

Inhalt

Vorwort <i>Thomas Drachenberg, Stefan Simon</i>	7
Raumklima in Schlössern und Sammlungen <i>Wulf Eckermann</i>	8
Klimatechnik für präventive Konservierung – Fluch oder Segen? <i>Lutz Baumann</i>	19
Individuell statt pauschal – Gedanken zur Klimabewertung in Baudenkmälern <i>Andreas Schulze</i>	27
Zwischen Risiko, Energieeffizienz und Konservierung – ein Green New Deal für Kultureinrichtungen <i>Stefan Simon et al.</i>	32
Bewertung von Leuchtmitteln hinsichtlich ihrer Eignung zur Verwendung im Museum – ein Überblick der Ergebnisse aus dem Rathgen-Forschungslabor <i>Simon Kunz, Stefan Röhrs</i>	42
Ergebnisse der Langzeitbetreuung am Cranach-Altar auf Schloss Augustusburg zum Thema der präventiven Konservierung <i>Thomas Löther, Manfried Eisbein</i>	50
Staub auf Gemälderahmen im Schloss Sanssouci <i>Daniel Fitzenreiter</i>	61
Wie gut werden Denkmale gepflegt – Realität und Perspektiven <i>Ellen Egel</i>	65
Alte und neue Schädlinge in preußischen Schlössern, Gärten und Museen <i>Undine Köhler, Bill Landsberger</i>	75
Wirkt eine Taube korrosiv? – Das DBU-Projekt „Fokus Taube“ <i>Martin Mach</i>	83
Sammlungserhalt: Notfallplanung am Museum für Naturkunde <i>Peter Giere et al.</i>	92
Kunstgutschutz bei Baumaßnahmen <i>Undine Köhler, Sandra Schorbach</i>	100
Bauarbeiten bei Museumsbetrieb – Geht das? Schutzmaßnahmen gegen Erschütterungen – Erfahrungen aus 10 Jahren Baubetrieb am Pergamonmuseum <i>Stefan Becker, Christiane Pfitzner</i>	111
Autorenverzeichnis	120

Zwischen Risiko, Energieeffizienz und Konservierung – ein Green New Deal für Kultureinrichtungen

STEFAN SIMON¹ (s.simon@smb.spk-berlin.de), LUKASZ BRATASZ², TIM WHITE³, CATHERINE SEASE³, NATHAN UTRUP³, SUSAN BUTTS³, JULIE PAQUETTE⁴, RICHARD BOARDMAN³, WENDELIN ALTHENHÖNER¹

¹ Rathgen-Forschungslabor, Staatliche Museen zu Berlin – Stiftung Preußischer Kulturbesitz

² Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera, Polskiej Akademii Nauk, Krakau

³ Peabody Museum of Natural History, Yale University, New Haven, CT

⁴ Office of Facilities, Yale University, New Haven, CT

1. Einleitung

Im Sommer 2019 hat das Londoner Museumsnetzwerk Tate den Klimanotstand ausgerufen und eine Absichtserklärung mit dem konkreten Ziel veröffentlicht, die CO₂-Emission der vier Häuser bis 2023 um zehn Prozent zu verringern.

In Deutschland verbrauchen viele Museen entgegen den offiziellen Klimazielen nicht weniger, sondern oft mehr und mehr Energie. Die Ursachen für den nicht unbeträchtlichen klimatischen Fußabdruck der Museen liegen zum einen in der weltweiten Orgie von Museumsneubauten, dem ansteigenden Leih- und Besucherverkehr und zum anderen in der Klimatisierung der Sammlungen und Depots.

Generell befinden sich Museen mit ihrer Kernaufgabe, die Sammlungen auszuweiten, in einem permanenten Konflikt mit dem Nachhaltigkeitskonzept. Große Museen in Deutschland können allein durch ihren Stromverbrauch im täglichen Betrieb mehrere tausend Tonnen CO₂ pro Jahr verursachen, vor allem aufgrund der Klimatisierung von Depot und Ausstellungsbereichen. Andererseits sind Nachhaltigkeitsdebatten und ein Verständnis für den Umweltschutz grundlegend in die Mission von Museen eingebettet, sie bilden eine natürliche Erweiterung ihrer Rolle als Treuhänder des kulturellen Erbes (Martin, 2006; Waller, 2003).

2014 führte die Yale University eine sogenannte Carbon Charge ein. Die Idee dahinter ist, den CO₂-Ausstoß zu errechnen und die sozialen Kosten quer durch die Hochschule kostenneutral zu bepreisen. Die Kohlendioxidabgabe zeigt den Instituten auf, dass Energieverbrauch Konsequenzen hat und dient gleichzeitig als Anreiz für Einsparungen.

In den USA geht man von 40 Dollar sozialen Kosten pro Tonne CO₂ aus. In der Schweiz wird die Tonne CO₂ mit 86 Euro bepreist. 5 000 Tonnen CO₂ entsprächen damit 200 000 bis 400 000 Dollar. Das ist eine Größenordnung,

in der sich auch in Deutschland manche Museen bewegen. Es ist höchste Zeit für die Museen, die gesellschaftlichen Dialogen eine so wichtige Bühne bieten können, eine ehrliche Bilanz über ihren ökologischen Fußabdruck zu erstellen, die realen Kosten zu berechnen und auf den Tisch zu legen. Wir brauchen einen „Green New Deal“.

2. Fallstudie Yale Peabody Museum

Der Gedanke, dass die Verwitterung und der Verlust von Kulturgütern mit der Umwelt zusammenhängt, genauer gesagt, mit den klimatischen Bedingungen in ihrer direkten Umgebung, hat lange vor der Gründung der ersten Museen bestanden. Dies spiegelt sich in bewährten Verfahren und Betriebsregeln zur guten Hausführung wider (Staniforth, 2013), die sich im Laufe der Jahrhunderte zu den Klimaspezifikationen im Sammlungsbereich entwickelten, wie wir sie heute kennen. Diese Entwicklung war hauptsächlich auf zwei Faktoren zurückzuführen: erstens auf ein besseres, wenn auch noch unvollständiges Verständnis der Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen Klimaparametern, nämlich Temperatur (T) und relativer Luftfeuchtigkeit (RH) auf der einen, sowie Materialveränderungen auf der anderen Seite; und zweitens die Entwicklung mechanischer Systeme zur besseren Kontrolle und Steuerung des Raumklimas, die in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts in immer mehr Museen und Sammlungen Einzug hielten. Ein historischer Überblick über Klimatisierung und Anforderungen für Museen findet sich in Brown und Rose (1997), Bratasz (2013), Luciani (2013), Bickersteth (2014) und Michalski (2014). Umweltstandards für Sammlungen in Ausstellungen, Depots und im Transit standen in den letzten Jahren, spätesten seit der Veranstaltung zu „Climate Change and Museum Collections“ im Rahmen der „Dialogues for the New Century – Discussions on the conservation of cultural herita-

ge in a changing world“ an der Londoner National Gallery im September 2008 im Mittelpunkt intensiver Debatten und haben durch wissenschaftliche Untersuchungen auch eine zunehmende Quantifizierung erfahren. Das Interesse daran wurde außerdem von einer wachsenden Diskussion über das „Grüne Museum“ befördert (z. B. Rathgen-Forschungslabor, 2013).

Ein „Grünes Museum“ ist ein Museum, das versucht, das Konzept der Nachhaltigkeit in sein Programm, seine Aktivitäten und seine physische Präsenz einzubeziehen und umzusetzen. Nachhaltigkeit wird durch drei Dimensionen, die ökologische, wirtschaftliche und soziale, aufgespannt. Dabei bedient sich die präventive Konservierung moderner Methoden des Risikomanagements, wonach die auf das Kulturgut einwirkenden Risikofaktoren identifiziert, bewertet und entsprechend ihrer Bedeutung auch eingedämmt werden sollen. Es gilt, die museale Umgebung in einer Weise zu gestalten, die es einerseits erlaubt, die Energieeffizienz zu optimieren, Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß zu verringern und dabei gleichzeitig einen hohen Standard der Sammlungspflege aufrechtzuerhalten.

Im Verlauf der Debatte wird immer deutlicher, dass viele der für Museen, Bibliotheken und Archive angestrebten Umweltstandards

- zu eng und daher in den meisten, insbesondere in historischen Gebäuden nicht realistisch und dauerhaft umzusetzen sind,
- erhebliche und steigende finanzielle, organisatorische und ökologische Kosten verursachen, und darüber hinaus
- Erhaltungsprioritäten der meisten Institutionen, auch in Bezug auf die Klimaparameter, nicht zufriedenstellend angehen und umsetzen.

Es ist allgemein anerkannt, dass empfindliche Objekte mit ihrer individuellen ursprünglichen Struktur und Konservierungsgeschichte sich zum einen an ihre jeweilige Umgebung angepasst haben, zum anderen von individuellen Temperatur- und Luftfeuchtigkeitskorridoren profitieren können. Aus wissenschaftlichen Erkenntnissen geht zudem hervor, dass weitaus größere Abweichungen als bisher angenommen für die meisten Objekte unbedenklich sind und dass eine Typisierung von Materialien nach Sammlungen in der Risikobetrachtung von Vorteil ist. Bei kulturellen oder ethnographischen Sammlungen wurde gezeigt, dass moderate Abweichungen im Bereich von ca. 50 ± 15 % als sicher gelten können (Michalski, 2014; Bratasz, 2015). Die oben angegebene zulässige relative Luftfeuchtigkeitschwankung entspricht der Klimaklasse B in der Klassifizierung der American Society of Heating, Refrigerating and Air Condition Engineers (ASHRAE) (ASHRAE, 2019). Fachleute sind sich auch weitgehend einig, dass diese Kon-

trollklasse in historischen Gebäuden – einschließlich der als Museen genutzten – oft die einzige mögliche kostengünstige Strategie darstellt, da diese häufig nur ein begrenztes Potenzial für eine strenge Klimakontrolle bieten.

Beobachtungen, dass Objekte auch alles andere als ideale Bedingungen oft bemerkenswert gut überstanden haben, legen nahe, dass eine weitere Ausweitung der zulässigen Abweichungen akzeptabel sein könnte. In der modernen Heritage Science wurden auf der Grundlage dieser Beobachtungen Ansätze entwickelt, um sichere Klimavariationsbereiche auch für empfindliche Objekte zu bestimmen. Stefan Michalski (2009) prägte dafür den Begriff der „proofed fluctuation“ (bewährte Schwankung), der als Muster der größten relativen Luftfeuchtigkeits- oder Temperaturschwankungen definiert wird, denen ein Objekt in seiner Vergangenheit ausgesetzt war. Das Modell geht davon aus, dass das Risiko eines physischen Schadens innerhalb dieser Schwankungsgrenzen gering ist. Das Akklimatisierungskonzept der „proofed fluctuation“ bietet eine Risikobewertung auf der Grundlage früherer Klimaauzeichnungen und macht aufwendige Berechnungen des mechanischen Verhaltens überflüssig. In zahlreichen modernen Normen und Empfehlungen für das Raumklima in der Sammlungspflege wird darauf verwiesen (British Standard Institution, 2010; ASHRAE, 2019).

Konsequenterweise wurden mit der zunehmenden Kritik an strengen klimatischen Vorgaben Spezifikationen entwickelt, die individuelle langfristige Ziele für bestimmte Kollektionen ermöglichen, dabei saisonale Änderungen und ein breiteres Spektrum kurzfristiger Schwankungen berücksichtigen. Die Joint Declaration of Environmental Guidelines 2014 des International Institute of Conservation (IIC) und des International Council of Museums – Conservation Committee (ICOM-CC) empfiehlt, dass „die Pflege von Sammlungen auf eine Weise erfolgen sollte, die keine Klimatisierung (HVAC) voraussetzt. Passive Methoden, einfache Technologie, die leicht zu warten sind, Luftzirkulation und energiesparende Lösungen sollten verstärkt in Betracht gezogen werden.“ (ICOM-CC, 2014)

Die Erfahrung mehrerer Institutionen hat gezeigt, dass bereits eine leichte Entspannung der Klimaregelung den Energieverbrauch und den Einsatz fossiler Brennstoffe erheblich senken kann. Beispielsweise hat die Smithsonian Institution die Energiekosten um 17 % senken können, indem sie den Korridor der relativen Luftfeuchtigkeit von ± 5 auf 8 % verbreiterte (Museum Conservation Institute, 2015). Durch den Einsatz einer passiven Klimatisierung (Rasmussen, 2007) in neu errichteten Museumsdepots und Archiven konnten der Energieverbrauch nahezu auf Null gesenkt und dabei gleichzeitig die Erhaltungsbedingungen für die eingelagerten Sammlungen verbessert werden.

Das Peabody Museum of Natural History (YPM) der Yale University strebt seit langem nach hohen Standards für die Umweltbedingungen, um seine Sammlung von mehr als 13 Millionen Objekten zu bewahren. Es hat beschlossen, seine derzeitige Strategie zur Klimaregelung neu zu bewerten, um den Paradigmenwechsel im nachhaltigen Sammlungsmanagement und die im Yale-Nachhaltigkeitsplan 2025 (Yale Office of Sustainability, 2017) festgelegte Hauptaufgabe der Universität widerzuspiegeln. Die Hauptelemente des YPM-Ansatzes umfassen ein detailliertes Monitoring und eine Bewertung der aktuellen Klimabedingungen in den drei YPM-Gebäuden auf dem Campus in New Haven, CT; eine Analyse des Energieverbrauchs und die Identifizierung der wichtigsten Optimierungspfade; und in einem letzten Schritt die Bewertung klimabedingter Risiken für die Sammlung (Ashley-Smith, 1999; Waller, 2003; Michalski, 2008; Michalski und Pedersoli, 2016).

2.1 Die Gebäude und die derzeitige Klimasituation

In den letzten Jahren wurden bedeutende Teile der YPM-Sammlungen in das Collection Studies Center auf dem Yale West Campus in Orange, CT, ca. 13 km südlich von New Haven, verlagert.

Der Rest, d. h. ca. 60 % der gesamten Sammlung, wird in drei Gebäuden mit jeweils unterschiedlichen Konstruktionsmerkmalen, die das Klima-Grundverhalten des Gebäudes und die Klimaregelungsmöglichkeiten beeinflussen, aufbewahrt. Die YPM-Sammlungsbereiche sind dabei nicht nur „Depot“, sondern auch Flächen, die aktiv von Museumsmitarbeitern und Besuchern zur Forschung genutzt werden.

Das 8 220 m² große Peabody Museum (PM) wurde 1926 erbaut. Es ist ein „Gothic Revival“-Bau, Mauerwerk mit Backsteinverkleidung und Betonfundament. Es hat weder Isolierung noch Dampfsperre und das Klimamanagement beschränkt sich auf Heizung, etwas Kühlung und Entfeuchtung. Basierend auf einer Messung des von den Besuchern freigesetzten CO₂ wurde eine Abschätzung der Luftwechselrate (AER) in den Ausstellungsbereichen mit der von Mleczkowska (2016) beschriebenen Methode durchgeführt. Die AER im PM ist typisch für historische Gebäude und variiert zwischen 0,3 und 0,5 h⁻¹.

Das Kline Geology Laboratory (KGL) ist eine von Philip Johnson entworfene Mauerwerks- und glasierte Ziegelkonstruktion aus dem Jahr 1963. Das 11 000 m² große Gebäude hat ebenfalls weder Isolierung noch Dampfsperre und ist mit einer Klimatisierung ausgestattet, die heizt, kühlt und entfeuchtet. Achtzig Prozent des Gebäudes werden als Büros, Labor oder Unterrichtsräume genutzt. Die restlichen 20 % des Gebäudes dienen als Depots für Mineralien, Fossilien und ethnographische Objekte. Die durchschnittliche AER wird auf 2 h⁻¹ geschätzt. Die Zieltemperatur beträgt 21 °C, die

Grenze der relativen Luftfeuchtigkeit für die Entfeuchtung ist auf 40 % eingestellt. Sowohl das PM als auch das KGL wurden kürzlich mit Isolierglasfenstern ausgestattet.

Das Class of 1954 Environmental Science Center (ESC) ist eine im Collegiate Gothic Stil gemauerte Außenkonstruktion mit doppelt flämischer Bindung. Es ist 9 230 m² groß und wurde 2001 auf dem damaligen Stand der Technik und Bauvorschriften erbaut. Es ist in universitäre Ausbildung- und Forschungsbereiche, Depots (u. a. die Flüssigkeitssammlungen) und Arbeitsräume aufgeteilt. Die an die Sammlungen grenzende Außenwand hat Isolierung und Dampfsperre. Das gesamte Gebäude ist mit zwei modernen Heizungs-, Lüftungs- und Klimatisierungsanlagen (HVAC) ausgestattet.

Die erste Anlage (AHU1) bereitet die Luft für ca. 50 % der Museumsfläche auf, insbesondere für die Räume, die die Flüssigkeitssammlungen enthalten. Den Regelungen der

Occupational Safety and Health Administration (OSHA) entsprechend erfordert diese Art der Sammlung eine hohe Luftwechselrate (mit Außenluft) von 6 h⁻¹. Die von der zweiten Anlage (AHU2) konditionierten Räume erhalten ca. 15 % Frischluft beigemischt, sodass die effektive AER auf ca. 0,5 h⁻¹ geschätzt wird. Die Klimaspezifikationen für alle Arten der Sammlungen entsprechen der Klimatisierungsklasse AA nach ASHRAE – mit je nach Art der Sammlung variablen Richtwerten. In Tab. 1 sind die ASHRAE-Klimaklassen zusammengefasst.

Die Spezifikation für Flüssigkeitssammlungen beträgt 18 ± 1 °C und RH 50 ± 5 %. Für Entomologie- und Botanik-Sammlungen sind T auf 15,5 ± 1 °C und RH 40 ± 5 % festgelegt, für Vertebraten-Zoologie T auf 15,5 ± 1 °C und RH 47,5 ± 5 % und für Invertebraten-Zoologie, Invertebraten-Paläontologie und Paläobotanik sind T auf 18 ± 1 °C und RH auf 47,5 ± 5 % eingestellt.

YPM überwacht Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit an 35 Standorten in den drei Gebäuden, hauptsächlich in Lagerbereichen und in einigen Ausstellungsräumen. Abb. 1 bis 3 zeigen jeweils typische Klimabedingungen, die in Räumen der Invertebraten-Zoologie-Sammlung im ESC, der Mineralogie-Sammlung im KGL und in der Großen Halle der Dinosaurier-Ausstellungsgalerie im PM aufgezeichnet wurden.

Die Analyse aller aufgezeichneten Daten zeigt, dass die Klimastabilität in allen drei Gebäuden weit entfernt von der angenommenen ASHRAE-Spezifikation liegt:

Bemerkenswert ist die mangelnde Stabilität vor allem im ESC (Abb. 1), dem jüngsten Gebäude, welches mit einem aufwendigen HVAC-System ausgestattet ist. Nur ein Raum im ESC erfüllt die Anforderungen der Klimaklasse C, fünf Räume fallen in die Klasse D nach ASHRAE, drei Zimmer haben keinen Rang.

Type of Collection and Building	Type of Control	Long term outer limits	Annual Averages	Seasonal Adjustments from Annual Average	Short Term Fluctuations plus Space Gradients
Museums, Galleries, Archives and Libraries in modern purpose-built buildings or purpose-built rooms. Temperature at or near human comfort	AA Precision control, no seasonal changes to rh	≥35 % rh ≤65 % rh ≥10 °C ≤25 °C	For permanent collections: historic annual average of rh and temperature	No change to relative humidity Increase by 5 K Decrease by 5 K	±5 % rh, ±2 K
	A1 Precision control, seasonal changes in temperature and rh	≥35 % rh ≤65 % rh ≥10 °C ≤25 °C		Increase by 10 % rh Decrease by 10 % rh Increase by 5 K Decrease by 10 K	±5 % rh, ±2 K
	A2 Precision control, seasonal changes in temperature only	≥35 % rh ≤65 % rh ≥10 °C ≤25 °C		No change to rh Increase by 5 K Decrease by 10 K	±10 % rh, ±2 K
Museums, Galleries, Archives and Libraries needing to reduce stress on their building, e.g., historic house museums (depending on climate zone)	B Limited control, seasonal changes in rh and large seasonal changes in temperature	≥30 % rh ≤70 % rh ≤30 °C	For permanent collection: historic annual average of rh and temperature	Increase by 10 % rh Decrease by 10 % rh Increase by 10 K Decrease by up to 20 K	±10 % rh, ±5 K
	C Prevent rh extremes (damp or desiccation) and prevent high temperature extremes	≥25 % rh ≤75 % rh ≤40 °C		Within 25 % to 75 % rh year-round Temperature usually below 25 °C	Not continually above 65 % rh for longer than X days Temperature rarely over 30 °C
Collections in open structured buildings, historic houses	D Prevent very high rh (dampness)	≤75 % rh	Relative humidity reliably below 75 % rh		Not continually above 65 % rh for longer than X days

Tab. 1: Temperatur und Feuchteanforderungen für Sammlungen, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE, 2019)

In KGL sind alle Räume in Klasse D eingeordnet, im PM ein Raum in der Klasse C, 11 sind in der Klasse D und vier scheitern an der Klassifizierung gänzlich.

2.2 Der Energieverbrauch

Die Wärmeenergie für die YPM-Gebäude wird im Zentralkraftwerk der Yale University erzeugt. Dampf und Kühlwasser wird den Gebäuden über unterirdische Tunnel zugeführt. Der Strom wird sowohl von einem Energieversorgungsunternehmen bezogen als auch in der zentralen

Kraftwerksanlage erzeugt und auf die Gebäude der Yale University verteilt. Der Energieverbrauch bei Yale wird von Direct-Digital-Control-Systemen in den einzelnen Gebäuden gesteuert und in stündlichen Abständen durch ein zentrales „Utilities Metering“-System überwacht. Die Daten sind über eine Web-Anwendung (Facilities Energy User Explorer, <http://java.facilities.yale.edu/energy/>) abrufbar.

Die Langzeitauswertung zeigt, dass das PM im Durchschnitt ~484 kWh/m² pro Jahr verbraucht. KGL und ESC verbrauchen mehr als das Dreifache dieses Wertes (~1276 kWh/m²

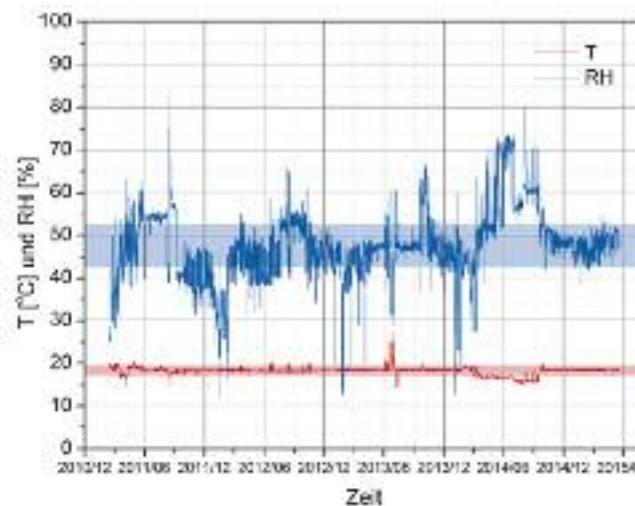


Abb. 1: Temperatur (rot) und relative Feuchte (blau) im ESC (Depot Invertebrate Zoology) im Fünf-Jahres-Zeitraum 2010–2015. Die rot und blau hinterlegten Bereiche zeigen die akzeptablen Schwankungsbreiten, Graphik: S. Simon et al.

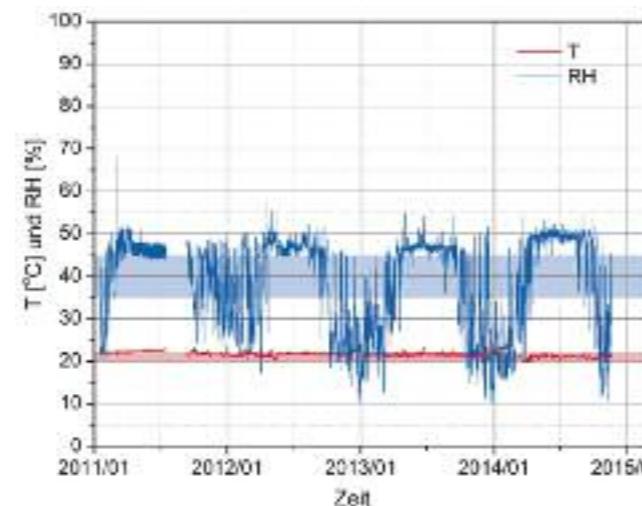


Abb. 2: Temperatur (rot) und relative Feuchte (blau) im KGL in der Mineralogie-Sammlung im Fünf-Jahres-Zeitraum 2010–2015. Die rot und blau hinterlegten Bereiche zeigen die akzeptablen Schwankungsbreiten, Graphik: S. Simon et al.

bzw. 1241 kWh/m²). Die geschätzten Energiekosten belaufen sich in den drei Gebäuden auf ca. 4 Mio. USD/Jahr, davon werden dem YPM 1,6 Mio. USD zugewiesen.

In Abb. 4 wird der Energieverbrauch für die drei Gebäude aus dem Jahr 2014 mit den Daten für andere Sammlungseinrichtungen von Yale und weiteren verfügbaren Daten, unter anderem der Staatlichen Museen zu Berlin verglichen (Artigas, 2007; Ryhl-Svendsen, 2012).

Der Energieverbrauch im KGL und ESC liegt wesentlich höher als im PM. In KGL und ESC befinden sich auch Forschungslabore mit umfangreichen wissenschaftlichen und rechentechnischen Einrichtungen sowie zahlreiche Abzugshauben, die ebenfalls 100 % Außenluft benötigen.

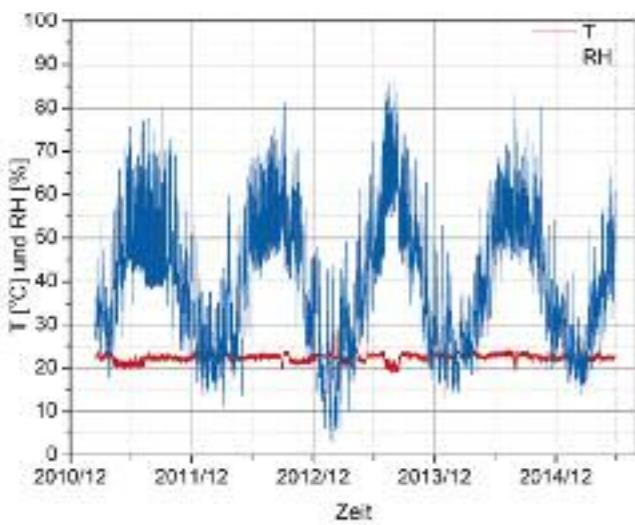


Abb. 3: Temperatur (rot) und relative Feuchte (blau) in der Großen Halle (PM) im Fünf-Jahres-Zeitraum 2010–2015, Grafik: S. Simon et al.

Obwohl die verschiedenen Außenklimata zu berücksichtigen sind, erreicht der Unterschied zu den Referenzeinrichtungen eine Größenordnung, die nicht allein dadurch erklärt werden kann.

Der Grund für den erheblich niedrigeren Energieverbrauch liegt nicht an der Differenz im Jahresmittel der Heiztage, sondern an der Tatsache, dass der monatliche Energieverbrauch in den amerikanischen Sammlungen im Jahresverlauf ziemlich konstant ist.

Im Durchschnitt beträgt die Standardabweichung des monatlichen normalisierten Energieverbrauchs 8 %, dieser ist somit nicht wesentlich von einem Indoor-Outdoor-Gradienten von Temperatur und Luftfeuchte abhängig.

Der Vergleich mit dem Passiv-Depot des Dänischen Nationalmuseums in Vejle illustriert, dass es durchaus möglich ist, ein nahezu Null-Energie-Museumsdepot zu betreiben, wenn auf thermischen Komfort verzichtet werden kann.

Abb. 5 zeigt den monatlichen Energieverbrauch im ESC über fünf Jahre gemittelt (2010–2015) und aufgeteilt nach Heizung, Kühlung und Strom. Daraus geht eine signifikante Verwendung von Dampf, auch während der Sommermonate hervor, wenn die Luft auf einer Kühlsschlange gekühlt und mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von nahe 100 % erneut erwärmt werden muss, um die relative Luftfeuchtigkeit unter den kritischen Wert der Schimmelbildung zu senken.

Interessanterweise wird auch im Winter eine erhebliche Menge an Kühlwasser verwendet. Eine genaue Analyse von Klimabedingungen und Energieverbrauch zeigte, dass dies durch die Verwendung von sogenannten „single set points“ verursacht wird, also einem diskreten Sollwertregler, der

kontinuierlich zwischen Heizen und Kühlen hin- und herschaltet. Ein dualer set point, also eine Totzone, die ein Gleiten der Bedingungen zwischen zwei Sollwerten erlaubt, könnte hier zu großen Einsparungen führen. Stattdessen oszillieren die Temperaturen in einem engen Bereich um den

Sollwert, wie in Abb. 6 gezeigt, ein kostenintensives Verfahren, ohne dabei bessere Erhaltungsbedingungen oder höhere menschlichen Komfort zu gewährleisten. Die erste kostensparende Empfehlung war daher der Wechsel von einer single- zu einer dual-set-point-Steuerung.

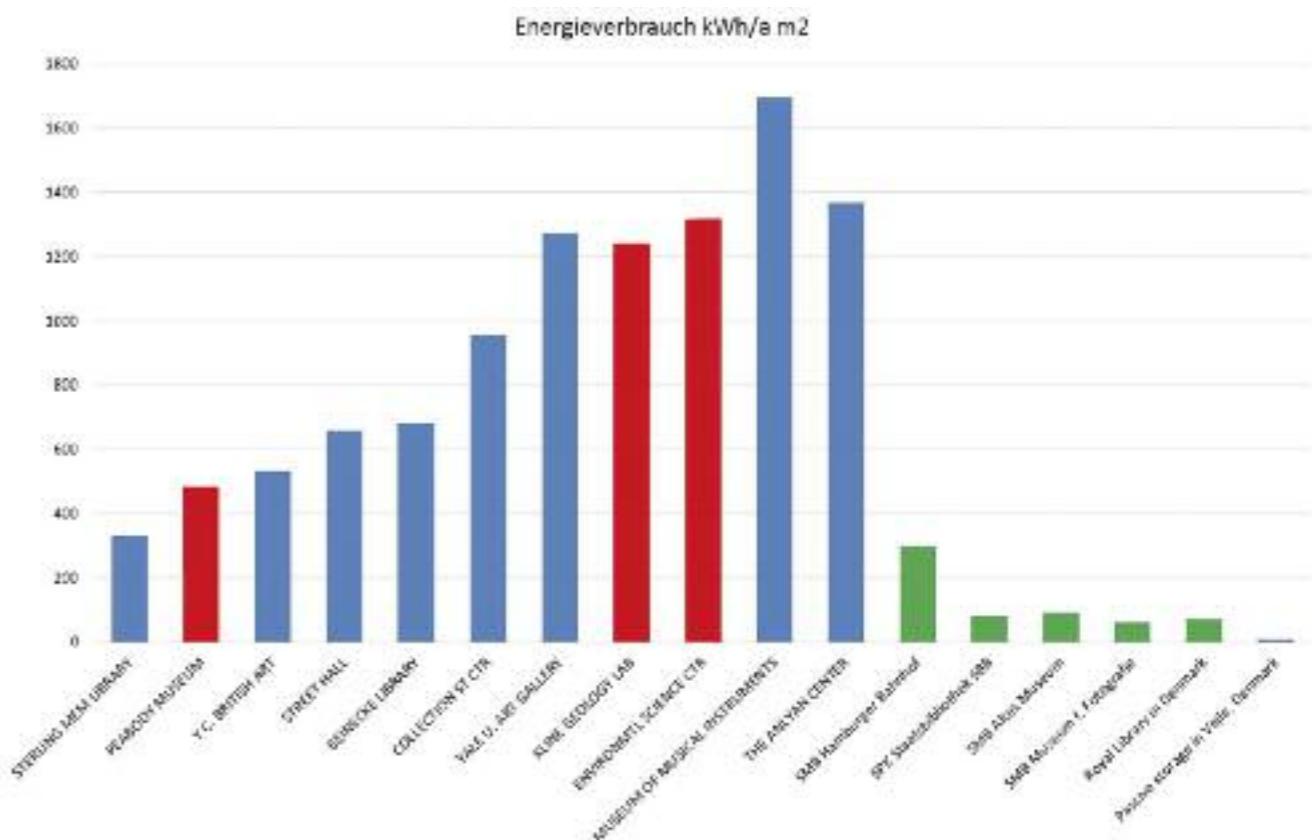


Abb. 4: Der im Jahr 2014 erfasste Energieverbrauch von YPM-Gebäuden (rote Farbe) im Vergleich zu anderen Yale-Sammlungen (blaue Farbe) sowie Einrichtungen der Stiftung Preußischer Kulturbesitz und anderen nationalen und internationalen Referenzeinrichtungen (grüne Farbe), Graphik: S. Simon et al.

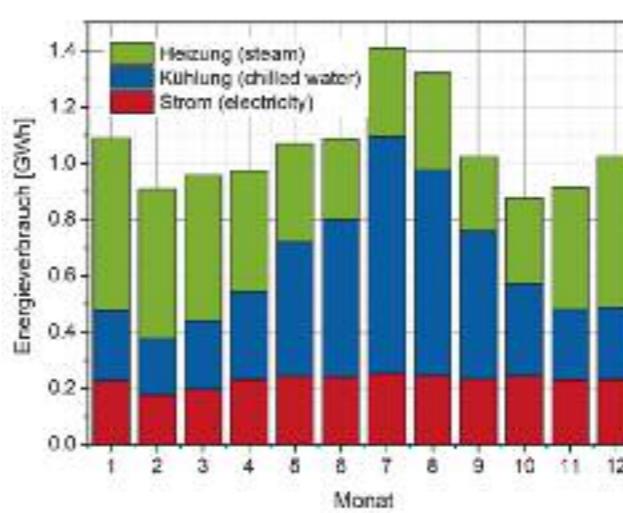


Abb. 5: Durchschnittlicher monatlicher Energieverbrauch im ESC aufgeteilt nach Heizung, Kühlung und Strom, Graphik: S. Simon et al.

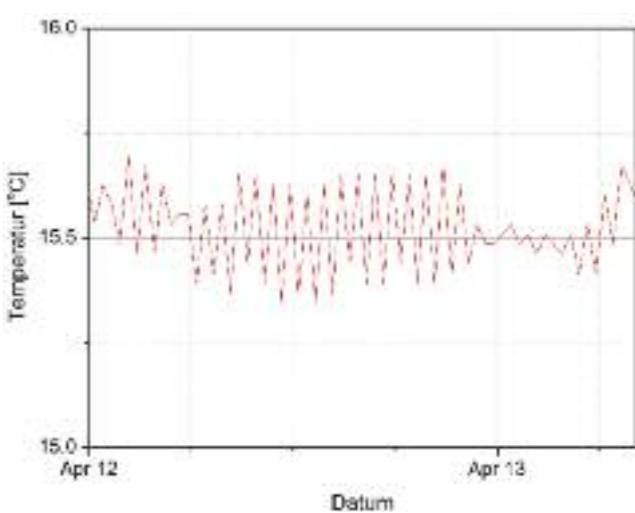


Abb. 6: Temperaturschwankung um den Sollwert von 15.5 °C im Botanik-Herbarium-Depot (ESC), Graphik: S. Simon et al.

Bewertung von Leuchtmitteln hinsichtlich ihrer Eignung zur Verwendung im Museum – ein Überblick der Ergebnisse aus dem Rathgen-Forschungslabor

SIMON KUNZ¹, STEFAN RÖHRS² (s.roehrs@smb.spk-berlin.de)

¹ Deutsches Bergbau-Museum Bochum, ehemals: Rathgen-Forschungslabor, Staatliche Museen zu Berlin

² Rathgen-Forschungslabor, Staatliche Museen zu Berlin

1. Einleitung

Licht ist zur Betrachtung einer Oberfläche unabdingbar. Es kann jedoch bei empfindlichen Materialien photochemische Reaktionen und farbliche Veränderungen hervorrufen. Zu den Objektklassen, die üblicherweise als lichtempfindlich eingestuft werden, zählen u. a. Aquarelle, Farbholzschnitte, farbige Drucke und Zeichnungen sowie organische Materialien mit empfindlichen Farbstoffen und Pigmenten wie Textilien, Elfenbein und Knochen. Solche Objekte zeichnen sich häufig durch eine Farbigkeit aus, die elementarer Bestandteil des künstlerischen Ausdrucks und der Ästhetik des ursprünglichen Werks ist. Um dies zu erhalten, sollen Materialoberflächen musealer Sammlungsobjekte über Jahrhunderte hinaus unverändert mit ihrem ursprünglichen Erscheinungsbild bewahrt werden, um als Repräsentanten einer bestimmten Epoche für spätere Generationen erfahrbar zu bleiben.

Weißes Licht besteht aus elektromagnetischer Strahlung mit unterschiedlichen Wellenlängen. Der für den Menschen wahrnehmbare Bereich liegt zwischen 380 und 780 nm Wellenlänge. Blaues Licht liegt im Bereich der kurzweligen Strahlung, rotes bei den längeren Wellenlängen. Der spektrale Bereich bei noch kürzeren Wellenlängen ist nicht sichtbar und wird ultraviolette Strahlung (UV) genannt. Je kurzwelliger die Strahlung, desto höher ist ihr

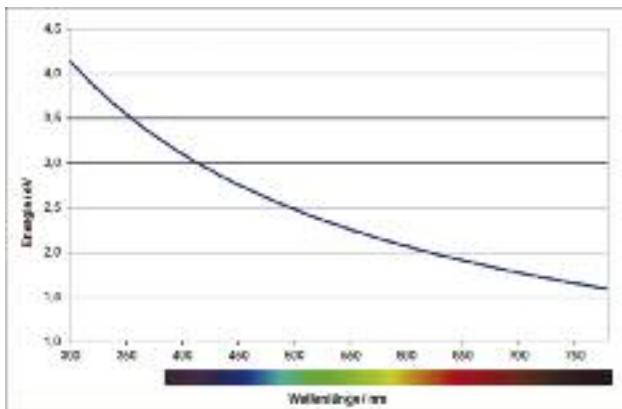


Abb. 1: Energiegehalt der Strahlung in Abhängigkeit der Wellenlänge, Bereich unter 380 nm: UV; 380 nm bis 780 nm: sichtbares Licht, Graphik: S. Kunz und S. Röhrs

Energiegehalt. Somit ist die UV-Strahlung energiereicher als Licht (Abb. 1).

Verschiedene Zerfallsprozesse greifen die Objekte und ihre Oberflächen an: Neben dem Einfluss der Luftfeuchte, Temperatur, Reaktion mit Schadgasen, Oxidationen, mechanischen Schäden und Insekten ist elektromagnetische Strahlung in Form von ultraviolettem (UV), visuellem (vis) und infrarotem (IR) Licht eine weitere schädigende Einflussgröße, die wegen ihrer Allgegenwärtigkeit und der Irreversibilität der Schäden von besonderer Problematik ist. Während es für andere Einflussgrößen prinzipiell möglich ist – wenn auch aufwendig und teuer –, eine optimierte anoxische und klimatisierte Atmosphäre für ein bestimmtes Objekt zu schaffen, so ist es unmöglich, den Einfluss von Licht völlig auszuschließen, wenn ein museales Objekt der Öffentlichkeit gezeigt werden soll (Korenberg, 2008).

Die Diskussion zur Schädlichkeit von Licht begann spätestens im 19. Jahrhundert mit der Einführung von künstlichen Lichtquellen in Museen. Das Victoria & Albert Museum, damals noch South Kensington Museum London (Brommelle, 1964) verwendete zur künstlichen Beleuchtung hauptsächlich Gaslicht, um längere Museumsöffnungszeiten in den Wintermonaten zu ermöglichen. Dies führte in London zu einer Kontroverse, bei der es speziell um die Erhaltung von Aquarellen ging. Diese waren durch künstliches Licht und industrielle Umweltbelastung (London Smog) einer Doppelbelastung ausgesetzt und drohten zu verblasen. Mit Forschungsgeldern, die direkt vom königlichen Finanzministerium bewilligt wurden, untersuchten Dr. Russel und Captain Abney systematisch den Einfluss von Gas- und Tageslicht auf Künstlerfarben (Russel und Abney 1888; Brommelle, 1964). Dabei stellten sie fest, dass blaue und violette Anteile im Licht besonders problematisch sind. Diese Strahlungsanteile stellten sich als besonders schädlich für Aquarellfarben heraus. So wurde geschlussfolgert, dass (gleiche Bestrahlungsstärke vorausgesetzt) Gaslicht weniger schädlich ist als Tageslicht. In Abb. 2 werden unterschiedliche Lichtspektren verglichen. Normlicht A entspricht dabei dem Spektrum eines Halogenstrahlers und ist, da es sich ebenfalls um eine thermische Strahlungsquelle handelt, dem Licht einer Gasquelle ähnlich. Das natürliche Tageslicht kann ver-

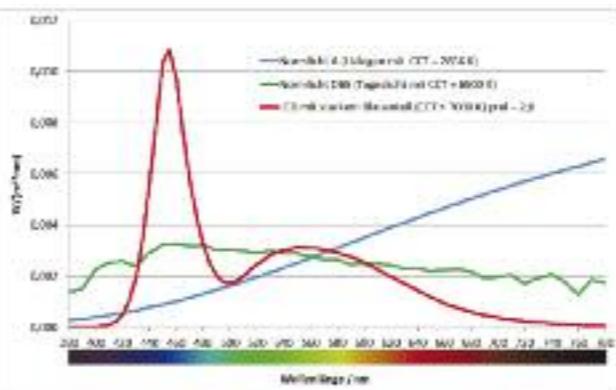


Abb. 2: Spektrale Verteilung $S(\lambda)$ verschiedener exemplarischer Lichtquellen, Graphik: S. Kunz und S. Röhrs

schiedene Spektren aufweisen. Normlicht D65 in Abb. 2 entspricht einem exemplarischen Tageslicht mit einer Farbtemperatur von 6500 K.

Mit der Einführung der Light Emitting Diodes (LED) erreichte die Diskussion zur Schädigung von Kunst durch Licht einen erneuten Höhepunkt. Anfang 2013 titelten verschiedene europäische Zeitungen, dass Licht aus LEDs schädlich für Kunst ist. So fanden sich folgende Beiträge bei Spiegel Online (2013): „Warnung vor LED-Leisten – Licht verfärbt Gemälde von van Gogh“ und im Independent (2013): „Van Gogh's masterpiece is slowly turning brown as a result of exposure to LED lighting“. Ähnliche Artikel gab es in anderen Zeitungen u. a. in Frankreich und den Niederlanden (Le Monde 2013, Frankfurter Allgemeine 2013, Historiek 2013). Ausgelöst wurden diese Meldungen durch eine Pressemitteilung der European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) mit Bezug auf Publikationen einer Forschungsgruppe, die sich mit den Ursachen der Veränderung von bestimmten Chromgelb-Pigmenten, welche von Van Gogh verwendet wurden, befassten (ESRF 2013, Monico et al., 2011a, b, 2012a, b). Forscher zeigten, dass bei bestimmten Chromgelb-Pigmenten mit Sulfat- und Sulfideinschlüssen, welche von Van Gogh verwendet wurden, Wellenlängen unter 525 nm (also Grün, Blau und Violett) schädigende photochemische Reaktionen hervorrufen können (Monico et al., 2011a, b, 2012a, b). Dieser Spektralbereich wurde schon von Russell und Abney als problematisch identifiziert – ungewöhnlich ist die Empfindlichkeit, mit der das anorganische Pigment reagiert. Von anorganischen Pigmenten wird in der Regel eine höhere Lichtstabilität im Vergleich zu organischen Pigmenten oder Farbstoffen erwartet. In den originalen Artikeln wird die LED nicht erwähnt, ESRF wies jedoch darauf hin, dass dieses Pigment besonders durch Licht von LED-Lichtquellen leiden könnte (ESRF, 2013). Der Grund dafür, dass LED als Risikofaktor genannt wird, hängt mit dem Funktionsprinzip der LED zusammen, welches dafür sorgt, dass im LED-Licht ein höherer Blauanteil vorhanden ist als beispielsweise im Licht einer Glühbirne. Dieses gegenüber Glühbirne oder Halogen erhöhte Risiko besteht ebenso bei natürlichem Tageslicht, welches zusätzlich einen Anteil an UV-Strahlung haben kann.

Hervorgerufen werden Veränderungen an Pigmenten und Farbstoffen durch photochemische Reaktionen. Eine photochemische Reaktion wird durch die Absorption eines Photons gestartet, beschleunigt oder anderweitig unterstützt (Cuttle, 2007, S. 39). Die Reaktion kann nach unterschiedlichen Mechanismen erfolgen: z. B. hydrolytisch (Reaktion mit Wassermolekülen), oxidativ (Reaktion mit Sauerstoff oder Wasser aus der Luft), oder durch Abspaltungsprodukte (Reaktionsprodukte der Photolyse), die wieder mit dem Material reagieren können (Berthumeyrie et al., 2014; Selwitz, 1988). Die photochemische Reaktion hängt daher nicht nur von der Chemie des Farbmittels, sondern auch von der chemischen Umgebung und von der Wellenlänge des eingestrahlten Lichtes ab. Daher hat auch das Lichtspektrum einen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Materialveränderung.

Die Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) hat Empfehlungen zum Lichtmanagement in Ausstellungsräumen entwickelt. Im Technical Report 157 der CIE wird in einem Modell die Wirkung der Strahlung auf das Objekt beschrieben. Es werden vier Faktoren genannt, die das Ausmaß von photochemischen Reaktionen bestimmen: Bestrahlungsstärke, Expositionsdauer, spektrale Intensitätsverteilung der Lichtquelle und die spektrale Wirkungsfunktion, die den Zusammenhang zwischen der Wellenlänge und der Empfindlichkeit der Objekte beschreibt (CIE, 2004). Mit der spektralen Intensitätsverteilung der Lichtquelle, $S(\lambda)_s$, und der spektralen Wirkungsfunktion, $s(\lambda)_{dm,reb}$, lässt sich das relative Lichtschädigungspotenzial (p_{rel}) für Leuchtmittel berechnen.

Seit 2010 werden durch das Rathgen-Forschungslabor (RF), Staatliche Museen zu Berlin (SMB), Stiftung Preußischer Kulturbesitz (SPK) Ergebnisse zur Beurteilung von Leuchtmitteln gesammelt. Zur Entscheidungshilfe bei der Auswahl von Leuchtmitteln durch die Museen der SMB werden die Leuchtmittel vermessen und deren p_{rel} bestimmt. Das ermittelte Ergebnis des relativen Lichtschädigungspotenzials des geprüften Leuchtmittels wird mit einem Benchmark-Wert, der sich aus der Auswertung aller bisher vergleichbaren gemessenen Produkte ergibt, verglichen. Damit wird als Benchmark ein realisierbarer Wert herangezogen und gleichzeitig der technischen Entwicklung der Leuchtmittel Rechnung getragen. Aus konservatorischer Sicht werden Produkte, die niedrigere Werte als den Median aller getesteten Leuchtmittel (zur Zeit dieser Auswertung bei einem p_{rel} von 0,93) erreichen, bevorzugt eingesetzt.

Ergebnisse der Langzeitbetreuung am Cranach-Altar auf Schloss Augustusburg zum Thema der präventiven Konservierung

THOMAS LÖTHER¹ (loether@idk-denkmal.de), MANFRIED EISBEIN²

¹ Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmälern in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V.

² Landesamt für Denkmalpflege Sachsen

1. Einleitung

Die Augustusburg ist eine weithin sichtbare Landmarke unweit von Chemnitz. Sie liegt auf einem einzelnen hohen Bergkegel (516 m über NN) vor dem Erzgebirgskamm. Ihre Schlosskapelle ist repräsentativer Teil der weithin sichtbaren Vierflügelanlage. Kurfürst August I. (1526–1586) ließ Schloss Augustusburg von Oberbaumeister Hieronymus Lotter in sehr kurzer Bauzeit errichten (1568–72). Der Bauherr orientierte sich an den modernsten Bauformen seiner Zeit, die sich auch in der Ausgestaltung der Räume im Stile der italienischen Renaissance niederschlügen (Abb. 1). Cranach der Jüngere (1515–1586) schuf das repräsentative Altargemälde mit der Herrscherfamilie und ebenso die Darstellungen auf der Kanzel. Von Wolfgang Schreckenfuchs stammt die aufwendig gefasste Altarraumrahmung (Abb. 2).

Im Jahr 2008 begann unter Leitung des Landesamtes für Denkmalpflege Sachsen (LfD) die lange Zeit vorbereitete statisch konstruktive Sicherung des großformatigen Cranach-Gemäldes, das durch das jahreszeitlich bedingte „Arbeiten“ des Bildträgers zerriss. Mit der fachübergreifenden Zusammenarbeit verschiedener wissenschaftlicher Einrichtungen gelang eine nachhaltige „Musterrestaurierung“, die seit mehr als zehn Jahren ihre Gültigkeit unter Beweis stellen muss. Die Kapelle ist nicht exakt geostet. Sie fügt sich – den tektonischen Gegebenheiten der Bergkuppe folgend – als eigner Baukörper in die Vierflügelanlage ein. Somit fällt im Tagesverlauf Licht durch die großen Fenster an beiden



Abb. 1: Schloss Augustusburg, Blick in den Innenhof der Renaissanceanlage, Foto: T. Löther, IDK



Abb. 2: Schloss Augustusburg, Blick in die Schlosskapelle mit Altar und Kanzel, Foto: T. Löther, IDK

Längsseiten und durch das Fenster im Giebel hinter dem Altar auf die Kunstwerke. Auf Grund der exponierten Lage liegt ein meist trockener Nord-Ostwind sowohl auf den Fenstern der nord-östlichen Langseite als auch auf dem Giebelfenster der südöstlichen Stirnseite. Der Kirchenraum ist durch kleine Okuli mit dem Dachbereich verbunden. Der Winddruck und ein hoher Besucherstrom tragen zu einer hohen Luftwechselrate bei. Das mit schwarzem Schiefer auf Vollschalung gedeckte Dach bewirkt sehr hohe sommerliche Temperaturen (bis zu 60 °C), was zu einer erheblichen sommerlichen Aufheizung des Gewölbes und angrenzender Bereiche führt (Abb. 3). Im Winter wird der an sich unbeheizte Kirchenraum durch den gastronomisch genutzten Keller über den Fußboden quasi leicht temperiert. Daraus resultiert eine kontinuierliche ganzjährige Erwärmung und damit Trocknung. Vor diesem Hintergrund haben sich die bauklimatischen Rahmenbedingungen gegenüber der kurfürstlichen Erbauungszeit und der späteren Nutzung durch den königlichen Hof – als die Kirche noch „muffig“ war – grundlegend verändert. Auf den ersten Blick erscheint die Trocknung positiv, denn sie senkt das Risiko eines starken Anobien- bzw. Pilzbefalls. Nicht in jedem Fall kann allerdings das Absenken der Materialfeuchten aus konservatorischer Sicht begrüßt werden. Die Ausstattungen leiden

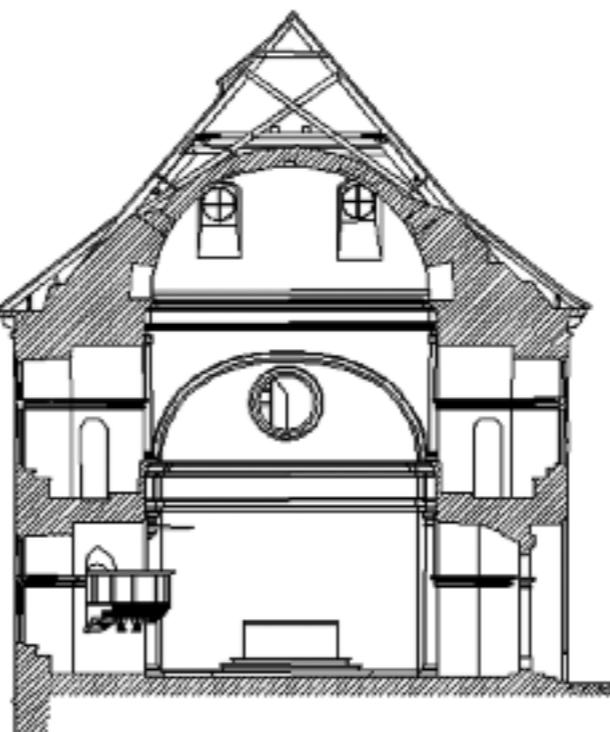


Abb. 3: Querschnitt der Schlosskapelle, ersichtlich wird die konstruktive Ausbildung des Gewölbes im Dachraum, Graphik: SIB, Chemnitz

durch den einsetzenden Holzschwund. Schäden an Mal- schicht und Fassung sind vorprogrammiert.

Exemplarische Messungen der Tafelveränderungen und des Raumklimas begannen bereits zur „Wendezeit“ durch den im Schlossbetrieb tätigen Restaurator Tonio Schulze und durch das Institut für Denkmalpflege. Mit der Gründung des Instituts für Diagnostik und Konservierung an Denkmälern in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V. (IDK) vor gut 25 Jahren startete eine professionelle Klimaerfassung. Seit 1996 liegen kontinuierliche Messungen der Temperatur, der Luft- und Materialfeuchten sowie der Maßänderungen an der Cranachtafel vor. Das Monitoring war für die Bewertung von Schäden unverzichtbar und Grundlage für die Erarbeitung von Konzepten.

Die Durchschnittswerte des Kirchenraums waren mit 65 % relative Luftfeuchte und einer Durchschnittstemperatur von 12 °C nicht wirklich schlecht, doch die Schwankungen der Raumlufttemperatur im Innenraum (+1,5 °C bis +27,6 °C) waren extrem und stiegen erwartungsgemäß zur Decke an. Die Luftfeuchte lag zwischen 24,8 % und 99,9 %.

Anders als allgemein erwartet, kam es nicht zu einem sommerlichen Anstieg der Raumluftfeuchte. Besonders niedrige Spitzen zeigten sich im Juni und September, wofür wohl die speziellen meteorologischen Verhältnisse auf dem umwindeten Berg verantwortlich waren. Vermutlich trugen zu diesem Phänomen auch die nutzungsbedingte nach-

haltige Durchwärmung und Austrocknung des Gebäudes bei.

Die Messungen von 2006 bis 2019 zeigten überraschenderweise, dass die Temperatur innerhalb dieses Zeitraums im Jahresmittel kontinuierlich um ca. 0,8 K anstieg und demzufolge die relative Luftfeuchte und entsprechend auch die Holzfeuchte sank. Das Kunstgut trocknet langsam aus, was zur Schrumpfung der Bildtafel von bisher ca. 6 mm und in Folge zu Malschicht- und Fassungsschäden führte! Vermutlich überlagern sich dabei zwei Phänomene – ein allgemeiner globaler Temperaturanstieg und die nutzungsbedingte Objekterwärmung und Trocknung der Bausubstanz durch flankierende bauliche Maßnahmen am Schlosskomplex.

Mit den raumklimatischen Untersuchungen, die durch das IDK ab 1995 begleitet wurden und ab 2006 selbstständig durchgeführt werden, sollten folgende Fragestellungen geklärt werden:

- Wie ist der raumklimatische Ist-Zustand der Schlosskapelle an mehreren Messpunkten über einen langfristigen Zeitraum?
- Gibt es Stabilisierungsmöglichkeiten der Maltafel durch eine Einflussnahme auf das Raumklima?
- Wie stark ist die Rissbildung am Altar auf ein schwankendes Raumklima zurückzuführen?
- Ist es möglich, das Raumklima in der Schlosskapelle durch entsprechende Maßnahmen zu stabilisieren?
- Sind Veränderungen durch die erfolgten restauratorischen und konstruktiven Maßnahmen feststellbar?

2. Ein kurzer Abriss zur Restaurierungsgeschichte

Erhebliche Sorgen bereitete zu Beginn des 19. Jahrhunderts ein feuchtes Kirchenklima in der Schlosskapelle. Daraus resultierte ein starker Anobienbefall. Der Altar war desolat, sodass bereits einzelne Teile ersetzt werden mussten. Nur von kurzzeitigem Erfolg blieb 1826 eine „Holzwurmbe- kämpfung“ durch Räuchern mit Wermutkraut und eine rückseitige Behandlung mit Wermutessenz. So wurde 1854 eine vollständige Kopie des Altars in Erwägung gezogen. Dies verhinderten zum Glück der Sächsische Altertumsverein und ebenso der Regent. Die restauratorischen Anstrengungen zum Erhalt der Originalsubstanz gegenüber einer Kopie stellten damit in Sachsen eine neue Qualität bei der Bewahrung von Kunst- und Kulturgut dar. Vorwiegend erfolgten die Restaurierungsarbeiten 1824 und 1858 in der Dresdner Gemäldegalerie, wohin die Bildtafel mit Pferdefuhrwerken gebracht wurde.

Dort wurden auch im Jahr 1858 die gravierenden Eingriffe wie das riskante Dünnen der 3,18 m hohen und 2,37 m

breiten Tafel vorgenommen. Sie dienten nicht, wie sonst üblich, dem Planieren, sondern sollten eine Voraussetzung zum vollständigen Imprägnieren des Bildträgers mit Kopalvabalsam schaffen. Er wurde schließlich auf eine Stärke von lediglich ca. 12 mm abgearbeitet und mit einem Flachparkett versehen. Immerhin sicherten diese fragwürdigen Maßnahmen den Fortbestand und führten zum Glück zu keinen nennenswerten Veränderungen an der Malerei. Die am Altar tätigen Restauratoren waren meist vom guten Zustand der Malerei überrascht. Das sprach dafür, dass die Tafel in der Kirche recht gut aufgehoben war. Allgemein hatte die Malerei auch durch die restauratorischen Maßnahmen wenig gelitten, wie die beteiligten Restauratoren von der Gemäldegalerie und der Denkmalpflege 1936 und 1966 übereinstimmend äußerten. Wiederholt veränderten sich allerdings die Retuschen deutlich. Der bedenkliche Zustand des Bildträgers verlangte nach einem stabileren, dem Kunstwerk zuträglicheren, nicht zu feuchten Klima. In diesem Zusammenhang sind zur Mitte des 19. Jahrhunderts auch die Bemühungen um bessere Belüftung des Altars durch die Beseitigung von Einbauten zu sehen. So konnten Fäulnis und wohl auch Echter Hausschwamm gestoppt werden, nicht aber die weitere Zerstörung durch



Abb. 4: Rissbild an der Maltafel des Cranach-Altars, Foto: T. Löther, IDK

Anobienbefall und klimabedingte Risse am geschwächten Bildträger.

Nachfolgend wurden häufig Sicherungsmaßnahmen nötig – in der Regel ca. alle 20 Jahre, da sich in der Tafel immer wieder Risse zeigten. Eine letzte größere Restaurierung fand 1966 statt. In diesem Rahmen fanden eine Begasung, eine umfassende Stabilisierung und Verleimung des Bildträgers, eine Überarbeitung des Flachparketts und die Konservierung der Maltafel statt.

1985 wurden erneut Risse festgestellt. Die Klimamessungen belegten, dass die gedünnte Tafel schnell auf Klimaschwankungen reagierte (25 %–100 % RH) und sich die Risse je nach Raumklima öffneten oder schlossen. Neue Risse ließen immer weiter ein. Ein Hauptriß zog sich zuletzt bis zu 1,80 m, also bis weit über die Mitte ins Bild hinein. Der Bildträger zerriss hauptsächlich mittig an seinen Schwachstellen, den verleimten älteren Rissen und den durch Anobienfraß geschädigten Partien (Abb. 4). Die klimabedingten Schwankungen der Gesamtbreite betrugen im Jahreszyklus ca. 15 mm. Gleichzeitig belegten die Messungen, dass der lange mittlere Riss sich öffnet, wenn die Tafel schwindet, sodass zeitweise Licht durch die Tafel fiel. Beide Tafelhälften arbeiteten also beim Quellen und Schwinden gegeneinander, wodurch die Schäden weiter zunahmen.

3. Vorgehensweise und Messkonzept der Klimamessungen

Die hier vorgestellten Ergebnisse der Raumklimamessungen in der Schlosskapelle der Augustusburg beziehen sich auf die Untersuchungszeiträume vom Mai 2006 bis zum Juni 2008 für die Erfassung des Ist-Zustandes vor dem Beginn der Restaurierung der Schlosskapelle und des Altars und vom August 2008 bis zum Mai 2019 für den Zeitraum der Nachuntersuchungen. Aktuell laufen diese raumklimatischen Untersuchungen weiterhin, um die langfristigen Veränderungen im Raumklima der Kapelle zu erfassen und zu bewerten. In den letzten Jahren erfolgte zu den raumklimatischen Messungen auch noch die Erfassung von schädigenden Lichtbestandteilen wie der UV- und der IR-Strahlung.

Das Messkonzept für die Erfassung des Ist-Zustandes umfasste fünf Messbereiche mit insgesamt 14 Messpunkten. So wurden unter anderem das Außenklima, das Raumklima der Schlosskapelle und das Nahfeldklima am Altar in unterschiedlichen Höhen erfasst. Gleichzeitig erfolgten Messungen zur relativen Luftfeuchte in einem abgedichteten Bohrloch in der Maltafel. Zur Vervollständigung der Datenerfassung gehörte noch die Breitenänderung der gesamten Maltafelbreite. In Abb. 5 ist die Rückseite des Altars mit verschiedenen Messpunkten erkennbar.



Abb. 5: Rückseite Cranachaltar mit Messpunkten für die Erfassung des Nahfeldklimas am Altar und der Gesamtbreite der Maltafel, Zustand vor der Restaurierung, erkennbar sind auch die Parkettleisten, Foto: T. Löther, IDK

4. Umsetzung eines Klimakonzeptes ab 2006

Eine Änderung des bauklimatischen „status quo“, der mehrere Jahrhunderte Bestand gehabt hatte und grundsätzlich für den Bau nicht nachteilig erschien, sah die Denkmalpflege kritisch. Immerhin manifestierte sich eine ursprüngliche Bauabsicht, die wohl mit Bedacht auf eine natürliche Entlüftung des Gebäudes setzte. Das Landesamt für Denkmalpflege stimmte nur zögerlich zu und beschränkte sich auf behutsame Veränderungen, die nach einer Probephase notfalls auch wieder rückgängig gemacht werden konnten. Ein Für und Wider der Vorschläge zur Stabilisierung des Raumklimas wurde zwischen den beteiligten Partnern intensiv diskutiert, denn es galt zu bedenken, dass Nutzungsvoraussetzungen und bauklimatische Bedingungen sich inzwischen gewandelt hatten. Ein für alle tragbarer Kompromiss sah ein Vorgehen in mehreren Schritten vor. Konzepte waren durch ein Weiterführen der Messkampagnen auf ihre Effizienz zu prüfen. Technisch aufwendige und risikante Lösungen sollten zurückgestellt und erst dann realisiert werden, wenn die weniger problematischen Vorschläge nicht ausreichten. Als erster Schritt wurde die Dämpfung von Einflüssen aus dem Dachraum auf das Raumklima der Kapelle durch eine Dämmung und eine Kühlung des Dachraums selbst angestrebt sowie ein abgeändertes Konzept für Führungen erarbeitet:

- Die Umverlegung des Besucherstroms war unproblematisch. Der Zutritt sollte zukünftig über einen seitlichen Raum mit separater Eingangstür erfolgen, der wie ein Windfang wirkte und den Luftdurchsatz deutlich reduzierte.
- Offene Zugänge zum Dach, sowie zur Sängerempore wurden durch Fenster und Türen verschlossen.

- Alle Okuli im Gewölbereich erhielten Festverglasungen mit satiniertem – also halbtransparentem – Glas.
- Sommerliche Temperaturspitzen konnten durch Dämmung und Abkopplung des Gewölbes sowie Durchlüftung des Daches minimiert werden. Dafür wurde eine Dämmung aus Mineralwolle auf die Gewölbetonne aufgebracht.
- Die ursprünglich vorgesehene Belüftung zur Kühlung des Dachraums wurde zurückgestellt und sollte vorerst nur händisch erfolgen. Der Vorschlag für eine zusätzliche saisonal varierende Zwangsbelüftung des Daches durch zwei in der Längsachse gegenüberliegende Fenster mit Jalousien wurde leider ebenfalls zurückgestellt. Der Betreuungsaufwand – Öffnen im Frühling und Schließen im Herbst sowie Kontrolle bei starkem Schlagregen – wurde gefürchtet. Doch auch zu einer sensorgesteuerten Entlüftung konnte der Bauherr sich nicht entschließen.
- Ebenfalls nicht realisiert wurde das Einleiten kühler und feuchter Luft aus entsprechenden Kellern, da Kollateralschäden wie Staubaufwirbelungen, Kondensat und Schimmel nicht ausgeschlossen waren. Das Risiko erschien zu hoch. Hinzu kam der Kostenfaktor.
- Klimamessungen und das Monitoring an der Maltafel konnten fortgesetzt werden. Eine Vielzahl von Messwerten wird regelmäßig aufgezeichnet.

5. Holzkonservatorische Maßnahmen am Altar seit 2008

Vom ursprünglich avisierten Bildträger-Ersatz wurde zugunsten lediglich stabilisierender Maßnahmen Abstand genommen. Die fragile Tafel sollte als Rest des ursprünglichen Bildträgers erhalten bleiben. Sie war so weit zu ertüchtigen, dass sie den saisonalen Klimaschwankungen in der unbeheizten Kirche standhalten konnte.

Messungen belegten, dass das saisonale Austrocknen der Tafel trotz des rückseitigen Ölfarbenanstrichs und der späteren zusätzlichen Wachsbeschichtung weitestgehend über die Rückseite erfolgte. Hingegen bildeten die Malschicht und der kompakte Firnis offenbar eine natürliche, stabile Barriere. Im Jahreszyklus arbeitete die Tafel erheblich. So drohte der Bildträger zu zerreißen.

Weil sich die Schäden verstärkten, musste gehandelt und das zwischenzeitlich erarbeitete Restaurierungskonzept zeitnah umgesetzt werden. Die bisherigen restauratorischen Arbeiten, die einen eigenen historischen Dokumentationswert hatten, sollten bewahrt werden.

Folgende praktische Arbeiten am Altar wurden umgesetzt:

- Alle Risse im destrukturierten Bildträger konnten nicht stabil verleimt werden und sollten letztlich durch Brü-

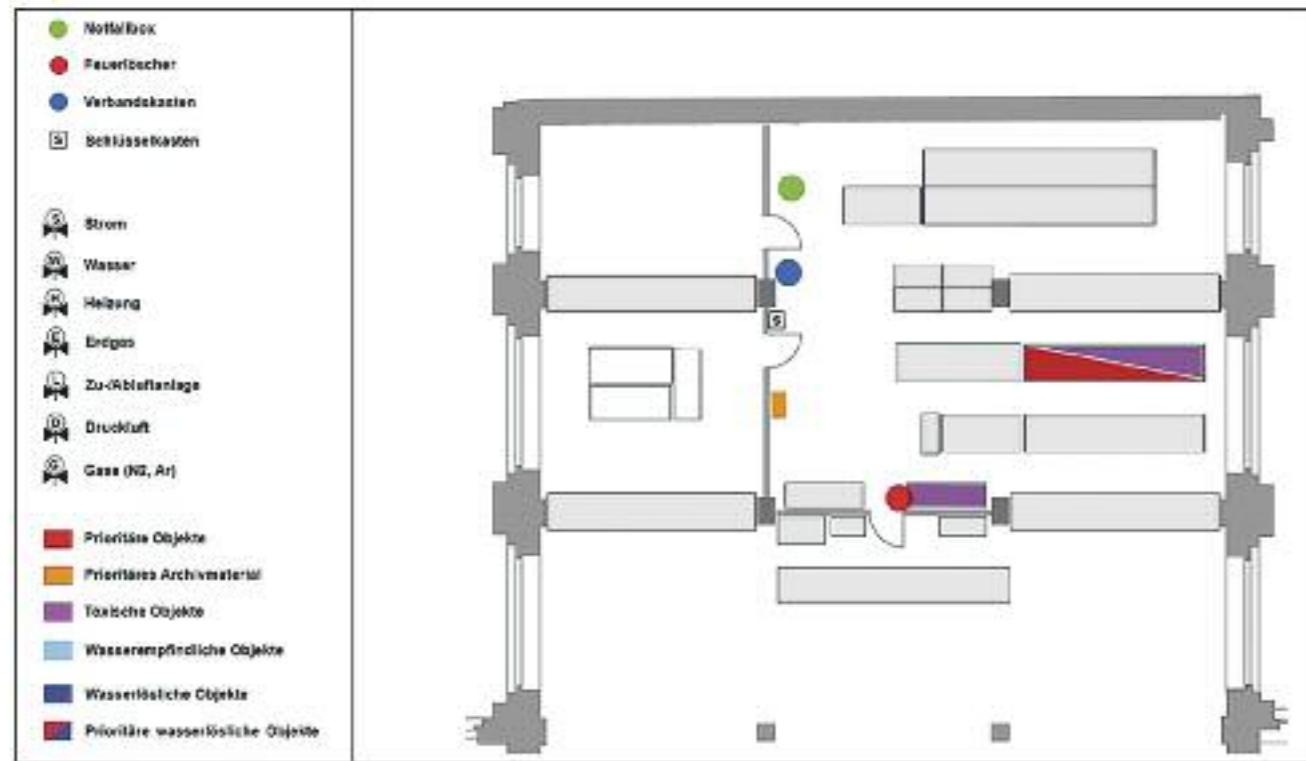


Abb. 1: Ausschnitt aus dem Notfallplan eines hypothetischen Sammlungsaals am MfN, Graphik: P. Giere

beispielsweise Informationen zum jeweiligen Schließsystem der Teilsammlung, objektspezifische Besonderheiten für die Bergung der Objekte (insbesondere potenzielle Gefährdungen durch sie) und – so bekannt – wichtige Infrastrukturdurchpunkte wie Schaltkästen, Absperrhähne etc. ein (Beispiel Abb. 1). Diese Pläne können von der Feuerwehr genutzt werden, sind aber insbesondere für den internen Gebrauch konzipiert.

5. Flankierende Maßnahmen

5.1 Lokales Notfallmaterial

Im Vorfeld der Notfallplanungen war für jeden großen Sammlungssaal ein Notfallwagen beschafft worden (Abb. 2). Dieser fertig konfektionierte Wagen enthält in zwei kompakten und verplombten Kunststoffbehältern Material zur Behandlung von Wasserschäden, persönliche Schutzausrüstung für zwei Personen sowie Dokumentations- und Reinigungsmaterial. Durch seine Räder kann dieser von einer Person schnell an den jeweiligen Einsatzort gebracht werden.

5.2 Notfallausrüstung

Nach Überlegungen zu Notfallszenarien wurde die AG Notfallplanung durch Mittel des MfN zur Beschaffung von Aus-



Abb. 2: Notfallwagen mit Notfallmaterialien für kleinere Havarien, Foto: E. Aßel



Abb. 3: Notfallmaterial im Notfallcontainer des MfN, Foto: P. Giere

rüstung in die Lage versetzt, auch selbst in größeren Notfällen eingreifen zu können. Neben persönlicher Schutzausrüstung für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und Pumpen sowie professionellen Nasssaugern für die Schadensbehebung konnte weitere Ausrüstung für die Bergung und Erstversorgung von Sammlungsmaterial beschafft werden, die in einem separaten Container im Hof des Museums untergebracht ist (Abb. 3). Die Bergung von Objekten erfolgt mittels luftbereifter Wagen, die mit Kunststoffkisten zur Unterbringung des Bergungsgutes beladen werden können. Daneben gibt es mobile und stromsparende Beleuchtungseinrichtungen für den Schadensort und das Erstversorgungszentrum. Da es im MfN explosionsgeschützte Sammlungssäle gibt, ist auch ein Teil der Beleuchtung explosionsgeschützt und die Transportwagen wurden mit ESD-Ableitband ausgerüstet. Das Erstversorgungszentrum besteht aus einem stabilen Zelt mit 60 m² Grundfläche, das mit einem dichtschließenden Plattenboden ausgestattet ist. Dieser MfN-Eigenbau dient der Isolation gegen Bodenkälte sowie im Verlustfall dem Auffinden kleinerer Objekte oder von Objektteilen. Im Erstversorgungszentrum dienen speziell angefertigte Tische und Bänke, die auch geeignet sind, schwere Lasten wie Fossilien zu tragen, sowohl als Arbeitsfläche und Standort



Abb. 4: Dieselbetriebenes Warmwassergerät im Probeinsatz, Foto: P. Giere

der aus Kunststoffkisten angefertigten Becken für die feuchte Reinigung als auch übereinandergestellt als Zwischenlagerregal für die erstbehandelten Objekte. Da bestimmte Materialien in der Paläontologie vergleichsweise weniger Schaden bei feuchter Reinigung mit Warmwasser nehmen, wird ein dieselbetriebenes und fahrbares Warmwassergerät vorgehalten (Abb. 4). Die mobile Stromversorgung über einen benzinbetriebenen Stromerzeuger samt ausreichend Kabeln und Verteilern sind ebenfalls Teil des Notfallequipments.



Abb. 5: Aufbauprobe für das Zelt, das im Notfall als Erstversorgungszentrum für geborgene Sammlungsobjekte dient, Foto: Th. von Rintelen

5.3 Übungen

Um für den Ernstfall gerüstet zu sein, müssen die Einsätze geübt werden. Daher gab es verschiedene Übungen, um den Umgang mit Gerät und Notfallsituationen zu trainieren.



Abb. 6: Impressionen der Notfallübung vom 23. Mai 2017 am MfN, a) Schadszenario mit durchnässten Übungsobjekten, b) geborgene und etikettierte Probeobjekte in Transportkiste und c) Arbeit im Erstversorgungszentrum, Fotos: C. Neumann

Zunächst wurde für eine Übung nur das Notfallzelt (6,0 x 10,0 m), in dem im Ernstfall das Erstversorgungszentrum untergebracht ist, aufgestellt (Abb. 5). Hier kamen neben dem Notfallkoordinationsteam auch Mitarbeiter der Haustechnik zum Einsatz und der erste Aufbau erwies sich als der schwierigste, da sich alle in die Eigenheiten des Zeltsystems einarbeiten mussten. Jedoch konnte durch Markierung der Zeltelelemente in der Folge die Aufbaudauer verkürzt werden und der Bedarf für Leitern im Notfallcontainer wurde erkannt. Zudem wurde die Gelegenheit von den Haustischlern genutzt, um die Maße für den festen Zeltboden zu nehmen. Dieser Boden wurde bei der nächsten Übung im Notfallzelt installiert.

Die erste kombinierte Übung wurde am 23. Mai 2017 durchgeführt und bezog neben dem Notfallkoordinationsteam auch das Notfallteam ein, also die größere Gruppe an Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die sich für diesen Fall freiwillig gemeldet hatten. Das Szenario beinhaltet einen überschwemmten Sammlungsraum im vierten Obergeschoss, dessen Übungsobjekte – beispielsweise ausrangiertes Spielzeug und Flohmarkttutensilien – anschließend eva-

kuiert und erstversorgt werden mussten (Abb. 6a, b und c). Beobachtet und kommentiert wurde die Übung von Kollegen aus anderen Museen, Sachverständigen aus Feuerwehrkreisen und von Kolleginnen des Sicherheitsleitfadens Kulturgut (SiLK⁴). Während dieser Übung wurde der benötigte Strom über den beschafften Stromerzeuger generiert. Für die Erstversorgung, die eine grobe Reinigung von Schmutz beinhaltete, wurde die im Erstversorgungszentrum installierte mobile Wasserversorgung genutzt (Siegel et al., 2017). Es zeigte sich, dass das Konzept funktionierte, aber durch Nachjustierungen Verbesserungen im Detail erreicht werden konnten. In einer weiteren Übung wurde 2019 der Aufbau der mobilen Wasserversorgung samt mobilem Warmwassergerät geübt und eine Anleitung dafür geschrieben.

5.4 Institutionelles Gedächtnis

Notfälle sind in der Vergangenheit des MfN zu verschiedenen Zeiten und in unterschiedlicher Weise aufgetreten. Das institutionelle Gedächtnis hierzu ist jedoch nicht gut ausgeprägt, da kleinere Havarien unter Umständen von den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des betroffenen Sammlungsteils sofort behoben und nicht gemeldet werden. Von den wenigen größeren Schadereignissen wie dem Brand in der Paläontologie (1982, Abb. 7) oder kleineren Brandereignissen können ältere Kollegen berichten, aber eine Dokumentation in den Akten des MfN ist nur lückenhaft vorhanden. Daher hat die AG Notfallplanung damit begonnen, Berichte zu Havarien und Notfällen zu sammeln. Dazu wurde ein Formular entwickelt, das nach einem Schadereignis ausgefüllt wird. Dadurch lassen sich Vorkommnisse auch in Zukunft dokumentieren und es entsteht ein klareres Bild von neuralgischen Punkten am Gebäude.

5.5 Kategorien von Notfällen

Am MfN wird zwischen Havarien und Notfällen unterschieden. Als Havarie gelten kleinere Vorkommnisse in einzelnen Bereichen, wie etwa ein Wassereinbruch oder eine Leckage in einem Sammlungsraum. Solch ein Schadensfall wird im Normalfall von den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des jeweiligen Sammlungsteils vor Ort beseitigt und als Havarie gewertet. Als „Notfall“ wird ein größeres Schadereignis bezeichnet, das sich über einen kompletten Sammlungssaal bis hin zu ganzen Gebäudeteilen erstreckt. Dabei wird in der Regel ein koordinierter Einsatz durch das Notfallkoordinationsteam eingeleitet. Zuletzt war dies im Sommer 2019 durch verschiedene Wassereinbrüche in Sammlungssälen und Technikräumen im Kellergeschoß nach Starkregenereignissen der Fall. Normalerweise sollten kleinere bis mittlere Notfälle durch die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des MfN in Eigenleistung beseitigt werden



Abb. 7: Folgen eines Dachstuhlbrandes im Bereich Paläontologie des MfN, 1982, Foto: Museum für Naturkunde Berlin, Historische Bild- u. Schriftgutsammlungen, Sigel: MfN, HBSB, Bestand: Zool. Mus., Signatur: B III/467

können. Gerade bei flächendeckenden Ereignissen wie beispielsweise Starkregen ist die Feuerwehr ohnehin nur schwer erreichbar und zusätzlich gilt bei ihr der Grundsatz der Personen- und Lebensrettung vor Kulturgutbergung. Falls ein großes Schadereignis eintritt, das über die Kapazitäten des MfN hinausgeht und bei dem beispielsweise eine kurzfristige Bergung ganzer Sammlungs- oder Gebäudeteile ansteht, ist ggf. der „Notfallverbund Kulturgut“ (siehe Abschnitt 5.6) der Berlin und Brandenburger Museen zu aktivieren, der mit Gerät und Personal beistehen kann.

5.6 Notfallverbund

Seit 2013 ist der Bedarf an vorsorglichen Notfallmaßnahmen an vielen Museen erkannt worden und dieser wurde in der Fachgruppe Verwaltung des Landesverbandes der Museen zu Berlin (LMB) in der dort verorteten Arbeitsgrup-

4 [Http://www.konferenz-kultur.de/SLF/index1.php](http://www.konferenz-kultur.de/SLF/index1.php)