

Hell oder Dunkel

Die Geschichte der Museumsbeleuchtung in der Alten Pinakothek in München

Melanie Bauernfeind

Das Thema Licht im Museum ist vielschichtig und bewegt sich aus konservatorischer Sicht häufig im Spannungsfeld zwischen Ausstellen und Bewahren und so zieht sich durch die Geschichte der Museumsbeleuchtung ein roter Faden facettenreicher Fragestellungen, die abhängig von technischer Entwicklung und konservatorischem Wissensstand unterschiedlich bewertet wurden. Dies lässt sich am Beispiel von Lichtsimulatoren für die 1836 eröffnete Alte Pinakothek in München, veranschaulichen.

Light or dark. The history of museum lighting in the Alte Pinakothek in Munich

From a conservation point of view, lighting in museums is a permanent conflict between presentation and preservation. Therefore, the history of illumination is affected by manifold problems which – depending on technical development and conservational knowledge – have been judged quite differently. This is illustrated by light simulations undertaken for the Alte Pinakothek in Munich, which was opened in 1836 as one of the first picture galleries in Europe.

Tageslicht und Architektur

Bis ins 20. Jahrhunderts war Tageslicht die einzige Möglichkeit, Museumsräume zu beleuchten. Deswegen kam der architektonischen Gestaltung – also dem Umgang mit Raumform sowie Größe, Anordnung und Position der Lichtöffnungen – eine Schlüsselrolle für die Lichtverhältnisse im Inneren zu. Im gesamten 19. Jahrhundert wurden wiederholt die Vor- und Nachteile von Seiten- und Oberlicht in der Museumsbeleuchtung intensiv diskutiert. Für Gemäldegalerien setzte sich die Anfang des 19. Jahrhunderts von Leo von Klenze und Georg von Dillis in der Münchner Alten Pinakothek (Abb. 1) erstmals ausgeführte Kombination aus kleineren Kabinettten mit Seitenlicht und größeren Oberlichtsälen durch, da hier die Vorteile der jeweiligen Beleuchtungsart gezielt eingesetzt werden konnten. Bei der architektonischen Bewältigung der Beleuchtungsfrage standen ästhetische wie gestalterische Überlegungen im Vordergrund und doch unterlagen sämtliche Konzepte den technischen Beschränkungen, die für horizontale, verglaste Flächen galten.

Klenzes auf das Dach gestellte Glaslaternen – die sogenannten Oberlichtlaternen – waren der Versuch, eine gleichmäßige Beleuchtung der Wände zu erreichen und dabei Risiken wie Undichtigkeit, Schneelast und Instabilität, die von einer Glaskonstruktion ausgehen, zu kontrollieren. Obwohl sich Klenze intensiv mit der Konstruktion und Dimensionierung seiner Lichtlaternen beschäftigte, litt seine Konzeption darunter, dass die technischen Möglichkeiten für die Umsetzung eingeschränkt waren. Es bestanden unlösbare Schwierigkeiten, wie beispielsweise die mangelhafte Dichtigkeit der Eisen-Glas-Konstruktion. Zudem waren Klenzes Überlegungen zur Beleuchtung von Gemäldegalerien überwiegend empirisch,

denn damals mangelte es an umfassenden und systematischen naturwissenschaftlichen Theorien zur Beleuchtungsfrage.

Anforderungen im Museumsraum

Eine der ersten Theorien zur zweckmäßigen Beleuchtung für die Ausstellung von Gemälden publizierte 1839 der Berliner Maler Eduard Magnus in der „Allgemeinen Bauzeitung“.¹ Ausgangspunkt waren Besuche in Dresden und Wien, wo für die dortigen Gemäldesammlungen neue Bauten errichtet werden sollten. Magnus sah Maler und Bildhauer in der Pflicht, Vorgaben für die Beleuchtung ihrer Kunstwerke zu formulieren und ausgehend von diesen Anforderungen in Zusammenarbeit mit den Architekten Lösungen zu entwickeln. Hier gäbe es zwei wichtige Kriterien:² Die Lichtverteilung auf den Wänden solle gleichmäßig und der Aufstellungsort der Werke, relativ betrachtet, der hellste des Raumes sein. Letztlich ginge es bei einer Tageslichtbeleuchtung um ausreichende Helligkeit unter Vermeidung von störenden Blenderscheinungen. In diesem Zusammenhang behandelte Magnus ebenfalls die Farbgestaltung der Raumausstattung und forderte eine bewusste Wahl von Baumaterialien und Farben.³

Der letztgenannte Punkt lässt sich anhand der für den Rubensaal der Alten Pinakothek durchgeführten Lichtsimulationen anschaulich zeigen.⁴ Die Innenausstattung der Alten Pinakothek unterlag einem vom Zeitgeist geprägten Wandel.⁵ Der Einfluss der Farbigkeit der Raumgestaltung auf die Raumwahrnehmung und das Helligkeitsempfinden wird deutlich am Beispiel des Fußbodenbelags und der textilen Wandbespannung (Abb. 2). Im Ursprungszustand um 1836 war der

Terrazzo-Steinboden mittel- bis dunkelgrau und die textile Wandbespannung dunkelrot (Abb. 2 a). Allein der Einbau des helleren Eichenholzbodens im späten 19. Jahrhundert veränderte die Raumwirkung grundlegend, und Rubens' „Jüngstes Gericht“ scheint seither eine stärkere Leuchtkraft zu besitzen (Abb. 2 b). Dafür tritt der deutlich hellere Boden optisch prägnanter in Erscheinung. Der beim Wiederaufbau nach dem Zweiten Weltkrieg gewählte Eichentafelparkettboden ist demgegenüber deutlich dezenter (Abb. 2 c). Die dunkelgrüne Wandbespannung vermittelt einen kühleren Raumindruck. Im Vergleich wirkt das bei der Generalsanierung in den 1990er Jahren gewählte mittlere Grau relativ neutral, und der Raum erscheint insgesamt heller (Abb. 2 d).

Ein Mangel an Licht

Doch wurde nicht der Künstler Magnus, sondern der Architekt August Tiede in den 1870er Jahren mit der Umsetzung einer Oberlichtbeleuchtung im Königlichen Museum, dem heutigen Alten Museum, in Berlin betraut.⁶ Anlässlich notwendiger Reparaturen an der Dachkonstruktion sollten die dort ebenfalls als mangelhaft empfundenen Lichtverhältnisse verbessert werden. Anstelle der bisherigen Beleuchtung durch Seitenlicht sollte eine Oberlichtbeleuchtung umgesetzt werden. Tiede sollte ausgehend von der Analyse bestehender Museen ein Lichtkonzept für das Berliner Museum erarbeiten. In diesem Zusammenhang notiert er zur Beleuchtungssituation in der Alten Pinakothek, dass „*der Lichteinfall zu hoch über dem Fußboden angelegt*“⁷ sei. Für das Verhäl-

nis von Dachöffnung zu Oberlichtöffnung gelte allgemein, dass „*je größer die Entfernung der Decke von der Dachöffnung ist, desto ungünstiger stellt sich die Beleuchtung heraus. [...] Das Dachlichtfenster muß unter allen Umständen sehr viel größer sein, als die Deckenöffnung, so groß nämlich, daß sie keinem Lichtstrahl hindernd werden kann, der auf einen Punkt der Bildwand fallen kann. [...] Ein solches unmittelbares Einströmen des Lichtes in den Saal ist in München dadurch völlig erreicht, daß dort die Deckenöffnung bis unmittelbar unter das Dach hinauf gehoben ist und Decken- und Dachöffnung somit zusammenfallen. Auf diese Öffnung ist ein Glasaufbau gestellt, welcher die günstige Gelegenheit gewährt hat, das Zenithlicht völlig bei der Saalbeleuchtung auszuschließen. Der Glasaufbau ist nämlich dunkel und zwar mit Kupferblech eingedeckt und das Licht strömt nur durch die Seitenglaswände in die Säle. Es ist daher nirgendwo in diesen Räumen der Fußboden zu hell und vielleicht heller als die Bildwände beleuchtet. Leider verbieten klimatische Rücksichten bei uns die Ausführung solcher Anlagen.*“⁸

Theoretisch waren die beschriebenen Lichtlaternen Klenzes eine großartige Innovation, doch im praktischen Betrieb stellten sie keine optimale Lösung dar. Aus heutiger Sicht lassen sich folgende Ursachen benennen: Die – mit vier auf vier Metern Grundfläche – vergleichsweise klein dimensionierten Lichtlaternen lagen zu hoch über dem Boden. Zusätzlich reduzierte sich im Laufe der Zeit der Lichteintrag durch die Verfärbung des Glases.⁹ Darüber hinaus durchschritten Besucher, bevor sie die – schwächer beleuchteten – Galeriesäle betraten, den wesentlich helleren Loggiengang mit seinen

1

Ansicht der Alten Pinakothek mit Lichtlaternen auf einer historischen Aufnahme von 1938





2

Rubenssaal, Raumwirkung und Helligkeitsempfinden bei unterschiedlicher Gestaltung des Innenraums

nach Süden orientierten großen Fenstern. Bis das menschliche Auge solch stark wechselnde Lichtverhältnisse adaptiert hatte, wurde der dunklere Raum noch dunkler empfunden.

Tatsächlich zeichnet die Simulation des Rubenssaals im Eröffnungszustand von 1836 ein düsteres Bild (Abb. 3). Im Winter waren die Besucher selbst zur Mittagszeit bei Beleuchtungsstärken von maximal 20 Lux auf den Bilderwänden wohl kaum in der Lage, die Kunstwerke und deren Details in vollem Umfang wahrzunehmen. Noch dramatischer dürfte die Situation im Winter zur Schließzeit um 16 Uhr gewesen sein, wenn die Beleuchtungsstärken unter 10 Lux sanken. Nach heutigen Maßstäben wären damit nicht einmal die Anforderungen an einen Verkehrsweg erfüllt.¹⁰ Ähnlich verhielt es sich im Herbst, wenn die Galerie bei Beleuchtungsstärken zwischen 20 und 30 Lux um 17 Uhr geschlossen wurde (Abb. 4). Selbst im Frühjahr um 16 Uhr waren die Lichtverhältnisse kaum besser (Abb. 5). Zur damaligen Zeit bestand eigentlich nur mittags die Möglichkeit, die Kunstwerke unter einigermaßen akzeptablen Lichtverhältnissen zu betrachten. Aber für den Erhalt der Kunstwerke war diese Situation von Vorteil. Die Beleuchtungsstärke lag den überwiegenden Teil des Jahres im Durchschnitt zwischen 50 und 100 Lux. So lässt sich vielleicht erklären, weshalb in den Archivalien zwar eingehend

von klimatisch bedingten Schäden zu lesen ist, Lichtschäden – obwohl vermeintlich offensichtlicher – in dieser frühen Phase des Museumsbaus hingegen kaum Erwähnung fanden.

Mehr Wissen, mehr Licht?

Diese heute nur durch die Lichtsimulationen nachzuvollziehende Situation in der Alten Pinakothek hatte Tiede eingehend studiert, bevor er seinen Mustersaal im Alten Museum plante. Seine Erkenntnisse konnte er wegen der unveränderlichen Rahmenbedingungen allerdings nur eingeschränkt umsetzen. Er schöpfte die ihm zur Verfügung stehenden Möglichkeiten, den Lichteintrag zu erhöhen, aus, indem er versuchte, die Konstruktion maximal zu verschlanken und eine geeignete Verglasung zu finden. Bei der Wahl der Verglasung war ihm deren Farbwiedergabeeigenschaft wichtig, weil er den Zusammenhang zwischen Farbwirkung der Gemälde und spektraler Strahlungsverteilung des Lichtes erkannt hatte.¹¹ Aber es dauerte noch einige Jahre, bis die Beleuchtungsproblematik in Museen nicht nur zeichnerisch-konstruktiv oder vor dem Hintergrund praktischer Beobachtungen behandelt wurde. Erst 1884 stellte Richard Mentz den Zusammenhang zwischen Beleuchtungsintensität, Neigungswinkel der ein-

fallenden Strahlung, Reflexionsgrad der Fläche und Stellung des Beobachters physikalisch und mathematisch dar.¹² Bei der Planung von Ober- oder Seitenlicht für Gemäldegalerien war, neben einer gleichmäßigen Beleuchtung der Ausstellungsräume, für ihn die Hauptaufgabe, „*der zerstörenden Wirkung der direkten Sonnenstrahlen entgegen zu arbeiten*“.¹³ Damit wurden die Schädigung der Kunstwerke durch Licht erstmals direkt angesprochen und Lichtschutzmaßnahmen neben die Forderung nach einer optimalen Ausleuchtung gestellt. Vermutlich handelt es sich hier um eine der frühesten konservatorisch begründeten Forderungen, Lichtschäden durch entsprechende Maßnahmen zu vermeiden.

Etwa zeitgleich stand in der Alten Pinakothek die Wahl einer neuen Verglasung an. Um den Lichteintrag in die Galeriesäle zu erhöhen, sollte die Kupfereindeckung der Lichtlaternen durch Glas ersetzt werden. Dies erhöhte den Anteil direkter Sonneneinstrahlung in die Räume und so musste die Staubdeckenverglasung durch Mattglas ersetzt werden, um die

Lichtstreuung zu verbessern und den Einfall direkten Sonnenlichts zu reduzieren.

Erste Indizien für den Erfolg der Maßnahmen zur Verbesserung der Lichtverhältnisse in den Galeriesälen liefert die Gegenüberstellung der Lichtsituation zur Mittagszeit im Frühjahr und Sommer (Abb. 6) sowie im Herbst und Winter (Abb. 7). Es zeigt sich, dass die Beleuchtungsstärke auf den Gemäldeoberflächen nur im Frühjahr und im Sommer stieg. Im Herbst fiel die Zunahme der Beleuchtungsstärke kaum ins Gewicht, und im Winter war sie nicht festzustellen. Die vollständige Verglasung der Lichtlaternen und der Austausch der Staubdeckenverglasung erhöhten grundsätzlich den Lichteintrag, aber behob dies den generellen Mangel an Tageslicht in den Galeriesälen?

Wieder sind es die heutigen Lichtsimulationen, die Hinweise zur Lichtsituation gegen Ende des 19. Jahrhunderts liefern. Abbildung 8 zeigt die Beleuchtungsstärke im Sommer morgens, mittags und abends (Abb. 8). Die Beleuchtungsstärke lag selbst nach der Erhöhung des Verglasungsanteils noch

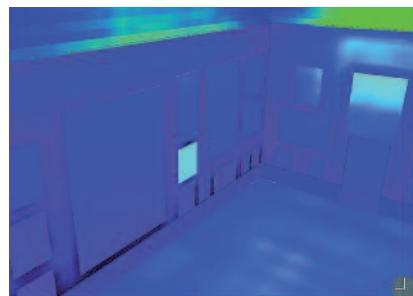
3

Rubensaal zwischen 1836 und 1841, Verteilung der Beleuchtungsstärke zu den unterschiedlichen Zeitpunkten des Tages im Winter



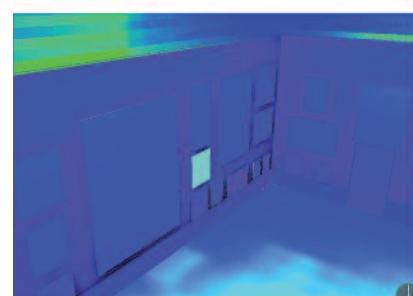
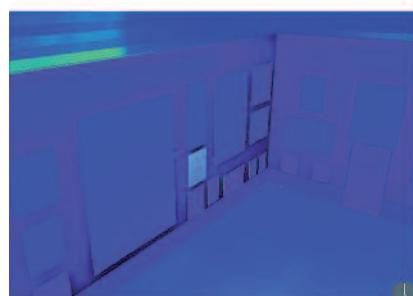
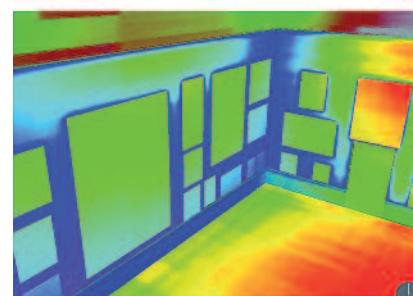
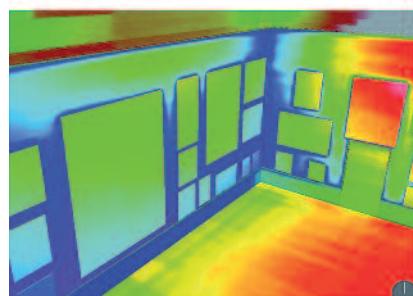
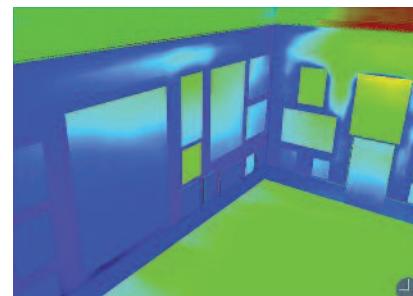
4

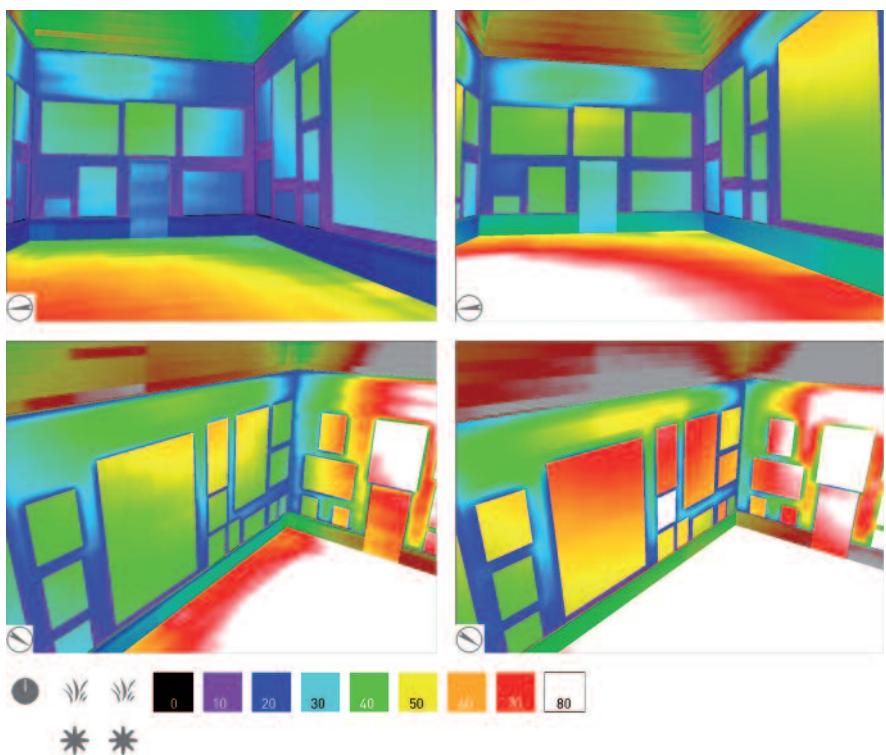
Rubensaal zwischen 1836 und 1841, Verteilung der Beleuchtungsstärke zu den unterschiedlichen Zeitpunkten des Tages im Herbst



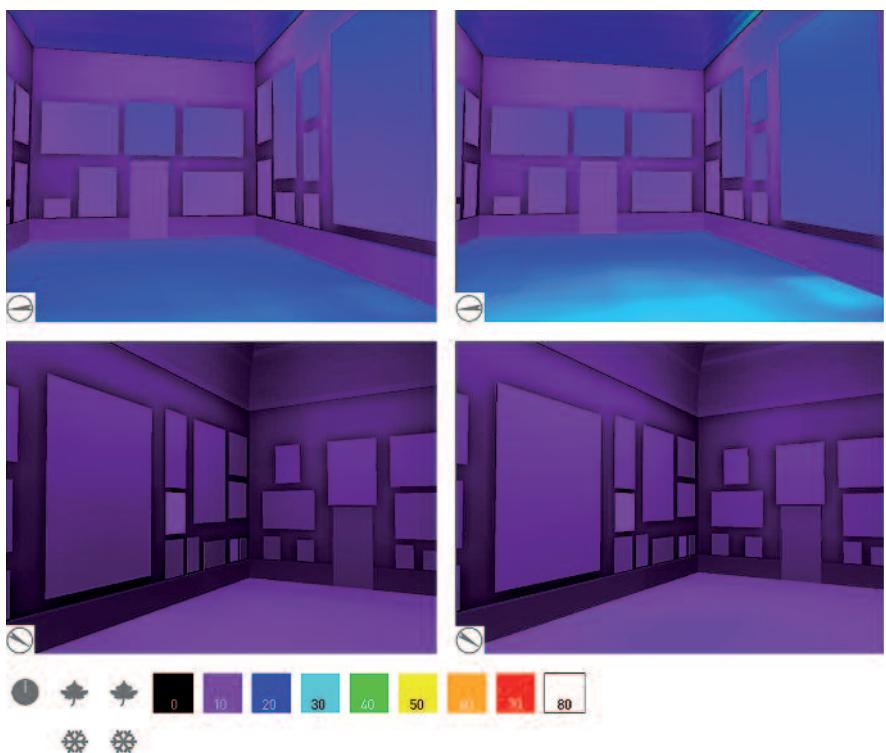
5

Rubensaal zwischen 1836 und 1841, Verteilung der Beleuchtungsstärke zu den unterschiedlichen Zeitpunkten des Tages im Frühjahr





6
Rubenssaal, Vergleich der Lichtsituation anhand der Beleuchtungsstärke zur Mittagszeit, Gegenüberstellung von Ursprungszustand (links) und der Situation nach der Veränderung der Lichtlaternen (rechts) im Frühjahr (oben) und im Sommer (unten)



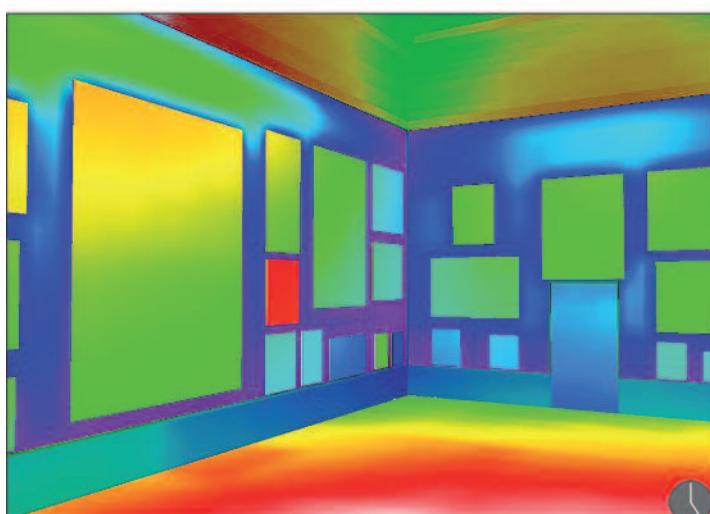
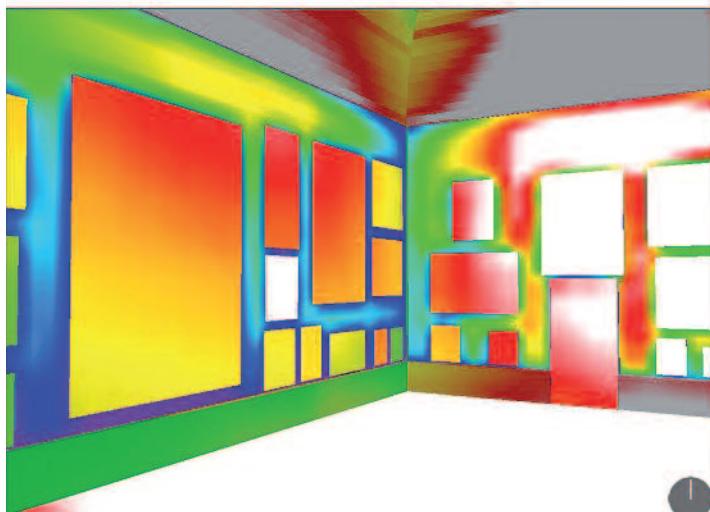
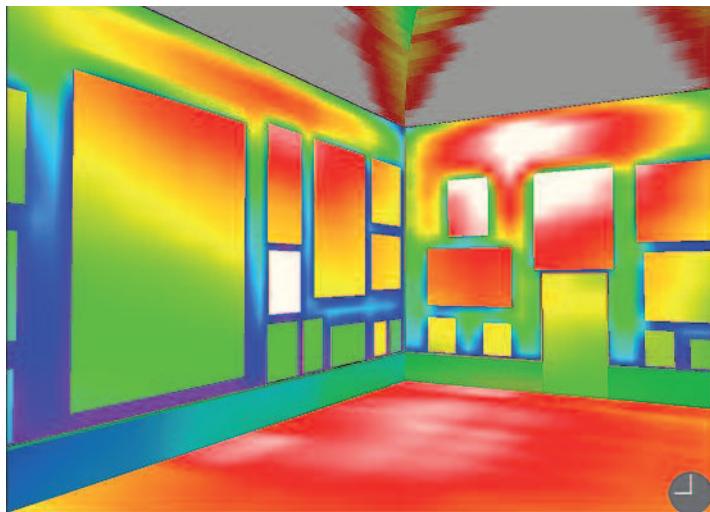
7
Rubenssaal, Vergleich der Lichtsituation anhand der Beleuchtungsstärke zur Mittagszeit, Gegenüberstellung von Ursprungszustand (links) und der Situation nach der Veränderung der Lichtlaternen (rechts) im Herbst (oben) und im Winter (unten)

immer deutlich unter dem heute allgemein angestrebten Niveau zwischen 150 und 300 Lux für die Beleuchtung von wenig lichtempfindlichen Materialien. Diese aus heutiger Sicht konservatorisch günstige Situation blieb weiter bestehen, allerdings mit einer Einschränkung: Trotz der Staubdeckenverglasung aus Mattglas gelangte im Sommer bei Sonnenschein deutlich mehr direktes Sonnenlicht in die Galeriesäle (Abb. 9). Bei entsprechendem Sonnenstand erreichte

die durchschnittliche Beleuchtungsstärke rund 500 Lux, wobei zeitweise Werte von über 2.000 Lux auftraten, ohne dass UV-Schutzmaßnahmen getroffen worden waren. Diese Aussage relativiert sich vor dem Hintergrund der Dosisberechnung: Die meiste Zeit des Jahres war das Beleuchtungsniveau gering, und die Höchstwerte traten nur während sehr kurzer Zeitspannen auf.

8

Rubensaal zwischen 1841 und 1891 mit komplett verglasten Lichtlaternen, Verteilung der Beleuchtungsstärke zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten des Tages im Sommer



Schäden durch Licht

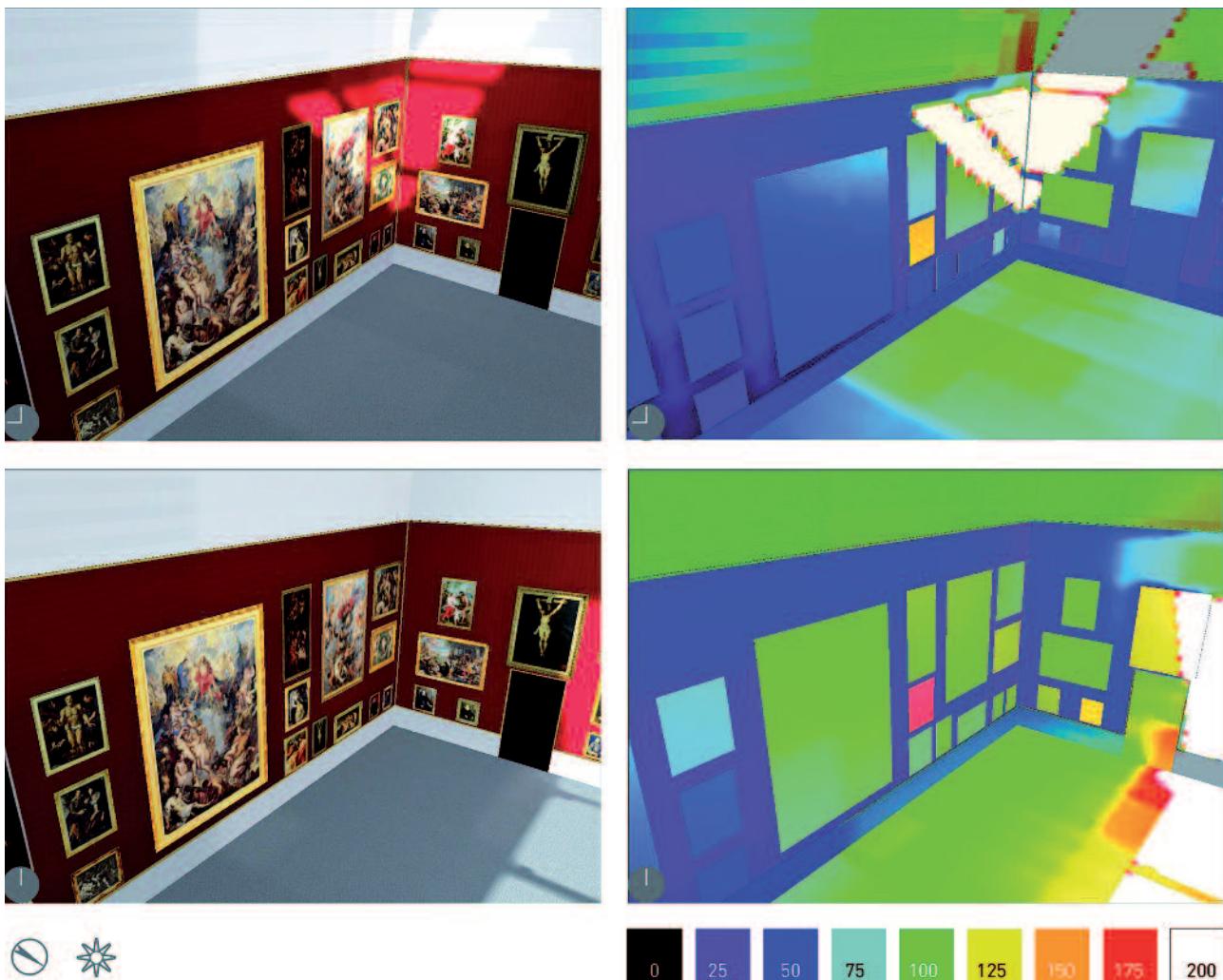
Obwohl durch die nun vollständig verglasten Lichtlaternen mehr Licht – also auch mehr direkte Strahlung – auf die Gemäldeooberflächen traf, finden sich in den Archivalien keine Hinweise auf ein Ausbleichen der Farben der Gemälde oder andere Lichtschäden an den Kunstwerken der Alten Pinakothek. Wie Mentz' Ausführungen belegen, ist der Grund nicht das fehlende Wissen um das von der Lichtstrahlung ausgehende Gefährdungspotenzial. Auch in der Alten Pinakothek lagen Erfahrungen mit Lichtschäden vor: Die textile Wandbespannung verblich durch die solare Strahlung und musste am Ende des 19. Jahrhunderts komplett erneuert werden.¹⁴

Das von Licht ausgehende Schädigungspotential gegenüber Farbstoffen und Pigmenten war in Theorie und Praxis um 1900 längst bekannt, umso mehr verwundern die spärlichen Belege zu frühen Methoden des Lichtschutzes. Doch zeigen die Lichtsimulationen für die Alte Pinakothek, dass meist ein Mangel an Tageslicht herrschte. Dabei war die Alte Pinakothek durchaus kein Einzelfall, wie Erbes 1923 erschienenes Buch „Belichtung von Gemäldegalerien“ belegt.¹⁵ In allen führenden Museen Europas waren die baulichen Strategien zur Verbesserung der Tageslichtsituation zu Beginn des 20. Jahrhunderts ausgereizt. Die unbefriedigende Tageslichtsituation in den Museumsräumen hätte damals ausschließlich durch die Einführung künstlicher Beleuchtung verbessert werden können. Aber der Einsatz von Kunstlicht wurde in der Museumswelt kritisch bewertet. Neben der Frage der Finanzierbarkeit wurden Aspekte wie Brandschutz, Schadstoffentwicklung sowie die Auswirkungen auf das Innenraumklima für zu riskant erachtet. Diese Vorbehalte waren begründet, da erst mit der Markteinführung der Wolframlampe die musealen Anforderungen an eine Kunstlichtbeleuchtung zumindest teilweise erfüllt werden konnten.

Die Einführung von Kunstlicht

Eine Museumsbeleuchtung mit Gas war ebenso problematisch, wie eine Lichterzeugung mit Flammen völlig ausgeschlossen war. Erst das mit Strom erzeugte Glühlicht schien eine geeignete Alternative zu sein. Doch es dauerte einige Jahrzehnte, bis sich die Bogenlampe, die heute als Wegbereiter der elektrischen Beleuchtung gilt, als Teil der allgemeinen Beleuchtungskultur durchsetzen konnte.¹⁶

Das British Museum war das erste Museum, das eine elektrische Beleuchtung mittels Bogenlampen einführte. Auch wenn die Galeriesäle zunächst nicht betroffen waren, wurden die Perspektiven erkannt und wenig später führte die Firma Siemens & Halske weitere fünf Anlagen mit Bogenlampen in Ausstellungen, Bildergalerien und Museen aus.¹⁷ In der „Zeitschrift für angewandte Elektricitätslehre“ erschienen 1880 einige Berichte über eine elektrische Probebeleuchtung des



9

Rubensaal zwischen 1841 und 1891 mit komplett verglasten Lichtlaternen, Einfluss der direkten Sonneneinstrahlung auf die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung der Bildwandflächen, Vergleich der Tageszeitpunkte morgens und mittags (links) sowie Darstellung der entsprechenden Beleuchtungsstärken (rechts)

Alten Museums in Berlin und im selben Jahr widmete sich die Zeitschrift auch der Beleuchtung des Industriepalastes in Paris: „Man schreibt uns aus Paris: Der Industriepalast wird während der Ausstellung durch insgesamt 356 Jabloneckoffsche Kerzen erleuchtet. Der im Garten, wo sich die Skulpturen befinden, erhaltene Effect wird als sehr vorteilhaft geschildert, dagegen sollen sich die Maler vielfach darüber beklagen, daß das elektrische Licht auf die Farbenwirkung ihrer Bilder einen nachtheiligen Einfluss ausübe.“¹⁸ Die Vorbehalte gegenüber der elektrischen Beleuchtung waren in Künstlerkreisen also offensichtlich groß und unter anderem ein Grund, weshalb nur vereinzelt Beleuchtungsanlagen in Galerieräumen installiert wurden.

Zum Durchbruch verhalf der elektrischen Beleuchtung die Münchner Elektrizitätsausstellung von 1882. Im gleichen Jahr wurde in Berlin die Gemäldeausstellung des russischen Malers Wassili Wassiljewitsch Wereschtschagin (1842–1904) mit 20 Siemens-Bogenlampen beleuchtet. Dabei wurde ausschließlich Kunstlicht eingesetzt, und das Urteil fiel positiv

aus.¹⁹ Auch die Beleuchtung des South Kensington Museum wurde im Frühjahr 1882, nach guten Erfahrungen mit der Beleuchtung des Hofes durch Brush-Bogenlampen, weiter ausgebaut.²⁰

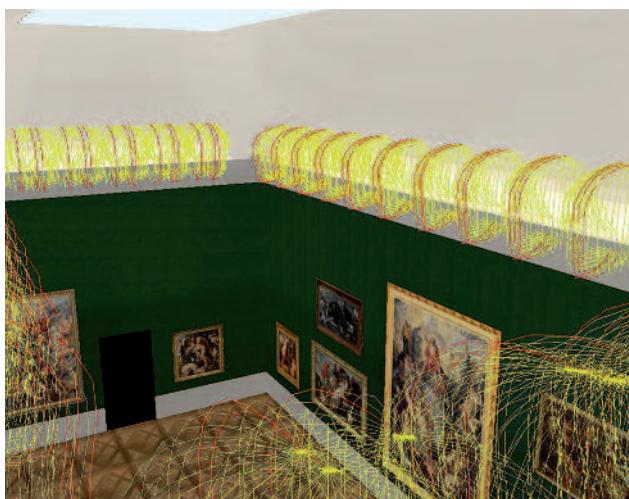
Wie ein Blick nach London zeigt, brachte die elektrische Beleuchtung im Museum neue Herausforderungen mit sich. Im British Museum wurde Ende 1879 – nach intensiven Abwägungen – eine Siemens-Dynamomaschine mit elf Bogenlampen installiert.²¹ Neben der durch die Lampenbauart bedingten Unstetigkeit des Lichts war die Beleuchtung aufwendig und pflegeintensiv. Die Installation einer elektrischen Beleuchtung war ein enormer technischer Aufwand, da anders als heute kein Stromnetz verfügbar war. Anfangs benötigte jede Lampe, später jedes Gebäude separate Maschinen, die den Strom für die Beleuchtung lieferten. Nichtsdestotrotz wurde die elektrische Beleuchtung im British Museum bis Februar 1890 auf die östlichen und westlichen Galerien ausgedehnt.²²

Kunstlicht und Architektur

Die beschriebenen technischen Gegebenheiten sowie die architektonischen Voraussetzungen der bestehenden Museumsgebäude erklären, weshalb trotz des dringenden Bedarfs die Einführung einer Kunstlichtbeleuchtung in den Museen schleppend verlief. Eigentlich etablierte sich das Kunstlicht in den Museen flächendeckend erst nach dem Zweiten Weltkrieg. Und so trat die Entscheidung für natürliches oder künstliches Licht beziehungsweise deren Kombinationsmöglichkeiten erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts neben die rein architektonische Bewältigung der Beleuchtungsfrage. Die Architekten konnten nun zwar unabhängig vom Standort planen, aber die künstliche Beleuchtung stellte sie vor völlig neue Herausforderungen. Sie war eine große thermische Last und veränderte die Innenraumklimabedingungen. Zusätzlich wurden letztere durch die Verlängerung der Öffnungszeiten und das damit einhergehende höhere Besucheraufkommen beeinflusst. Auch der Energieverbrauch stieg durch die Kunstlichtbeleuchtung deutlich.

10

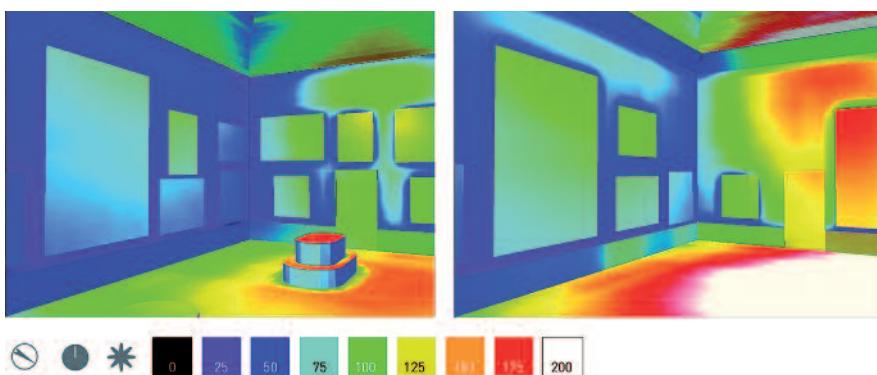
Rubensaal, Kunstlichtbeleuchtung nach dem Wiederaufbau, Blick in den Galerie- saal mit Leuchtstoffröhren auf den Gesimsen unterhalb des Muldengewölbes



Solche Faktoren standen allerdings noch nicht im Vordergrund, als nach dem Zweiten Weltkrieg beim Wiederaufbau der Alten Pinakothek die unbefriedigende Tageslichtsituation verbessert werden sollte. Die wesentlichen Veränderungen gegenüber dem ursprünglichen Beleuchtungskonzept waren: Die Lichtlaternen wurden nicht rekonstruiert, das Dach großflächig verglast, die Staubdecken wesentlich vergrößert und erstmals wurde eine Kunstlichtbeleuchtung eingeführt. In den Galerieräumen befanden sich Leuchtstoffröhren auf den Gesimsen unterhalb des Muldengewölbes (Abb. 10), welche die Bilderwände indirekt über die Reflexion an den Gewölben beleuchteten. Mit diesen Maßnahmen wurde ein höherer Tageslichtanteil erreicht und durch die Möglichkeit, das Kunstlicht bei Bedarf einzuschalten, konnten die Öffnungszeiten unabhängig von Tages- oder Jahreszeit verlängert werden.

Die Lichtsimulationen zeigen, dass sich durch die Vergrößerung der verglasten Dachflächen die Tageslichtsituation verbesserte (Abb. 11). Doch nach wie vor war die Tageslichtbeleuchtung im Winter unzureichend. Hier zeigte das Kunstlichtsystem seine Wirkung. Selbst während der lichttechnisch ungünstigsten Winterzeit (Abb. 12, 13) konnten abends um 18 Uhr auf den Bilderwänden noch zwischen 200 und 350 Lux erzielt werden. Dementsprechend wurden die Öffnungszeiten bis 18 Uhr verlängert und die jahreszeitlich unterschiedlichen Schließenzeiten abgeschafft.

Doch die Veränderung der Dachkonstruktion und die Einführung der Kunstlichtbeleuchtung stellte die Museumsverantwortlichen vor neue konservatorische Herausforderungen. An sonnigen Tagen musste der Tageslichtanteil durch Lichtschutzmaßnahmen kontrolliert werden (Abb. 14). Der vermehrte Lichteintrag war gleichzeitig ein erhöhter Energieeintrag, weshalb sich der Dachraum in den Sommermonaten stark aufheizte. Da Dachraum und Galerieräume thermisch nicht getrennt waren, veränderten sich die klimatischen Verhältnisse in den Galerieräumen. Dieser Effekt verstärkte sich durch die neuen thermischen Einträge der in den Galerieräumen verbauten Leuchtstoffröhren. Da die Klimaanlage keine Kühlfunktion besaß, konnte die Wärme nicht abgeführt werden, und so entstanden in den Sommermonaten im Dachraum wiederholter äußerst kritische klimatische Verhältnisse mit Temperaturen von über 60 °C. Die aus diesem Grund durch-

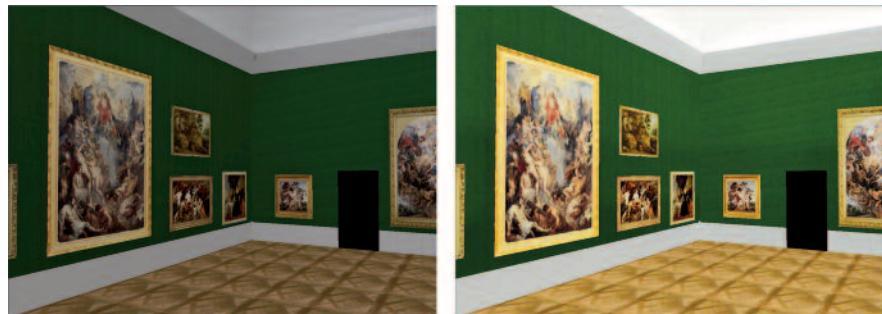


11

Rubensaal, Vergleich des Beleuchtungsniveaus bei reiner Tageslichtbeleuchtung mittags im Sommer, Gegenüberstellung mit verglasten Lichtlaternen (links) und nach dem Wiederaufbau (rechts)

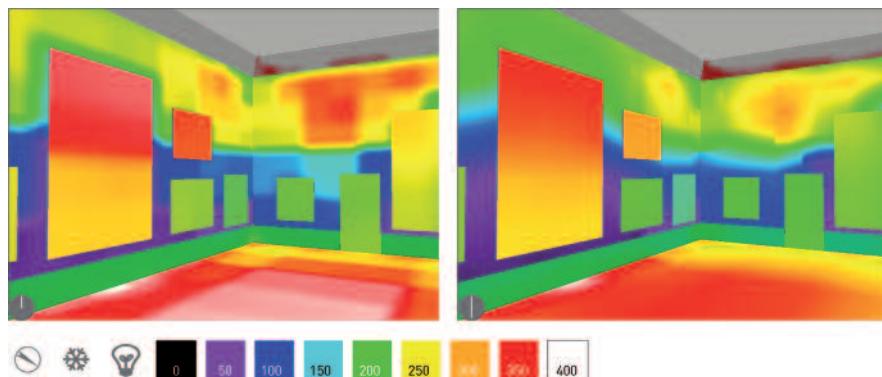
12

Rubenssaal nach dem Wiederaufbau, Vergleich der Beleuchtung im Winter mittags mit Tageslicht (links) und zugeschaltetem Kunstlicht (rechts)



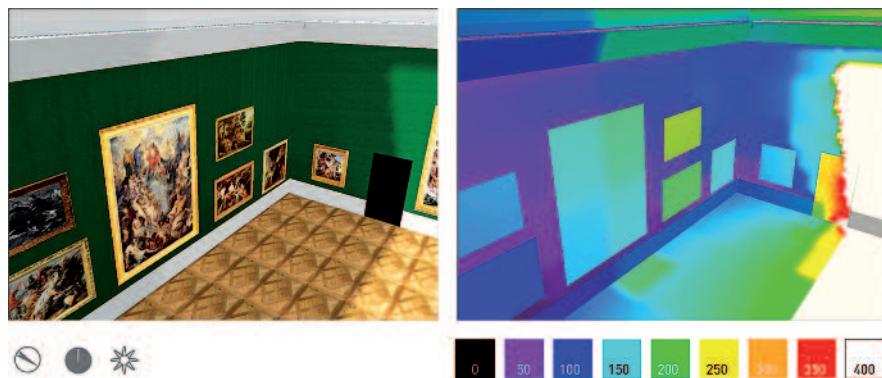
13

Rubenssaal nach dem Wiederaufbau, Beleuchtungsstärkeniveau bei zugeschalteter indirekter Beleuchtung im Winter zur Mittagszeit (links) und bei verlängerter Öffnungszeit abends um 18 Uhr (rechts)



14

Rubenssaal nach dem Wiederaufbau, Lichtsituation im Sommer bei Sonnenschein zur Mittagszeit (links) und zugehörige Beleuchtungsstärken (rechts)



geförderten Klima- und Lichtmessungen ergaben, dass der damals allgemein anerkannte Sollwert für die Beleuchtungsstärke von 150 Lux in der überwiegenden Zeit des Jahres und teilweise um das Zehnfache überschritten wurde. Diese Lichtsituation und die fehlende Filterung der kurzweligen, energiereichen UV-Strahlung bargen ein großes Schädigungspotential für die Kunstwerke.

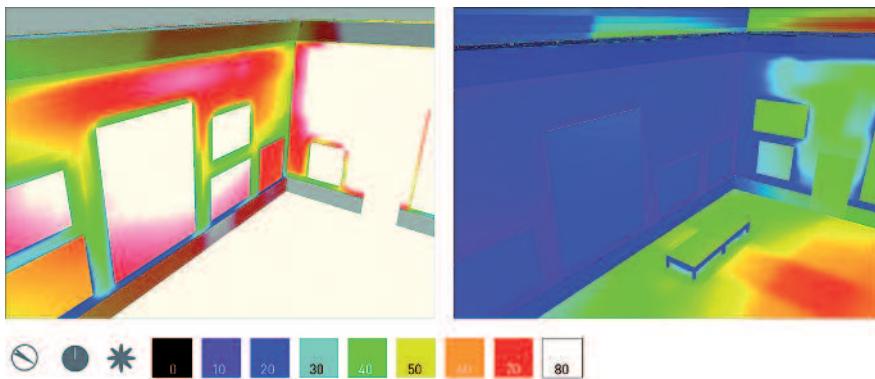
Erforschung von Lichtschäden oder die Geburtsstunde der 50 Lux

Parallel zu den Entwicklungen auf dem Gebiet der Kunstlichtbeleuchtung und deren Einzug in den Museumsraum setzte eine intensivere konservatorisch begründete Auseinandersetzung und wissenschaftliche Erforschung des Schädigungspotentials von Tages- und Kunstlicht ein und Lichtschäden rückten in den Mittelpunkt des Interesses.

Eine frühe Vorgabe zur Lichtintensität in Museen findet sich im „Burlington Magazine“ von 1930.²³ Am Ende des Aufsatzes tauchte erstmals der Wert von 54 Lux auf, der abgerundet auf 50 Lux noch heute für empfindliche Kunstwerke als maximale Beleuchtungsstärke angegeben wird. In den 1950er Jahren wuchs die Zahl neuer Leuchtmittel und so widmete sich der International Council of Museums (ICOM) 1953 ausführlich dem Einsatz von Leuchtstoffröhren in Museen und kam letztlich zu dem Schluss, dass jede Art von Beleuchtung zu Schäden führen könne. Das Ausmaß sei neben der Lichtempfindlichkeit der Materialien abhängig von der Intensität der Strahlung, der Expositionszeit, der spektralen Verteilung der Strahlung sowie der Absorption durch die Materialien selbst. Aber auch Faktoren wie relative Feuchte, Temperatur oder Schadstoffe in der Atmosphäre seien neben der Dosisbetrachtung einzubeziehen.

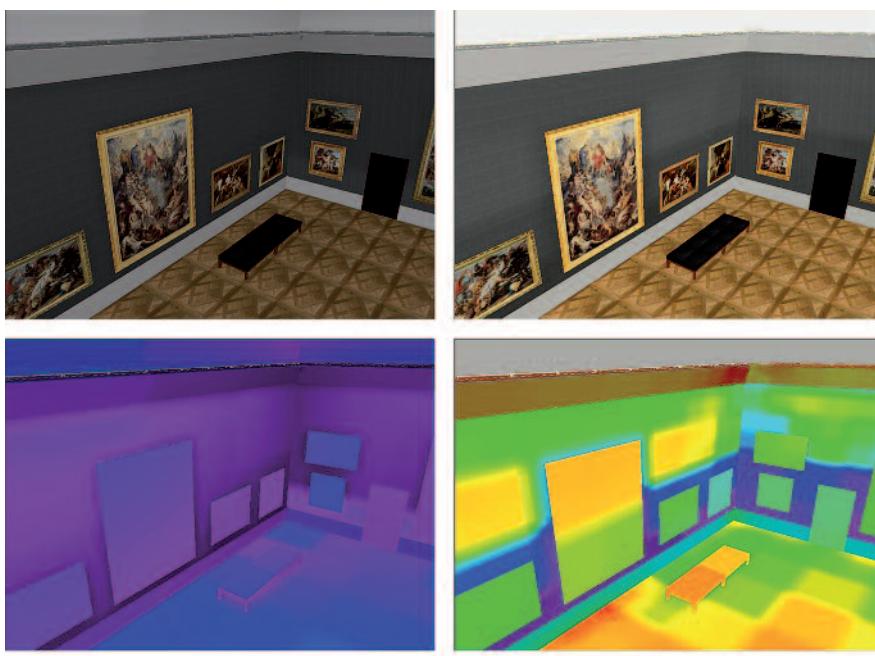
Die Dosisbetrachtung als Bestandteil ganzheitlicher Lichtschutzmaßnahmen wurde im Zuge der bereits erwähnten Klima- und Lichtmessungen auch für die Alte Pinakothek thematisiert. Die aus den Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse führten dazu, dass während der Planung der Generalsanierung in den 1980er Jahren eine Rekonstruktion von Klenzes Lichtlaternenlösung diskutiert wurde. Letztlich wurde das System des Wiederaufbaus beibehalten, die Dachverglasung erhielt aber UV- sowie IR-Schutz, und im Dachraum wurde ein Sonnenschutzsystem installiert, mit dem eine Verdunklung der Galeriesäle außerhalb der Öffnungszeiten möglich sein sollte. Aufgrund von technischen Mängeln war das Rollo-System jedoch nicht lange in Betrieb. Gewarnt durch die konservatorisch nicht vertretbare Situation vor der Generalsanierung, wurden die Staubdecken als Notbehelf mit weißen Stoffbahnen abgedeckt. Dadurch verringerte sich das Beleuchtungsniveau in den Galeriesälen merklich (Abb. 15). Kompensiert wurde die Minderung des Tageslichts mithilfe der Kunstlichtbeleuchtung in den Galeriesälen (Abb. 16).

Während das Tageslicht sogar im Sommer zur Mittagszeit nicht ausreichend war, lagen die Beleuchtungsstärken bei der Zuschaltung des Kunstlichts über dem angestrebten Sollwert von 300 Lux. Weil das Kunstlicht nicht dimmbar war, konnte die Beleuchtungsstärke nicht gesenkt werden. Es wurde täglich vor Beginn der Öffnungszeit ein- und nach der Abendschließung des Museums wieder ausgeschaltet. Im Verlauf von wenigen Jahren hatte sich die Alte Pinakothek vom reinen Tageslicht- zum überwiegenden Kunstlichtmuseum gewandelt. Natürlich hatte die künstliche Beleuchtung auch Vorteile. Die Lichtverhältnisse wurden kaum durch die Außenbedingungen beeinflusst, eine komplexe Steuerung von Sonnenschutz- und Kunstlichtsystem entfiel, und die Lichtverhältnisse waren für die Besucher unabhängig von der Tages- oder Jahreszeit immer ausreichend. Aber diese Argumente können auch vom Gegenstandspunkt aus betrachtet werden. Die Lichtverhältnisse im Innenraum wirkten steril. Der Besucher verlor den Außenbezug, da nicht ablesbar war, welche Tages- oder Jahreszeit außen gerade herrschte.



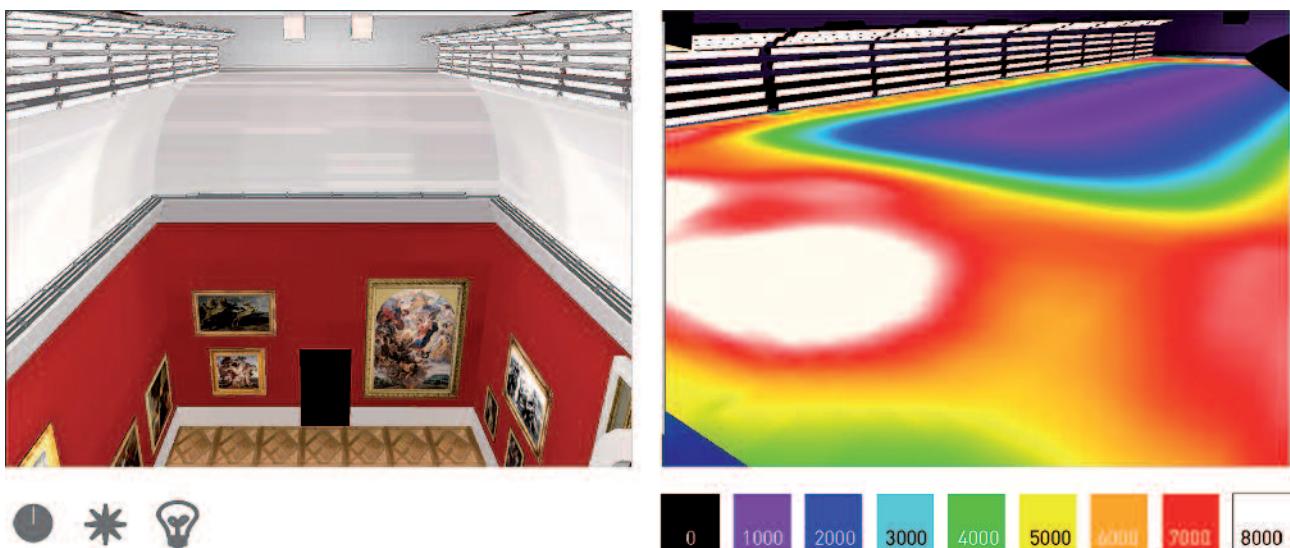
15

Rubenssaal, Vergleich des Beleuchtungsniveaus bei reiner Tageslichtbeleuchtung zur Mittagszeit im Sommer, Gegenüberstellung der Situation nach dem Wiederaufbau (links) und mit abgedeckter Staubdeckenverglasung nach der Generalsanierung (rechts)



16

Rubenssaal zwischen 1998 und 2009, Vergleich der Beleuchtungssituation (oben) und des Beleuchtungsniveaus (unten) zur Mittagszeit im Sommer bei reiner Tageslichtbeleuchtung (links) und bei eingeschalteter Kunstlichtbeleuchtung (rechts)



17

Rubensaal nach der Mustersanierung, Anordnung der Leuchtstoffröhren am Rand der Staubdeckenverglasung (nicht abgebildet) und die zusätzlichen Strahler an den Querwänden (links), Beleuchtungsstärke auf der Staubdeckenverglasung bei eingeschalteter Kunstlichtbeleuchtung (rechts)

Kunstlicht versus Tageslicht

Ende des 20. Jahrhunderts prallten unterschiedliche Vorstellungen aufeinander, wenn es um die Frage ging, ob die Kombination von Tages- und Kunstlicht einer reinen Kunstlichtbeleuchtung vorzuziehen sei. Zeitweise galt Tageslicht gegenüber Kunstlicht als weitaus schädlicher. Diese Einschätzung hatte verschiedene Gründe. Durch die technischen Fortschritte in Produktion und Verarbeitung standen verbesserte Baustoffe und Konstruktionsmaterialien zur Verfügung. Beispielsweise konnten Dächer deutlich dichter ausgeführt werden. Da Gleicher auch für Verglasungen galt, wurden Oberlichtflächen – wie beim Wiederaufbau der Alten Pinakothek – deutlich vergrößert. Die dadurch entstehenden höheren thermischen Lasten konnten über die verbesserte Klimatechnik größtenteils abgefangen werden. Aus architektonischer Sicht war damit das Problem des geringen Tageslichtanteiles gelöst. Als Folge des vermehrten Lichteinfalls häuften sich vielerorts die Beobachtungen von Schäden an Kunstwerken, die sich eindeutig auf den Einfluss der solaren Strahlung zurückführen ließen. Demgegenüber lagen für den Einfluss der künstlichen Beleuchtung noch keine längerfristigen Erfahrungswerte vor.

Im Laufe der Zeit stellte sich die Kunstlichtbeleuchtung als komplexer als angenommen heraus, und so forschten in den 1970er Jahren diverse Arbeitsgruppen an der Lichtthematik. Thomson und Feller standen nicht nur als Spezialisten für Licht, Lichtschäden, Lichtkontrolle und Lichtschutz im Zentrum der Forschungsaktivitäten. Feller legte auch die ersten wissenschaftlichen Grundlagen für die Präventive Konserverung, indem er durch seine Laborversuche Phänomene wissenschaftlich reproduzierbar erfassende und erklärte. Thomson beschrieb erstmals fachübergreifend die Grundlagen der

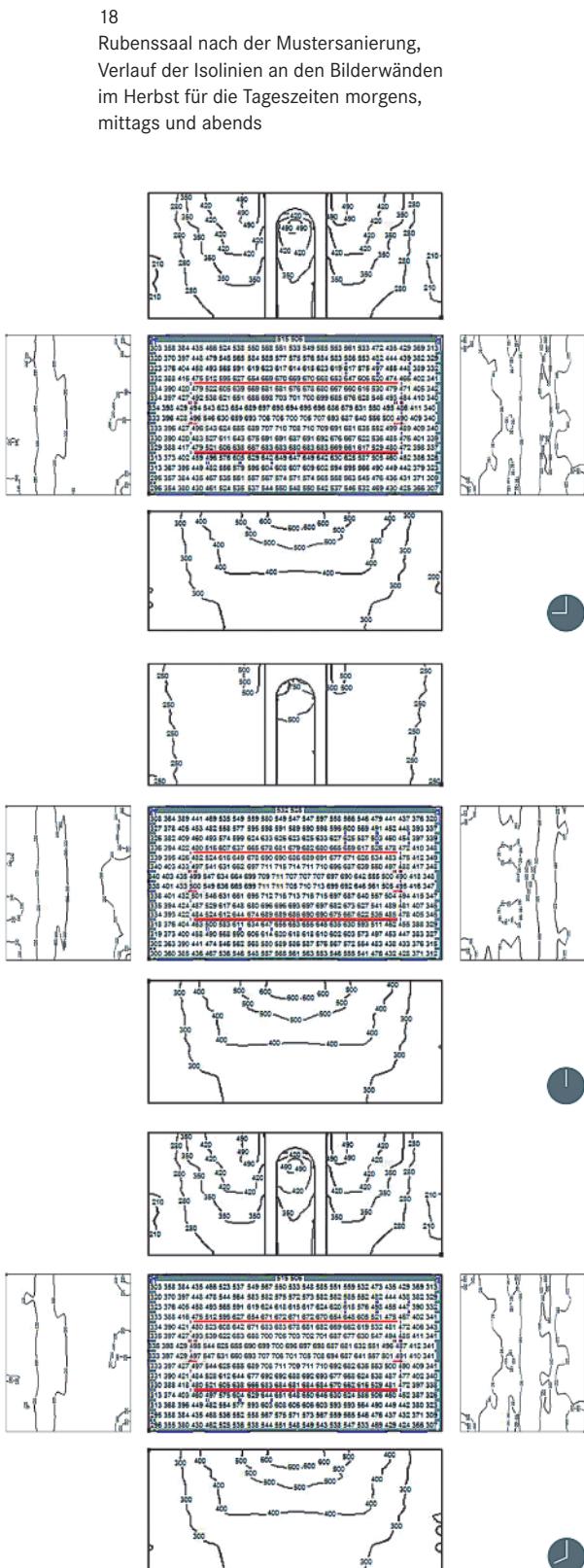
Präventiven Konservierung und schuf damit die Basis für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit. Die Rezeption dieser Erkenntnisse in der Praxis führte – ähnlich wie bei den klimatischen Aspekten – zu einer gewissen Vereinfachung der facettenreichen Thematik. Die Ergebnisse der intensiven Forschungsarbeit wurden relativ plakativ als die maximal akzeptablen Sollwertvorgaben für die Beleuchtungsstärke (sogenanntes Lux-Law) und das absolute Verbot von UV- und IR-Strahlung verbreitet.

Nachdem bis in die 1980er Jahre das Pendel stärker in Richtung Kunstlichtmuseen ausgeschlagen hatte, ist in den Museumsneubauten der darauffolgenden Jahre wieder ein Trend in Richtung einer Kombination von Tages- und Kunstlicht ablesbar. Hierfür zeichneten sicherlich auch die Ölkrise der 1970er Jahre verantwortlich, denn sie führten vor Augen, dass fossile Energieträger endlich sind und unter Umständen nicht jederzeit und unbegrenzt zur Verfügung stehen. Nun galt es, die kostenlos vorhandene Sonnenenergie ökologisch wie ökonomisch für den Museumsbau zu nutzen und Kunstlicht lediglich bei Bedarf ergänzend zum Tageslicht einzusetzen.

Risikomanagement und Beleuchtung

Zeitgleich entwickelte und etablierte sich die Präventive Konserverung zunehmend als eigene Disziplin. Die ein Kunstwerk schädigenden Einflüsse wurden verstärkt mit dem Werkzeug des Risikomanagements betrachtet und bewertet, was letztlich ebenfalls den Umgang mit Licht im Museum veränderte. Zunehmend setzte eine Rückbesinnung auf die Dosisbetrachtung ein, die in der Festlegung einer maximalen kumulativen jährlichen Exposition mündete.

In den 1990er Jahren wurden daher in der Präventiven Konserverierung folgende Ziele verfolgt: Das minimale Beleuchtungsniveau sollte für die Sehaufgabe des Besuchers im Museum ausreichend sein, aber gleichermaßen konservatorischen Anforderungen Rechnung tragen. In München



18

Rubensaal nach der Mustersanierung,
Verlauf der Isolinien an den Bilderwänden
im Herbst für die Tageszeiten morgens,
mittags und abends

machte sich diese veränderte Auffassung bei der Planung der Generalsanierung der Alten Pinakothek bemerkbar. Ausgehend von den durchgeführten Untersuchungen hatte das Doerner Institut schon 1995 Mindestbeleuchtungsstärken und eine maximale jährliche Lichtdosis für die Werke der Bayerischen Staatsgemäldesammlungen festgelegt.

Über Jahre hinweg verwiesen die Bayerischen Staatsgemäldesammlungen wiederholt auf die ungewollte Abweichung vom ursprünglichen Konzept des Tageslichtmuseums. Dass schließlich bei der Mustersanierung eines Galerieraums der Alten Pinakothek die Beleuchtungsfrage wieder konkret wurde, lag neben der Notwendigkeit, Energie und Kosten zu sparen, auch an einer durch die technische Entwicklung beeinflussten Bewertung der Lichtthematik. Das Ziel war die überwiegende Nutzung des Tageslichts, dem Kunstlicht möglichst unsichtbar dann zugeschaltet werden soll, wenn nicht ausreichend Tageslicht zur Verfügung steht. Dazu wurde das Kunstlichtsystem in den Dachraum (Abb. 17), in dem ein Lamellensystem als Sonnenschutz fungiert, verlegt. Die Platzierung des Kunstlichts über der Staubdeckenverglasung bedeutete eine Lichtreduktion entsprechend den Transmissionseigenschaften der Verglasung. Deshalb und um die vertikalen Bilderwände ausreichend zu beleuchten, mussten die Beleuchtungsstärken auf der Staubdeckenverglasung im Vergleich zu den Beleuchtungsstärken auf den Bildwandflächen etwa um den Faktor zehn höher liegen. Die Ergebnisse der Lichtsimulation liefern Hinweise auf mögliche Schwachpunkte eines solchen Lichtkonzeptes. Die Isoliniendarstellung in Abbildung 18 veranschaulicht die deutlich erkennbare Lichtabnahme über die Raumhöhe sowie zu den Raumecken hin und die in der Planung zur Verbesserung der Gleichmäßigkeit vorgesehenen HQI-Strahler (Halogenmetallampflampen) erweisen sich im unge dimmten Zustand als kontraproduktiv (Abb. 18).

Um solche Aussagen richtig bewerten zu können, erfolgt an dieser Stelle ein Hinweis auf die Grenzen der Lichtsimulation. Mit den Simulationen werden statische Momentaufnahmen berechnet – also die Lichtsituation zu einem bestimmten Zeitpunkt unter definierten Voraussetzungen. Die Kombination von Tages- und Kunstlicht, wie sie im Mustersaal der Alten Pinakothek umgesetzt wurde, ist aber ein dynamischer Vorgang, der von zahlreichen Variablen bestimmt wird. Einfluss auf die tatsächlich entstehende Lichtsituation im Innenraum haben die Außenbeleuchtungsstärken, der Bewölkungsgrad, die Nachbarbebauung, die Funktionsweise des Sonnenschutzes, die Dimmeigenschaften der Beleuchtung, et cetera. Die vielen Parameter und Variablen können über die Lichtsimulationsmodelle nicht in Echtzeit abgebildet werden.

Die Abstimmung und Regelung von Sonnenschutzsystem und künstlicher Beleuchtung erfolgte im Mustersaal theoretisch automatisiert über eine Software nach den von Sen-

soren in den Galerieräumen gemessenen Werten. In der Praxis ist dies nach wie vor eine große Herausforderung, denn an sonnigen Tagen treten außen Beleuchtungsstärken von über 100.000 Lux auf. Diese sollen auf etwa 200 Lux im Innenraum reduziert werden und gleichzeitig die Bilderrände möglichst gleichmäßig und diffus beleuchten. Dabei soll Tageslicht effizient genutzt und Kunstlicht nur ergänzend und dann im besten Fall unbemerkt zugeschaltet werden. Theoretisch ist dieser Ansatz richtig, in vielen Fällen scheitert er an der technischen Umsetzung. Ein Beispiel zur Verdeutlichung: Die Lamellen eines Sonnenschutzsystems werden über Motoren bewegt. Diese besitzen eine begrenzte Lebensdauer, die sich drastisch verkürzt, wenn die Lamellen aufgrund wechselnder Außenlichtverhältnisse ständig in Betrieb sind. Es gibt zwei Möglichkeiten, um die Motoren zu schonen: (1) Die Lamellen fahren nach einem vordefinierten Programm, das auf dem Sonnenstandsdiagramm des Standortes basiert oder (2) die Motorenbewegung wird nach einer Fahrt für einen bestimmten Zeitraum blockiert. Beide Ansätze haben Vor- und Nachteile. Bei der Regelung nach Sonnenstandsdiagramm wird der Extremfall des sonnigen und wolkenlosen Tages (maximale Außenbeleuchtungsstärke) zugrunde gelegt. Doch wenn an einem bewölkten Tag die Lamellen theoretisch weiter geöffnet werden könnten, um den Tageslichtanteil zu erhöhen, wird stattdessen das Kunstlicht zur Kompensation zugeschaltet. Der Nachteil liegt auf der Hand. Es wird mehr Energie in Form von Strom für die Beleuchtung verbraucht, als notwendig wäre. Der Vorteil ist, dass die vorgegebene Beleuchtungsstärke relativ gut eingehalten werden kann, und da nur das Kunstlicht über Sensoren nachgeregelt werden muss, ist die Programmierung der Regelungssoftware wesentlich einfacher. Bei der Methode der zeitweisen Blockierung der Motoren nach einer Fahrt besteht der Vorteil in der größtmöglichen Ausnutzung des Tageslichts, also der maximalen Energieeinsparung. Der Nachteil ist die Gefahr einer Überschreitung der Lichtdosis. An einem sonnigen Tag mit wiederholten aufziehenden Wolkenfeldern kann sich der Fall ergeben, dass die Motoren blockieren, nachdem der Sonnenschutz auf die Wolkensituation eingestellt wurde. Wenn während der Stillstandszeit wieder Sonne scheint, bleiben die Lamellen geöffnet und die Beleuchtungsstärken können den Sollwert deutlich überschreiten. Welches Schädigungspotential aus einer solchen Situation resultiert, ist einerseits witterungsabhängig, andererseits durch die gewählte Stillstandszeit der Motoren bestimmt, an dieser Stelle demnach nicht allgemein, sondern jeweils für den konkreten Fall zu bewerten.

Zeitgemäßer Umgang mit Licht

Aktuell erfolgt bei Kunstlichtbeleuchtung in Museen eine Umstellung zu Licht emittierenden Dioden (LED), was wieder einen Wandel der Beurteilung von Kunstlicht im Muse-

umsraum einläutet und einen neuen Ansatz in der Sollwertfrage begünstigt.²⁴ Auf der Basis eines umfassenden Hintergrundwissens kann ein museales Lichtmanagement nach drei Strategien erfolgen:

- „Vermeidung von Extremen“-Strategie: Das Beleuchtungsniveau liegt zwischen 50 und 500 Lux. Wenig lichtempfindliche Materialien könnten rund 100 Jahre ausgestellt werden, ohne Lichtschäden aufzuweisen. Etwas lichtempfindliche Materialien wären nach rund zehn Jahren ausgeblendet und lichtempfindliche Materialien zeigen sehr viel schneller Lichtschäden.
- „Herkömmliche“ Strategie: 50 Lux für lichtempfindliche Materialien, 150 Lux für Öl- und Acrylgemälde, polychrome Farbfassungen und Möbel sowie 300 Lux für kaum lichtempfindliche Materialien wie Stein, Metalle, oder Ähnliches. Diese Strategie ist in den meisten Leihverträgen vorgegeben. Lichtempfindliche Materialien bleichen innerhalb einiger Jahrzehnte deutlich aus.
- „Risikomanagement“-Strategie: Festlegung einer akzeptablen Ausbleichrate und Definition des Zeitrahmens, bis das Material ausgeblendet ist, auch als „end of lifetime“ bezeichnet. Danach richtet sich der zu bestimmende Grad der Lichtempfindlichkeit der unterschiedlichen Kunsterwerke. Die empfindlichste Materialgruppe gibt die weitere Strategie vor. Zusätzlich wird die Mindestbeleuchtungsstärke für ausreichendes Sehen definiert. Auch die technische Ausrüstung für die Beleuchtungssteuerung ist zu berücksichtigen. Am Ende wird daraus die Ausstellungsdauer berechnet.

Die Risikomanagement-Strategie verzichtet auf die Angabe von Maximalwerten. Stattdessen basiert sie auf der Annahme, dass ein Lichtschaden nicht zu vermeiden ist. Die Definition der Ausbleichrate bedeutet, einen Zeithorizont anzugeben, wie lange ein Kunsterwerk trotz des Einflusses eines bestimmten Parameters erhalten werden kann oder soll. Die Zielvorgabe wird durch Maßnahmen des Lichtschutzes, durch die Wahl geeigneter Leuchtmittel und die Planung des Beleuchtungskonzeptes umgesetzt. Damit wird ein flexiblerer Umgang mit Sollwerten für die Beleuchtung, sei es durch Tages- oder Kunstlicht, angestrebt. Gleichzeitig werden aber auch die Belange der Besucher berücksichtigt. Ausgehend von einer Mindestbeleuchtungsstärke von 50 Lux – erforderlich, damit ein junger Betrachter ausreichend gut sieht – wird dieser Wert bei dunklen Oberflächen, wenig kontrastreichen Details, sehr feinen Details oder älteren Besuchern jeweils verdreifacht. Im Extremfall kann das bedeuten, dass bis zu 4000 Lux erforderlich sind, damit ein älterer Besucher sehr feine, wenig kontrastreiche Details auf einem dunklen Hintergrund erkennen kann.

Diese veränderte Sicht bestätigt, dass Licht mittlerweile als dynamischer Faktor (an)erkannt wird, für den nur schwer absolute und jederzeit gültige Allgemeinwerte angegeben werden können. Wie erfolgreich dieses Konzept ist, wie es

sich langfristig auf die Konzeption sowie den Bau von Museen auswirkt und welche Konsequenzen es für die Erhaltung von Kunst- und Kulturgut hat, werden die kommenden Jahrzehnte zeigen.

Dr. Melanie Bauernfeind
Doerner Institut, Bayerische Staatsgemäldesammlungen
Barer Straße 29
80799 München
melanie.bauernfeind@doernerinstitut.pinakothek.de

Anmerkungen

- 1 MAGNUS 1839
- 2 MAGNUS 1864, S. 203 f.
- 3 MAGNUS 1864, S. 220
- 4 Umfassende Details zu den durchgeführten Lichtsimulationen finden sich in BAUERNFEIND 2016, S. 305–309
- 5 Eine Beschreibung der verschiedenen Bauzustände der Alten Pinakothek findet sich in BAUERNFEIND 2016, S. 78–168
- 6 TIEDE 1871, S. 185–194
- 7 TIEDE 1871, S. 187
- 8 TIEDE 1871, S. 188
- 9 TIEDE 1871, S. 192
- 10 TRA 2011
- 11 TIEDE 1871, S. 185–194
- 12 MENTZ 1884, S. 488–491 und S. 499–501
- 13 MENTZ 1884, S. 490
- 14 BAUERNFEIND 2016, S. 106 f.
- 15 ERBE 1923
- 16 INSTITUT KULTURBAUTEN 1989, S. 44
- 17 REBSKE 1962, S. 105
- 18 Zitiert nach REBSKE 1962, S. 117
- 19 REBSKE 1962, S. 134
- 20 REBSKE 1962, S. 136
- 21 ANONYM 1879a und ANONYM 1879b
- 22 DURM ET AL. 1893, S. 263
- 23 MACINTYRE/BUCKLEY 1930, S. 31–34 und S. 37
- 24 DRUZIK/MICHALSKI 2012

Literatur

- ANONYM 1879a: Anonym, Elektrisches Licht im „British Museum“. In: Polytechnisches Journal, Nr. 234 (1879), S. 492
- ANONYM 1879b: Anonym, Electric light at the British Museum. In: Journal of the Royal Society of Arts, Nr. 27 (1879), S. 990
- BAUERNFEIND 2016: Melanie Bauernfeind, Die Alte Pinakothek. Ein Museumsbau im Wandel der Zeit, Köln/Weimar/Wien 2016
- DRUZIK/MICHALSKI 2012: James Druzik, Stefan Michalski, Guidelines for Selecting Solid-State Lighting for Museums, Getty Conservation Institute and Canadian Conservation Institute, unpublished guideline, 2012
- DURM ET AL. 1893: Josef Durm, Hermann Ende, Eduard Schmitt, Heinrich Wagner (Hrsg.), Handbuch der Architektur, Dritter Theil, Anlagen zur Versorgung der Gebäude mit Licht und Luft, Wärme und Wasser, Darmstadt 1890
- ERBE 1923: Albert Erbe, Belichtung von Gemäldegalerien, Leipzig 1923
- INSTITUT KULTURBAUTEN 1989: Institut für Kulturbauten (Hrsg.), Kulturbauten, Nr. 2 (1989), Sonderheft mit dem Thema Beleuchtung in Museen, Berlin 1989
- MACINTYRE/BUCKLEY 1930: J. A. Macintyre, H. Buckley, The Fading of Watercolour Pictures. In: The Burlington Magazine, Nr. 328 (1930), S. 31–37
- MAGNUS 1839: Eduard Magnus, Ueber zweckmäßige Anordnung von Gebäuden zur Ausstellung von Gemälden. In: Allgemeine Bauzeitung, Nr. 40 (1839), S. 347–351
- MAGNUS 1864: Eduard Magnus, Ueber die Einrichtung und Beleuchtung von Räumen zur Aufstellung von Gemälden und Sculpturen. In: Zeitschrift für Bauwesen, Nr. 14 (1864), S. 201–220
- MENTZ 1884: Richard Mentz, Beitrag zur Frage der Beleuchtung durch Oberlicht und durch Seitenlicht, mit spezieller Rücksichtnahme auf Oberlichtsäle und Seitenkabinette in Gemäldegalerien, erschienen in zwei Teilen. In: Deutsche Bauzeitung, Nr. 82 (1884), S. 488–491 und Nr. 84 (1884), S. 499–501
- REBSKE 1962: Ernst Rebske, Lampen, Laternen, Leuchten. Eine Historie der Beleuchtung, Stuttgart 1962
- TRA 2011: Technische Regeln für Arbeitsstätten, Beleuchtung, ASR A3.4, Ausgabe: April 2011
- TIEDE 1871: August Tiede, Ueber die Einrichtung eines Oberlichtsaales in der Bilder-Galerie des alten Museums zu Berlin. In: Zeitschrift für Bauwesen, Nr. 21 (1871), S. 185–194

Abbildungsnachweis

Abb. 1: © BStGS, Fotoarchiv

Abb. 2–18: Autorin