953 HARRISON, einem Beratenden Ingenieur, der dem obengenannten ICOM-Ausschuß ebenfalls angehörte und somit über den Stand der Entwicklung des Lichtschutzes in Europa informiert war.

Wie seinem Bericht<sup>11)</sup> bzw. der späteren Kurzfassung<sup>12)</sup> zu entnehmen ist, waren während der Jahre 1950/51 in den Oberlichtsälen des Museums Messungen der Beleuchtungsstärke vorgenommen worden, und zwar der horizontalen, vermutlich in Raummitte, und auch der vertikalen auf den Wänden der Gale-

rieräume. Ergänzend hatte man den jeweiligen Himmelszustand registriert und notiert, ob Sonnenschutzjalousien vorhanden und ob sie offen oder geschlossen waren. Es ergaben sich die in Tabelle 4 genannten Werte für die horizontale Beleuchtungsstärke in den verschiedenen Räumen.

Tab. 4 Im Metropolitan Museum in Tageslichträumen  
1950/51 gemessene horizontale Beleuchtungs-  
stärken nach HARRISON<sup>11)</sup>

Sonnenschutz	Himmel	lx
ohne	klar	8230
"	bedeckt	1800
mit	klar	2320
"	bedeckt	1190

Die vertikalen Beleuchtungsstärken lagen, wie HARRISON angibt, zwischen 18 und 52% der horizontalen. Er bildete daraus ein arithmetisches Mittel von 35%. Angesichts der großen Streuung der Meßwerte konnte dieses nur geringen Bezug zur Wirklichkeit haben, denn je nach räumlicher Situation und geographischer Orientierung erhalten senkrechte Wände im Tages- sowie im Jahresgang der Sonne die unterschiedlichste Beleuchtung. Hinzu kommt der Einfluß der sich ständig ändernden Bewölkung. Diesen allerdings versuchte HARRISON zu berücksichtigen. Im Zeitraum seiner Untersuchung war in NEW York, Central Park, eine durchschnittliche Sonnenscheindauer von 55,3% der täglichen Zeitspanne zwischen Sonnenauf- und -untergang registriert worden; zu 44,7% war die Sonne also von Wolken verdeckt. Mit diesen Prozentsätzen wichtete HARRISON die obigen Werte und erhielt die in Tabelle 5 genannten Beleuchtungsstärken.

Tab. 5 Im Metropolitan Museum gemessene mittlere vertikale Beleuchtungsstärken  $E_{vm}$  nach HARRISON<sup>11)</sup>

Räume	Sonnenschutz	$E_{vm}$ lx
Tageslicht	ohne	1870
"	mit, (geschlossen)	635
Kunstlicht		
- Gemälde		320
Mittlere Beleuchtungsstärke bei		
- Akzentbeleuchtung von Exponaten		650
- Vitrinenbeleuchtung		650

Angaben für die ausschließlich künstlich beleuchteten Räume sind ebenfalls eingetragen. Während diese auf praktisch konstanten Meßwerten beruhen, kamen diejenigen für die Tageslichträume durch die geschilderte, reichlich gewagte zeitliche Mittelwertbildung zustande. Sie sind daher nur unter Vorbehalt miteinander vergleichbar.

Mit diesen Angaben und den D/fc-Werten der Tabelle 3 kam er zu einer konservatorischen Bewertung der verschiedenen Beleuchtungssituationen. Als Bezugsbasis wählte HARRISON denjenigen Grad der Gefährdung ('Degree of Hazard'), der sich durch eine Beleuchtung mittels Tageslicht im Freien bei klarem Himmel ergibt. Er ging dabei von einer Beleuchtungsstärke von 86 000 lx aus, einem aus meteorologischen Beobachtungen für New York gebildeten zeitlichen Mittelwert, der die 'Globalstrahlung', d.h. die Strahlung der Sonne und die des Himmels, berücksichtigt. Durch Multiplikation der Beleuchtungsstärken dieser beiden Anteile mit den jeweiligen in Tabelle 3 genannten D/fc-Werten erhielt er den maximalen Grad der Gefährdung in Form eines Zahlenwerts von 10731. Die von einer anderen Beleuchtungssituation ausgehende Gefährdung (= Beleuchtungsstärke x D/fc) setzte HARRISON dazu in Beziehung und nannte das Ergebnis 'Index of Exposure' IX. Tabelle 6 enthält derartige IX-Werte auszugsweise.

Tab. 6 Relativer Grad der Gefährdung von Exponaten durch Lichtquellen am MM.

('Index of Exposure' IX nach HARRISON<sup>12)</sup>

- Ausschnitt -

Beleuchtungssituation	IX%
Globalstrahlung im Freien, horizontal	100
Bedeckter Himmel " " "	16,5
Gemälde - Tageslicht - ohne Sonnenschutz	1,06
" - " mit "	0,36
" - Leuchtstofflampen 'day-light'	0,03
" - " 'warm de luxe'	0,01
" - Glühlampen	0,01
Einzelobjekte; Glühlampenstrahler	0,08
Vitrinen	0,08

Danach ergibt sich, daß die Gefährdung, beispielsweise einer Zeichnung, in einem Oberlichtsaal mit Sonnenschutz nur 0,36% und in einem Kunstlichtraum sogar nur noch 0,01% beträgt. Das klingt sehr beruhigend, doch darf man nicht aus dem Auge verlieren, daß als Bezugssituation die im Freien bei klarem Himmel auf horizontaler Fläche herrschende Beleuchtung gewählt wurde, vorstellbar etwa als diejenige auf dem Flachdach eines hohen Museumsgebäudes bei blauem Himmel. Das ist mindestens eine unrealistische Beleuchtungssituation. Insofern hatte HARRISON bei der Bildung des 'Index of Exposure' keine glückliche Hand.

Er berücksichtigte dann auch den Faktor Zeit, etwas ungewöhnlich, aber durchaus einleuchtend: Fußend auf Ergebnissen der schwedischen Arbeiten<sup>5)</sup> errechnete er die Ausstellungsdauer, die verstreicht, bis bei einem neuen, d.h. bis dahin unbeleuchteten, Exponat ein erstes Ausbleichen wahrgenommen wird (s. Tabelle 7).

Tab. 7 Beleuchtungsdauer bis zum Auftreten erster Ausbleichungsmerkmale an unbelichteten, museumstypischen Exponaten - nach HARRISON<sup>11)</sup>

Beleuchtungssituation	Zeit in Jahren
Oberlichtsaal, ohne Sonnenschutz	6
" " mit Sonnenschutz	18
Kunstlicht,	
- Leuchtstofflampe, UV-gefiltert (130 lx)	660
- Reflektorglühlampe, " " (650 lx)	330
- Glühlampe übl. Art, " " (130 lx)	∞

Basis: Exponate mittlerer Lichtempfindlichkeit (nach schwedischen Untersuchungen von 1950); Beleuchtung in Räumen des MM, New York, 1952.

Es wird noch zu prüfen sein, ob die damalige Bewertung laut dieser Tabelle, nach heutigen Maßstäben gemessen, noch Gültigkeit hat. HARRISON schließt seinen Bericht mit Vorschlägen für abgestufte Schutzmaßnahmen; eine davon, sie wurde realisiert, beschreibt er in einer späteren Veröffentlichung<sup>13)</sup>.

Es handelt sich um eine Lichtsteuereinrichtung, mit der die Vorhänge an den Fenstern der Ost- bzw. Westfassade eines Flügels des Metropolitan Museums automatisch zu- und aufgezogen werden konnten. Eine längere Lebensdauer war ihr allerdings nicht beschieden, sie soll schon in den 60<sup>er</sup> Jahren außer Betrieb genommen worden sein.

#### - Lichtechtheitsforschung und musealer Lichtschutz

Die Arbeiten von GENARD<sup>6)</sup>, JUDD<sup>10)</sup> und HARRISON<sup>12)</sup> fanden große Beachtung, auch außerhalb der USA, und nicht nur in Museumskreisen. Das Lichttechnische Laboratorium der N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken in Eindhoven, Holland, vermutlich veranlaßt durch die "schlechte Presse", die ihre Leuchtstofflampen gefunden hatten, unternahm eigene Belichtungsversuche an verschiedenem, gefärbtem Material. Das Ergebnis<sup>14)</sup> (s. Tabelle 8) konnte nicht mehr überraschen.

Tab. 8 Bewertung von Lichtarten anhand der Verfärbungen von verschiedenem Versuchsgut<sup>13)</sup>

Lichtart	Verfärbungsgrad
Tageslicht	1
Leuchtstofflampe	
- Lichtfarbe 'weiß de luxe'	0,75
- " 'warmton'	0,55
Glühlampe	0,65

Die stärksten Verfärbungen wurden durch Tageslicht verursacht, schwächere durch Leuchtstofflampenlicht. Daß die Glühlampe nicht an unterster Stelle lag, ist vermutlich auf Meßfehler zurückzuführen.

In der Bundesrepublik Deutschland untersuchte KÜHN<sup>15)</sup> im Jahre 1961, die neuen Erkenntnisse verwertend, welche Möglichkeiten bestehen, die UV-Strahlung aus dem Tageslicht herauszufiltern. Von dieser Arbeit abgesehen, blieb ein größeres Echo aus. Man beschäftigte sich allerdings intensiv mit der Frage, ob Leuchtstofflampen auch in Museen verwendet werden dürften<sup>16)</sup> und stellte ästhetische Vorteile und technische Nachteile einander gegenüber<sup>17)</sup>.

Man erkannte, wie auch schon THOMPSON<sup>18)</sup>, daß der UV-Strahlungsanteil dieses Lampentyps durch Filterung entfernt werden muß. THOMPSON beschränkte sich im Übrigen zunächst darauf, maximale Beleuchtungsstärken zu formulieren, die von da an, beinahe sakrosankt, als Grenzwerte einer konservatorisch noch unbedenklichen Beleuchtung betrachtet werden (s. Tabelle 9).

Tab. 9 Empfohlene Lichtarten und maximale Beleuchtungsstärken nach THOMPSON<sup>18)</sup>

Material	Empfohlene Lichtquellen	Maximale Beleuchtungsstärke, lx
Unempfindliche Objekte	beliebig	300
die meisten Objekte einschl. Öl- und Temperagemälde	beliebig	150
lichtempfindl. Objekte (Aquarelle, Gobelins u. dergl.)	Glühlampen	50

In der Literatur der folgenden Jahre tritt das Thema Lichtquellen zunächst in den Hintergrund; Materialfragen, wie Lichtempfindlichkeit, Lichteinheit und dergl., werden dagegen häufiger behandelt, hauptsächlich in den Veröffentlichungen des 'International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works'<sup>13)18)</sup>. FELLER<sup>19)</sup> prüft die Gültigkeit der  $D_{\lambda}$ -Funktion anhand von Belichtungsversuchen mit einigen organischen Substanzen und findet weitgehende Übereinstimmung. In einer ersten größeren ICOM-Veröffentlichung<sup>20)</sup> faßt er 1964 die bis dahin gewonnenen Erkenntnisse zusammen. Weitere Beiträge zu den Fragen der photochemischen Schädigung von Farbpigmenten, Lacken, Fasern und dergl., meistens aus der Feder von Naturwissenschaftlern stammend, folgen<sup>13)</sup>, 21), 22), 23), 24). Eine umfassende Darstellung der Wirkungen von Licht insbesondere auf natürliche Farbstoffe und künstliche Pigmente aus der Sicht der organischen Chemie stammt von BRILL<sup>25)</sup>. Schon einige wenige Zitate aus den genannten Arbeiten zeigen die außerordentliche Komplexität in Bezug auf Museumsgut:

- Längere Belichtung kann bei Farben und Firnissen zu sehr gegensätzlichen Ergebnissen führen: bei bestimmten Ölfarben verursacht kurzwellige Lichtstrahlung eine geringere, Infrarot-Strahlung eine stärkere Vergilbung. Dagegen ist die Bleichwirkung im kurzwelligen Bereich stärker als im langwelligen<sup>19)</sup>.
- Bei Naturfarbstoffen wurde beobachtet, daß ein höherer Feuchtigkeitsgehalt das Ausbleichen beschleunigt<sup>21)</sup>.

- Papier kann je nach Temperatur sowohl vergilben als auch ausbleichen<sup>9)</sup>.
- Das Ersetzen des Sauerstoffs in einer Vitrine durch Stickstoff oder Helium kann photochemische Veränderungen verzögern<sup>26)</sup>. Doch gilt ebenso das Umgekehrte, wie spätere Veröffentlichungen zeigten<sup>21)22)</sup>. In einem Falle findet Photo-Oxidation, im anderen Photo-Reduktion statt.
- Bei einem Belichtungsversuch, bei dem moderne Künstler-Ölfarben 25 000 Elektronenblitzen ausgesetzt waren, zeigten die meisten Pigmente überhaupt keine Veränderungen, nur helles 'Hansa-Gelb' dunkelte schwach. Eine als 'Rose Red' bezeichnete Farbe zeigte nach 15 000 Blitzen ein leichtes Dunkeln und eine schwache Farbverschiebung. Doch nach weiteren 10 000 Blitzen hatte die Probe wieder ihre ursprüngliche Farbe<sup>24)</sup>.
- Die Geschwindigkeit, mit der Farbveränderungen ablaufen, ist in der Regel nicht konstant, sondern bei unbelichtetem Material größer als bei bereits weitgehend geschädigtem<sup>25)</sup>.

Es ist interessant festzustellen, daß die Gefährdung von Sammlungsgut durch die Wärmestrahlung der Lichtquellen bis dahin nur relativ geringe Beachtung gefunden hatte. Erst durch die auf Anregung von WOLTERS vom Doerner-Institut, München, zurückgehenden Untersuchungen von KOLLMANN<sup>27)</sup> und die darauf folgenden Arbeiten von KÜHN<sup>28)29)</sup>, FELLER<sup>30)</sup>, HILBERT<sup>31)32)</sup> und anderer Autoren, wurden die Folgen der passiven Absorption von Lichtstrahlung und die zu treffenden Schutzmaßnahmen eingehender behandelt. Im Rahmen dieser Arbeit soll jedoch hierauf nicht weiter eingegangen werden<sup>\*</sup>). Nur so viel sei gesagt, daß die Zeitdauer der Beleuchtung im Hinblick auf thermische Schäden keine wesentliche Rolle spielt, wohl aber Beleuchtungsstärke, Infrarotanteil sowie Oberflächenbeschaffenheit und Wärmeleitfähigkeit des beleuchteten Objekts.

#### - Der Fraktor Zeit und die jährliche Belichtung

Nicht überall wurden die zahlreichen, vorwiegend im englisch-amerikanischen Schrifttum publizierten Erkenntnisse ausreichend gewürdigt. So kommt es, daß in der 'Maltechnik'<sup>33)</sup> noch 1967 die Frage gestellt wird, 'ob es stimme, daß Neonbeleuchtung Farben ausbleicht', worauf die Schriftleitung den Anfra-

---

\* ) Eine ausführliche Behandlung ist in einer späteren Veröffentlichung innerhalb der vom Institut für Museumskunde herausgegebenen 'Berliner Schriften zur Museumskunde' vorgesehen.

genden zunächst über den Unterschied zwischen einer Neon-Reklamebeleuchtungs-  
röhre und einer Leuchtstofflampe aufklärt und dann mit der - leider höchst  
ungenauen - Mitteilung beruhigt, daß 'nur ein kaum meßbarer, kleiner unge-  
fährlicher Anteil die Glaswandung der Leuchtstofflampe durchdringe'. Hin-  
gegen zog WOLTERS<sup>34)35)</sup> die Konsequenzen aus dem vorliegenden wissenschaft-  
lichen Material und schlug vor, als obere Grenze der Beleuchtungsstärke in  
Gemäldegalerien Werte zwischen 150 - 200 lx, aber für Graphik nicht mehr als  
50 lx zu wählen und lichtempfindliche Kunstwerke prinzipiell nur solange der  
Beleuchtung auszusetzen, wie sie unbedingt gesehen werden müssen. Er unter-  
streicht damit erneut die Bedeutung des Faktors 'Zeitdauer'.

THOMSON<sup>36)</sup> ließ es dabei nicht bewenden, sondern untersuchte, welcher jähr-  
lichen Belichtung Objekte in Museen durchschnittlich ausgesetzt sind. Ihm  
standen Ergebnisse von Tageslichtmessungen in 8 neuen Räumen der 'National  
Gallery', London, mit jeweils 24 - 40 Meßpunkten zur Verfügung. Es zeigte  
sich, daß die Wände der Galerie im Mittel eine Belichtung von jährlich 1,5  
Megaluxstunden (Mlxh) erhalten, wobei die Durchschnittswerte allerdings von  
Raum zu Raum zwischen 0,2 und 2 Mlxh streuten. Unter kontrollierten Bedin-  
gungen mit einer automatisch konstant gehaltenen Beleuchtungsstärke von 150  
lx würde sich, so errechnete THOMSON, ein Wert von nur 0,5 Mlxh ergeben.  
Zum Schluß entwickelt er die Zukunftsvision von einer präzisen Erfassung und  
Archivierung der Belichtung, d.h. der Mlxh-Werte, und der farbmetrischen  
Meßwerte eines jeden einzelnen lichtempfindlichen Stückes. 'Der Konservator  
der Zukunft könnte, wenn er beispielsweise über das Ausstellen eines Aqua-  
rells zu entscheiden hat, darauf verweisen, daß dieses Stück angesichts der  
gemessenen katastrophalen Farbveränderungen eine "Lebenserwartung" von höch-  
stens 500 Jahren hat, falls es weiterhin mit 0,2 Mlxh pro Jahr belichtet  
wird'.

Hier werden erstmals die Konsequenzen aus dem einfachen Sachverhalt gezogen,  
daß das Ausmaß von photochemischen Veränderungen von der Belichtung abhängt  
und daß man daher die jährliche Belichtung, gemessen in Mlxh, im Auge behal-  
ten muß und nicht nur die Beleuchtungsstärke. Doch die genannten, schon bei-  
nahe magisch zu nennenden Grenzen von 150 bzw. 50 lx hatten inzwischen ihren  
festen Platz in der einschlägigen lichttechnischen Literatur, insbesondere  
in den Richtlinien für Lichttechniker<sup>37)38)39)</sup> erhalten.

Das Echo auf die von konservatorischer Seite publizierte Erkenntnisse war in der Regel positiv. Sie wurden beispielsweise durch den französischen Arbeitsausschuß 'Beleuchtung von Kunstwerken' als ICOM-Veröffentlichung schon 1971, und in zweiter Auflage 1977<sup>40)</sup> in konzentrierter Form herausgebracht, zugeschnitten auf den Leserkreis von 'Konservatoren in Museen, Beleuchtungsspezialisten und Architekten, die mit der Einrichtung von Museen und Ausstellungen befaßt sind, sowie von Studierenden der Museologie und Museographie'. Aber es gab nicht nur vorbehaltlose Zustimmung. Sehr kritisch setzte sich der Kunsthistoriker THOMPSON<sup>41)</sup> mit der Forderung THOMSONS nach einer Grenze von maximal 150 lx für Ölgemälde auseinander. Er hält sie für unbegründet und berichtet, daß beispielsweise ein Watteau 108 Jahre permanent dem Tageslicht ausgesetzt war, ohne jeglichen UV-Schutz, und dennoch eines der am besten erhaltenen Gemälde Watteaus sei. 'Zwar seien einige Pigmente transparenter geworden; bekanntermaßen findet diese Veränderung aber immer schon in den ersten Monaten, nachdem sie aufgetragen worden sind, statt. Die Begrenzung der Beleuchtungsstärke bei älteren Gemälden ist daher überflüssig, man könne sie am besten durch eine englische Spruchweisheit kennzeichnen: 'We are usually shutting the stable door after the horse has gone'.

In seinem wichtigen 1978 erschienenen Buch<sup>42)</sup> geht THOMPSON natürlich auch auf diese Kritik ein und verteidigt die niedrigen Beleuchtungsstärken, indem er auf eine amerikanische Untersuchung über die Reaktion von Besuchern auf die verschiedenen Aspekte der Ausstellung verweist. In dieser heißt es, daß die Beleuchtungsstärke, verglichen mit der Gleichmäßigkeit der Beleuchtung, als weniger wichtig angesehen wurde und daß die Besucher 100 - 200 lx als ausreichend empfanden. Im übrigen greift er das von JUDD<sup>10)</sup> eingeführte und von HARRISON<sup>11)</sup> weiterentwickelte Verfahren der Bewertung von Lichtarten auf. Er verwendet die von FELLER<sup>20)</sup> angegebenen Werte der  $D_{\lambda}$ -Funktion, beschränkt die Bewertung aber, weil er prinzipiell von UV-gefiltertem Licht ausgeht, auf Wellenlängen oberhalb 400 nm. Den Einfluß des Faktors 'Zeit' illustriert er am Beispiel eines imaginären Museums, das typischerweise in einem noblen, älteren Herrenhaus untergebracht ist und u.a. über einen durch Tageslicht beleuchteten und einen fensterlosen Ausstellungsraum verfügt. In diesem wird die Glühlampenbeleuchtung mittels Knopfdruck durch die Besucher

eingeschaltet. Er errechnet, daß ein Gemälde in dem ersten Raum jährlich eine Belichtung von 3,75 Mlxh/a, im zweiten Raum aber nur von 0,01 Mlxh/a erhalten würde.

Sicherlich ist das ein extremes Beispiel, aber es zeigt - und darauf kam es THOMSON an -, daß in puncto Lichtschutz noch viele Reserven mobilisiert werden können. Inzwischen hat THOMSON begonnen, seine Zukunftsvision von einer präzisen Erfassung der jährlichen Belichtung eines Exponats zu realisieren: In der National Gallery, London, so berichtet er 1981<sup>43)</sup>, wird seit einigen Jahren eine zentrale Datenerfassung mit Hilfe eines Computers vorgenommen. Gespeichert und ausgedruckt werden Meßwerte für relative Feuchte, Temperatur und Beleuchtungsstärke. Letztere verarbeitet der Computer automatisch zu wöchentlichen Belichtungswerten, die dann auf das Jahresende hochgerechnet werden und durch Vergleich mit dem geplanten Jahres-Mlxh-Wert eine laufende Kontrolle der Beleuchtungssituation ermöglichen. Mit dieser Erfassung und den routinemäßig durchgeführten Messungen des spektralen Remissionsgrads und seiner Veränderungen von Farben in Gemälden (a.a.O) unternimmt die National Gallery offenbar den Versuch, den quantitativen Zusammenhang zwischen Belichtung und photochemischer Veränderung von Farbpigmenten in Gemälden zu ermitteln.

#### - Die '3-Banden'-Leuchtstofflampe

Im Jahr 1975 erschienen in der Fachpresse Berichte über neue Leuchtstofflampen<sup>44)45)</sup>. Es handelte sich um die sogenannte '3-Banden-Lampe', eine besonders wirtschaftliche Lichtquelle, die in den folgenden Jahren nach und nach die gewohnten Lampentypen ersetzen sollte und daher auch Eingang in Museen fand. Wie schon bei der Einführung der Leuchtstofflampe 30 Jahre zuvor, erhoben sich sofort Fragen voller Besorgnis über die mögliche Gefährdung von Museumsgut<sup>46)</sup>, auf die wiederum seitens der Hersteller prompt reagiert wurde<sup>47)48)</sup>. Eine erste Zusammenfassung dieser Veröffentlichungen wurde gegeben<sup>49)</sup>.

Die neuen Leuchtstofflampen zeichnen sich durch eine hohe Lichtausbeute aus; d.h., sie verbrauchen vergleichsweise weniger Energie als die älteren in Museen hauptsächlich verwendeten Lampen der Lichtfarben 'weiß de Luxe'. Das wird durch eine beachtliche Steigerung des 'Visuellen Nutzeffekts' erreicht, indem die Strahlungsenergie der Lampe auf die drei

engen spektralen Bereiche - sogenannte 'Banden' - konzentriert wird, aus denen das menschliche Sehorgan das bunte Abbild der Umwelt zusammensetzt. Es sind dies, wie man vom Farbfernsehen weiß, die Farben blau, grün, rot. Lichttechnisch bewertet, sind die Farbwiedergabeeigenschaften<sup>\*)</sup> der neuen Lampen sehr gut; ob sie aber einem Vergleich mit denen der früheren Lampentypen oder des Glühlampenlichts standhalten, ist angesichts des zerklüfteten Spektrums (siehe Abb.1, oberer Teil) mehr als fraglich. Im Hinblick auf konservatorische Belange jedoch ist vorrangig die Frage nach dem UV-Anteil - oder besser - nach den objektgefährdenden Strahlungseigenschaften zu stellen. Hierauf steht bis heute eine befriedigende Antwort aus; sie wird im folgenden gegeben.

#### - Lichtschutz heute

Fast 100 Jahre sind seit der Veröffentlichung des Russell-and-Abney Reports vergangen und doch haben die gewonnenen und seitdem durch weitere Arbeiten vertieften Erkenntnisse nur zum Teil Eingang gefunden in die konservatorische Praxis. Nur selten werden sie bei Ausstellungsvorhaben berücksichtigt oder in Leihverträge übernommen. Das geschieht wahrscheinlich aus Unkenntnis, möglicherweise aber auch, weil dahinter neue unangenehme Sachzwänge vermutet werden, die den Leihverkehr und natürlich auch die Ausstellungsaktivitäten von Museen behindern. Dem wäre entgegenzuhalten, daß die neue konservatorische Bewertung von Lichtquellen auch die Chance größerer Flexibilität bietet. So darf beispielsweise ein als besonders lichtempfindlich geltendes Objekt im Rahmen einer Sonderausstellung durchaus auch mit höheren Lux-Werten, etwa mit 150 lx gefiltertem Glühlampenlicht, dargeboten werden, falls Besucher - es dürften in der Regel ältere sein - Schwierigkeiten haben, es visuell zu erfassen. Allerdings muß für ausreichende zeitliche Kompensation gesorgt werden.

---

\*) Die Farbwiedergabeeigenschaften von Lampen werden nach der DIN 6169 mit Hilfe von 14 ausgewählten Farbwerten geprüft.

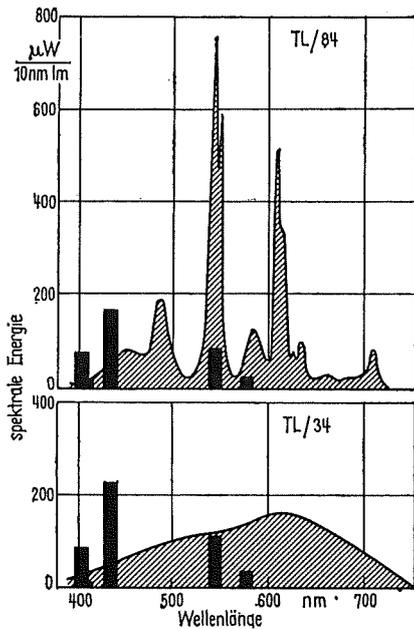


Abb. 1 Spektrale Emission einer '3-Banden-Leuchtstofflampe' (oben) und einer älteren Leuchtstofflampe (unten)

Der schraffierte Bereich kennzeichnet die Emission der Leuchtstoffe, die schwarzen Balken markieren die Spektrallinien der Quecksilberdampf-Entladung. (aus<sup>44)</sup>)

Führt man sich die Neubauten von Museen vor Augen, die in den letzten Jahrzehnten entstanden sind, so ist festzustellen, daß das Tageslicht nach einer Zeit der Abkehr von dieser Beleuchtung eine durch Glasarchitektur gekennzeichnete Renaissance erlebt hat, die bis in unsere Tage reicht und sich erst jetzt durch neue energiewirtschaftliche Überlegungen zu wandeln beginnt. Der Schutz vor den Wirkungen des Tageslichts bestand bisher lediglich in der Verwendung von Vorhängen, von Sonnenschutzeinrichtungen wie z.B. Rolläden und in UV-filternder Verglasung<sup>50)</sup>. Es zeigt sich nun, das sei vorweg genommen, daß dies nicht mehr ausreicht, daß vielmehr auch eine zeitliche Begrenzung des Tageslichts erforderlich ist.

Die Notwendigkeit der UV-Filterung von Leuchtstofflampenlicht ist inzwischen erkannt worden, wie aus entsprechenden Veröffentlichungen hervorgeht. Daß sie tatsächlich notwendig ist, ergibt die neue Bewertung ebenfalls.

## 2. Eine neue konservatorische Bewertung von Lichtquellen

### - Einleitung

Der Rückblick auf die Geschichte des Lichtschutzes in Museen lehrt, zusammengefaßt und auf einen einfachen Nenner gebracht, folgendes:

- Licht ist nicht gleich Licht.  
Die spektrale Verteilung der Strahlung, die das Objekt trifft, muß bewertet werden. Je mehr kurzwellige Anteile die Strahlung enthält, desto stärker gefährdet sie lichtempfindliches Sammlungsgut.
- Es gilt das Reziprozitätsgesetz, wonach eine langandauernde Einwirkung mit niedriger Beleuchtungsstärke dieselben Folgen zeitigt wie eine kurzzeitige Beleuchtung mit hohen Lux-Werten. Die Belichtung, das Produkt aus Beleuchtungsstärke und Zeit, bestimmt den Grad einer photochemischen Veränderung.

Auf diesen Erkenntnissen beruht die neue Bewertung von Beleuchtungssituationen in Museen. Ihre Elemente sind

- Einstufung der Lichtquellen hinsichtlich des Gefährdungsgrads für lichtempfindliches Sammlungsgut aufgrund der spektral bewerteten Strahlung; also nicht lediglich nach dem UV-Anteil, sondern gemäß der 'Relativen spektralen Objektempfindlichkeit  $s(\lambda)_{dm,rel}^{*}$ '.
- Berücksichtigung der Dauer der Beleuchtung, insbesondere auch des Tageslichtangebots durch die jährliche 'Belichtung'.
- Bewertung von Kunstlicht- und Tageslicht-Beleuchtungssituationen auf der Basis einer definierten Bezugsbeleuchtung.

---

\*) Ableitung des Begriffs und der im folgenden genannten Größen durch KROCHMANN im Anhang.

- 'Relative spektrale Objektempfindlichkeit'

Die spektrale Wichtung der Strahlung der verschiedenen Lichtquellen erfolgt mit der von JUDD<sup>8)</sup> eingeführten und von FELLER<sup>19)</sup> korrigierten  $D_\lambda$ -Funktion. Diese wird jedoch, wie im Anhang dargelegt, in Übereinstimmung mit der gültigen Norm künftig als 'Relative spektrale Objektempfindlichkeit  $s(\lambda)_{dm,rel}$ ' bezeichnet. Die  $D_\lambda$ -Faktoren werden damit ihres Charakters von strahlungsspezifischen Beiwerten entkleidet. Das ist nicht nur eine formale Umbenennung, sondern zugleich eine präzisere Definition des begrifflichen Inhalts. JUDD hatte bei seinen Versuchen<sup>8)</sup> ein sogenanntes 'Low grade' - Papier mit Strahlung verschiedener spektraler Zusammensetzung belichtet und die unterschiedlichen Auswirkungen durch den 'Relative Damage Factor' erfaßt. FELLER und andere Autoren fanden bei anderem Material ein gleiches oder zumindest ähnliches Verhalten und bestätigten die Gültigkeit der  $D_\lambda$ -Werte, welche von da an als eine die schädigende Wirkung von Strahlung verschiedener Wellenlänge kennzeichnende Funktion galten. Diese Vorstellung steht aber im Widerspruch zu der einfachen Tatsache, daß die Strahlungsenergie, genauer gesagt die Energie der Photonen, die in der Lage ist, photochemische Veränderungen zu verursachen, durch die Wellenlänge bzw. die Frequenz bereits gekennzeichnet ist, und zwar ausreichend und ausschließlich. Ein weiteres, die Strahlung kennzeichnendes Attribut kann es nicht geben.

Die  $D_\lambda$ -Funktion ist also ihrem eigentlichen Charakter nach eine Stoffeigenschaft. Sie repräsentiert die spektrale Lichtempfindlichkeit der untersuchten Stoffe; doch kann und soll sie vorläufig als 'Relative spektrale Objektempfindlichkeit' für alles lichtempfindliche Sammlungsgut unverändert verwendet werden, solange noch keine besseren Resultate vorliegen.

Vom 'Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium', Holland,<sup>52)</sup> wurde vorgeschlagen, eine andere Empfindlichkeitsfunktion zur konservatorischen Beurteilung von Lampen zu verwenden, und zwar diejenige, nach der eine genormte, blaugefärbte Stoffprobe unter Lichteinwirkung ausbleicht. Diese Probe ist Bestandteil des überall leicht zu beschaffenden 'Blaumaßstabs'. Man versteht darunter eine Serie von

8 blauen Wollproben, den 'Lichtechtheitstypen' 1 bis 8, gemäß der Farbechtheitsnorm DIN 54004 bzw. der britischen Norm BS 1006. Man prüft mittels des Lichtechtheitstyps Nr. 3 die Wirkung einer beliebigen Lichtart im Verhältnis zu einer Referenzbeleuchtung. FELLER<sup>53)</sup> empfahl ebenfalls, bei Belichtungsversuchen den 'Blaumaßstab' zu verwenden, und stellte eine Verbindung her zwischen der Lichtempfindlichkeit von museumstypischem Material und der 8 Lichtechtheitstypen, wobei er die Objekte nach einer 'intended useful lifetime', also etwa der "Verwendbarkeitserwartung", einteilt (Tab. 10).

Tab. 10 Klassifikation von museumstypischem Material nach Lichtbeständigkeit, "Verwendbarkeitserwartung" und Lichtechtheit nach FELLER<sup>53)</sup>

- Ausschnitt -

Klasse	Lichtbeständigkeit d. Materials	"Verwendbarkeits- erwartung", Jahre	Lichtechtheit nach BS 1006
A	ausgezeichnet		
A1	sehr gut	mehr als 500	Größer als
A2	gut	" " 100	Klasse 6
B	mittelmäßig	20 bis 100	(Klasse 3 bis 6)
C	unbeständig	weniger als 20	Klasse 3 und darunter

Da aber die Funktion, welche die spektrale Empfindlichkeit der Proben des 'Blaumaßstabs' wiedergibt, sich sehr wahrscheinlich nicht mit der von lichtempfindlichem Sammlungsgut deckt, ist es fraglich, ob man diesen überhaupt zu Vergleichszwecken verwenden darf.

Weitere klärende Untersuchungen sind erforderlich. Bis dahin sollte  $D = s(\lambda)_{dm,rel}$  als die allein maßgebende Empfindlichkeitsfunktion gelten.

Die neue Bewertung von Lichtarten folgt dem von JUDD eingeschlagenen Weg, indem sie, um bei unterschiedlicher Beleuchtungsstärke Vergleichbarkeit zu gewährleisten, die mit  $s(\lambda)_{dm,rel}$  spektral gewichtete Bestrahlungsstärke einer Lichtquelle auf die jeweilige Beleuchtungsstärke bezieht. Dieser

Bezugswert, bisher D/fc, wird künftig als v(Z) bezeichnet.

- Der 'Gefährdungsfaktor'

Die von JUDD vorgenommene, in Tabelle 3 ausschnittsweise wiedergegebene Bewertung von Lichtquellen, muß heute in ihren wesentlichen Teilen als überholt gelten. Daher und weil ein dringendes Bedürfnis nach Klarheit über die photochemische Wirkung der neuen Lampentypen besteht - siehe z.B. den Beitrag<sup>46)</sup> -, wurde, wie bereits angekündigt<sup>49)</sup>, seitens des Instituts für Museumskunde - IfM - eine Untersuchung in Auftrag gegeben, die durch J. KROCHMANN unter der Mitwirkung von S. AYDINLI am Institut für Lichttechnik der Technischen Universität Berlin durchgeführt wurde. Im engen Konnex IfM - TU wurde daraus die neue Bewertung, über die hier berichtet wird, entwickelt. Sie wird im Anhang durch KROCHMANN im einzelnen dargestellt.

Zwecks Abstufung der Lichtquellen nach dem Grad der von ihnen ausgehenden Gefährdung wählte JUDD, fußend auf früheren meteorologischen Angaben, das durchschnittlich im Freien bei klarem Himmel und bestimmter Sonnenhöhe anzutreffende Tageslicht, also sozusagen die gefährlichste Beleuchtung, als 100%-Marke. Dagegen orientiert sich die neue Bewertung an dem am wenigsten objektgefährdenden Licht; es ist die UV-gefilterte Strahlung der Glühlampe. Diese ist zwar immer noch nicht die konservatorisch ideale, aber doch wenigstens die optimale. Die neue Bezugslichtart kann daher als 'Optimalbeleuchtung' gelten und, um diesen idealisierenden Charakter deutlich herzustellen, wird sie, sozusagen theoretisch, definiert durch die 'Normlichtart A'<sup>\*)</sup> und ein ideales UV-Filter, das so beschaffen ist, daß unterhalb  $\lambda = 410$  nm sämtliche Strahlung zurückgehalten, oberhalb aber vollständig durchgelassen wird. Diese Filterung reduziert den Anteil

---

\*) Normlichtarten: idealisierte spektrale Strahlungsverteilungen, die stellvertretend für diejenigen von wirklichen Lichtquellen verwendet werden, ohne daß sie durch diese herstellbar sein müssen. N. sind durch die 'Internationale Beleuchtungskommission' - CIE - festgelegt.

an kurzwelliger Strahlung beträchtlich, bewirkt allerdings, daß nicht nur die UV-Strahlung, sondern auch ein sichtbarer Anteil abgeschnitten wird. Doch eine Nachprüfung ergab, daß dadurch Lichtfarbe und Farbwiedergabeeigenschaften gerade noch nicht beeinträchtigt werden. Schon bei einer weiteren, geringen Überschreitung der Grenze von 410 nm wäre das nicht mehr gewährleistet.\*)

Die solchermaßen standardisierte Optimallichtart A wird mit  $s(\lambda)_{dm,rel}$  spektral gewichtet, so daß sich die objektgefährdende Bestrahlungsstärke und, bezogen auf die Beleuchtungsstärke, hier der Bezugswert  $v(A)$  ergibt. Nimmt man eine beliebige Lichtquelle, die durch die Strahlungsverteilung Z gekennzeichnet ist, so wird der Grad der Gefährdung, der von ihr ausgeht, nunmehr als 'Gefährdungsfaktor'  $a(Z)$  wiedergegeben durch das Verhältnis:

$$a(Z) = \frac{v(Z)}{v(A)} = \frac{\text{Objektgefährd. Bestrahlungsstärke mit Lichtart Z}}{\text{desgl. mit der Bezugslichtart A}}$$

Mittels  $a(Z)$  dürfen nur Lichtquellen miteinander verglichen werden, die eine konstante Beleuchtungsstärke hervorrufen, also nur künstliche Lichtquellen! In Tab. 11 sind die Lampen, die untersucht wurden, zusammengestellt. Die unter Pos. 8 aufgeführte wird innerhalb von Museumsgebäuden kaum verwendet, wohl aber im Außenbereich. Sie wurde daher vergleichshalber mit einbezogen.

Bei einem Vergleich zweier Beleuchtungssituationen müssen die unterschiedlichen Beleuchtungsstärken  $E_1$  und  $E_2$  beachtet werden. Eine gleich große Gefährdung ergibt sich, wenn die Produkte aus Beleuchtungsstärke und Gefährdungsfaktor gleich sind, also für

$$a(Z_1) \cdot E_1 = a(Z_2) \cdot E_2$$

---

\*) Die vom menschlichen Auge als Licht empfundene Strahlung beginnt bei  $\lambda = 380$  nm mit der Spektralfarbe Violett, umfaßt dann die gesamte Palette des Regenbogens bis zum Rot und endet bei  $\lambda = 780$  nm. Wird ein Ende des Spektrums "abgeschnitten", so verändern sich Lichtfarbe und Farbwiedergabe.

Tab. 11 Zusammenstellung der neu bewerteten künstlichen Lichtquellen

Pos.	Lampe (Lichtart Z)	Farbtemp. K
1	Allgebrauchs- bzw. Reflektorglühlampe	2650
2	Halogenglühlampe	3200
3	Leuchtstofflampe älteren Typs <sup>*)</sup> Lichtfarbe OSRAM 25	4000
4	desgl., 3-Banden-Lampe Lichtfarbe OSRAM 11 "Tageslicht"	6300
5	" " " 21 "weiß"	4000
6	" " " 31 "warmweiß"	3000
7	" " " 41 "interna"	2600
8	Halogen-Metaldampf Lampe OSRAM HQI	6000

<sup>\*)</sup> herkömmliche Leuchtstoffkombination, Rohrdurchmesser 38 mm.

Lampen beleuchten Sammlungsgut nur selten direkt, d.h. ohne dazwischengeschaltete Filter. So wird das in eine Vitrine hineinfallende Licht immer gefiltert, je nach Art der Verglasung durch einfaches Fensterglas oder Plexiglas, Verbundsicherheitsglas, eine Lichtschutzfolie oder dergl.. Auch unmittelbar vor den Lampen befinden sich im allgemeinen filternde Glasscheiben, z.B. Streuscheiben, Acrylglas-Abdeckhauben usw. Derartige Filter und ihre Kombinationen wurden in der obengenannten Untersuchung ebenfalls berücksichtigt (siehe Tab.12).

Tab. 12 Zusammenstellung der Filterkombinationen

Pos.	Art und Anordnung der Filter		Abk.
	vor der Lichtquelle	vor dem Objekt (und umgekehrt)	
a	ohne	Einfach-Fensterglas	EG
b	"	Acrylglas (Plexiglas 201) <sup>*)</sup>	PL
c	"	VSG-UV <sup>**)</sup>	VSG
d	"	EG + ULTRAPHAN <sup>***)</sup>	EG-UN
e	"	EG + ULTRAPHAN-Orange	EG-UNO
f	EG(z.B.Streuscheibe)	VSG-UV	EG-VSG
g	UNILEX 1 <sup>*)</sup>	ohne	UX
h	"	EG	UX-EG
i	"	Acrylglas	UX-PL
j	Acrylglas	Acrylglas	PL-PL
k	"	VSG-UV	PL-VSG

\*) Sonderanfertigung der RÖHM GmbH; "normales" Plexiglas mit der Bezeichnung 233 hat eine schwächere Filterwirkung.

\*\*\*) Verbundsicherheitsglas mit UV-Folie (KINON-UV der VEGLA)

\*\*\*) Lichtschutzfolie der LONZA GmbH

Aus den  $v(Z)$ -Werten der in Tab. 11 genannten Lichtarten wurden unter Berücksichtigung des spektralen Transmissionsgrads der jeweiligen Filterkombination (Tab. 12) die Gefährdungsfaktoren  $a(Z)$  ermittelt (siehe Tab. 16).

Es mag überraschen, daß sich bei bestimmten Filterkombinationen  $a(Z)$ -Werte ergeben, die kleiner als 1 sind, also die Bezugsbeleuchtung noch zu "unterbieten" scheinen. Die Erklärung dafür ist einfach: Derartige Filter erfüllen nicht mehr das Kriterium der 100%igen Farbwiedergabe, sie lassen die Objekte bereits in einem schwach-gelben Licht erscheinen. Aus konservatorischen Gründen kann dies durchaus notwendig sein, wie am Beispiel der amerikanischen Originalurkunden - siehe oben - belegt.

Tab. 13 Gefährdungsfaktor a(Z) für künstliche Lichtquellen und verschiedene Filter. Basis: Gleiche Beleuchtungsstärke  
 Bezugsfunktion: Normlichtart A + ideales Kantenfilter

Lichtquelle (Position d.Tab.11) Pos.		Gefährdungsfaktor a(Z)											
		Filterkombination (Positionen der Tab.12)											
		ohne	EG	PL	VSG	EG-UN	EG-UNO	EG-VSG	UX	UX-EG	UX-PL	PL-PL	PL-VSG
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	
Glühlampe	1	2,41	1,89	1,18	1,15	0,99	0,15	1,14	0,77	0,77	0,75	-*)	
Halogen Glühlampe	2	3,85	2,76	1,54	1,48	1,24	0,15	1,47	0,95	0,94	0,92	-	
Leuchtstofflampe (Lichtfarbe 25)	3	4,22	3,24	2,30	2,22	1,90	0,15	-*)	-	-	-	2,21	2,14
desgl. (Lichtfarbe 11)	4	4,35	3,75	2,79	2,70	2,47	0,17	-	-	-	-	2,72	2,64
desgl. (Lichtfarbe 21)	5	3,73	3,03	1,94	1,88	1,72	0,16	-	-	-	-	1,89	1,84
desgl. (Lichtfarbe 31)	6	4,21	3,05	1,64	1,59	1,38	0,15	-	-	-	-	1,59	1,55
desgl. (Lichtfarbe 41)	7	4,23	2,94	1,22	1,19	1,04	0,14	-	-	-	-	1,19	1,16
Halogenmetall- dampf Lampe	8	9,96	0,39	5,15	4,85	3,76	0,19	-	-	-	-	4,73	4,52

\*) Diese Kombinationen sind nicht üblich

- Bewertungsbeispiel "Kunstlicht"

Eine Kollektion von guterhaltenen, aber lichtempfindlichen japanischen Holzschnitten soll im Rahmen einer Sonderausstellung gezeigt werden. Da diese nacheinander an drei Orten aufgebaut wird, wodurch sich eine relativ lange Ausstellungsdauer von insgesamt 300 Tagen und damit die Notwendigkeit von Lichtschutzmaßnahmen ergibt, wird erwogen, Art und Dauer der Beleuchtung vorzuschreiben. In Betracht kommen die folgenden Situationen:

- A) Objekte hinter (normalem) Glas, an der Wand hängend, beleuchtet durch Halogen-Glühlampen mit einer maximalen vertikalen Beleuchtungsstärke von  $E_V = 50 \text{ lx}$
- B) Wie A), jedoch beleuchtet durch Normal-Reflektorglühlampe mit UV-Filterung und einer Beleuchtungsstärke von  $E_V = 100 \text{ lx}$
- C) Objekte in einer Vitrine liegend. Beleuchtung durch Leuchtstofflampen Pos.5 der Tab.11. Sie sind in einem Beleuchtungsaufsatz untergebracht, der vom Vitrineninnenraum durch eine lichtstreuende Plexiglasscheibe getrennt ist. Horizontale Beleuchtungsstärke  $E_h = 80 \text{ lx}$ .

Als Beleuchtungsdauer wird die effektive Öffnungszeit der Ausstellung vorgeschrieben, sie ist damit für alle drei Fälle gleich. Da auch die Beleuchtungsstärke konstant ist, darf die konservatorische Beurteilung auf der Basis des Gefährdungsfaktors  $a(Z)$  ausgeführt werden. Welche Rangfolge ergibt sich? Die Ergebnisse sind in Tab. 14 eingetragen.

Tab. 14 Ergebnisse des Bewertungsbeispiels

Fall	Lampe/Filter-kombination	E lx	a(Z)	bewertete Bel.-stärke $\sqrt{a(Z) \cdot E}$	Rangfolge
A	2 a	50	2,76	138	2
B	1 d	100	0,99	99	1
C	5 b	80	1,94	155	3

Die Entscheidung ist in diesem Falle einfach, sie fällt zugunsten von Fall B: Die Beleuchtungsstärke darf auf ca 140 lx erhöht werden, ohne daß eine größere Gefährdung als im Fall A befürchtet werden muß.

- Der 'Mittlere Himmel'

Sobald Tageslicht in die konservatorische Beurteilung von Beleuchtungssituationen einbezogen wird oder sobald Fälle von Kunstlichtbeleuchtung von unterschiedlicher Dauer miteinander verglichen werden sollen, muß die Bewertung auf die 'Belichtung', und zwar zweckmäßigerweise auf die jährliche, abgestellt werden. Dieser Gedanke ist durchaus nicht neu. Er tauchte schon vor 100 Jahren im 'Russell and Abney Report' auf und wurde auch von HARRISON u.a., besonders aber von THOMSON verfolgt. Wenn er dennoch nicht realisiert wurde, dann offenbar deshalb, weil man keine Möglichkeit sah, für verschiedene Orte und beliebige räumliche Situationen das jährliche Tageslichtangebot, wie es sich unter Berücksichtigung des teilweise und zeitweise bewölkten Himmels im Mittel ergibt, auch nur annähernd genau zu berechnen. Das ist nicht weiter verwunderlich angesichts der zahlreichen Parameter, die in die Berechnung eingehen. THOMSON<sup>36)37)</sup> geht den Weg des Praktikers und versucht, das Tageslichtangebot in gegebenen Räumlichkeiten durch fortlaufendes Messen zu erfassen, wodurch er allerdings nur sehr bedingt zu Angaben kommt, die sich verallgemeinern lassen.

Die Aufgabe mußte unlösbar erscheinen, weil die daraus resultierende Flut an Daten nicht zu bewältigen war. Heutzutage ist das weniger problematisch. Doch trotz elektronischer Datenverarbeitung hätte sich das neue Bewertungsverfahren nicht ohne weiteres realisieren lassen, wäre nicht ein großes Stück Arbeit schon geleistet worden, wenn auch sozusagen in fremdem Auftrage und mit ganz anderer Zielsetzung. Diese "Vor"-Arbeit wurde am Institut für Lichttechnik der Technischen Universität unter der Leitung von J. KROCHMANN unter Mitwirkung von S. AYDINLI ausgeführt mit dem Ziele, der Solartechnik, aber auch der Klimatechnik und selbstverständlich auch der Lichttechnik, verlässliche Daten über die an verschiedenen Orten, auf Flächen unterschiedlicher Orientierung im langjährigen Mittel einstrahlende Solarenergie und das zur Beleuchtung nutzbare Tageslicht zur Verfügung zu stellen. Über dieses aus der Energiekrise geborene, vom Staat geförderte Forschungsvorhaben ist mehrfach berichtet worden<sup>54)55)56)</sup>.

Ergebnis ist ein Berechnungsverfahren, das es erstmals gestattet, für einen beliebigen Standort die jährlich auf eine Fläche einstrahlende Sonnenenergie ( $\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ) und damit auch die jährliche Belichtung ( $\text{Mlxh}/\text{a}$ ) mit relativ großer Genauigkeit anzugeben.

Die hauptsächliche Schwierigkeit derartiger Vorausberechnungen bestand darin, daß man die von einem teilweise bedeckten Himmel erzeugten Beleuchtungsstärken mathematisch nicht erfassen konnte; nur für den Zustand des vollkommen klaren bzw. vollständig bedeckten Himmels sind entsprechende Gleichungen, die die Sonnenhöhe und die Trübung der Atmosphäre berücksichtigen, bekannt. Der entscheidende Anstoß kam von KROCHMANN<sup>54)55)</sup>; er wertete die durch meteorologische Stationen gemessenen Daten über die Sonnenscheindauer aus und ermittelte daraus für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland den mittleren monatlichen Tagesgang der 'Sonnenscheinwahrscheinlichkeit' (SSW). Man versteht darunter das Verhältnis der (gemessenen) Sonnenscheindauer zu der zwischen Sonnenaufgang und -untergang möglichen. Der nächste Schritt führte zu dem Modell des 'Mittleren Himmels'.

Der in unseren Breiten überwiegend anzutreffende Himmelszustand ist bekanntlich der des teilweise bedeckten mit der unregelmäßig verteilten, bewegten Wolkenmasse und der dadurch sich ständig ändernden Bestrahlungs- bzw. Beleuchtungsstärke. Die Hypothese, die AYDINLI<sup>56)</sup> aufstellte, lautet nun: 'Man kann diesen, der Berechnung nicht zugänglichen Zustand durch eine "Zeitliche Mischung" aus vollkommen klarem und gleichmäßig bedecktem Himmel ersetzen. Man braucht dazu nur die Bestrahlungs- bzw. Beleuchtungsstärken, die für diese Extremzustände gelten, mit der jeweiligen mittleren Sonnenscheinwahrscheinlichkeit zu wichten, um entsprechende Angaben über den 'Mittleren Himmel' zu erhalten. Unter Einbeziehung von Korrekturfaktoren entstanden auf diese Weise Gleichungen für die vom 'Mittleren Himmel' hervorgerufene Bestrahlungsstärke als Funktion der Sonnenhöhe und der Trübung. Sie liefern Werte für die jährliche Bestrahlung bzw. Belichtung, die, wie nachgewiesen wurde, von effektiv gemessenen nur wenig abweichen. Damit war die Grundlage für eine neue Bewertung des Tageslichts gegeben. Das Verfahren soll im Folgenden abrißartig dargestellt werden.

- Tageslicht im Innenraum

Die mit Hilfe des Modells 'Mittlerer Himmel' errechneten Werte beziehen sich auf eine im Freien angeordnete Fläche. Da jedoch nach der Strahlungsmenge gefragt wird, die auf einer bestimmten, im Raum befindlichen Fläche auftrifft, muß eine Verbindung zwischen der dort erforderlichen und der gleichzeitig im Freien gemessenen hergestellt werden. Mit Aufgaben dieser Art befaßt man sich in der sogenannten Tageslichtplanung, beispielsweise um die Mindestabmessungen von Fenstern zu ermitteln. Die Berechnung erfolgt in zwei Abschnitten. Im ersten betrachtet man die Tageslichtöffnung als im Freien angeordnete Fläche, welche durch den 'Mittleren Himmel' beleuchtet wird. Ergebnis dieser Berechnung ist die monatliche bzw. jährliche Bestrahlung dieser Fläche, genauer gesagt, ihrer Außenseite.

Im zweiten Teil wird die Tageslichtöffnung, ein Seitenfenster oder ein Oberlicht, als flächenhafte, den Innenraum diffus beleuchtende Lichtquelle gesehen. Vereinfachend wird angenommen, daß die Verglasung lichtstreuend ausgebildet ist und daß die Innenseite gleichmäßig mit einer Leuchtdichte strahlt, die - nur vermindert um den Transmissionsverlust der Glasscheibe - der außen erzeugten jeweiligen Beleuchtungsstärke entspricht.

Die in den Innenraum abgegebene Lichtstrahlung trifft das beleuchtete Objekt, z.B. eine Stellwand, teils direkt, teils indirekt. Die Größe dieses Indirektanteils hängt von der Raumgeometrie und dem Reflexionsgrad der inneren Oberflächen ab<sup>57)</sup>. Diese Parameter werden im 'Innentageslichtquotienten  $D_i$ ' zusammengefaßt.  $D_i$  ist definiert als das Verhältnis zweier Beleuchtungsstärken<sup>55)</sup>:

$$D_i = \frac{E_p}{E_f} = \frac{\text{Beleuchtungsstärke auf dem Objekt}}{\text{Beleuchtungsstärke auf der Außenseite des Fensters.}}$$

In vorhandenen Gebäuden kann man  $D_i$  messen<sup>58)</sup>. Die Tageslichtplanung geht in der Regel von einer Mindestbeleuchtungsstärke aus, die an einer bestimmten Stelle im Raum vorhanden sein soll, und bestimmt danach  $D_i$  oder den (Gesamt)-Tageslichtquotienten  $D$ <sup>59)</sup>. Oft wird aber auch die jährliche Nutzungsdauer vorgeschrieben. Eine derartige Vor-

gabe würde im Falle eines Museums beispielsweise lauten:

'Während 80% der Nutzungsdauer, d.h. der jährlichen Öffnungszeiten, soll die im langjährigen Mittel auf den Gemälden zu messende Beleuchtungsstärke durch Tageslicht nicht unter 150 lx fallen. Während 20% der Öffnungszeit werden niedrigere Werte hingenommen; eine künstliche Zusatzbeleuchtung stellt dann das genannte Beleuchtungsniveau her.'

Aus dieser Vorgabe resultiert ein bestimmter Wert für  $D_i$ . In dem gewählten Beispiel wäre dieser verhältnismäßig groß. Um ihn realisieren zu können, müßte man Räume von geringer Tiefe mit hellen Wänden und sehr großen Fenstern ausführen. Würde man die über 150 lx hinausgehenden Werte für nur 60% der Öffnungszeit verlangen, so ergäben sich größere Raumtiefen und kleinere Fensterabmessungen; allerdings wäre eine längere Einschaltdauer der elektrischen Beleuchtung die Konsequenz.

Wie man sich auch entscheidet, es liegt in der Natur der Sache, daß die mittels  $D_i$  bestimmte Fensterfläche an hellen Sommertagen zu groß und während der trüben Dezembertage zu klein ist. Bemißt man sie nach Maßgabe dieses knappen Tageslichtangebots, so muß die Lichtflut im Sommer gebremst werden. Verstellbare Lichtschutz- bzw. Lichtschwächungseinrichtungen, wie z.B. Vorhänge, Jalousien und dergl., sind daher in Räumen mit lichtempfindlichem Sammlungsgut unentbehrlich.

#### - Die spektrale Zusammensetzung des Tageslichts

Die Tageslichtplanung fragt nach Beleuchtungsstärken und Nutzungszeiten, jedoch nicht nach der spektralen Zusammensetzung des Tageslichts. Doch, wie jeder Photograph weiß, ist Tageslicht nicht gleich Tageslicht, und bei der konservatorischen Bewertung müssen, wie es schon RUSSELL und ABNEY versuchten (siehe Tab. 1), die unterschiedlichen Strahlungsfunktionen des klaren sowie des bedeckten Himmels beachtet werden, beim klaren Himmel sogar die jeweilige Sonnenhöhe. KROCHMANN<sup>60)</sup> hat sich mit dieser Frage befaßt und kommt zu folgender Empfehlung: Der bedeckte Himmel kann angenähert durch die Strahlungsfunktion der Normlichtart D55 gekennzeichnet werden<sup>\*)</sup>. Beim klaren Himmel sind sechs Strahlungsfunktionen zu

---

\*) Bezüglich der Normlichtart wird auf die Anmerkung auf S.29 verwiesen.

unterscheiden, drei für die Sonnen- und drei für die Himmelsstrahlung. Parameter ist jeweils die Sonnenhöhe. Die sieben  $S(\lambda)$ -Funktionen sind in Tab. 15 ausschnittartig dargestellt.

Schon diese wenigen Angaben sind aufschlußreich; zeigen sie doch die durchaus unterschiedliche Strahlungsverteilung der Tageslichtarten insbesondere im kurzwelligen Bereich.

Tab. 15 Spektrale Verteilung verschiedener Tageslichtphasen im Vergleich zur ideal gefilterten Normlichtart A  
- Auswahl -

Lichtquelle	$S(\lambda)^*$				
	Wellenlänge				
	300	400	500	600	
Normlichtart A	0,00	0,00	59,9	129	
Tageslichtphase D55	0,02	60,9	101	94,4	
Himmelsstrahlung	Sonnenhöhe $10^{\circ}$	16,1	126	144	85,8
	" $30^{\circ}$	35,0	176	157	83,0
	" $60^{\circ}$	35,4	158	142	85,8
Sonnenstrahlung	Sonnenhöhe $10^{\circ}$	0,00	17,5	85,7	111
	" $30^{\circ}$	0,8	44,0	104	102
	" $60^{\circ}$	2,4	56,9	109,8	101

\*) Basis:  $S(560) = 100$

- Die 'Relative Gefährdung  $A(Z)$ '

Der nächste Schritt des Bewertungsverfahrens ist die Wichtung der  $S(\lambda)$ -Werte mit der 'Relativen, spektralen Objektempfindlichkeit  $s(\lambda)_{dn,rel}$ '. Die Ergebnisse sind, für sich genommen, wenig aussagekräftig. Sie gewinnen an Anschaulichkeit, wenn man sie, wie schon mit  $a(Z)$  geschehen, zu der 'Normlichtart A mit idealer UV-Filterung' in Beziehung setzt. Diese muß allerdings, um als Bezugsbeleuchtung für Jahressummen des Tageslichtangebots dienen zu können, noch um den Faktor Zeit erweitert werden, so daß der neue Begriff der 'Bezugsbeleuchtung' nunmehr definiert ist als die 'mit einer konstanten Beleuchtungsstärke  $E$  zeitlich exakt auf die Dauer der Öffnungszeit  $(t-t_0)$  begrenzte Beleuchtung durch die ideal gefilterte Normlichtart A'.

E und  $(t-t_0)$  sind im Prinzip frei wählbar, doch empfiehlt es sich, im Museumsbetrieb gebräuchliche Werte einzusetzen. Es wurden daher festgelegt:

- Bezugsbeleuchtungsstärke  $E = 50 \text{ lx}$
- Bezugsbeleuchtungsdauer  $(t-t_0) = 2500 \text{ h/a}$

Letztere ergibt sich als Jahreswert aus der täglichen Öffnungszeit von 8 Std. an 6 Tagen pro Woche. Die Multiplikation von E mit  $(t-t_0)$  liefert die jährliche Belichtung

$$H = 125\,000 \text{ lxh/a bzw. } 0,125 \text{ Mlxh/a.}$$

Wird diese mit dem Bezugswert  $v(A)$  (s.o.) multipliziert, so erhält man die 'Objektgefährdende Bestrahlung  $H_{dm}(A)$ ' durch die Bezugsbeleuchtung. Ein entsprechender Ausdruck  $H_{dm}(Z)$  kann für jede beliebige Lichtart Z, also auch für den Mittleren Himmel gefunden werden. Wird  $H_{dm}(Z)$  auf  $H_{dm}(A)$  bezogen, so gewinnt man den Begriff der 'Relativen Gefährdung  $A(Z)$ '. Er ist also mathematisch definiert durch die Gleichung

$$A(Z) = \frac{H_{dm}(Z)}{H_{dm}(A)} = \frac{\text{Objektgefährdende Bestrahlung durch die Lichtart Z}}{\text{desgl. durch die Bezugslichtart A}}$$

Falls nicht Tageslicht, sondern eine andere Lichtart bewertet werden soll, so lautet die Formel für  $A(Z)$  entsprechend. Der im Nenner stehende Begriff könnte auch als Minimalbestrahlung bezeichnet werden, nur ist dann die Gefahr von Mißverständnissen groß, denn selbstverständlich sind die genannten Werte von 50 lx und 2500 h/a, absolut gesehen, keine Mindestwerte. Nach unten hin könnte die Beleuchtungsstärke theoretisch noch verringert werden bis auf die Luxwerte zwischen 0,25 und 0,5 lx, die man in Vollmondnächten messen kann und die bekanntlich zum Zeitungslesen immer noch ausreichen, vorausgesetzt, das Auge ist dementsprechend adaptiert.

Die jährliche Beleuchtungsdauer ließe sich auf wenige Stunden, in denen das betreffende Stück der Sammlung für die Besichtigung freigegeben wird, reduzieren, wodurch dann eine jährliche Belichtung von 10 lxh/a zustande käme. Das wäre aus konservatorischer Sicht sicherlich zu begrüßen; doch die Wanderung auf dem schmalen Grad zwischen einem Zuviel an Präsentation und einem Zuwenig an Konservierung verlangt Ausgewogenheit, also auch Rücksichtnahme auf die Besuchsgewohnheiten und auf das visuelle Leistungsvermögen der Besucher. Daher wurde hier als realistischer Wert die genannte jährliche Belichtung von 125000 lxh/a gewählt. Diese kann man auch so interpretieren, daß die Exponate an maximal 1000 Stunden im Jahr mit einer Beleuchtungsstärke von 125 lx präsentiert werden, was den Seh-

leistungen insbesondere von älteren Menschen eher gerecht würde.

- Einflußgrößen der Tageslichtbeleuchtung

Die Stärke der Gefährdung des Sammlungsguts, ausgedrückt durch  $A(Z)$ , läßt sich für jeden konkreten Fall einer Tageslicht-Ausstellung im Voraus berechnen, denn ein entsprechendes Rechenprogramm wurde erstellt<sup>\*)</sup>. Erforderlich sind genaue Angaben über Orientierung und Abmessungen des Gebäudes, der Räumlichkeiten und der Tageslichtöffnungen. Um allgemein gültige Aussagen zu erhalten und eine Bewertung beliebiger Situationen mit hinreichender Genauigkeit zu ermöglichen, wurde eine größere Anzahl von Parametern in die Berechnung einbezogen. Es sind dies:

-- Einfluß der geographischen Breite

Ausgewählt wurden Bremerhaven und München, zwei innerhalb der Bundesrepublik Deutschland weit auseinandergelegene Orte, für die die erforderlichen meteorologischen Daten vorliegen.

-- Orientierung der Lichtöffnungen

Gewählt wurden eine horizontale Lichtöffnung und vier in die Haupthimmelsrichtungen orientierte Fensteranordnungen.

-- Innentageslichtquotient  $D_i$

Dieser Parameter, der die Größe der Lichtöffnungen maßgeblich bestimmt, wurde implizit durch die Nutzungsdauer des Tageslichts angegeben. Danach soll  $D_i$  so bemessen sein, daß eine Tageslicht-Beleuchtungsstärke von mehr als 150 lx zu 40 bzw. 80% der jährlichen Öffnungszeit erreicht wird. Damit ergibt sich für jeden Ort und jede Fensteranordnung ein anderer Wert von  $D_i$  !

-- Tageslicht-Ergänzungsbeleuchtung

Wenn die Beleuchtungsstärke von 150 lx durch das Tageslicht nicht mehr erreicht wird, soll eine künstliche Beleuchtung mittels Leuchtstofflampen der Lichtfarbe Weiß (Osram 21) zugeschaltet

---

\*) Im Falle von Neubauten mit lichtempfindlichem Sammlungsgut ist eine derartige Analyse im Entwurfsstadium von großem Nutzen.

werden; diese sichert dann die 150 lx allein.

-- Ausschalten des Tageslichts

Es werden zwei Fälle berücksichtigt: die Fenster werden außerhalb der Öffnungszeit nicht verdunkelt bzw. durch entsprechende Vorrichtungen völlig abgedunkelt. Diese können auch unmittelbar vor den betreffenden Objekten zur Anwendung kommen.

-- Filterung des Tageslichts durch UV-Folien und -Gläser

Es wird angenommen, daß die Fenster mit einer Zweifachverglasung versehen sind. Als zusätzliche Filter wird das in Tab. 12 genannte Material berücksichtigt. Die früher übliche und an anderer Stelle 50)61) beschriebene Beschichtung der Fensterscheiben entfiel in dieser Betrachtung, weil sie sich nicht bewährt hat.

-- Schwächung des Lichteinfalls durch verstellbare Einrichtungen

In der Praxis werden Lichtschwächungseinrichtungen, z.B. Vorhänge, meistens nach Gutdünken betätigt, was sich rechnerisch nicht erfassen läßt. Es wurde daher angenommen, daß sie a) überhaupt nicht, b) monatlich je einmal verstellt werden, und zwar so, daß das in dem betreffenden Monat angebotene Tageslicht zu 40 bzw. 80% genutzt wird. Im Winter bei voller Öffnung der Lichtschwächungselemente begrenzen die vorhandenen Fensterflächen den Prozentsatz nach oben. Fall a) ist typisch für Oberlichtöffnungen.

- Ergebnisse der Bewertung

Die Berechnungen wurden durch KROCHMANN unter Mitwirkung von AYDINLI am Institut für Lichttechnik der Technischen Universität Berlin im Dezember 1982 und Januar 1983 mit Hilfe der dort vorhandenen Rechenanlage durchgeführt und in Form eines Gutachtens<sup>60)</sup> vorgelegt. Ein einleitender Abschnitt daraus ist dem Anhang beigelegt. Daß die Zwischen- und Endergebnisse einen Aktenordner füllen, wird angesichts der zahlreichen Parameter niemanden verwundern. Im Folgenden wird ein Extrakt gegeben.

1) Einfluß der geographischen Breite auf den Innentageslichtquotienten  $D_i$ .

In Tab. 17 sind die für Bremerhaven und München errechneten Werte gegenübergestellt.

Tab. 17 Einfluß der geographischen Breite auf  $D_i$

Fensteranordnung	Innentageslichtquotient $D_i$			
	Bremerhaven		München	
	40	Nutzungsdauer % 80	40	80
horizontal	0,5	1,7	0,4	1,2
vertikal Süd	0,5	1,5	0,5	1,2
" West	0,9	2,8	0,8	1,8
" Nord	1,3	3,7 <sup>*)</sup>	1,1	2,5
" Ost	1,1	3,2	0,9	2,1

\*) Die Praxis zeigt, daß ein  $D_i$  3 in Räumen mit Seitenfenstern kaum zu verwirklichen ist; die genannte Nutzungsdauer ist dort nicht erreichbar.

Es zeigt sich, daß bei gleicher Nutzungsdauer in Bremerhaven größere  $D_i$ -Werte erforderlich sind als in München; eine alte Erkenntnis, daß die Fenster im Norden größer sein müssen als im Süden. Erkennbar ist aber auch, daß sich  $D_i$  bei halber Nutzungsdauer auf etwa ein Drittel reduziert. Das läuft in etwa auf eine entsprechende Verkleinerung der Fensterflächen hinaus.

2) Maximalwerte der 'Relativen Gefährdung  $A(Z)$ '

Besonders interessant ist die Antwort auf die Frage nach den Höchstwerten von  $A(Z)$ . Es sind diejenigen Gefährdungswerte, die man erwarten kann, wenn erstens nur eine Zweifachverglasung (Isolierglas, Doppelfenster), jedoch kein UV-Schutz vorhanden ist, wenn zweitens auf Lichtschwächung bei einem Tageslichtüberangebot verzichtet wird - typisch für Oberlichtfenster - und wenn drittens außerhalb der Öffnungszeit auch keine Verdunkelung erfolgt (siehe Tab. 18).

Tab. 18 Maximalwerte der 'Relativen Gefährdung  $A(Z)$ ' für verschieden lange Nutzungsdauer

Fensteranordnung	Relative Gefährdung $A(Z)$			
	Bremerhaven		München	
	40	Nutzungsdauer % 80	40	80
horizontal	37,6	134,3	42,0	119,6
vertikal Süd	37,4	100,3	41,6	98,1
" West	50,0	143,9	54,8	122,8
" Nord	47,0	129,2	50,8	113,3
" Ost	58,9	162,0	64,1	141,3

Es sind beunruhigende Werte. Man betrachte den Spitzenwert von  $A(Z)=162$ , der für einen Raum mit Ostfenstern auf der Breite von Bremerhaven bei einer Nutzungsdauer von 80%, also bei großzügiger Verglasung, gilt ! Man muß sich klar machen, daß lichtempfindliche Objekte dort rund 160 mal stärker gefährdet sind als unter der oben definierten Bezugsbelichtung. Kleinere Werte ergeben sich für Orte auf der Höhe Münchens und für die nur halb so große Nutzungsdauer. Es fällt auf, daß von Südfenstern vergleichsweise die geringste Gefährdung ausgeht.

Für die folgenden Betrachtungen werden die 80%-Werte von Bremerhaven zum Vergleich herangezogen.

### 3. Einfluß der Verdunkelung außerhalb der Öffnungszeit

Diese Ergebnisse sind in Tab. 19 dargestellt.

Tab. 19 'Relative Gefährdung  $A(Z)$ ' ohne und mit Verdunkelung  
(Bremerhaven, Nutzungsdauer 80%)

Fenster- anordnung	Relative Gefährdung $A(Z)$	
	ohne Verdunkelung	mit
horizontal	134,5	94,5
vertikal Süd	100,3	74,3
" West	143,9	102,6
" Nord	129,2	84,8
" Ost	162,0	98,7

Man verringert demnach die Gefährdung, wenn die Fenster außerhalb der Öffnungszeit verdunkelt werden. Sind die Vorhänge, Rollos usw. lichtdurchlässig, so liegen die  $A(Z)$ -Werte zwischen den genannten.

### 4. Einfluß des UV-Schutzes

Es sind verschiedene Filterkombinationen denkbar, je nachdem, ob das Tageslicht direkt am Fenster oder erst am Objekt bzw. in einer Vitrine gefiltert werden soll, und zwar zusätzlich zu einer vorhandenen Zweifachverglasung.

Folgende Scheiben bzw. Folien wurden ausgewählt (siehe Tab. 12):

Normales Glas, einfach,	EG
Acrylglas, z.B. Plexiglas,	PL
Verbundsicherheitsglas mit UV-Folie	VSG
Ultraphan-Folie, weiß	UN

Tab. 20 zeigt die Ergebnisse dieser Auswertung.

Tab. 20 'Relative Gefährdung A(Z)' bei verschiedenen UV-Filtern  
(Bremerhaven, Nutzungsdauer 80%)

UV-Filter	Relative Gefährdung A(Z)
ohne	162,0
EG	145,9
PL	68,5
VSG	64,7
UN	49,2

Schon durch eine einfache zusätzliche Glasscheibe, etwa die Verglasung der Vitrine, wird die Gefährdung vermindert. Mittels Acrylglas oder einer VSG-Scheibe mit eingelegter UV-Folie verringert man A(Z) auf etwa 40%, und mit einer Ultraphan-Folie, beispielsweise in Form eines Rollos, kann man sogar 30% erreichen.

#### 5. Einfluß der Lichtschwächung durch Vorhänge, Jalousien u. dergl.

Es wird, wie oben erläutert, mit zwei Möglichkeiten gerechnet. Ergebnisse siehe Tab. 21.

Tab. 21 'Relative Gefährdung A(Z)' bei monatlicher Einstellung von Lichtschwächungseinrichtungen, z.B. von Vorhängen  
- Jahreswerte -

Fenster- anordnung	Relative Gefährdung A(Z)	
	ohne Lichtschwächung	mit
horizontal	134,3	80,3
vertikal Süd	100,3	107,6
" West	143,9	94,0
" Nord	129,2	88,2
" Ost	162,0	120,8

Die Gefährdung kann auf rund 75% vermindert werden, wenn Lichtschwächungseinrichtungen vorhanden sind und auch betätigt werden !

#### 6. Monatlicher Verlauf der 'Relativen Gefährdung A(Z)'

Bei Dauerausstellungen interessieren naturgemäß in erster Linie die Jahreswerte von A(Z), im Hinblick auf Wechselausstellungen von kürzerer Dauer muß der monatliche Verlauf von A(Z) beachtet werden. Tab. 22 zeigt diesen am Beispiel 'vertikale Ostfenster', jeweils für Bremerhaven und München, wobei angenommen wurde, daß weder UV-Schutz noch Verdunkelung vorhanden sind. Die Werte gelten auf der Basis einer Nutzungsdauer von 80%.

Tab. 22 'Relative Gefährdung A(Z)' bei monatlicher Einstellung von Lichtschwächungseinrichtungen, z.B. von Vorhängen.  
- Monatswerte -

Monat	Relative Gefährdung A(Z)			
	Bremerhaven		München	
	ohne monatlicher	mit Einstellung der	ohne Lichtschwächung	mit
Jan.	30,8	-*)	38,8	-
Febr.	61,5	-	65,4	-
März	126,5	85,3	123,2	96,8
April	227,1	103,6	180,5	108,1
Mai	292,4	113,1	223,0	115,3
Juni	324,9	117,9	240,2	118,6
Juli	279,2	106,0	249,2	122,7
Aug.	249,1	105,0	220,4	119,4
Sept.	190,8	102,6	172,4	111,0
Okt.	94,9	88,9	107,0	97,2
Nov.	38,0	-	44,1	-
Dez.	22,9	-	26,5	-

\*) Schwächung des Tageslichts nicht erforderlich

Ergebnis: Im Monat Juni erreicht die Gefährdung, wenn keinerlei Schutzmaßnahmen getroffen werden, in Orten auf der Höhe von Bremerhaven einen Höchstwert von 325 ! In den Wintermonaten beträgt die Gefährdung nur etwa 10% davon. Durch Lichtschwächungseinrichtungen kann sie deutlich herabgesetzt werden.

## 7. Vergleich Tageslicht - Kunstlicht

Aufschlußreich ist ein Vergleich zwischen den Kleinst- bzw. den Größtwerten von A(Z) für Tageslicht und für Kunstlicht. Die Tab. 23 zeigt dies. Verwendet werden einerseits die für Bremerhaven ermittelten A(Z)-Werte für Situationen ohne und mit sämtlichen Schutzmaßnahmen, jeweils gültig für eine Nutzungsdauer von 40 bzw. 80%, und andererseits die A(Z)-Werte für Kunstlicht ohne und mit Filterung, wobei außer der Bezugsbeleuchtungsstärke  $E=50 \text{ lx}$  willkürlich ein weiterer Wert von  $500 \text{ lx}$  als zusätzlicher Parameter eingesetzt wurde.

Tab. 23 'Relative Gefährdung A(Z)' von Tageslicht und Kunstlicht  
 Vergleich von Mindest- bzw. Höchstwerten  
 - Bremerhaven -

Relative Gefährdung A(Z)				
Tageslicht Fenster- anordnung	Schutzmaßnahmen			
	40	ohne 80	Nutzungsdauer % 40	mit 80
horizontal	37,6	134,3	9,9	20,0
vertikal Süd	37,4	100,3	9,7	28,6
" West	50,0	143,9	10,5	22,4
" Nord	47,0	129,2	11,1	19,9
" Ost	58,9	162,0	12,3	26,2

Kunstlicht Lampe	Filter			
	50 *	ohne* 500	mit EG+UN Beleuchtungsstärke lx 50	500
Glühlampe	2,41	24	0,99	10
Halogenglühlampe	3,85	39	1,24	12
Leuchtstofflampe				
-Lichtfarbe 11 **	4,35	44	2,47	25
" 21	3,73	37	1,72	17
" 31	4,21	42	1,38	14
" 41	4,23	42	1,04	10

\* identisch mit den in Tab. 13 genannten Werten

\*\* siehe Tab. 11

Bei den Tageslichtwerten fällt ins Auge, daß man die Gefährdung stark vermindern kann, wenn alle Schutzmaßnahmen getroffen werden. Es sind dies - das sei noch einmal wiederholt:

- Verringern der Nutzungsdauer des Tageslichts durch Reduzierung des Innentageslichtquotienten  $D_i$ , beispielsweise durch Verkleinern oder Verstellen der Fensteröffnungen,
- Verdunklung außerhalb der Öffnungszeit,

- Schwächen des Lichteinfalls in der hellen Jahreszeit,
- UV-Filterung des Tageslichts.

Es gelingt dadurch, die Gefährdung auf etwa 8-10% der maximalen zu vermindern. Diese Mindestwerte liegen freilich immer noch weit über denen einer Glühlampenbeleuchtung mit UV-Filterung und einer Beleuchtungsstärke von 50 lx. Erst dann, wenn ein Beleuchtungsniveau von 500 lx zum Vergleich herangezogen wird - derartige Werte trifft man in Ausstellungen an -, ändert sich das Bild. Dann zeigt sich, daß von Leuchtstofflampen trotz UV-Filterung eine höhere Gefährdung ausgeht, während sie bei Glühlampen bzw. Halogenglühlampen dann etwa gleich groß ist.

#### - Schlußbemerkung

Mit der neuen konservatorischen Bewertung läßt sich die Gefährdung von lichtempfindlichem Sammlungsgut in Zahlenwerten ausdrücken, für Fälle konstanter Beleuchtungsstärke und -dauer in Form des 'Gefährdungsfaktors  $a(Z)$ ', für Tageslichtsituationen durch die 'Relative Gefährdung  $A(Z)$ '. Ein Ergebnis besagt, daß Tageslicht, wenn es ungefiltert, an hellen Tagen ungeschwächt und zeitlich unbegrenzt auf ungeschützt dargebotene Objekte trifft, diese im langjährigen Mittel 100 bis 160 mal stärker gefährdet als schwaches, wohldosiertes, gefiltertes Glühlampenlicht (siehe Tab. 18). Im Juni kann die Gefährdung sogar über 300 mal größer sein (siehe Tab. 22). In allen diesen Fällen wurde vorausgesetzt, daß eine lichtstreuende Zweifachverglasung vorhanden ist.

Die aktuelle Frage, ob die neuen '3-Banden'-Leuchtstofflampen gefährlicher sind als die herkömmlichen Typen, kann nunmehr dahingehend beantwortet werden, daß bei ungefiltertem Licht kein nennenswerter Unterschied besteht; bei Filterung mittels Acrylglas, z.B. durch die Streuscheibe oder die Abdeckung der Leuchte, wird die Gefährdung sogar geringer (siehe Tab. 13). Sie liegt dann allerdings immer noch über derjenigen von gefiltertem Glühlampenlicht. Die Halogenglühlampe ist zwischen diesen beiden einzuordnen. Der Vergleich zwischen Kunstlicht und Tageslicht zeigt schließlich (siehe Tab. 23), daß die Gefährdung durch Tageslicht etwa auf die von

hellem Kunstlicht hervorgerufene gesenkt werden kann, wenn nur alle erforderlichen Schutzmaßnahmen getroffen werden. Doch die dann erreichten Werte von ungefähr  $A(Z)=10$  sind konservatorisch immer noch bedenklich hoch !

Gefährdungsfaktor  $a(Z)$  und Relative Gefährdung  $A(Z)$  sind - das sagt schon der Name - Relativwerte; sie drücken aus, um wieviel größer oder auch kleiner die Gefährdung in einem gegebenen Falle im Vergleich zu einer definierten Bezugsbeleuchtung eingeschätzt wird. Manche Stimme wird daher besorgt die Frage stellen, was denn damit an Aussage über das effektive Ausmaß photochemischer Veränderungen gewonnen ist.

Leider muß die Antwort darauf noch offen bleiben. Denn vorerst ist z.B. weitgehend unbekannt, welche mathematisch erfaßbaren Beziehungen zwischen  $A(Z)$  und bestimmten Farbverschiebungen bei museumstypischem Material bestehen. Da beide Größen meßbar sind, besteht Aussicht auf Klärung dieses Zusammenhangs.

Zunächst müßte die Gültigkeit der Funktion, die die photochemische Empfindlichkeit von Sammlungsgut wiedergibt, also  $a(\lambda)_{dm,rel}$ , überprüft werden; danach wären Bestrahlungsversuche an typischem Material verschiedenen Erhaltungszustands durchzuführen, wobei sich u.a. herausfinden ließe, ob THOMPSON - siehe oben - recht hat mit seiner Vermutung, daß an photochemisch bereits geschädigtem Material nicht mehr viel zu verderben ist<sup>\*)</sup>.

Eine Erkenntnis gilt allerdings als gesichert, daß nämlich Veränderungen um so eher auftreten, je größer  $A(Z)$  ist. Ein Beispiel mag das illustrieren: Wenn ein Exponat einer Tageslichtsituation ausgesetzt ist, für die sich eine Relative Gefährdung  $A(Z)=100$  ergibt, so besagt dies, daß ein bestimmter Grad an farblicher Veränderung, der unter einer relativ schwachen gefilterten Glühlampenbeleuchtung erst in 100 Jahren sichtbar würde, bereits nach einem Jahr zu sehen sein wird. Vergleicht man unter diesem Gesichtspunkt die Ergebnisse von Tab. 23 mit den von HARRISON genannten

---

\*) Diesbezügliche Untersuchungen unter der Federführung des IfM sind geplant.

Werten (siehe Tab. 7) z.B. das Verhältnis "Oberlicht zu gefiltertem Leuchtstofflampenlicht", so ergibt sich, daß HARRISON mit seiner Schätzung von 660 zu 6 Jahren gegenüber jetzt 134 zu 1,04-1,34 Jahren (Lichtfarben 31 und 41) erstaunlich gut abschneidet. Seine Annahme allerdings, daß mit gefiltertem Glühlampenlicht auch bei unendlicher Beleuchtungsdauer keine Veränderungen auftreten, kann vorerst nicht bestätigt werden. Weitere Untersuchungen werden zeigen, ob sich diese Hoffnung erfüllt.

### 3. Literatur

- 1) N.S. Bromelle                   The Russell and Abney Report on the  
Action of Light on Water Colours.  
Studies in Conservation 9 (1964)  
S. 140 - 152
- 2) -                                 Handwörterbuch der Naturwissenschaften  
2. Aufl. G. Fischer, Jena, 1932
- 3) Kükenthal                     Das Zoologische Museum der  
Breslauer Universität  
Museumskunde 1 (1905)  
S. 224
- 4) Richter                       Über die idealen und praktischen  
Aufgaben der ethnographischen Museen.  
Museumskunde 4 (1908)  
S. 231 - 232
- 5) E. Strömberg                 Dyes and Light  
ICOM NEWS 3 (1950) Nr. 3
- 6) J. Genard                     Extreme Ultra-Violet Radiation  
from Tubular Fluorescent Lamps  
and its Effect on Museumslighting,  
MUSEUM 5 (1951)  
S. 53 - 58
- 7) -                               Utilisation des Lampes Fluorescentes  
dans les Musées.  
ICOM, Paris, 1953,  
übersetzt und abgedruckt in  
Museumskunde 31 (1961)  
S. 89 - 94
- 8) -                               Preservation of the Declaration of  
Independence and the Constitution  
of the United States.  
National Bureau of Standards (NBS)  
Circular 505, Washington, 1951
- 9) -                               Protective Display Lighting of  
Historical Documents.  
NBS, Circular 538, Washington, 1953
- 10) D.B. Judd                    Radiation Hazard of Museum  
Light Sources.  
NBS Report 2254, Washington, 1953

- 11) L.S. Harrison Report on the Deteriorating Effects of Modern Light Sources.  
The Metropolitan Museum of Art.  
New York 1953.
- 12) L.S. Harrison An Investigation of the Damage Hazard in Spectral Energy.  
Illuminating Engineering 49 (1954)  
S. 253 - 257
- 13) L.S. Harrison Evaluation of Spectral Radiation Hazards in Window-lighted Galleries.  
in: G. Thomson (Hrsg.) Recent Advances in Conservation.  
Butterworths, London, 1963
- 14) J.J. Balder Verfärbung farbiger Objekte durch die Einwirkung von Tageslicht, Glühlampenlicht und Leuchtstofflampenlicht.  
Lichttechnik 8 (1956)  
S. 57 - 61
- 15) H. Kühn Verwendung von Ultraviolett-Lichtschutzlacken im Museum.  
Museumskunde 30 (1961)  
S. 22 - 30
- 16) E. Denninger Leuchtstoffröhren in Ateliers und Ausstellungen  
Maltechnik 1 (1961)
- 17) C. Zoege v. Manteuffel Leuchtstofflampen im Museum  
Museumskunde 31 (1962)  
S. 95 - 102
- 18) G. Thomson A New Look at Colour Rendering, Level of Illumination, and Protection from Ultra-Violet Radiation in Museum Lighting  
SIC (6) 1961  
S. 49 - 69
- 19) R.L. Feller The Deteriorating Effect of Light on Museum Objects.  
Museum News 42 (1964)  
S. I - VIII
- 20) R.L. Feller Contrôle des effets détériorants de la lumière sur les objets de musée.  
Museum 17 (1964)  
S. 84 - 98

- 21) H.C.A. van Beek  
and P.M. Heertjes Fading by Light of Organic Dyes on  
Textils and other Materials.  
SIC 11 (1966)  
S. 123 - 132
- 22) T. Padfield  
and Sheila Landi The Lightfastness of the Natural Dyes.  
SIC 11 (1966)  
S. 181 - 195
- 23) T. Padfield The Deterioration of Cellulose  
(A Literature review) in: ICOM,  
Travaux et Publications VIII (1969)  
S. 119 - 163
- 24) J.F. Hanlan The Effect of Electronic Photographic  
Lamps on the Materials of Works of Art  
Museums News 48 (1970)/  
Technical Supplement Nr. 10
- 25) Th.B. Brill Light. Its Interaction with Art and  
Antiquities.  
Plenum Press, New York, London, 1980
- 26) H. Kühn Ausstellung lichtempfindlicher Museums-  
objekte in stickstoffgefüllten Vitrinen.  
Museumskunde 36 (1967)  
S. 7 - 16
- 27) F. Kollmann u.a. Untersuchungen über die Erwärmung,  
Verwölbung und Trocknung hölzerner  
Bildtafeln bei starker Beleuchtung.  
Holz als Roh- und Werkstoff 19 (1961)  
S. 41 - 47
- 28) Ch. Wolters  
und H. Kühn Behaviour of Painted Wood Panels  
under Strong Illumination.  
SIC 7 (1961)  
S. 1 - 9
- 29) H. Kühn The Use of Heat-Protection Filters when  
Works of Art are Filmed or Televised.  
SIC 12 (1967)  
S. 102 - 114
- 30) R.L. Feller Control of Deteriorating Effects of Light  
on Museum Objects: Heating Effects of  
Illumination by Incandescent Lamps.  
Museum News 22 (1968)  
S. 39 - 47
- 31) G.S. Hilbert Museumstechnik: Scheinwerferstrahlung  
gefährdet Kunstwerke. In:  
Jahrbuch Preußischer Kulturbesitz XI  
(1973), gekürzt in Bauwelt 66 (1975)  
S. 576 - 578

- 32) G.S. Hilbert Die Gefährdung von Kunstwerken durch die Wärmestrahlung von Lichtquellen.  
Lichttechnik 26 (1974)  
S. 423 - 427
- 33) - Schädigt Neonlicht Farben ?  
Maltechnik 73 (1967)  
S. 54
- 34) Ch. Wolters Konservatorische Gesichtspunkte im Museumsbau.  
Bauen + Wohnen 9 (1966)  
S. 371
- 35) Ch. Wolters Konservatorische Gesichtspunkte bei Graphikausstellungen.  
Maltechnik/Restauro 79 (1973)  
S. 55 - 56
- 36) G. Thomson Annual Exposure to Light within Museums.  
SIC 12 (1967)  
S. 26 - 36
- 37) - Handbuch für Beleuchtung  
4. Aufl. Girardet, Essen, 1975
- 38) - CIBS Lighting Guide - Museums and Art Galleries - Nr. 14 -  
The Chartered Institution of Building Services  
London, 1980
- 39) - IES Lighting Handbook - Application Volume.  
Illuminating Engineering Soc.  
(USA) Kaufman and Haynes, New York, 1981
- 40) - La Lumière et la Protection des objets et spécimens exposés dans les musées et galeries d'art.  
2. Aufl. ICOM, Paris, 1977
- 41) C. Thompson Daylight in art galleries  
Museums Journal 71 (1971), abgedruckt in The Mound, Edinburgh, 1971,  
S. 59 - 62
- 42) G. Thomson The Museum Environment,  
2. Aufl., Butterworths, London, 1981

- 43) G. Thomson Control of the Environment for Good  
or J11 ?  
National Gallery Technical Bulletin 5 (1981)  
S. 3 - 13
- 44) M. Günther Neue Lichtquellen  
Lichttechnik 27 (1975)  
S. 236 - 238 und S. 273 - 274
- 45) K. Eckhardt Neuzeitliche Entladungslampen:  
Eigenschaften und Betriebsbedingungen  
Lichttechnik 27 (1975)  
S. 407 - 410
- 46) C. Zoege v. Manteuffel Neue Gefahren durch Leuchtstoff-  
röhren und Acrylgläser.  
Museumskunde 45 (1980) S. 141  
s. auch 46 (1981) S. 46 - 47
- 47) L. Endres u. Versuche zur Ausbleichwirkung  
G. Schröder von Lichtquellen.  
Licht 33 (1981)  
S. 18 - 21
- 48) W. Mathis Über die Beleuchtung strahlungsempfind-  
licher Objekte in Museen mit Privatsamm-  
lungen.  
Licht 33 (1981)  
S. 22 - 24
- 49) G.S. Hilbert Farbveränderungen durch Licht  
Museumskunde 46 (1981)  
S. 98 - 100
- 50) G.S. Hilbert Sonnenschutz in Museen  
Bauwelt 67 (1976)  
S. 609 - 613
- 51) - Information. Mitteilungsblatt des Verbandes  
der Museen der Schweiz Nr. 22  
Zürich, 1979
- 52) E. De Witte u. Verlichtingsbronnen voor musea:  
M. Goessens-Landric schadelijk of niet ?  
Museumsleven ... (1978)  
S. 22 - 26
- 53) R.L. Feller Speeding up Photochemical Deterioration  
Bulletin de l'Institut royal du Patrimoine  
artistique (Bruxelles) XV (1975)  
S. 135 - 150
- 54) J. Krochmann Beleuchtung von Innenräumen mit Tageslicht  
erfordert genaue Berechnung  
Maschinenmarkt 81 (1975)  
S. 1592 - 1595

- 55) J. Krochmann  
R. Rattunde  
Optimierung der Tageslicht-Beleuchtung  
Technik am Bau (TAB) 9 (1978)  
S. 47 - 49
- 56) S. Aydinli  
Über die Berechnung der zur Verfügung  
stehenden Solarenergie und des Tages-  
lichts  
VDI-Fortschritts-Ber. Reihe 6 Nr. 79  
Düsseldorf, 1981
- 57) K. Stolzenberg  
Die Projektierung von Beleuchtungsanla-  
gen für Innenräume nach dem Wirkungs-  
gradverfahren.  
Fachausschuß 'Beleuchtungsberechnung'  
der LiTG, 4. Aufl.  
Karlsruhe, 1973
- 58) -  
DIN 5034 Innenraumbeleuchtung mit  
Tageslicht.  
Leitsätze
- 59) R. Rattunde  
Optimierung der Tageslichtbeleuchtung  
großer Räume durch Oberlichter unter  
Berücksichtigung des zur Verfügung  
stehenden Tageslichts.  
Dissertation TUB 1980
- 60) J. Krochmann  
Berechnung museumstypischer Beleuch-  
tungsarten.  
Für das Institut für Museumskunde er-  
stelltes Gutachten  
Teil I: Nr. 23/82, Teil II: Nr. 31/82  
Berlin 1982/83
- 61) G.S. Hilbert  
Lichtschutzmittel. Welche sind  
geeignet ?  
Berliner Museen (bm) 3. Folge (1977)  
Heft 9  
S. 11 - 12

#### 4. Anhang

Angefügt wurde der Abschnitt '3. Grundlagen' aus dem von Prof. Dr. Ing. J. Krochmann unter Mitarbeit von Dr. Ing. Aydinli erstellten Gutachten 23/82 und 31/82 (1. Ergänzungsrechnung). Er wurde von J. Krochmann verfaßt.

### 3. Grundlagen

#### 3.1. Relative spektrale Objektempfindlichkeit

Für die Durchführung von vergleichenden Berechnungen ist die Definition der relativen spektralen Objektempfindlichkeit  $s(\lambda)_{dm,rel}$  (relative spektrale Empfindlichkeit  $s(\lambda)_{rel}$ <sup>2)3)</sup>) von entscheidender Bedeutung. Darüber ist an verschiedenen Stellen berichtet<sup>4 - 18)</sup>.

Für die folgenden Berechnungen ist eine relative spektrale Objektempfindlichkeit zugrunde gelegt, die sich exponentiell mit der Wellenlänge ändert. Es wird davon ausgegangen, daß gilt:

$$\begin{array}{llll} \text{für } \lambda = 300 \text{ nm:} & s(\lambda = 300 \text{ nm})_{dm,rel} & = & 1 \\ \text{für } \lambda = 390 \text{ nm:} & s(\lambda = 390 \text{ nm})_{dm,rel} & = & 0,1 \\ \text{für } \lambda = 480 \text{ nm:} & s(\lambda = 480 \text{ nm})_{dm,rel} & = & 0,01 \end{array}$$

Dadurch ergibt sich (Bild 1):

$$s(\lambda)_{dm,rel} = \exp [7,675284 - 0,02558428 \cdot \lambda/nm] \quad (1)$$

### 3.2. Objektgefährdende Strahlungsgrößen

Entsprechend der Definition von photobiologisch wirksamen Strahlungsgrößen läßt sich die objektgefährdende Bestrahlungsstärke  $E_{dm}$  ("dm" damage of materials) definieren zu:

$$E_{dm} = \int_0^{\infty} E_{e\lambda} \cdot s(\lambda)_{dm,rel} \cdot d\lambda \quad (2)$$

$E_{e\lambda}$  spektrale Bestrahlungsstärke <sup>19)</sup>

Für die Objektgefährdung ist im allgemeinen nicht die objektgefährdende Bestrahlungsstärke, sondern die objektgefährdende Bestrahlung  $H_{dm}$  maßgebend.

$$H_{dm} = \int_{t_1}^{t_2} E_{dm} \cdot dt \quad (3)$$

$t_1$  Beginn der Bestrahlung

$t_2$  Ende der Bestrahlung

Die Bewertung objektgefährdender Strahlung auf Grund der objektgefährdenden Bestrahlung  $H_{dm}$  setzt die Gültigkeit des Bunsen-Roscoeschen Gesetzes voraus <sup>3)</sup>. Das Bunsen-Roscoesche Gesetz besagt für den hier behandelten Fall, daß für die objektgefährdende Wirkung der Strahlung das Produkt aus objektgefährdender Bestrahlungsstärke  $E_{dm}$  und der Bestrahlungsdauer  $t$  ( $= t_2 - t_1$ ), d.h. die objektgefährdende Bestrahlung  $H_{dm}$ , maßgebend ist. Es muß

jedoch damit gerechnet werden, daß besonders bei sehr hohen objektgefährdenden Bestrahlungsstärken und kleinen Bestrahlungsdauern mit zum Teil erheblichen Abweichungen von diesem Gesetz zu rechnen ist.

### 3.3. Bezogene objektgefährdende Bestrahlungsstärke

Bei jeder Beleuchtung eines Ausstellungsgegenstandes ist mit einer gewissen Gefährdung zu rechnen. Es erscheint daher sinnvoll, die objektgefährdende Bestrahlungsstärke  $E_{dm}$  zu relativieren und auf die Beleuchtungsstärke zu beziehen. Dann ergibt sich die bezogene objektgefährdende Bestrahlungsstärke für Licht mit einer bestimmten relativen spektralen Verteilung der Strahlung (Strahlungsfunktion, Lichtart  $Z$  <sup>20</sup>) zu

$$v(Z) = \frac{E_{dm}(Z)}{E(Z)} \quad (4)$$

$E_{dm}(Z)$       objektgefährdende Bestrahlungsstärke für  
die Lichtart  $Z$

$E(Z)$         Beleuchtungsstärke bei der Lichtart  $Z$

Unter Berücksichtigung der spektralen Verteilung der Strahlung und der relativen spektralen Objektempfindlichkeit läßt sich Gleichung (4) schreiben:

$$v(Z) = \frac{\int_0^{\infty} E_{e\lambda}(Z) \cdot s(\lambda)_{dm,rel} \cdot d\lambda}{K_m \int_0^{\infty} E_{e\lambda}(Z) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda} = \frac{\int_0^{\infty} S_{\lambda}(Z) \cdot s(\lambda)_{dm,rel} \cdot d\lambda}{K_m \int_0^{\infty} S_{\lambda}(Z) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (5)$$

- $E_{e\lambda}(Z)$  spektrale Bestrahlungsstärke bei der Lichtart Z
- $K_m = 683 \text{ lm/W}$  Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalentes <sup>21)</sup>
- $V(\lambda)$  spektraler Hellempfindlichkeitsgrad des menschlichen Auges für Tagessenhen <sup>21)</sup>
- $S_\lambda(Z)$  Strahlungsfunktion der Lichtart Z

$v(Z)$  ist eine Größe, die die Bewertung objektgefährdender Strahlung unterschiedlicher Strahlungsfunktionen gestattet.

Für eine "ideale" Beleuchtung mit Normlichtart A <sup>22)</sup>, bei der Strahlung unterhalb einer unteren Grenzwellenlänge "K" durch eine ideale Filterung abgeschnitten wird, ergibt sich dann

$$v(A) = \frac{\int_K^\infty S_\lambda(A) \cdot s(\lambda)_{\text{dm,rel}} \cdot d\lambda}{K_m \int_K^\infty S_\lambda(A) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (6)$$

- $S_\lambda(A)$  Strahlungsfunktion der gefilterten Normlichtart A (s. Abschnitt 4.)

Aus den Gleichungen (4) bzw. (5) und (6) läßt sich der auf die gleiche Beleuchtungsstärke bezogene "Gefährdungsfaktor  $a(Z)$ " definieren, der der Aktinität <sup>2)</sup> entspricht.

$$\begin{aligned}
 a(Z) = \frac{v(Z)}{v(A)} &= \frac{\int_K^\infty E_{e\lambda}(A) \cdot v(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_K^\infty E_{e\lambda}(A) \cdot s(\lambda)_{dm,rel} \cdot d\lambda} \cdot \frac{\int_0^\infty E_{e\lambda}(Z) \cdot s(\lambda)_{dm,rel} \cdot d\lambda}{\int_0^\infty E_{e\lambda}(Z) \cdot v(\lambda) \cdot d\lambda} = \\
 &= \frac{\int_K^\infty S_\lambda(A) \cdot v(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_K^\infty S_\lambda(A) \cdot s(\lambda)_{dm,rel} \cdot d\lambda} \cdot \frac{\int_0^\infty S_\lambda(Z) \cdot s(\lambda)_{dm,rel} \cdot d\lambda}{\int_0^\infty S_\lambda(Z) \cdot v(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (7)
 \end{aligned}$$

Der Gefährdungsfaktor  $a(Z)$  gibt an, um welchen Faktor die Strahlung der Lichtart  $Z$  bei gleicher Beleuchtungsstärke wie bei gefilterter Normlichtart  $A$  unter Zugrundelegung der in Gleichung (1) definierten relativen spektralen Objektempfindlichkeit  $s(\lambda)_{dm,rel}$  objektgefährdender ist als letztere Lichtart.

Während bei künstlicher Beleuchtung der Ausstellungsgegenstand sinnvollerweise nur während der Öffnungszeit mit konstanter Beleuchtungsstärke beleuchtet wird, ist bei Beleuchtung durch Tageslicht eine Konstanz der Beleuchtungsstärke im allgemeinen nicht zu erreichen. Dann ist für einen Vergleich zwischen Tageslicht und Kunstlicht auch die Beleuchtungsdauer und die jeweilig vorhandene Beleuchtungsstärke zu berücksichtigen. Das läßt sich durch die "relative Gefährdung  $A(Z)$ " erfassen.

$$A(Z) = \frac{v(Z) \int_{t_1}^{t_2} E(Z) \cdot dt}{v(A) \int_{t_0}^t E(A) \cdot dt} = a(Z) \frac{H(Z)}{H(A)} = \frac{H_{dm}(Z)}{H_{dm}(A)} \quad (8)$$

- $t_1$  Beginn der Beleuchtung mit der Lichtart Z  
(z.B. Tageslicht)
- $t_2$  Ende der Beleuchtung mit der Lichtart Z
- $t_0$  Beginn der Beleuchtung durch die gefilterte  
Normlichtart A
- $t$  Ende der Beleuchtung durch die gefilterte  
Normlichtart A

Gleichung (8) setzt zeitlich konstante Strahlungsfunktion der Lichtart Z voraus. Ist die Strahlungsfunktion der Lichtart Z zeitlich nicht konstant ( $\tilde{Z}$ ), so gilt

$$A(Z) = \frac{H_{dm}(Z)}{H_{dm}(A)} \cdot \frac{\int_{t_1}^{t_2} E(\tilde{Z}) \cdot v(\tilde{Z}) \cdot d\lambda}{v(A) \cdot H(A)} \quad (9)$$

#### 4. Gefilterte Normlichtart A

Bei der Berechnung der Objektgefährdung ist es sinnvoll, auf eine "optimale" Lichtart zu beziehen. Dafür bietet sich die Normlichtart A an, für die der kurzwellige Teil mit einem idealen Kantenfilter abgeschnitten wird, ohne daß dadurch die Farbwiedergabeeigenschaften verschlechtert werden.

Die Farbwiedergabeeigenschaften einer Lichtquelle werden nach der Norm<sup>23)</sup> durch 14 spezielle Farbwiedergabeindizes  $R_i$

( $i = 1 \dots 14$ ) und den allgemeinen Farbwiedergabeindex  $R_a$  beschrieben. Der allgemeine Farbwiedergabeindex  $R_a$  ist das Mittel aus den speziellen Farbwiedergabeindizes  $R_1$  bis  $R_{14}$ . Ein noch schärferes Maß für die Kennzeichnung der Farbwiedergabeeigenschaften wäre das arithmetische Mittel  $R_{a,ges}$  aller 14 speziellen Farbwiedergabeindizes.

$$R_{a,ges} = \frac{1}{14} \sum_{i=1}^{14} R_i \quad (10)$$

Die 14 speziellen Farbwiedergabeindizes  $R_i$ , der allgemeine Farbwiedergabeindex  $R_a$  und  $R_{a,ges}$  wurden für die Normlichtart A für einen Kantenfilter mit verschiedenen Wellenlängen der Kantenlage berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 und Bild 2 angegeben. In Bild 2 ist dabei der ungünstigste spezielle Farbwiedergabeindex ( $R_{i,min}$ ) sowie  $R_a$  und  $R_{a,ges}$  als Funktion der Kantenlage des Filters angegeben. Es zeigt sich, daß Strahlung unterhalb von 410 nm weggeschnitten werden kann, ohne daß die Farbwiedergabeeigenschaften einer Lichtquelle mit gefilterter Normlichtart A beeinträchtigt wird.

##### 5. Umrechnung auf eine andere Bezugslichtart

Bei den Definitionen nach Abschnitt 3. wurden die Größen auf eine gefilterte Normlichtart A (Strahlung der Normlichtart A unterhalb  $\lambda = 410$  nm weggefiltert) bezogen. Diese optimale Lichtart ist eine theoretische Größe, die sich in der Praxis nicht erreichen läßt. Die tatsächlich verwendeten Filter, auf die in den fol-

genden Abschnitten hingewiesen wird, haben keine korrekte Rechteckfunktion des spektralen Transmissionsgrades.

Es kann daher interessieren, mit welcher relativen Gefährdung von Objekten man zu rechnen hat, wenn tatsächlich technisch herstellbare Lichtarten berücksichtigt werden.

Für eine tatsächliche "Bezugslichtart B" läßt sich der Gefährdungsfaktor  $a(B)$  berechnen zu

$$a(B) = \frac{v(B)}{v(A)} \quad (11)$$

$v(B)$  Größe nach Gleichung (4) für eine beliebige Bezugslichtart B

$v(A)$  entsprechende Größe für gefilterte Normlichtart A nach Abschnitt 4.

Dann läßt sich die relative Gefährdung  $A(Z,B)$  einer Strahlung der Lichtart Z bei Bezug auf die Bezugslichtart B berechnen zu

$$A(Z,B) = \frac{A(Z)}{a(B)} \quad (12)$$

$A(Z)$  relative Gefährdung bei Bezug auf gefilterte Normlichtart A

$a(B)$  Gefährdungsfaktor für die neue Bezugslichtart B

Mit dieser relativen Gefährdung  $A(Z,B)$  läßt sich ein unmittelbarer Vergleich realisierbarer Lichtarten für die Objektgefährdung bestimmen.

5. Literatur zum Anhang

Das folgende Literaturverzeichnis wurde dem Gutachten 23/82 von J. Krochmann entnommen. Es enthält u.a. die Quellenangaben des vorstehenden Kapitels '3. Grundlagen'. Mit \* sind diejenigen gekennzeichnet, die bereits im Hauptteil zitiert wurden.

G.S. H.

L i t e r a t u r

- 1) J. Krochmann  
Zur Frage der Beleuchtung von Museen  
Lichttechnik 30 (1978) S. 66-70 u. S.104-105
- 2) -  
DIN 5031 Teil 2  
Strahlungsphysik im optischen Bereich und  
Lichttechnik. Strahlungsbewertung durch  
Empfänger.
- 3) -  
Vornorm DIN 5031 Teil 10  
Strahlungsphysik im optischen Bereich und  
Lichttechnik. Größen, Formel- und Kurz-  
zeichen für photobiologisch wirksame Strah-  
lung.
- 4) J. Goodbar  
Possible Reduction of the Fading of Art  
Objects by Elimination of the North  
Skylight  
Lighting Design and Application 6 (1976),  
S. 30 - 33
- 5) O. Helmke  
Die Einwirkung von Licht und Wärme auf  
Seide und Baumwolle.  
Arbeitsblätter für Restauratoren 1 (1978),  
S. 42-46
- 6) S. Kaufmann  
Weißgradänderung von Viskosefasern durch  
spektrale Bestrahlung  
Faserforschung und Textiltechnik 11  
(1971), Heft 1, S. 16-20
- 7) F. Gaum  
UV-Sperrfilter in Beleuchtungsanlagen  
Lichttechnik 29 (1977), Heft 1, S. 12-14
- \* 8) L. Harrison  
An Investigation of the Damage Hazard in  
Spectral Energy  
Illuminating Engineering 49 (1954),  
S. 253 - 257
- 9) A.H. Taylor  
W.G. Pracejus  
Fading of Coloured Materials by Light  
and Radiant Energy  
Illuminating Engineering 45 (1950),  
S. 149 - 151
- \* 10) -  
Protective Display Lighting of Historical  
Documents  
National Bureau of Standards Circular 538,  
New York 1953

Forts. Literatur

- 11) -  
Wegleitung für die Verhütung von Schäden an strahlungsempfindlichen Objekten in Museen und Kunstgalerien  
Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft (SLG) Dok.No. 400/82, CH-8034 Zürich, Seefeldstraße 301
- \* 12) -  
International Council of Museum (I.C.O.M.)  
La Lumière et la Protection des Objets et Specimens exposés dans les Musées et Galeries d'Art  
Hgg. L'Association française de l'Eclairage, 2. Aufl., Paris 1977
- 13) G. Hilbert  
Lichtschutz für Jahre  
bm Nr. 10 (1977) S. 10 - 13
- \* 14) W. Mathis  
Über die Beleuchtung strahlungsempfindlicher Objekte in Museen und Privatsammlungen  
Licht 33 (1981) S. 22 - 24
- \* 15) L. Endres  
G. Schröder  
Versuche zur Ausbleichwirkung von Lichtquellen  
Licht 33 (1981) S. 18 - 21
- 16) J.L. Ouweltjes  
Leuchtstofflampen für Museumsbeleuchtung  
Farbe und Design 15/16 (1978)
- \* 17) R. Feller  
Controle des Effets deteriorants de la Lumière sur les Objets de Musée  
Museum (1964) Nr. 2, S. 57 - 84
- 18) Th. Sand  
Strahlungsschäden von Ausstellungsgegenständen  
Studienarbeit Institut für Lichttechnik der TU Berlin, 1982
- 19) -  
DIN 5031 Teil 1  
Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik. Größen, Formelzeichen und Einheiten der Strahlungsphysik
- 20) -  
DIN 5031 Teil 8  
Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik. Strahlungsphysikalische Begriffe und Konstanten
- 21) -  
DIN 5031 Teil 3  
Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik. Größen, Formelzeichen und Einheiten der Lichttechnik

Forts. Literatur

- 22) - DIN 5033 Teil 7  
Farbmessung. Meßbedingungen für Körperfarben
- 23) - DIN 6169 Teil 2  
Farbwiedergabe, Farbwiedergabeeigenschaften  
von Lichtquellen in der Beleuchtungstechnik
- 24) - Empfehlungen für die Gesamtbestrahlungsstärke  
und die spektrale Verteilung künstlicher Sonnenstrahlung für Prüfzwecke  
Publication CIE No. 20 (TC-2.2) 1972
- 25) - Spektrale Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung nach WMO  
Persönliche Mitteilung von Dr. Kaster, Meteorologisches Observatorium, Deutscher Wetterdienst, Hamburg
- 26) - Farbmessung: Offizielle Empfehlungen der Internationalen Beleuchtungskommission  
Publication CIE No. 15 (E-1.3.1) 1971
- \* 27) S. Aydinli Über die Berechnung der zur Verfügung stehenden Solarenergie und des Tageslichtes  
Fortschr.-Berichte der VDI-Zeitschriften-Reihe: Energietechnik - Wärmetechnik  
VDI-Verlag GmbH, Reihe 6, Nr. 79 (1981)



