



# Museen nachhaltig sanieren

*Kunstwerke schützen, Denkmäler erhalten,  
Energieeffizienz erreichen*



## Zur Sache

*In Deutschland gibt es mehr als 7.000 Museen. Besonders im 19. Jahrhundert wurden für Ausstellungszwecke prächtige Gebäude errichtet, die größtenteils heute noch existieren. Viele Museumsbauten sind inzwischen sanierungsbedürftig und ihre Anlagentechnik ist veraltet. Gleichzeitig verschärft sich die finanzielle Situation der Städte und Gemeinden so, dass öffentliche Einrichtungen wie Bäder oder Bibliotheken schließen müssen. Der Trend geht deshalb dazu, Museen in Eigenbetriebe umzuwandeln. Diese müssen zukünftig Wartung, Unterhalt und Versorgung ihrer Häuser zum Teil selbst tragen.*

*Die aus konservatorischen Gründen meist erforderliche umfangreiche Gebäudetechnik verursacht hohe Energiekosten, die bei den Ausgaben deutlich ins Gewicht fallen. Museumsbetreiber haben deshalb ein Interesse daran, für ein adäquates Raumklima möglichst wenig Energie zu verbrauchen. Einen externen Anbieter im sogenannten Contracting zu beauftragen, den Anlagenbetrieb auf Erfolgsbasis zu optimieren, greift aber zu kurz. Nur eine umfassende energetische Sanierung kann den Energieverbrauch nachhaltig senken. Stehen aus anderen Gründen bauliche Maßnahmen an, z. B. um Auflagen des Brandschutzes zu erfüllen, ist das die beste Gelegenheit, gleichzeitig die Energieeffizienz zu verbessern.*

*Die nachhaltige Sanierung eines Museumsgebäudes zu planen, erfordert eine ganzheitliche Herangehensweise und einen hohen Informationsstand bei Betreibern und Planern. Seit 2008 arbeitet daher ein Forschungsteam in einem Verbundvorhaben an diesem Thema. Das Team ist in zahlreiche Planungen und Bauvorhaben eingebunden. Die Projekte verfolgen drei Ziele: die Gebäudesubstanz unter denkmalpflegerischen Gesichtspunkten zu erhalten, die konservatorischen Anforderungen mit geringem Technikaufwand zu erfüllen sowie die Gesamtenergieeffizienz zu verbessern.*

*Der Fokus bei Sanierungsarbeiten darf sich jedoch nicht ausschließlich auf die raumklimatischen Anforderungen und deren Energiebilanz richten: Eine sinnvolle Schädlingsprävention ist ebenso elementar wie Konzepte für einfach zu reinigende Bodenbeläge, Brandschutz, Sicherheit oder die Erarbeitung eines Notfallplans. Erfolgreiche Sanierungen bieten dann die Chance, die Energiesparstrategien einem breiten Publikum näher zu bringen.*

Ihre BINE-Redaktion  
[redaktion@bine.info](mailto:redaktion@bine.info)

## Inhalt

- 3** Museen rüsten sich für die Zukunft
- 4** Sanieren als ganzheitliche Aufgabe
- 5** Im Portrait: Was macht die Sanierung eines Museums nachhaltig?
- 8** Konservatorische Anforderungen
- 11** Aus der Praxis: Kunsthalle Mannheim
- 11** En passant: Die Sixtinische Kapelle in neuem Licht
- 12** Den Wärmeschutz verbessern
- 14** Luft und Licht
- 17** Aus der Praxis: Kaiser Wilhelm Museum, Krefeld
- 18** Qualitätssicherung und Monitoring
- 20** Ausblick

## Impressum

### ISSN

1610 - 8302

### Herausgeber

FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut  
 für Informationsinfrastruktur GmbH  
 Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
 76344 Eggenstein-Leopoldshafen

### Autoren

Prof. Volker Huckemann (Hochschule Bochum,  
 ehem. TU Braunschweig)  
 Dr. Ralf Kilian (Fraunhofer IBP),  
 Lars Klemm (Fraunhofer IBP),  
 Markus Rösler (TU Dresden),  
 Heiko Werdin (ITG Dresden),  
 Prof. Michaela Hoppe (Hochschule Bremen,  
 ehem. Technische Universität München)

### Redaktion

Dorothee Gintars

### Titelbild

Kunsthalle Mannheim / Cem Yüçetas 2014

### Version in Englisch

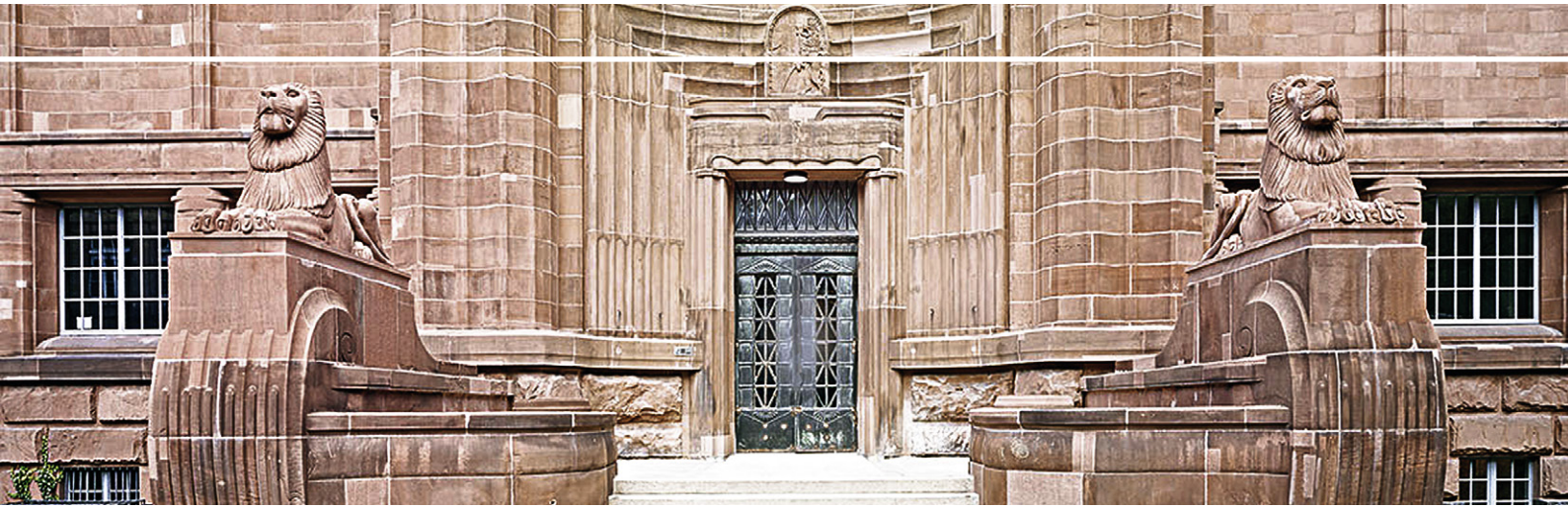
Das Dokument finden Sie unter  
[www.bine.info/en](http://www.bine.info/en)

### Urheberrecht

Eine Verwendung von Text  
 und Abbildungen aus dieser  
 Publikation ist nur mit Zustimmung  
 der BINE-Redaktion gestattet.  
 Sprechen Sie uns an.



Kaiserstraße 185-197, 53113 Bonn  
 Tel. 0228 92379-0  
 Fax 0228 92379-29  
[kontakt@bine.info](mailto:kontakt@bine.info)  
[www.bine.info](http://www.bine.info)



**Abb. 1** Museumsbauten sind oft Prestigeobjekte für eine Stadt.  
Quelle: Kunsthalle Mannheim / Brigida Gonzales

## Museen rüsten sich für die Zukunft

*Viele Museen in Deutschland und Europa wurden in Zeiten errichtet, als der Energieverbrauch eines Gebäudes noch kein Thema war. Nur mit umfangreicher Gebäudetechnik und entsprechend viel Energieaufwand bieten sie Besuchern und Exponaten ein adäquates Umfeld. Heute sind Museen gezwungen, kosteneffizient zu arbeiten und suchen dafür nach zukunftsweisenden Strategien.*

Museen beherbergen das Erbe der kulturellen Entwicklung der Menschheit und spiegeln die gesellschaftliche Entwicklung wider. Die unterschiedlichen Ausstellungsstücke zu erhalten, ist eine wichtige Aufgabe und eine Investition in die Zukunft. Gleichzeitig sind die Museumsgebäude selbst oft von hohem architektonischem, baugeschichtlichem und städtebaulichem Wert. Sie werden deutlich länger betrieben als andere Bauten der gleichen Altersklasse. Insoweit fällt auch ihr Energieverbrauch über die Nutzungsdauer stärker ins Gewicht.

Die ersten als Museum geplanten Gebäude entstanden in der Mitte des 19. Jahrhunderts. Zu Ausstellungsräumen umgenutzte Adelssitze sind teilweise noch älter. Die thermische Konditionierung dieser Gebäude erfolgte mit geringstem technischem Aufwand. Dies änderte sich in den sechziger und siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts: Ein sorgloser Umgang mit Energie als einem quasi unbegrenzt vorhandenen Rohstoff prägt die Bauten dieser Zeit. Als sich in Folge der ersten Ölkrise Mitte der 1970er Jahre das Bewusstsein wandelte und Energieeffizienz auch beim Bauen stärker in den Fokus rückte, blieben Museen Prestigeobjekte außerhalb wirtschaftlicher Zwänge. Teilweise ist diese Haltung in der Museumsarchitektur heute noch zu beobachten.

Die überwiegende Zahl aller Museumsgebäude verfügt nur über einen unzureichenden Wärmeschutz. Mit umfangreicher Gebäudetechnik und hohem Energieeinsatz versuchen die Betreiber, Raumklima und Licht auf die Anforderungen der Ausstellungsstücke und Besucher abzustimmen. Das Forschungsteam erfasste in den begleiteten Museen Endenergiekennwerte für die Heizung zwischen 100 und 250 kWh/m<sup>2</sup>a und für den Gebäude-

strom zwischen 20 und 100 kWh/m<sup>2</sup>a. Die aus heutiger Sicht überdimensionierten Heizungs- und Lüftungsanlagen sind oftmals regelungstechnisch nicht in der Lage, sich auf eine zunehmend variable Raumnutzung einzustellen. Schlecht geplante Tageslichtnutzung und umfangreicher Kunstlichteinsatz führen zu einem hohen Kühlbedarf. Derartige Gebäudemängel verursachen nicht nur hohe Energiekosten, sie belasten durch Strahlungsasymmetrien, Temperaturgradienten und UV-Lichtanteile auch Kunstwerke und Nutzer.

Die finanzielle Schieflage vieler Kommunen und steigende Energiepreise zwingen auch Museen, kosteneffizienter zu arbeiten. Maßnahmen zum Wärmeschutz und zu einem energieoptimierten Betrieb werden unabdingbar. Niedrigstenergie-Neubauten wie das Ritter-Museum in Waldbrunn oder Gebäude im Passivhausstandard wie das Kunstmuseum Ravensburg zeigen Wege dorthin auf.



### Was macht ein Museum aus?

Das International Council of Museums (ICOM) definiert ein Museum als „eine gemeinnützige, ständige, der Öffentlichkeit zugängliche Einrichtung im Dienst der Gesellschaft und ihrer Entwicklung, die zu Studien-, Bildungs- und Unterhaltungszwecken materielle Zeugnisse von Menschen und ihrer Umwelt beschafft, bewahrt, erforscht, bekannt macht und ausstellt“. Die Quadriga der klassischen Museumsarbeit sind somit das Sammeln, For-schen, Vermitteln und Bewahren von Kulturgütern. Oft werden nur etwa 20 bis 30 Prozent der Bestände eines Museums in den Ausstellungsräumen gezeigt, der Rest lagert in Archiven oder Depoträumen.

**Abb. 2** Steht ein Museum unter Denkmalschutz, erfordert die Sanierung einen sensiblen Umgang mit der Materie und die frühzeitige Einbindung der zuständigen Denkmalbehörde.  
Quelle: Kunsthalle Mannheim / Cem Yüçetas 2014



## Sanieren als ganzheitliche Aufgabe

*Probleme mit der Gebäudetechnik oder dem Brandschutz sind oftmals der Auslöser für bauliche Maßnahmen. Eine nachhaltige energetische Sanierung kann sich aber nicht auf diese Aspekte beschränken. Die Komplexität besteht darin, gleichzeitig die konservatorischen Anforderungen einzuhalten, den Besuchern ein angenehmes Raumklima und optimale Beleuchtung zu bieten und alles mit dem Denkmalschutz zu vereinbaren.*

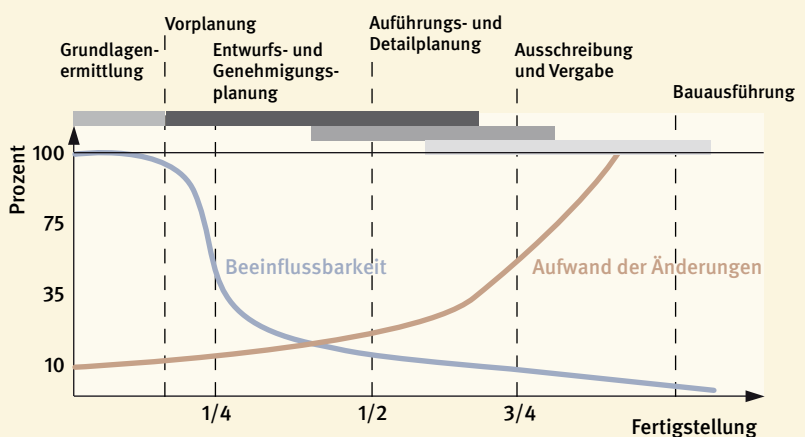
Eine umfassende Bestandsaufnahme bildet die Grundlage jeder Planung. Damit können die Nutzer, die Planer und die eingebundenen Spezialisten die Anforderungen an eine Sanierung und deren Ziele prüfen, diskutieren und abschließend festlegen. Die frühe Integration aller relevanten Aspekte und eine kontinuierliche Einbindung der Fachplaner sind der Schlüssel zum Erfolg (Abb. 3).

**Abb. 3** Je weiter ein Projekt fortgeschritten ist, umso weniger lassen sich Entscheidungen korrigieren bzw. umso höher ist der Aufwand dafür.  
Quelle: Fraunhofer IBP

### Alle Informationen zusammentragen

Untersuchungen der Bausubstanz dokumentieren die Baualtersklassen, deren historischen Wert, die Baumaterialien, die energetische Qualität der Gebäudehülle und über die Jahre entstandene Bauschäden. Messungen zum Raumklima zeigen, welche Temperaturen und Feuchte-

belastungen auftreten. So lassen sich Belastungsspitzen aus ungünstiger Beleuchtung oder mangelhafter Lüftung identifizieren, etwa bei stark variierenden Besucherzahlen oder Großereignissen – und zukünftig vermeiden. Thermografien und Luftdichtheitsmessungen helfen, die bauphysikalischen Gegebenheiten und Undichtigkeiten der Gebäudehülle zu beurteilen. Mithilfe eines sogenannten Lichtdosimeters lässt sich die Lichtsituation und die Wirkung von Licht auf empfindliche Materialien einordnen. Rechnungen des Energieversorgers oder die entsprechenden Zähler geben Auskunft über die aktuellen Verbrauchswerte für Wärme, Kälte und Strom. Bei konzeptionellen Änderungen, z. B. in der Raumluftströmung, kann eine Messung vor und nach der Sanierung die Verbesserung verifizieren. Über die erhobenen Kenndaten lassen sich die Museen z. B. nach den Rechenvorschriften der DIN V 18599 rechnerisch abbilden. Das gibt erste Anhaltspunkte für die energetische Effizienz und Verbesserungspotenziale.



### Die Denkmalpflege einbeziehen

Viele Museen stehen unter Denkmalschutz. Grundsatz denkmalpflegerischen Handelns ist es, die originale Bausubstanz als Zeugnis vergangener Zeiten zu erhalten. Um einen sensiblen Umgang mit dem historisch bedeutsamen Gebäude zu gewährleisten, müssen alle Maßnahmen – vom Anstrich der Fassade über die Fenstererneuerung bis zum Umbau des Gebäudes oder seines Umfeldes mit den Denkmalbehörden abgestimmt bzw. von ihnen genehmigt werden. Je früher die zuständige Behörde eingebunden wird, umso unkomplizierter lassen sich für funktionale, gestalterische oder energetische



## Die Luftdichtheit überprüfen

Die Energieeinsparverordnung (EnEV 2014) stellt keine Anforderungen an die Luftdichtheit von Bestandsgebäuden. Ist aber die Gebäudehülle nicht dicht, müssen Heizungs- oder Klimaanlage die dadurch entstehenden Lüftungswärmeverluste ausgleichen. Leckagen können in ungünstigen Fällen erhöhte Schwankungen von Temperatur und relativer Luftfeuchte verursachen, die es aus konservatorischer Sicht unbedingt zu vermeiden gilt. Luftdichtheitsmessungen (Blower-Door-Tests) nach DIN 13829 zusammen mit Leakage-Ortungen helfen vor einer Sanierung, die energetische Qualität der Gebäudehülle zu beurteilen und Schwachstellen zu finden. Bei einer energetischen Sanierung sollte die gleiche Luftdichtheit angestrebt werden, wie bei einem Neubau gefordert.

Die im Forschungsprojekt untersuchten Gebäude zeigen sich verglichen mit den Anforderungen der EnEV für Neubauten verhältnismäßig dicht (Abb. 4). Die vorgefundene hohe Dichtheit ist jedoch nicht den verwendeten Bauteilen oder Materialien geschuldet, sondern im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass die Nutzer Fensterflügel nachträglich verschraubt oder Fugen abgedichtet haben. Wo dies nicht möglich ist (Metallflügel/ Oberlichtsituationen) wurden entsprechend höhere Werte gemessen. Diese sind jedoch im Verhältnis zur Baualtersklasse bzw. geltenden EnEV immer noch als gut zu bezeichnen.

### Blower-Door-Tests

Gebäude	Messumfang	Gemittelter $n_{50}$ -Wert [ $h^{-1}$ ]	Vorgabe EnEV für Neubauten $n_{50}$ -Wert [ $h^{-1}$ ]
Städtisches Museum Braunschweig	2 Räume	1,4	3,0
Kaiser Wilhelm Museum, Krefeld	2 Räume	2,4	3,0
Kunsthalle Mannheim, vor Sanierung (Gebäude mit Lüftungsanlage)	3 Räume	2,9	1,5
Herzogliches Museum, Gotha	ges. Gebäude*	2,0	3,0

\* Messungen großer Volumen verfälschen das Ergebnis, indem große Leckagen im Verhältnis zum Volumen unterschätzt werden.

Abb. 4 Messergebnisse zur Luftdichtheit ausgewählter Museen  
Quelle: Volker Huckemann / Anke Schenk



Abb. 5 Undichtigkeit in der Wandverkleidung.  
Quelle: Bauhaus-Universität Weimar / Anke Schenk



Abb. 6 Ventilator für den Blower-Door-Test  
Quelle: Volker Huckemann

## Im Portrait

### Was macht die Sanierung eines Museums nachhaltig?



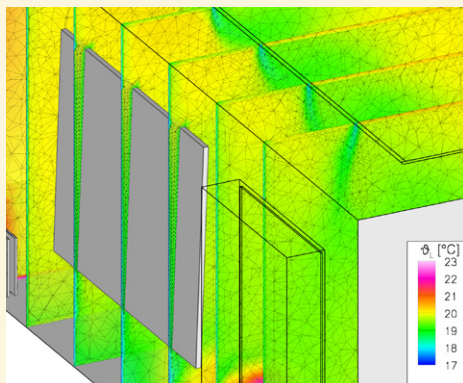
Prof. Dr. Stefan Simon  
Direktor des Rathgen-Forschungslabors der Staatlichen Museen zu Berlin und bestellter Inaugural-Direktor des Institute for the Preservation of Cultural Heritage, Yale University, New Haven, CT

„Ich würde das ganz kurz beantworten: Nachhaltig ist eine Maßnahme, die alle drei Säulen der Nachhaltigkeit gleichermaßen respektiert und berücksichtigt: die ökologische, die wirtschaftliche und die soziale Säule. Das ist ein Optimierungsspiel, da in der Regel Verbesserungen in einem Bereich mit ungünstigeren Bedingungen in einem anderen erkaufte werden müssen. Die soziale Säule beinhaltet die Konservierung. Wenn aber die ökologische Seite, beispielsweise die CO<sub>2</sub>-Bilanz und/ oder die Wirtschaftlichkeit bzw. Finanzierbarkeit nicht bedacht werden, ist eine Sanierung nicht nachhaltig!“



Michael John  
Leiter der Abteilung Technische Dienste in den Staatlichen Kunstsammlungen Dresden

„Eine Sanierung ist für Museen eine außergewöhnliche Chance, da Investitionen in Kulturbaustellen für die jeweiligen Träger nicht unmittelbare Pflichtaufgabe sind. Deshalb gilt es, alle Beteiligten einzubeziehen und hohe Qualität, Nachhaltigkeit und Kosteneffizienz zu sichern. Für die Nachhaltigkeit ist sowohl eine umfassende und grundlegende Analyse der Aufgabenstellungen des Museums als auch eine Analyse des Gebäudes von essentieller Bedeutung. Die eingesetzten Materialien und Lösungen sollen anerkannte und lang bewährte Systeme der Technik und des Bauwesens sein. Mit dem Tenor: Innovation, aber keine Experimente, sondern Auswertung von Erfahrungen. Die eingesetzten Baustoffe sollten bezüglich ihres Verhaltens bei der Alterung beurteilt werden – die mit der Alterung verbundene Patina von Baustoffen ebenso wie die Langlebigkeit von Bausystemen oder Techniken. Im Zweifelsfall sollen mechanische Lösungen ohne hohen Wartungsaufwand den Vorrang vor elektrischen Lösungen haben, elektrische Lösungen Vorrang vor elektronischen. Das erhöht die Ausfallsicherheit und die Nachhaltigkeit. Alle verwendeten Bauteile und Techniken sollten auf Wartungsfreundlichkeit und Energieverbrauch hin bewertet werden.“



### Mögliche Simulationen bei der Sanierung

	Was wird simuliert?	Wozu?
Lichtsimulation	Beleuchtungsverhältnisse	Kunstlicht- und Tageslichtnutzung optimieren
Thermische Gebäudesimulation	thermische oder hygrische Prozesse im Gebäude	Aussagen zu Raumklima und konservatorischen Bedingungen
Bauphysikalische Simulation	Bauwerksfeuchte	Detaillierte langfristige Aussagen zur Schadensfreiheit einer Wand oder Baukonstruktion
Strömungssimulation	Strömungsfeld und konvektiver Wärmeübergang	Z. B. detaillierte Bewertung der thermischen Behaglichkeit einschließlich Zugluftisiko; Betrachtung spezieller konservatorischer Bedingungen

Abb. 7 Simulationsmodell eines Raumes mit großformatigem Bild an der Außenwand. Bei der Berechnung können alle wesentlichen bauphysikalischen, thermischen und aerodynamischen Phänomene berücksichtigt werden. Mithilfe des feinen Gitters lassen sich die Strömungsvorgänge abbilden. Quelle: TU Dresden / Ralf Gritzki

Veränderungen denkmalgerechte Lösungen finden. Für verschiedene Gebäude und Bauteile wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens Konzepte erarbeitet.

### Anforderungen definieren

Die Herausforderung im Museumsbau besteht in den gegenläufigen Anforderungen von Objektschutz und Besucher- bzw. Mitarbeiterkomfort. Die Objekte benötigen materialspezifisch ein außentemperaturunabhängiges, zeitlich konstantes und definiertes Raumklima, oft lieber im kühleren Bereich. Die Besucher möchten die Ausstellungsstücke bei einer angenehmen Raumtemperatur

und ohne Zegerscheinungen betrachten. Gleichzeitig bringen sie ihre Abwärme, Feuchte und ggf. auch Schadstoffe mit. Genauso heikel ist es, die Objekte gut auszuleuchten ohne sie durch das Licht zu schädigen.

Den technischen Fragestellungen übergeordnet steht bei der Sanierung das Ziel, weniger Energie zu verbrauchen. Hier gilt es, die ökonomische Verhältnismäßigkeit zu wahren und neben dem technisch Möglichen auch die erzielbaren Einsparungen zu bewerten. Viele nicht klimatisierte, historische Gebäude bewahren die Ausstellungsobjekte bereits über einen langen Zeitraum ohne Komplikationen. Im Zuge der Renovierung ist daher sorgfältig zu prüfen, ob eine zusätzliche Ausstattung mit Gebäudetechnik notwendig ist.



## Nachhaltigkeitszertifizierung und Lebenszyklus

Für den Baubereich existieren zahlreiche Bewertungssysteme, um die sozialen, ökonomischen und ökologischen Folgen von Baumaßnahmen zu quantifizieren und bewertbar zu machen. Zu den bekanntesten zählen das amerikanische LEED (Leadership in Energy & Environmental Design), das britische BREEAM (British Research Establishment Environmental Assessment Method) und die deutschen Systeme DGNB (Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen) und BNB (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude). Ein eigenes System zur Bewertung von Museumsbauten liegt bislang nicht vor. Dennoch existieren weltweit einige zertifizierte Museen, davon 162 mit LEED-Zertifikat. In Deutschland ist das Kunstmuseum Ravensburg das erste DGNB-zertifizierte Museum. Es wurde nach dem Nutzungsprofil für Versammlungsbauten mit einem Vorzertifikat in „Silber“ ausgezeichnet.

Um die Besonderheiten von Museumsbauten angemessen bewerten zu können, müssen ergänzende Bewertungssteckbriefe entwickelt werden. Dies betrifft insbesondere den Themenbereich Präventive Konservierung, aber auch den Lebenszyklus von Museumsbauten. Die durchschnittliche Gesamtnutzungsdauer von Immobilien liegt bei bis zu 100 Jahren. Museumsbauten überschreiten diesen Zeitraum in der Regel deutlich, bedingt durch ihre ureigene Aufgabe, wertvollem Sammlungs-gut auf Dauer ein Zuhause zu geben. Durch die langen Nutzungszeiten fällt bei Museumsbauten die Betriebsphase, bestehend aus Nutzung und Erneuerung, viel stärker ins Gewicht.

### Sanierungsvarianten durch Simulationen vergleichen

Um Vorhersagen über die klimatischen Verhältnisse und den resultierenden Energiebedarf zu machen, eignen sich dynamische Simulationsprogramme besser als die Rechenverfahren der EnEV. Mit ihrer Hilfe können die eingebundenen Spezialisten ohne großen finanziellen Aufwand Sanierungsvarianten durchspielen und bis zu einem gewissen Grad vorab beurteilen. Nutzer, Bauherren, Denkmalpfleger und Fachplaner können die unterschiedlichen Optionen im Hinblick auf konservatorische Parameter oder auf den Energieverbrauch hin vergleichen, diskutieren und ein für den Einzelfall optimiertes Sanierungskonzept entwickeln. Die Besonderheiten der Museen, wie geometrische Vielfalt, unbekannte Wandaufbauten, anlagentechnische Sonderlösungen oder auch schwer zugängliche Materialwerte, bergen allerdings auch für die Simulation Herausforderungen. Dennoch lassen sich mit entsprechendem Aufwand Einsichten gewinnen, die mit klassischen Planungs- oder Analyseverfahren undenkbar wären.

Genaugenommen interagieren alle Phänomene miteinander, die mit solchen Simulationen berechnet werden. Oft reicht es aber, Teile davon zu vernachlässigen oder durch sinnvolle Annahmen zu ersetzen. Alternativ können heute bereits verschiedene Programme gekoppelt werden, um diese Abhängigkeiten abzubilden.



## Forschungsverbund „Nachhaltige Sanierung von Museumsbauten“

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) hat im Forschungsschwerpunkt Energieoptimiertes Bauen (EnOB) ein Verbundvorhaben zur nachhaltigen Sanierung von Museumsgebäuden gefördert. Unter der Koordination des Instituts für Gebäude- und Solartechnik (IGS) der TU Braunschweig haben sich fünf renommierte deutsche Universitäten und einige assoziierte Institute zusammengeschlossen, um zunächst über vier Jahre verschiedene Museumsbauten zu untersuchen, Sanierungskonzepte zu erarbeiten und Bauherren zu beraten. In einzelnen, als Demonstrationsprojekt ausgewählten Museen erprobten die Wissenschaftler sowohl innovative Sanierungskonzepte als auch den Einsatz neuer, energieeffizienter Baumaterialien und Technologien. Sie begleiteten die Projekte über den gesamten Sanierungszeitraum auch mit Simulationen und Messungen.

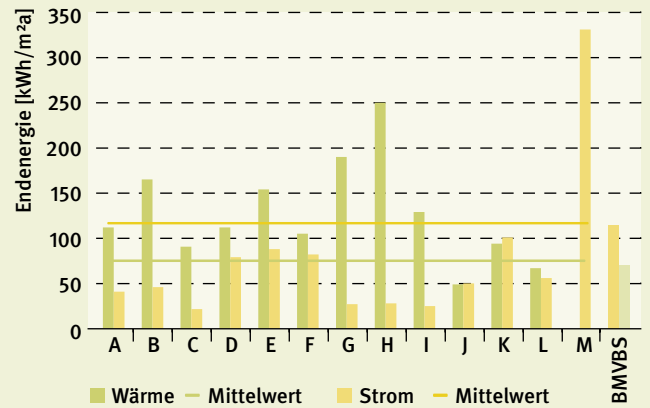


Abb. 8 Energieverbräuche ausgewählter Museen sowie Mittelwerte für Bestandsgebäude nach BMVBS.  
Quelle: Volker Huckemann / TU Braunschweig



Abb. 9 Diese Museen waren als Projektpartner beteiligt.

**Quellen:**

- (1) Stiftung Schloss Friedenstein, Gotha
- (2) JoJan, Wikimedia Commons, lizenziert unter CC BY 3.0; <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode>
- (3) HieRo GlyPhe\* (4) Ingersoll\* (5), (11), (13) Volker Huckemann
- (6) Hamburger Kunsthalle / Ralf Suerbaum (7) User:Brunswyk\*
- (8) Kunsthalle Mannheim / Brigida Gonzales
- (9) Eva Kröcher, Wikimedia Commons, lizenziert unter CC BY-NC-ND 3.0; <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/legalcode>
- (10) Bayerische Staatsgemäldesammlungen / Foto: Haydar Koyupinar
- (12) Foto: Deutsches Museum (14) Uwe H. Friese\*

\* Wikimedia Commons, lizenziert unter CC BY-SA 3.0;  
URL: <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>

**Abb. 10** Leiden die Kunstwerke aufgrund des Raumklimas oder der Belichtung, muss früher oder später der Konservator ans Werk.  
Quelle: Staatliche Museen zu Berlin, Fotografin: Juliane Eirich



## Konservatorische Anforderungen

*Besucherkomfort wird an sechs Wochentagen für acht bis zehn Stunden benötigt, die konservatorischen Anforderungen – insbesondere an Raumklima und Belichtung – müssen permanent erfüllt sein. Sie sind also sowohl bei der Planung als auch bei der Sanierung eines Museums das zentrale Anliegen.*

Ob Museen sicher, nachhaltig und erfolgreich betrieben werden können, entscheiden die präventiven Parameter vor Ort. Das heißt, der Bau soll die im Inneren ausgestellte und gelagerte Sammlung bewahren und schützen. Der Erhalt der bewahrten Kulturgüter erfordert in der Regel ein konstantes und in relativ engen Grenzen definiertes Raumklima. Auch Licht, Vibrationen aufgrund von Erschütterungen oder Schall wirken sich auf die Ausstellungsstücke aus.

### Schädigungen systematisch vermeiden

In den letzten Jahrzehnten hat sich innerhalb der Restaurierung ein neues Fachgebiet etabliert, die sogenannte

Präventive Konservierung. Diese betrachtet nicht alleine das Kunstwerk, sondern auch seine Umgebungsbedingungen und den Kontext, in dem sich eine Sammlung befindet. Um Risiken analysieren bzw. bewerten zu können, wird mit allen Beteiligten im Planungsteam eine ganzheitliche Strategie zur Reduzierung der Schädigungsprozesse und der Verfallsmechanismen erarbeitet und etabliert. Die wesentlichen Aspekte sind:

- Fragen der Klimatisierung (Temperatur, relative Feuchte, Schadstoffgehalte etc.),
- Umgang mit Tages- und Kunstlicht (Strahlung),
- Schädlingsprävention / Integrated Pest Management,
- Inventarisierung und Sammlungsmanagement,
- Berücksichtigung von Sicherheit und Brandschutz,
- Museumslogistik wie Anlieferung, interne Transportwege, Hängung, Leihverkehr etc.,
- Katastrophen- und Notfallmanagement,
- Gesetzgebung / Gestaltung von Normen.

Diese beeinflussen direkt Architektur, Energiekonzept und Nutzung des Gebäudes. Damit ist die Präventive Konservierung ein zentrales Thema im Dialog zwischen den Nutzern und den Planern eines Museumsgebäudes. Heute haben nahezu alle Restauratoren sowie Museumsverwaltungen erkannt, dass eine solche ganzheitliche Herangehensweise nicht nur die Originalsubstanz schützt, sondern langfristig auch deutlich Kosten einspart. In vielen Bereichen werden aktuell systematisch Methoden und Techniken erforscht, um Strategien zum Langzeitmanagement zu entwickeln und in der täglichen Museumspraxis zu verankern.

**Abb. 11** Bereiche thermischer Behaglichkeit für Menschen und Kunstwerke in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur und relativer Luftfeuchte. Zum Vergleich: Schmalster Klimakorridor der Raumklimakategorie AA nach ASHRAE (2007).  
Quelle: Volker Huckemann

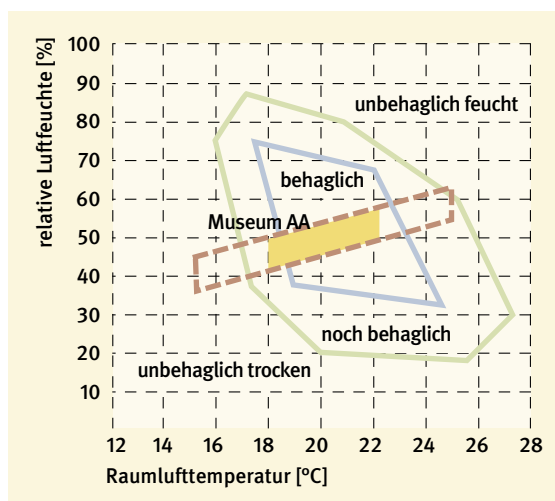






Abb. 12 Klimatisch bedingte Farbablösung an einem restaurierten Altar. Quelle: Fraunhofer IBP / Kristina Holl

### Das erforderliche Raumklima hinterfragen

Organisationen, die sich mit dem Raumklima von Ausstellungen auseinandergesetzt haben, wie ICOM, ICCROM oder ASHRAE, definieren Richtwerte für optimale Bedingungen. Seit dem Beginn der 1960er Jahre bemühen sich nahezu alle Museen und Sammlungen mit oft sehr aufwendigen anlagentechnischen Lösungen, diese Werte einzuhalten. In Zeiten, in denen Energie und Ressourcen relativ unbegrenzt zur Verfügung standen, galt das vollklimatisierte Museum als der optimale und anzustrebende Zustand. Mit steigenden Energiepreisen, welche sich direkt auf die Betriebs- und Unterhaltskosten für Museen auswirken, bei gleichzeitiger Kürzung finanzieller Mittel wuchs die Kritik an den hochtechnisierten Lösungen. Die derzeit vor allem aufgrund von Leihverträgen international geforderten raumklimatischen Werte von  $50 \pm 5\%$  r. F. und  $20\text{ °C}$  führen zu immensen Energiekosten gerade für große Häuser. Seit dem Beginn der 1990er Jahre entwickelte sich deshalb eine etwas differenziertere Betrachtungsweise der Sollwerte für Temperatur und relative Luftfeuchte. Ursprünglich waren diese unverbindlich und sollten lediglich als Orientierung gelten. Ein Innenraumklima nach Vorgaben der Präventiven Konservierung basiert auf einem guten Sonnen- und Wärmeschutz sowie der Kontrolle des Luftwechsels und der relativen Feuchte.

### Jedes Material reagiert anders

Das Hinterfragen der strikten Richtwerte führt dazu, dass sich Wissenschaftler erneut mit den Auswirkungen des Klimas auf das Material der Kunstwerke beschäftigen. Verschiedene Materialien (Metall, Stein, Leinwand, Öl, Holz, Leder, Papier, Elfenbein etc.) reagieren unterschiedlich auf Temperatur- und Feuchteschwankungen. Sollwertbereiche müssten also materialspezifisch definiert werden. Dabei kristallisieren sich neue Probleme heraus: Zum einen sind bereits einzelne Kunstwerke häufig komplex aufgebaute Materialverbünde. Zum anderen handelt es sich bei musealen Sammlungen und Sammlungskomplexen meist um Kunstwerke verschiedenster Materialkategorien unterschiedlichsten Erhaltungszustandes. Jede Klimasollwertvorgabe für gemischte Sammlungen ist daher ein Kompromiss zwischen den Anforderungen der einzelnen Kunstwerke und Materialgruppen und

## Raumklima in den untersuchten Museen

In mehreren der im Forschungsprojekt untersuchten Häuser wurden Messungen zum Raumklima durchgeführt. Diese vermitteln einen Eindruck über die Bandbreite der realen klimatischen Bedingungen in Museen. Die gemessenen Werte für relative Luftfeuchte und Temperatur liegen häufig weit jenseits der formulierten Vorgaben und der hohen Ansprüche.

Abb. 13 zeigt deutlich den Unterschied der relativen Luftfeuchte zwischen Museen mit umfangreicher Klimatechnik und aufwendigem Facility Management (A und B) und Gebäuden, die nur teilweise über Klimatechnik verfügen (E und F). Fehlt eine Befeuchtung, werden in einzelnen Häusern im Winter Werte unter  $30\%$  bzw. sogar unter  $20\%$  r. F. erreicht. Das unterschreitet alle Empfehlungen zum Raumklima in Museen deutlich.

Auch bei der Innenraumtemperatur zeigen sich erhebliche Unterschiede. Mit Hinblick auf den Komfort der Besucher wird im Allgemeinen ein Bereich zwischen  $20\text{ °C}$  und  $24\text{ °C}$  angestrebt, mit einem saisonalen Gleiten der Temperatur. Der Blick auf die Realität zeigt, dass dieser Bereich häufig verlassen wird, sei es wegen fehlendem oder mangelhaftem sommerlichen Wärmeschutz (Haus G) oder weil in einigen Häusern auch tiefere Temperaturen zugelassen sind. Das kann konservatorisch durchaus sinnvoll sein, da chemische und biologische Verfallsprozesse dann deutlich langsamer ablaufen.

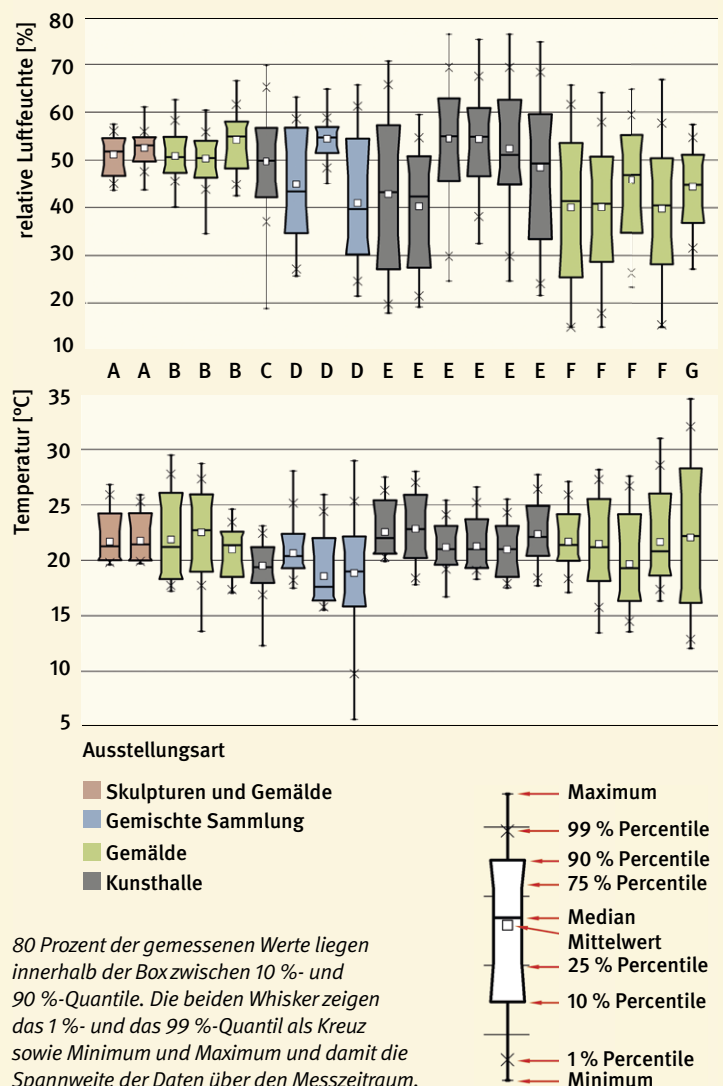


Abb. 13 Vergleich der relativen Luftfeuchte und der Temperatur in verschiedenen Räumen in sieben Museen (A – G) jeweils über den Zeitraum eines Jahres. Quelle: Fraunhofer IBP

**Materialien reagieren unterschiedlich auf Licht**

Kategorie	Materialien	max. Beleuchtungsstärke
Besonders lichtempfindliche Objekte	Pergament und Papier, Druckgraphik und Zeichnungen, Manuskripte, Aquarelle, Briefmarken, historische und frühe Farbphotographien, naturhistorische und ethnographische Ausstellungsstücke, einschließlich botanischer Proben, Pelze, Federn und Schmetterlinge.	50 lux
Lichtempfindliche Objekte	Staffeleigemälde in Öl und Tempera, gefasste Holzskulpturen, Horn, Knochen und Elfenbein, europäische und ostasiatische Lackarbeiten.	150 lux
Wenig lichtempfindliche Objekte	Glas, farbige Emailarbeiten, Keramikglasuren und Edelsteine	300 lux
Lichtunempfindliche Objekte	Metalle, Stein und unglasierte Keramik	Keine Vorgabe

Abb. 14 Vorgaben zur maximalen Beleuchtungsstärke. Quelle: Begrenzung des Schadens an Museumsobjekten durch optische Strahlung. CIE 157 (2004). Hrsg.: Internationale Beleuchtungskommission (CIE), Wien

kann nicht immer die Optimallösung für das einzelne Kunstwerk sein. Die Ausstellung in Einzelvitriolen bietet dafür eine Alternative.

### Kurzzeitige Klimaschwankungen vermeiden

Ein relativ neuer Ansatz bei der Klimatisierung von Museumsräumen und Depots ist es, nicht mehr ganzjährig ein konstantes Klima zu halten. Bei einem saisonal gleichenden Klima werden die jahreszeitlichen Schwankungen in einem gewissen Maß akzeptiert. Wenn nach wie vor kurzzeitige Schwankungen strikt vermieden werden, schadet das den Objekten nicht. Schon frühere Lösungen mit einem minimalen Einsatz an Gebäudetechnik haben ein recht stabiles Innenraumklima geschaffen, welches den Erhalt der Kunstwerke bis in die heutige Zeit ermöglichte.

### Strahlung schädigt Kunstwerke

Für die Konservierung ist neben dem Raumklima die Strahlungsbelastung wesentlich. Eine Sehaufgabe kann besser bewältigt werden, wenn mehr Licht zur Verfügung steht (DIN 5035). Dies steht in direktem Widerspruch zum angestrebten Schutz der Ausstellungsgüter.

In der Praxis gibt es seit vielen Jahren Grenzwerte für die Belastung der Ausstellungsobjekte mit Licht im weitesten Sinne. Diese in lux angegebenen Werte stehen jedoch in der Regel stellvertretend für eine Begrenzung des Strahlungseintrages und somit als Indikator der Exponiertheit. In Wirklichkeit handelt es sich bei der Einheit lux jedoch um eine lichttechnische Bewertungsgröße für den an das menschliche Auge angenäherten sichtbaren Bereich des Lichtes (380 nm bis 750 nm). Aus konservatorischer Sicht ist aber vor allem die Belastung mit kurzwelliger UV-Strahlung (< 380 nm) zu begrenzen. Da beispielsweise der UV-Bereich von 280 nm (UV-B) bis 380 nm (UV-A) reicht, müssten die Strahlungsintensitäten in diesen Wellenlängenbereichen maßgebend sein für die Bewertung des UV-Schutzes. Dieser Wellenlängenbereich wird jedoch im lux-Wert gar nicht berücksichtigt. Die Diskussion wird zudem erschwert durch die Klassifizierung des UV-Bereiches in anderen Ländern – so wird zum Beispiel in den USA der sich anschließende kurzwellige Bereich von 380 – 400 nm ebenfalls als UV-Bereich definiert, und es ist leicht einzusehen, dass im dichtbenachbarten, kurzwelligen Bereich jenseits der deutschen Normierung noch Schädigungspotenzial existiert. Gleichzeitig ist die Schädigung, die durch weitere Wellenlängen (etwa den sichtbaren Bereich) an den Objekten ausgelöst wird, heute noch Forschungsgegenstand.

Abb. 15 Im Vergleich von Buchrücken und Buchdeckel kann man deutlich erkennen, wie sich die Farbe verändert, wenn sie dem Licht ausgesetzt ist. Quelle: Germanisches Nationalmuseum Nürnberg / Frank Heydecke



### Beleuchtung: Stärke und Dauer entscheidend

In der aktuellen Diskussion zum Lichtschutz liegt das Hauptaugenmerk nicht mehr auf der maximalen Beleuchtungsstärke in lux, sondern auf der Dauer der Exposition. 1 Stunde bei 200 lux hat bei identischer Lichtzusammensetzung das gleiche Schädigungspotenzial wie 20 Stunden bei 10 lux. In speziellen Bereichen wie Fotografie-Präsentationen ist dies seit Jahren bekannt, deshalb verbleiben die Exponate nur kurze Zeit in den Ausstellungen. Die Prozesse sind in veränderten Größenordnungen problemlos auf andere Objekttypen übertragbar.

Diese physikalischen Grundlagen gelten für Kunst- und Tageslicht in gleicher Weise. Sie bilden somit die Ausgangsgröße für den Entwurf von Kunstlichtkonzepten ebenso wie für die Konzeption von Fenster- und Oberlichtsituationen.

## Aus der Praxis

### Kunsthalle Mannheim – Wärmeschutz statt Klimatechnik

Von 2009 bis 2013 wurde das Hauptgebäude der Kunsthalle Mannheim saniert. Ein Ziel war es, den Jugendstilbau möglichst originalgetreu zu erhalten beziehungsweise wiederherzustellen. Die behutsamen baulichen Maßnahmen schafften es, den Energiebedarf des Gebäudes so weit zu senken, dass die Gebäudetechnik minimiert werden konnte. Der Primärenergiebedarf sank durch die Sanierung um ca. 60 Prozent.

Wo es der Denkmalschutz zuließ, wurde der Wärmeschutz der Gebäudehülle verbessert. Großes Potenzial boten das Dach, die Bodenplatte sowie die Verglasung. Da eine Außendämmung der Natursteinfassade nicht erwünscht war, konzipierten die Planer eine spezielle Innendämmung: In die Calciumsilikatplatten sind Rohrleitungen zur Wandflächentemperierung eingelassen. Die Beheizung und Kühlung der Räume, die vorher über die Zuluft erfolgte, wird künftig zum großen Teil durch die Flächentemperierung in Fußböden, Wänden oder Decken geleistet. So muss sich der Luftwechsel der neuen Zu- und Abluftanlage nur nach den hygienischen und konservatorischen Anforderungen richten und kann deutlich reduziert werden. Um die historischen Fenster zu erhalten, wurde auf der Innenseite eine zweite Fensterebene mit Wärmeschutzverglasung vorgesehen. Blend-, UV- und Einbruchschutz sind in den Glasaufbau der neuen Fenster integriert.

Ursprünglich brachten einfach verglaste Oberlichter über eine transparente Zwischendecke Licht in die Ausstellungsräume des Obergeschosses. Diese Belichtung war jedoch durch Holzverschalungen verbaut worden, da man das Klima in diesen Räumen nicht in den Griff bekam. Durch eine Spiegelrasterverglasung mit einem U-Wert von 1,3 W/m<sup>2</sup>K ließen sich die Tageslichtdecken reaktivieren. Diese lassen nun diffuses Licht in die Säle des Obergeschosses, blenden einen Großteil des Energieeintrages über die Sonne aus und tragen so den widersprüchlichen Anforderungen von Tageslichtnutzung und konservatorischem Lichtschutz Rechnung.



**Abb. 16** Sanierung der Kunsthalle Mannheim: Die Wandheizung spart im Mittelbereich die Hängezone für Bilder aus.  
Quelle: Kunsthalle Mannheim / Cem Yüçetas 2014

## En passant

**Abb. 17** Seit November 2014 beleuchten 7.000 LEDs die Sixtinische Kapelle mit einer Farbtemperatur zwischen 3.000 und 4.000 Kelvin.  
Quelle: Governatorato dello Stato della Città del Vaticano – Direzione dei Musei



### Die Sixtinische Kapelle in neuem Licht

Auch die Instandhaltung von Kirchen steht im Spannungsfeld zwischen konservatorischen Aspekten, Besucheranforderungen und Energieeffizienz. Berühmtes Beispiel: die Sixtinische Kapelle in Rom. Vor über 500 Jahren verschönerte Michelangelo sie mit seinen weltberühmten Fresken. Jahrhundertlang waren die Malereien dann nur bei Tageslicht oder bei Kerzenschein zu besichtigen. Inzwischen sind Kerzen und Fackeln aufgrund der Rußentwicklung tabu. In den 1980er Jahren wurde eine künstliche Beleuchtung mit Halogen-Strahlern installiert – allerdings nur von außen. Um Schäden durch UV-Strahlung zu minimieren, reduzieren halbtransparente Kunststoffverkleidungen das durch die zwölf Fenster eindringende Licht. Die Malereien selbst lagen deshalb meistens im Halbdunkel.

LED-Leuchten bilden jetzt die ursprüngliche, natürliche Belichtung nach und erschließen die Farbvielfalt der Fresken. Weil das Spektrum der Leuchtdioden kaum ultraviolette und infrarote Strahlungsanteile enthält, sind die neuen Leuchten direkt in der Kapelle angebracht. Das Licht kommt dann aus derselben Richtung wie vorher das Tageslicht. Die neue Installation erlaubt eine vielfach höhere Beleuchtungsstärke und entwickelt trotzdem wenig Wärme. Zudem wird sie laut der Planung im Normalbetrieb 60 Prozent weniger Strom verbrauchen als die vorher installierte Variante.

Die Umrüstung erfolgte im laufenden Betrieb. Gleichzeitig wird auch die vorhandene Klimaanlage modernisiert, die den Anforderungen von bis zu 20.000 Besuchern täglich nicht mehr gewachsen ist.

weitere Infos:

[www.led4art.eu](http://www.led4art.eu)

**Abb. 18** Schon die aufwendige Restaurierung zwischen 1980 und 1994 zeigte, dass Michelangelos Fresken nicht in dumpfen Sepiatönen gemalt waren, wie ursprünglich angenommen.  
Quelle: Sistine Chapel Daniel beforandafter“ von Michelangelo – Webgallery of art, Bartz and König, „Michelangelo“. Lizenziert unter Public domain über Wikimedia Commons.



**Abb. 19** Blick in die Dachkonstruktion über einer Tageslichtdecke. Die neue Spiegelrasterverglasung lässt nur diffuses Licht in die Ausstellungsräume und schützt vor Überhitzung. Quelle: Kunsthalle Mannheim / Cem Yüctas 2014



## Den Wärmeschutz verbessern

*Ein guter Wärmeschutz bei Museen verringert nicht nur die Energieverluste, sondern bewirkt auch eine hohe thermische Trägheit und somit ein konstanteres Innenraumklima. Die energetische Qualität der Gebäudehülle entscheidet also darüber, wie viel technischer Aufwand notwendig ist, um das Gebäude innerhalb der Nutzungsanforderungen zu betreiben.*

**Abb. 20** Deutsches Schiffahrtsmuseum Bremerhaven (Sanierungsvorschlag): Durch den Einsatz von Vakuumisolierpaneelen am Dachrand könnte die Ansicht trotz des erhöhten Dämmpaketes im Dach erhalten werden. Quelle: Wiedenroth und Siebert Architekten

Die Bausubstanz von Museen entspricht im Wesentlichen ihren Baualtersklassen. Auch Museumsgebäude wurden offensichtlich nicht in verbesserter Qualität gebaut. Für Außenbauteile waren U-Werte größer als  $1 \text{ W/m}^2\text{K}$  durchaus gebräuchlich und reichten nach den damaligen Erkenntnissen zur Wahrung (minimaler) hygienischer Bedingungen aus.

### Wärmeschutz stabilisiert Raumklima

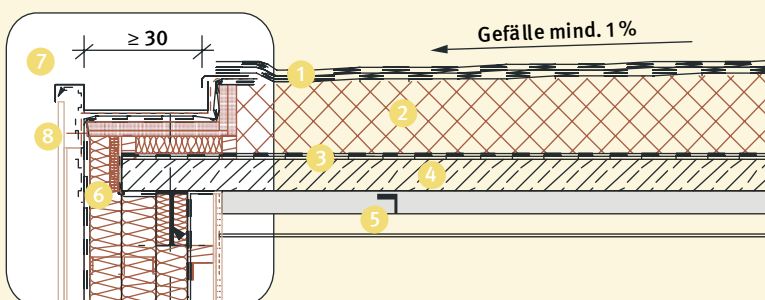
Heute werden für die gleichen Außenbauteile in Sanierungen aus energetischer Sicht U-Werte kleiner  $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$  gefordert. Übertragen auf die Oberflächentemperatur kann das einen Temperaturunterschied von mehreren Grad aus-

machen. Ein besserer Wärmeschutz eröffnet also einen immensen Spielraum für die Objektanordnung. Hohe Dämmwerte der Fassade und hygrysch aktive Materialien auf der Innenseite gehen einher mit den konservatorisch geforderten geringen Schwankungen der Raumtemperatur und –feuchte und helfen außerdem, Schimmelbildung zu vermeiden. Alle Außenbauteile auf Neubauniveau zu ertüchtigen, wird jedoch aus Gründen des Denkmalschutzes, der Bauteilanschlüsse und nicht zuletzt auch aus finanziellen Gründen nicht in Frage kommen. Die Maßnahmen müssen auch im Verhältnis zu den erzielbaren Einsparungen bewertet werden.

Das größte Verbesserungspotenzial beim Wärmeschutz bieten unter denkmalpflegerischen Gesichtspunkten die Türen, Fenster, Steildächer / Oberlichtdecken und obersten Geschossdecken. Prinzipiell sollten zunächst Bauteile gedämmt werden, die keinen großen Einfluss auf die Erscheinung des Gebäudes haben, wie etwa die Bodenplatte oder das Dach. Je nach Bestand kommen neben der ohnehin vorzusehenden Zwischensparrendämmung konventionelle Auf- oder Untersparrendämmungen in Frage. Erst wenn diese Möglichkeiten ausgeschöpft sind, sollte eine Dämmung der meist prägenden Außenfassade in Betracht gezogen werden.

### Bei der Kellerdämmung Anschlusspunkte beachten

In den im Rahmen des Forschungsvorhabens untersuchten Museumsbauten finden sich im Keller neben den üblichen technischen Einrichtungen oftmals hochwertige Nutzungen wie Archiv- oder Lagerräume. Konzeptionell spielen hier die hygrysch Verhältnisse und eine mög-



- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| 1 Bitumen-Dachbahn, 2-lagig      | 2 extrud. Polystyrol-Hartschaumplatten |
| 3 Dampfsperre                    | 4 Spannbeton-Hohlplatten, 8 cm         |
| 5 Dachverband L 50 x 5 · IPE 100 | 6 Vakuumisolierpaneel                  |
| 7 Edelstahlrinne                 | 8 OSB-Platten 2 x 18 mm                |



**Abb. 21** Historische Fensterkonstruktion mit Vorrichtung zum Auffangen und Ableiten von Tauwasser.  
Quelle: Volker Huckemann



**Abb. 22** Nach historischem Vorbild rekonstruiertes Fenster mit besserem Wärmeschutz.  
Quelle: Volker Huckemann

lichst konstante Feuchte eine wichtigere Rolle als die Raumtemperaturen. Insofern ist die Lage der gedämmten Hüllkonstruktion sorgfältig und in Abstimmung mit dem Nutzer festzulegen. Bei der Dämmung des Bodens sind Anschlusspunkte wie Treppenmaße oder Sturzhöhen zu beachten, die eine Dämmung in diesen Bereichen einschränken. Von Vorteil ist, dass im historischen Bestand die Bodenplatten oft zwischen den aufgehenden Mauern liegen. Wird dann ein Bereich neu konstruiert, so bietet sich die Möglichkeit zu einer umfassenden Dämmung. An anderen Stellen ermöglichen hochdämmende Materialien schlanke Aufbauten.

### Außenwanddämmung mit Denkmalschutz abstimmen

Für die Wände bzw. Außenfassaden muss in Absprache mit dem Denkmalschutz ein individuelles Dämmkonzept entwickelt werden. Meist geht der Erhalt der originalen Oberflächen innen und außen und der Dimension der Architektur bei historisch bedeutenden Bauten vor. Zum Ausgleich können Maßnahmen an anderen Gebäudeteilen wie Bodenplatte oder Geschoßdecken sowie technisch optimierte Anlagen oder die Nutzung regenerativer Energien dienen. Stets sind jedoch beim Verzicht auf eine Dämmung die Aspekte stabiler Oberflächentemperaturen und des präventiven Objektschutzes mit abzuwägen.

### Fenster: ein multifunktionales Bauteil

Besondere Aufmerksamkeit bei der Museumssanierung erfordern sämtliche transparente Flächen. Sie sollen u. a. folgende Anforderungen erfüllen:

- minimaler Eingriff in die Originalsubstanz,
- optimierter Wärmeschutz,
- Luftdichtheit,
- i. d. R. hohe Schalldämmung,
- Einbruchhemmung,
- Bedienbarkeit nur durch das Personal,
- Reduktion der einfallenden Strahlung,
- Steuerung des Lichteinfallendes,
- hohe Farbwiedergabe,
- geringe Wartungs-/Folgekosten.

Dies gilt in gleicher Weise für die normalen Fenstersituationen wie für die in Museen häufig anzutreffenden Oberlichtsäle. In der Praxis führt dieses komplexe Anforderungsprofil eigentlich in jedem Museum zu Komplikationen im Planungs- oder Ausführungsprozess. Entsprechend ist zu empfehlen, sich dieses Themas möglichst früh anzunehmen, Experten wie Lichtplaner und Bauphysiker, aber auch den kompetenten Nutzer selbst einzubinden und den Kostenrahmen entsprechend zu gestalten.

### Herausforderung Oberlichtdecken

Viele Museen, die Mitte des 19. Jahrhunderts erbaut wurden, besitzen innen liegende Räume, die ausschließlich über Oberlichtdecken natürlich belichtet wurden. Diese Decken dienten ursprünglich auch zur Entlüftung der Räume und Gebäude. Undichtigkeiten oder Lüftungsöffnungen waren planmäßig vorhanden. Aus energetischer Sicht stellen diese heute Leckagen dar, durch die unkontrolliert Wärme verloren geht. Zudem bestehen die Verglasungen der Lichtdecke sowie des Daches aus Einscheibenverglasung. Der Wärmedurchgang ist dementsprechend sehr hoch, die innenseitigen Oberflächentemperaturen sind niedrig. Daher bereitet die baukonstruktive Ableitung von Tauwasser im Oberlichtdachraum große Probleme, Tauwasserschäden sind oft zu beobachten. Da die historischen Dachkonstruktionen nach heutigen statischen Regeln bereits bis zur Belastungsgrenze ausgereizt sind, ist eine Erhöhung des Flächengewichtes oftmals nicht ohne Weiteres möglich.

Grundsätzlich bestehen zwei Möglichkeiten, solche Oberlichtdecken zu sanieren: Eine ist die Planung der wärmedämmten Hülle in der Ebene des Steildaches. Anforderungen des Brandschutzes und der Entrauchung führten in den untersuchten Museen durchgängig zu der Entscheidung für diese Variante, ebenso durchgängig musste die Stahlkonstruktion ertüchtigt oder sogar in besserer Qualität erneuert werden. Lassen sich die Anforderungen des Brandschutzes anderweitig lösen, kann alternativ die Ebene des Staubsdaches und somit die oberste Geschoßdecke als Abschluss der thermischen Hülle dienen. Das hat den Vorteil, dass der gesamte Dachraum thermisch entkoppelt wird und für die Steildachbauteile geringere Anforderungen gelten.

**Abb. 23** Vom Besucher-  
aufkommen und der  
Empfindlichkeit der  
Ausstellungsstücke  
hängt ab, welcher  
Luftwechsel für den  
Museumsbetrieb  
notwendig ist.  
Quelle: Kunsthalle Mann-  
heim / Cem Yüçetas 2014



## Luft und Licht

*Die Museumsgebäude aus dem 19. Jahrhundert nutzen in erster Linie natürliche Belüftung und Tageslicht. Klimatechnik und Kunstlicht, wie bei Museumsneubauten Standard, wurden häufig später nachgerüstet. Möchte man die konservatorischen Anforderungen energieeffizient erfüllen, ist auf die Gebäudetechnik besonderes Augenmerk zu legen.*

Die Lüftung in Museen hat mehrere Aufgaben zu erfüllen: Frischluft für die Besucher und Mitarbeiter zu liefern, Emissionen abzuführen (z. B. Kohlendioxid, Wasserdampf, Ausdünstungen des Mobiliars), gleichzeitig Staubeinträge zu vermeiden und die Feuchte zu regulieren. Von der Stabilität des Innenraumklimas hängt es ab, ob für ein Museum ein freies Lüftungssystem ausreicht oder ob eine raumlufttechnische Anlage erforderlich ist, um das angestrebte Raumklima zu erreichen.

### Anforderungen an die Luftqualität

Als gebräuchlicher Indikator, um die durch den Menschen verursachte Verunreinigung der Innenraumluft zu bewerten, dient die CO<sub>2</sub>-Konzentration als sogenannter Pilotstoff. Der von Max Josef Pettenkofer (1818 – 1901) definierte Richtwert 0,1 Vol. % bzw. 1.000 ppm CO<sub>2</sub> dient heute noch als Kriterium für die Luftqualität. Er wird in DIN 1946-2 (1994) direkt, und in der DIN EN 13779 (2007) mit einem Wert von ca. 800 – 1.400 ppm aufgegriffen. Im ersten Ansatz kann für großvolumige Ausstellungsräume mit geringem Publikumsverkehr das Einhalten dieser Werte unterstellt werden. Ein besonderes Augenmerk verdienen jedoch Bereiche mit Wechselausstellungen, hohem Publikumsverkehr/-andrang und die Räume der Museumspädagogik, die als Lernort eher wie ein Klassenzimmer zu werten sind.

### Der erforderliche Luftwechsel

Untersuchungen zeigen, dass es sowohl bei der CO<sub>2</sub>-Regulierung als auch bei der Raumdurchlüftung generell

Verbesserungs- und Einsparpotenzial in den Bestandsgebäuden gibt. Um das Raumklima stabil zu halten, ist ein möglichst geringer Außenluftwechsel anzustreben. Der Mindestvolumenstrom ist aus energetischer Sicht nach den Schadstofflasten zu bemessen und lässt sich über eine Konzentrationsrechnung ermitteln. Welcher Luftwechsel für den laufenden Museumsbetrieb mindestens notwendig ist, hängt vom Besucheraufkommen ab (notwendiger Außenluftvolumenstrom pro Person und Stunde von 20 – 30 m<sup>3</sup>). In der Regel genügt aus hygienischer Sicht im Ausstellungsbereich ein maximal 0,5-facher Luftwechsel pro Stunde. Ist in Schließzeiten ohne Besucher keine Frischluftzufuhr notwendig, kann die Zuluft im Umluftbetrieb konditioniert werden (Luftwechselraten < 0,1 pro Stunde). Das erfordert wesentlich weniger Energieeinsatz. Bei guter Klimastabilität, geringem Schadstoffgehalt und zusätzlicher statischer Beheizung kann eine mechanische Lüftung dann auch ganz entfallen. Bei hohen klimatischen Anforderungen bestimmt die Be- und Entfeuchtung der Räume den benötigten Luftvolumenstrom.

### Heiz- und Kühlfunktion von Lüftung trennen

Konditionierende Lüftungsanlagen, die den Raum allein über die Luft heizen und befeuchten, können einen bis zu 4,5-fachen Luftwechsel erfordern. Große Kanalquerschnitte und hohe Kosten sind die Folge. Wärme- und Feuchterückgewinnung oder Umluftbeimischungen in der Klimaanlage können den notwendigen Außenluftanteil reduzieren. Soweit möglich weicht man heute von der Strategie ab, Ausstellungsräume ausschließlich über Lüftungs- bzw. Klimaanlage zu konditionieren und er-

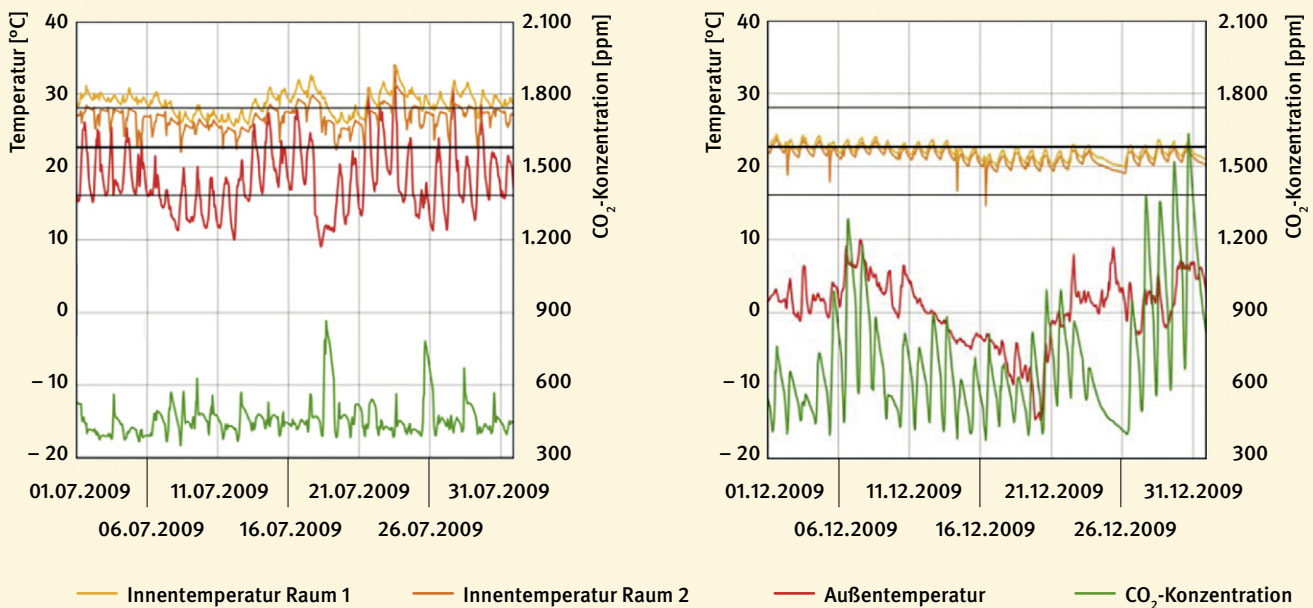


Abb. 24 Messungen in einem Ausstellungsbereich des Deutschen Museums München vor der Sanierung: Bei hohem Besucheraufkommen in der Heizperiode (z. B. Ferien) überschreitet die CO<sub>2</sub>-Konzentration 1.400 ppm teils erheblich. Quelle: Technische Universität München / Michaela Hoppe

gänzt die Gebäudetechnik mit Wand- oder Flächentemperiersystemen, die die Grundlasten des Heiz- und Kühlbedarfes abdecken.

Für die Nachrüstung in Museumsbauten sind dezentrale Luft-zu-Luft-Systeme prädestiniert. Häufig ist es möglich, Frischluft zur zirkulierenden Luft hinzuzufügen. Auf diese Weise kann die Luftwechselrate auf ein für die Gesundheit und Luftqualität erforderliches Minimum verringert werden.

### Ventilatoren unterstützen freie Lüftung

Ob sich ein Museum auch natürlich belüften lässt, hängt von der Zahl der Besucher ab. Durch den Verzicht auf eine Lüftungsanlage können neben den Kosten für die Investition in Technik und Kanäle auch die Betriebskosten (Ventilatorstrom, Wartung usw.) eingespart werden. Jedoch ist die freie Lüftung an die Antriebskräfte Winddruck und thermischer Auftrieb gekoppelt. Sie benötigt entsprechende Öffnungsquerschnitte an den richtigen Stellen, um den erforderlichen Luftaustausch zu gewährleisten. Da diese in der Gebäudehülle eines Museums aufgrund von Brandschutz und Einbruchssicherung eher nicht anzutreffen sind, kann die freie Lüftung im Einzelfall auch von Ventilatoren unterstützt werden.

### Klimaanlagen flexibel regeln

Weniger klimastabile Gebäude oder Gebäude mit hohen inneren Lastwechseln benötigen Teil- oder Vollklimaanlagen. Als Energiequelle kommen heute auch regenerative Energien oder Nah- und Fernwärme- und -kältenetze in Betracht. Prinzipiell gilt für den Betrieb einer Klimaanlage, dass der Energiebedarf und damit verbunden die Betriebskosten steigen, je weiter die Sollwerte der



## Museen ohne Klimatechnik

*Gebäude ohne klimatechnische Anlagen, zum Beispiel Burgen oder Schlösser, werden durch Fenster und Fugen natürlich belüftet. Solche massiven Gebäude, die nur beheizt werden, können recht stabile Innenraumtemperaturen erreichen. Hygrisch offene Oberflächen der Wände, Decken und Fußböden (z. B. Tapeten, unveriegelte Holzoberflächen, Kalkzementputz) puffern Feuchtespitzen ab. Eine Kombination aus thermisch trägem, dichtem Gebäude und hygrisch funktionalen Wandoberflächen bietet eine gute Voraussetzung für einen geringen Einsatz von Anlagentechnik. Bei größeren Besucherzahlen und hohen Anforderungen an die Klimakonstanz sind dann jedoch Einschränkungen notwendig, wie z. B. eine Begrenzung der Personenzahl oder der Öffnungszeiten, weil Schadstoffe oder Feuchtelasten nicht zielgerichtet abgeführt werden können.*



## Eigene Regeln für Depots

*Meist wird nur ein kleiner Teil der Sammlung in den Ausstellungsräumen der Öffentlichkeit präsentiert. Der Großteil der Kunstwerke lagert in hauseigenen Depots. Diese können prinzipiell ohne großen Technikaufwand ein stabiles Raumklima gewährleisten, da es sich bei Depotgebäuden oder -räumen um reine Funktionsbauten handelt, die weder repräsentativen Ansprüchen genügen, noch der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden müssen. Aufgrund der geringen Anwesenheit von Personen steht dort beim Luftwechsel der Abtransport von Schadstoffen (z. B. Holzschutzmittel aus Möbeln) im Vordergrund.*

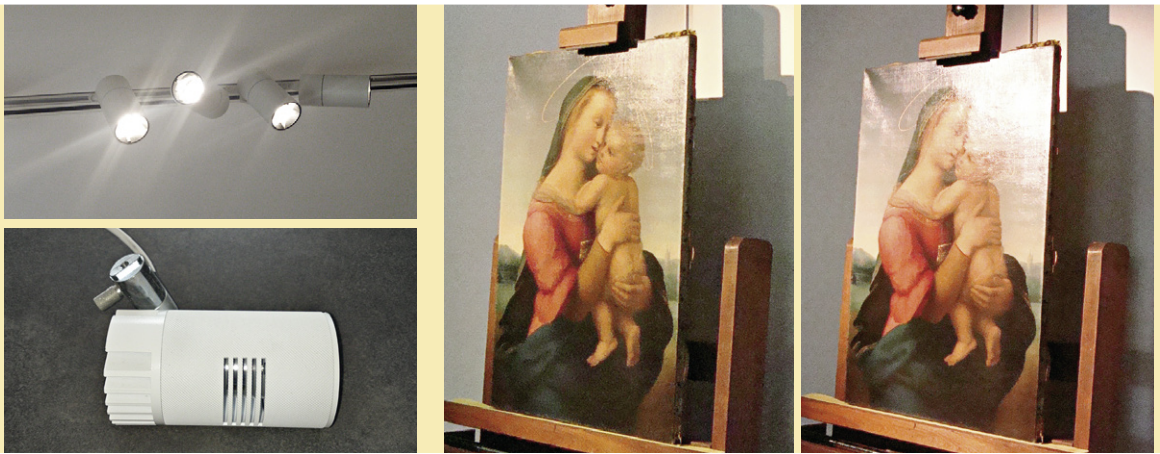


Abb. 25 Eingesetzte LED-Technik in der Kunsthalle Mannheim (links) und Vergleich der Beleuchtung mit 2 LED-Strahlern (2.800 K und 4.000 K; Mitte) sowie mit Halogenstrahler und Leuchtstoffröhre (2.700 K und 4.000K; rechts) Quelle: Volker Huckemann

Zuluft von den Jahresmittelwerten der Außenluft entfernt liegen. Ein wesentlicher Ansatz bei der Klimatisierung von Museumsräumen ist deshalb die Abkehr von einem ganzjährig konstanten hin zu einem saisonal gleitenden Klima. Gegebenenfalls lassen sich Klimaanlagekomponenten während der Schließzeiten abschalten und die Klimastabilität der Räume nutzen. Dafür ist eine Regelung Voraussetzung, die über eine Leittechnik mit den Soll- und Istwerten der Räume und mit der Heizungsanlage verknüpft ist. Ist eine Vollklimatisierung mit einer stationären Beheizung (Heizkörper mit Thermostatventilen oder Flächenheizungen) gekoppelt, ist eine feine Abstimmung der beiden Systeme notwendig, damit sie sich ergänzen und nicht gegeneinander regeln.

### Die Ausstellung ins rechte Licht rücken

Die Belichtung ist im Museum eine zentrale Frage, da sie unmittelbar mit der Aufgabe des Gebäudes, nämlich der Betrachtung von Objekten, zusammenhängt. Ähnlich wie beim Klima widersprechen hierbei die visuellen Anforderungen den Vorgaben der Präventiven Konservierung, die Strahlungsbelastung der Objekte zu begrenzen. Gerade in den vergangenen Jahrzehnten setzte man hierzu verstärkt auf Kunstlicht.

### Tageslicht nutzen

Moderne Gläser und Filterstrukturen ermöglichen es heute aber grundsätzlich wieder, Tageslicht in Museen zu bringen und dadurch die Laufzeiten oder die Intensität des Kunstlichtes zu reduzieren. Inwieweit sich in einem Museum Tageslicht nutzen lässt, hängt stark von der Art

der Ausstellungsgüter sowie vom Ausstellungskonzept ab. Niedrige g-Werte der Verglasungen und Filter, die den Sonneneintrag und die Strahlung auf den visuellen Bereich begrenzen, helfen auch, das Raumklima in definierten Grenzen zu halten. Die Kombination mit einer kompletten Verdunklung außerhalb der Öffnungszeiten steigert dieses Potenzial und senkt die Strahlungsbelastung für die Objekte.

Weniger Licht und weniger Strahlung bedeuten weniger notwendige Kühlleistung, was sich sowohl in Investitions- und Betriebskosten als auch raumklimatisch in einer größeren Betriebssicherheit auswirken kann. Große Glasflächen sind bei hohen klimatischen Anforderungen der Exponate allerdings zu hinterfragen oder zumindest im Vorfeld wissenschaftlich zu validieren.

### Das passende Leuchtmittel finden

Reine Kunstlichtlösungen sind leichter zu planen und zu steuern und lassen in vielen Fällen eine gezieltere Inszenierung der Objekte zu als die Einbeziehung von Tageslicht. Wesentliches Kriterium bei der Auswahl eines Leuchtmittels im Museum ist der Lichtschutz, an zweiter Stelle kommen die Vorgaben der visuellen Behaglichkeit.

Um die Belastung der Objekte zu minimieren, ist es hilfreich, das Strahlungsspektrum auf den Anteil des sichtbaren Lichtes zu reduzieren und die nicht sichtbaren Anteile so weit wie möglich herauszufiltern.

Während die Glühlampe oder der Niedervolt-Halogenstrahler das Maximum ihrer Strahlung im Infrarot-Bereich abgeben und somit nur eine geringe relative Schädigung

Abb. 26 Quelle: Philips / Thorsten Cramer

### Sichtbare und unsichtbare Strahlungsanteile verschiedener Leuchtmittel

	Glühlampe (100 W)	Leuchtstofflampe	Halogen-Metaldampflampe	LED (weiß)
Sichtbares Licht	5 %	21 %	27 %	15 – 45 %
Infrarot-Anteil	83 %	37 %	17 %	0 % *
UV-Anteil	0 %	4 %	19 %	0 %

\* keine Wärmeabgabe in der Lichtverteilung, aber rückwärtig am Diodenkörper bzw. einem notwendigen Transformator





## LEDs (Licht-emittierende Dioden) kommen ins Museum

Die LED-Technik entwickelt sich mit rasanter Geschwindigkeit. Sie wird heute schon vielfach in Ausstellungskonzepten und Präsentationsmöbeln genutzt. Die Lichtfarbe lässt sich inzwischen problemlos regulieren. Zur spektralen Verteilung verschiedener LEDs erarbeitet aktuell das Rahtgen-Labor der Stiftung Preußischer Kulturbesitz, Berlin, in Kooperation mit dem Germanischen Nationalmuseum Nürnberg eine umfassende Datenbank. International kann man sich über [www.ssl.energy.gov/caliper.html](http://www.ssl.energy.gov/caliper.html) informieren, allerdings werden hier überwiegend amerikanische Produkte vorgestellt.

### Vorteile:

- Relativ geringer Strombedarf pro Lumen
- Vermiedene Kühllasten
- Geringer UV-Anteil bei ausgewählten Typen
- Breite Einsatzmöglichkeiten (dimmbar, Konstanz in der Lichtfarbe etc.)
- Angeblich hohe Lebensdauer

### Nachteile:

- Große Anzahl an LEDs erforderlich, um definierte Beleuchtungsstärken zu erreichen
- Wärmeabgabe an Halbleiterkristall, Steuerung, Trafos usw.
- Farbwiedergabe
- Vergleichsweise höhere Investitionskosten
- Keine Langzeit-Erfahrungen



Abb. 27 Spezielle Leuchten ermöglichen durch die Kombination verschiedenfarbiger LEDs eine genaue Abstimmung der Farbtemperatur auf die Ausstellungsobjekte. Quelle: OSRAM

verursachen, hat die klassische Leuchtstofflampe einen nennenswerten Blauanteil – ähnlich wie viele ältere LED Varianten.

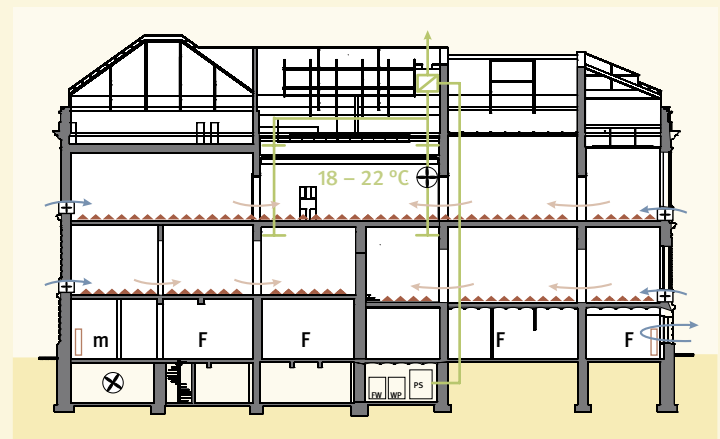
Wird eine neue Beleuchtungsanlage geplant, empfiehlt es sich, im Rahmen einer Bemusterung die tatsächliche Spektralverteilung herstellerabhängig anzufordern oder in einem geeigneten Institut nachmessen zu lassen. Aus diesen Angaben oder durch entsprechende Filterstrukturen lassen sich verschiedene moderne Leuchtmittel finden, die für die Objekte nur ein geringes Maß an Belastung bedeuten.

## Aus der Praxis

### Kaiser Wilhelm Museum, Krefeld – Optimales Klima im Denkmal

Das Kaiser-Wilhelm-Museum, ein Ausstellungsort für Moderne Kunst des 20. Jahrhunderts von Andy Warhol bis zum Krefelder Joseph Beuys, soll nach seiner Generalsanierung höchsten raumklimatischen Ansprüchen genügen. Vor dem Hintergrund der Klimavorgaben in internationalen Leihverträgen entwickelte das Forschungsteam zunächst ein ganzheitliches Energiekonzept für das gründerzeitliche Gebäude. Um möglichst wenig in die Gebäudesubstanz eingreifen zu müssen, sieht es fassadenintegrierte Lüftungsgeräte unter den Fenstern vor. Durch den Entfall der bisherigen Heizkörper zugunsten einer sehr flach aufbauenden Fußbodenaktivierung waren in den alten Heizungsrisen ohnehin Eingriffe erforderlich und die benötigten Leitungen leicht zu führen. Beide Systeme gemeinsam decken nun die erforderlichen Heiz- und Kühlleistungen. Die Abluft wird zentral über ein Kreislaufverbundsystem geführt, um so eine Wärmerückgewinnung zu ermöglichen.

Die Zuluftführung erfolgt verdeckt an den Fenstern der historischen Fassade. Der Architekt (Winfried Brenne, Berlin) hatte ein ähnliches Prinzip schon im Deutschen Historischen Museum in Berlin geplant, und konnte so auf seine Erfahrungen bauen – eine Ausnahme in öffentlich ausgeschriebenen Projekten. In Kombination mit der Natursteinfassade und den originalen, aufbereiteten Holzfenstern ermöglicht dieses Detail eine denkmalverträgliche Lösung, die vollständig in die historische Fassade integriert ist.



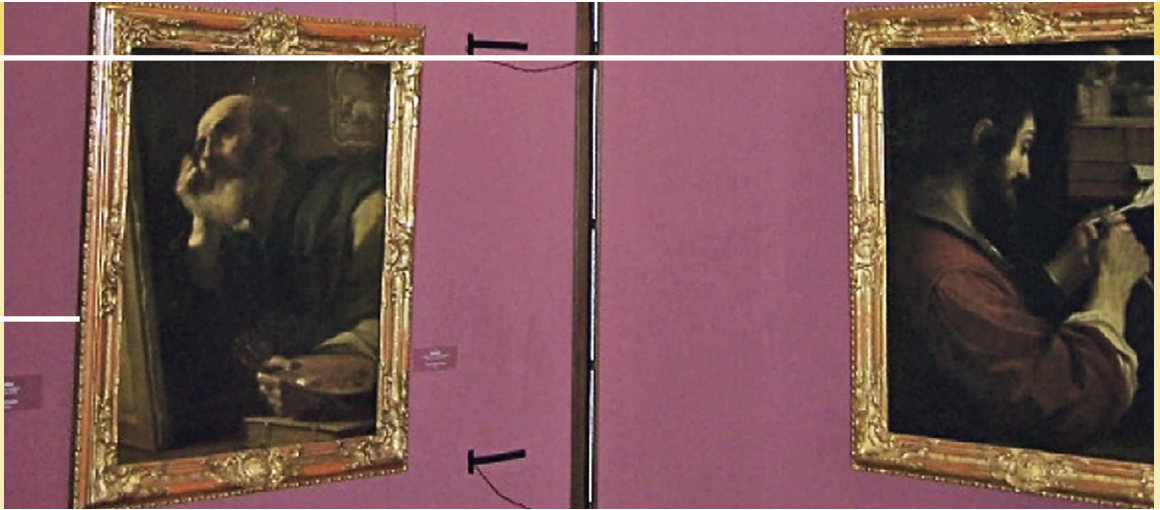
- ▲ Flächenaktivierung Heizung / Kühlung (Ausstellungsbereich)
- ▣ Dezentrale Fassaden-Klimageräte    ▭ Heizkörper
- F Fensterlüftung (Werkstatt, Büro)    m mechanisch belüftet (Küche, Café)
- Zentrale Abluft mit WRG            ⊗ klimatisiert (Archiv)

Abb. 28 Klimakonzept des Kaiser Wilhelm Museums. Quelle: TU Braunschweig / Volker Huckemann



Abb. 29 Denkmalverträgliche Zuluftführung unter dem Wetterschenkel bei dezentraler, fassadenintegrierter Klimatechnik (links: Deutsches Historisches Museum Berlin, rechts: Kaiser Wilhelm Museum, Krefeld, Fensternische im Bauzustand mit Zuluftöffnungen) Quelle: Volker Huckemann

**Abb. 30** Ob sich die gewünschten Klimaverhältnisse einstellen, sollte in unmittelbarer Nähe der Ausstellungsobjekte gemessen werden.  
TU Dresden / ITG Dresden



## Qualitätssicherung und Monitoring

*Bei komplexen Bauvorhaben wie der Sanierung eines Museums spielt die Qualitätssicherung eine entscheidende Rolle. Dies betrifft nicht nur die Bauausführung, sondern auch den Anlagenbetrieb. Im Rahmen einer begleitenden Inbetriebnahme werden die Weichen für die Einhaltung der Planungsvorgaben und einen dauerhaft geringen Energieverbrauch gestellt. Ein anschließendes Monitoring ermöglicht eine Feinjustierung der Regelparameter.*

Die Umsetzung des Sanierungskonzeptes verlangt eine ständige Kontrolle. Zu leicht geraten Absprachen in Vergessenheit, werden Prioritäten in der Bewertung verschoben. Hierbei hilft es, die Vorgaben aus der Planung immer wieder zu überprüfen und im Bauablauf zu dokumentieren. Während im Hinblick auf Dämmstärken und eingebaute Materialien die Kontrolle eher leicht fällt, sind beispielsweise die Anlagentechnik oder die Verglasung schwieriger zu überprüfen. Oftmals ist man hierfür auf Messungen unabhängiger Labore angewiesen.

### Dokumentieren und kontrollieren

In der Umsetzung einer Baumaßnahme führen Termindruck und finanzielle Engpässe leicht zu Entscheidungen, die auch die Qualität des Gesamtbauwerkes beeinträchtigen. Die Auswirkungen einzelner, im Bauablauf induzierter Änderungen sind nicht immer sofort zu überblicken. Umso wichtiger ist die Dokumentation dieser Änderungen sowie ggf. der Versuch, sie durch Simulationen in ihrer Bedeutung zu bewerten.

Ähnlich wie bei der Bestandsaufnahme helfen bei der Kontrolle Checklisten, die die unterschiedlichen Aspekte eines Konzeptes/einer Planung abdecken. Hier sind vor allem die folgenden Bereiche relevant, die ihrerseits wieder zahlreiche Unterpunkte beinhalten:

- Dämmung der Gebäudehülle,
- Fenstergestaltung unter Aspekten der Präventiven Konservierung,
- Lichtsituation und -management,
- Versorgungskonzept auf Raum- und Gebäudeebene.

Die Prüfungen erfordern einen umfassend ausgebildeten Spezialisten oder ein Team aus kooperierenden Fachleuten. Die Aufgabe dieser Spezialisten reicht über die Objektüberwachung oder Qualitätskontrolle während der Bauphase hinaus.

### Begleitete Inbetriebnahme steigert Effizienz

Die umfangreiche Anlagentechnik eines derartigen Gebäudes und eine verwirrende Vielzahl von Regelgrößen machen eine begleitete Inbetriebnahme notwendig. Erst durch die Beobachtung der neuinstallierten Technik, eine Überwachung von Raumklimazuständen und den Reaktionen der Anlage lassen sich Fehlfunktionen erkennen. Wenn die Leistung der Gebäudetechnik ausreicht, werden derartige Fehler einer unbegleiteten Inbetriebnahme zwar kompensiert, wirken sich aber auf den Verbrauch und die Wirtschaftlichkeit aus.

Die begleitende Inbetriebnahme kann beurteilen, welche Klimaverhältnisse sich tatsächlich im Raum einstellen und dabei die möglichen Einfahrprozesse und den normalen Betrieb der Klimaanlagen berücksichtigen. Hierbei werden die folgenden Parameter bewertet:

- Temperaturkonstanz innerhalb zulässiger Grenzen,
- Einhaltung von maximalen Änderungsgeschwindigkeiten der Temperatur,
- Einhaltung enger Feuchtebandbreiten der umgebenden Raumluft,
- Einhaltung geringster UV-Bestrahlung der Gemälde zur Minimierung photochemischer Prozesse,
- Einhaltung vereinbarter Beleuchtungsstärken.

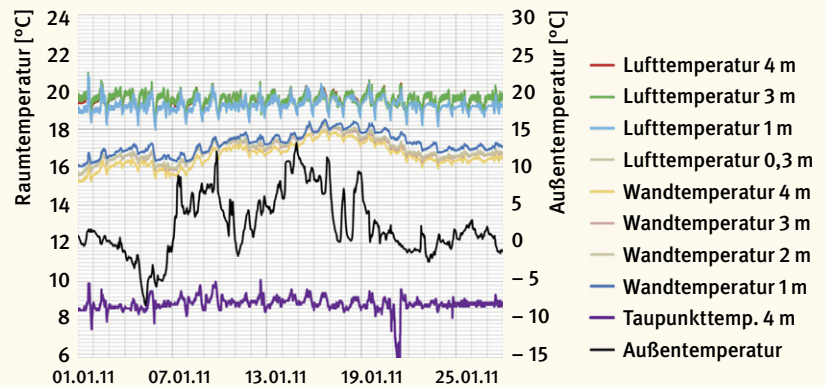


Abb. 31 Albertinum Dresden (nach Sanierung): (links) Aufbau zur Messung von Oberflächen- und Lufttemperatur, Feuchte, Beleuchtung und Strahlung. Quelle: TU Dresden / Ingo Müller; (rechts) Messergebnisse für die Temperaturen (Januar 2011). Quelle: ITG Dresden / Heiko Werdin

### Messphase ohne Anlagenbetrieb vorab

Die Inbetriebnahme der Gebäudetechnik sollte schrittweise erfolgen. Änderungen des Wandaufbaus gegenüber dem ursprünglichen Zustand, z. B. durch Vorwandinstallationen oder Innenwanddämmungen, können seine hygroskopischen und thermischen Eigenschaften verändert haben. Deshalb ist nach der Sanierung zuerst eine Messphase für Temperatur und Feuchte ohne Anlagenbetrieb sinnvoll, in dem der Raum ohne nennenswerte zusätzliche Lasten betrieben wird. Neben dem Innenraumklima ist dafür auch das Außenklima (Temperatur, Feuchte, Strahlung) relevant. Für die Inbetriebnahme der Anlagen gibt es keine allgemein gültige Einfahrstrategie (z. B. nur Heizen oder nur Kühlen), da die Fertigstellung des Objektes beliebig im Jahr liegt. Vielmehr muss beobachtet werden, ob und mit welcher Geschwindigkeit sich das vorhandene, frei schwingende Raumklima aus dem Betrieb ohne Anlagentechnik danach gleichmäßig in Richtung der vorgegebenen Sollwerte verschiebt.

### Unabhängige Messtechnik unterstützt Einregulierung

Die Daten können entweder mittels Messtechnik in den Räumen erhoben werden, oder aber über die Sensorik der Gebäudeleittechnik (GLT) selbst. Allerdings genügt die Qualität der verbauten Sensoren selten wissenschaftlichen Zwecken. Das numerische Aufzeichnungsformat der GLT-Daten muss in der Regel für eine Auswertung aufbereitet werden. Bei Gebäuden mit Klimaanlage ist es bei der Inbetriebnahme sinnvoll, die Anlagendaten in einem Intervall von max. 5 Minuten aufzuzeichnen, um ein mögliches Fehlverhalten (Komponentenausfall, Schwingungen, hydraulisches Fehlverhalten, ...) erkennen und rechtzeitig beheben zu können. Zu den Anlagendaten gehören die Soll- und Istwerte der Zuluft, der Abluft und der Außenluft sowie alle Stellgrößen (Ventilhübe, Drehzahlen von Ventilatoren und Rotoren). Mit zusätzlicher separater Messtechnik lassen sich Messpositionen, Aufzeichnungsintervalle und Genauigkeiten am besten steuern und individuell an die Anforderungen anpassen. Eine unabhängige Datenerfassung ermöglicht zudem Vergleiche mit den Messgrößen der GLT, die Rückschlüsse über die Genauigkeit, die Positionierung der Messfühler oder Anpassungsfaktoren der Steuergrößen zulassen.

### Langzeitmonitoring erforderlich

Die begleitende Inbetriebnahme mit einem Monitoring benötigt mindestens ein Jahr. Nur ein solcher Zeitrahmen ermöglicht es, das Anlagenverhalten in einem großen Belastungsspektrum zu beobachten und zu optimieren. Andererseits kann ein Monitoring auch nachweisen, wie sich ein Fehlverhalten der Anlage auf die Umgebungsbedingung auswirkt und wie stark die Raumeigenschaften dieses Fehlverhalten dämpfen können.

Ziel des Monitorings muss es sein, den Anlagenbetrieb zu kontrollieren, die Planungsdaten zu bestätigen oder eine Grundlage für Optimierungen zu liefern und dadurch den Energieverbrauch zu senken. Zur Bewertung der aufgezeichneten Daten gehören sowohl der Vergleich der Sollwerte mit den Istwerten als auch anderweitige Vergleiche mit energetischen Kennziffern. Änderungen sowohl in der Anlagentechnik als auch in den Regelungen und Steuerungen sollten nicht nur dokumentiert, sondern auch durch ein Monitoring validiert werden. Der Übergang der Inbetriebnahme in den endgültigen Anlagenbetrieb ist durch die Ergänzung von Zeitplanfunktionen und Optimierungen gekennzeichnet. In den Zeitplanfunktionen sollten mögliche Abschaltungen oder Sollwertänderungen berücksichtigt werden, wie z. B. die Reduzierung des Außenluftanteils oder die Vergrößerung von Schwankungsbereichen.



### Nah am Objekt messen

Aus ästhetischen Gründen werden die Temperatur- und Feuchtfühler der GLT, die die Anlagenregelung bestimmen, meist in der Raumecke oder in der Nähe der Tür positioniert. Auslegungsgroße sollte aber das Klima in Bild- bzw. Objektnähe sein, denn Messungen in der Nähe der Ausstellungsgegenstände zeigen deutliche Unterschiede zu den an einem „unauffälligen“ Ort gemessenen Größen. Bei hochwertigen Exponaten ist deshalb eine messtechnische Überwachung der Umgebungsbedingungen in der Nähe der Ausstellungsstücke von großer Bedeutung. Sie ermöglichen Schlussfolgerungen über notwendige Sollwertanpassungen oder -verschiebungen in Bezug auf die Anlagenregelung. Die Messergebnisse können auch für Restauratoren von großem Interesse sein.



## Ausblick

*Wesentliches Merkmal eines nachhaltigen, zukunftsorientierten Museumsgebäudes ist eine intelligente innere Organisation, die die Nutzungen so anordnet, dass die Objekte auf ideale Weise gegen äußere Einflüsse geschützt sind. Eine hochgedämmte Gebäudehülle verringert nicht nur die Energieverluste, sondern bewirkt auch eine hohe thermische Trägheit – und somit ein konstanteres Innenraumklima. Gerade bei denkmalgeschützten Museumsgebäuden sind hierfür aber besondere Lösungen gefordert.*

*Die Funktion eines Fensters als Schnittstelle zur Außenwelt muss im Museumskontext relativiert werden: Ein hoher Wärmeschutz ist ebenso grundlegend wie ein geregelter Strahlungsdurchgang im sichtbaren wie unsichtbaren Bereich. Gleichzeitig bestehen hohe Anforderungen an Lichtdurchgang und Farbwiedergabe. Es gilt, in der Abwägung zwischen Tageslicht und Kunstlicht die Balance zu finden zwischen der natürlichen Wahrnehmung und Präsentation eines Ausstellungsobjektes und seinem optimalen Schutz.*

*Die Diskussion um das Innenraumklima wird weitergehen: Gibt es ein Universalklima im gesamten Haus, oder klimatisiert man Vitrinen? Wie flexibel ist dann die inhaltliche Präsentation der Sammlung? Solange Kurzzeitschwankungen bzw. hohe Änderungsgeschwindigkeiten vermieden werden, sollte das jahreszeitliche Gleiten des Gebäudeklimas zugelassen werden, statt ganzjährig auf ein konstantes Klima zu regeln. Das reduziert den Energieverbrauch und schützt gleichzeitig die Objekte vor Schäden etwa durch den plötzlichen Ausfall einer Klimaanlage. Hierfür bedarf es aber auch eines Umdenkens bei internationalen Leihgebern.*

*Für große Museen werden sich diese Bedingungen auch zukünftig nur mit einer Klimaanlage erreichen lassen – speziell bei stark frequentierten Ausstellungen. Umso entscheidender zur Steigerung der Energieeffizienz ist eine präzise Einregulierung der Anlagentechnik, verbunden mit einem Langzeitmonitoring und ständigen Optimierungsbemühungen.*

## Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Komplexe Bestandsgebäude energetisch bewerten. BINE-Projektinfo 16/2013
- » Bei Fenstersanierung fundiert entscheiden. BINE-Projektinfo 15/2013
- » Leichte Hüllen für alte Gebäude. BINE-Projektinfo 08/2012
- » Dämmen durch Vakuum. BINE-Themeninfo I/2011
- » Materialdaten für die energetische Altbausanierung. BINE-Projektinfo 07/2007

## Links und Literatur

- » [www.das-gruene-museum.de](http://www.das-gruene-museum.de)
- » [www.forschungsallianz-kulturerbe.de](http://www.forschungsallianz-kulturerbe.de)
- » Huckemann, V.; Klemm, L.: Nachhaltige Sanierung von Museumsbauten. In: Restau. Zeitschrift für Restaurierung, Denkmalpflege und Museumstechnik. (2011), H. 3, S. 45 – 52
- » Kilian, R.; Krus, M.; Sedlbauer, K.: Klimaanforderungen für Kunstwerke und Ausstattung historischer Gebäude. Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Stuttgart (Hrsg.) 2005. IBP-Mitteilung 462
- » Kilian, R.; Vyhřídál, T.; Broström, T. (Hrsg.): Developments in Climate Control of Historic Buildings. Proceedings from the international conference Climatisation of Historic Buildings – State of the Art. Schloss Linderhof (Germany), 2nd Dec. 2010. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verl., 2011. ISBN 978-3-8167-8637-5. Freier download unter: <http://www.climateforculture.eu/index.php?inhalt=dissemination.publications>
- » Krus, M.; Kilian, R.; Bichlmair, S. u.a.: Schadensdiagnostik und Bewertung in historischen Gebäuden. In: Fouad, N. A.: Bauphysik-Kalender. Schwerpunkt: Gebäudediagnostik. Berlin: Ernst & Sohn, 2012. ISBN 978-3-433-02986-2

## Projektorganisation

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)  
11019 Berlin

Projekträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
52425 Jülich

Förderkennzeichen  
00329084E-J

## Kontakt · Info

Fragen zu diesem Themeninfo?  
Wir helfen Ihnen weiter:

**0228 92379-44**

Weitere Informationen zum Thema sind beim BINE Informationsdienst oder unter [www.bine.info](http://www.bine.info) abrufbar.



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages