

Poul Klenz Larsen, Morten Ryhl-Svendsen, Lars Aasbjerg Jensen, Benny Bøhm und Tim Padfield

## Konstantes Raumklima und niedriger Energieverbrauch – kein Widerspruch

Zehn Jahre Erfahrung mit energieeffizienter Klimatisierung in Archiven und Museumsmagazinen

Archive und Museumsmagazine können äußerst energieeffizient sein. Aktuelle Untersuchungen belegen dies. Dabei zeigte sich, dass bisherige Annahmen, wie die Gebäude konstruiert und klimatisiert werden sollten, nur teilweise stimmen.



### Die Bauweise beeinflusst das Klima

Seit über zehn Jahren wird in dänischen Archiven und Museumsmagazinen eine energieeffiziente Klimatisierung praktiziert. Die Herausforderung besteht darin, das Gebäude mit passiven Mitteln so zu gestalten, dass das ganze Jahr über eine gemäßigte Temperatur und eine mäßige relative Luftfeuchte herrscht. Zunächst ging man davon aus, dass ein Gebäude in Massivbauweise diese Anforderungen am besten erfüllt, da es eine hohe Wärmespeicherkapazität aufweist. Diese Überlegung entstand aus den Erfahrungen mit historischen Gebäuden, so wurden auch zahlreiche neue Archive auf Grundlage dieser Annahme gebaut.

Aktuelle Untersuchungen, die in bestehenden Archiven und Museumsmagazinen in Verbindung mit Computersimulationen durchgeführt wurden, ergaben jedoch, dass dies nur teilweise richtig ist. Ein ebenerdiges Gebäude in Leichtbauweise, mit guter Dämmung und ohne wärmegeämmten Fußboden, das also direkt auf dem Erdreich errichtet wird, hat eine ähnlich hohe Wärmestabilität wie ein Gebäude in Massivbauweise. Dabei ist es möglich, die jährlichen Temperaturschwankungen auch ohne Heizung oder Kühlung zwischen 8 °C

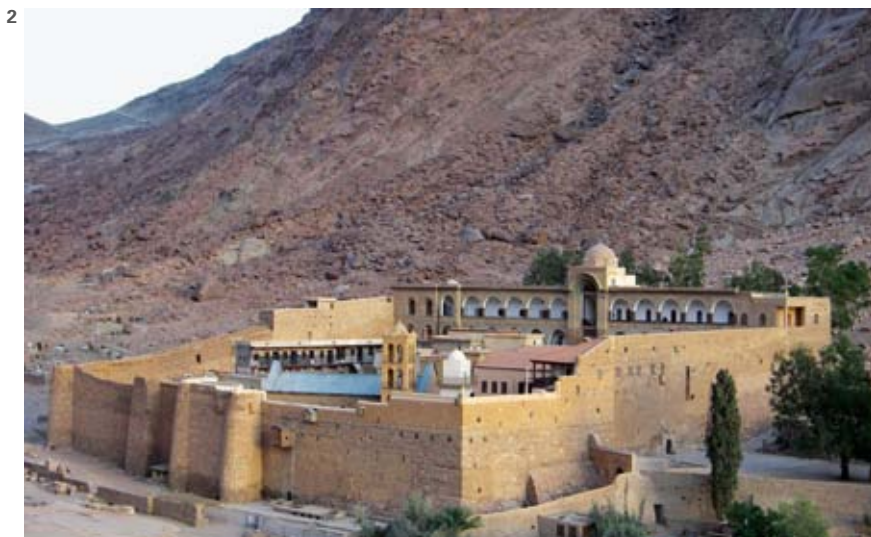
und 16 °C zu halten, was zwar außerhalb fast aller Normen liegt, doch für die meisten Sammlungen ausreichend sicher ist. In Kombination mit solarbetriebener Luftentfeuchtung kann die relative Luftfeuchte (RH) das ganze Jahr über auf circa 50 % gehalten werden. Gelegentliche extreme Wetterbedingungen können durch das Anbringen eines Feuchtigkeitspuffers an den Innenwänden ausgeglichen werden. Um ein stabiles Raumklima zu erreichen, dürfen zudem nur geringe Mengen Außenluft ins Innere dringen. Externe Schadstoffe müssen ausgefiltert werden, während Innenraumluftschadstoffe durch die Verwendung von inerten Materialien und Oberflächenbehandlungen begrenzt werden müssen.

Dass dieses Konzept mit einigen geringfügigen Änderungen in fast allen gemäßigten Klimazonen einsetzbar ist, zeigen die nachfolgenden Ausführungen.

### Archive in historischen Bauten

Die ersten als Passivgebäude konstruierten Archive wurden nicht nur rein intuitiv mit massiven Außenmauern gebaut. Vielmehr ließen Archive, die über Jahrhunderte hinweg in historischen Ge-

<sup>1</sup> Im Gewölbe des Alcázar von Segovia, Spanien, ist das Militärarchiv untergebracht. Das natürliche Klima ist kühl und feucht.



2  
Das Katharinenkloster auf dem Sinai ist seit 1500 Jahren ein sicherer Aufbewahrungsort für die berühmte Bibliothek. Das natürliche Raumklima der Bibliothek ist warm und trocken.

bäuden einquartiert worden waren, darauf schließen, dass thermische Stabilität ein wesentlicher Parameter für die langfristige Konservierung ist. Ein Beispiel dafür ist das *spanische Militärarchiv im Alcázar von Segovia*. (Abb. 1) Dieses befindet sich in einem klassischen, massiv errichteten Gebäude im Kellergewölbe neben Kalksteinfelsen, und ist durch eine 2 m dicke Mauer von der Außenwelt getrennt. [1] Die Temperatur im Gewölbe schwankt im Jahresverlauf zwischen 10 °C und 15 °C, verglichen mit einer Außentemperatur zwischen 0 °C und 30 °C. Die relative Luftfeuchte ist infolge der enormen Pufferkapazität vieler Tonnen Papier mit 70 % bis 80 % hoch, aber recht konstant. Es ist also das Archiv selbst, das die relative Luftfeuchte kontrolliert, und nicht wie vermutet die Dicke der Mauern. Wobei anzumerken ist, dass es keine Belege dafür gibt, dass die gelagerten Objekte durch gemäßigte Temperaturschwankungen geschädigt werden.

Die konstanten Klimabedingungen werden durch eine sehr geringe Außenluftzufuhr begünstigt. Die

3  
Das Suffolk Record Office, Ipswich, GB (1990), wurde im Winter auf 16 °C beheizt. Die relative Luftfeuchte wurde durch den Feuchtepuffer der Dokumente stabilisiert.



wenigen Fenster sind klein und werden nur gelegentlich für einige Stunden vom Archivar geöffnet. Dieses Archiv hat über ein Jahrhundert ohne aktive Klimakontrolle funktioniert. Es verzeichnet jedoch eine beunruhigend hohe relative Luftfeuchte, die sich zwangsläufig den außen herrschenden Werten annähert, weil die durchschnittliche Innentemperatur der durchschnittlichen Außentemperatur entspricht. Ähnliche klimatische Bedingungen sind in fast allen Teilen Nordeuropas zu beobachten.

Gegenteilige Klimaverhältnisse bei ähnlichen baulichen Voraussetzungen herrschen im *Katharinenkloster auf dem Sinai*. (Abb. 2) Diese Wüstenfestung ist seit 1500 Jahren ein sicherer Aufbewahrungsort für ihre berühmte Bibliothek. Die massiven Mauern wurden weniger zur Klimakontrolle denn aus Sicherheitsgründen errichtet. Im Verlauf eines Jahres schwankt die durchschnittliche Tagestemperatur zwischen 20 °C und 30 °C, die relative Luftfeuchte liegt zwischen 15 % und 30 %. Die geringe Luftfeuchtigkeit ist typisch für diese hohe Wüstenlage. Derartige klimatische Bedingungen liegen weit außerhalb der üblichen Normen oder Empfehlungen für Archive und doch sind die Dokumente gut erhalten.

#### Archive in Gebäuden mit Massivbauweise

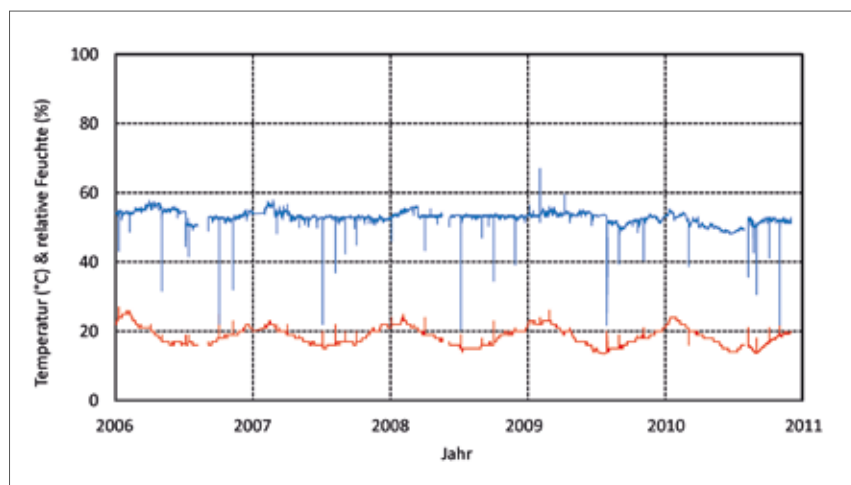
Die Idee, ein sehr massiv errichtetes Gebäude für die Aufbewahrung von Archiven zu nutzen, wurde für das *Kölner Stadtarchiv* übernommen, das im Jahr 1971 als Pioniermodell mit bauphysikalischer Klimakontrolle und ohne zusätzliche Klimatechnik gebaut wurde. Hinter einer Granitfassade lag ein Stahlbetonskelett, das mit einer knapp 50 cm dicken Ziegelwand ummauert war. Die Klimakontrolle in dem Archiv beruhte zum Teil auf Wärmeträgheit, durch die die täglichen Schwankungen der Außentemperatur ausgeglichen wurden. Eine Querlüftung ergänzte diese Regulierungsmethode. Hierbei wurde der Luftstrom durch enge Fensterschlitze quer durch den Raum geleitet. Im Winter wurde diese Belüftung durch eine Beheizung ergänzt. Die relative Luftfeuchte wurde durch das archivierte Material so stark gepuffert, dass sie sich über viele Wochen hinweg kaum veränderte.

Leider existiert dieses Gebäude nicht mehr. Das *Kölner Modell™* diente jedoch über mehrere Jahre hinweg zahlreichen anderen Archivbauten als Vorbild. Auch das *Suffolk Record Office* in der britischen Stadt Ipswich ist ein gutes Beispiel für die Effektivität einer einfachen Klimakontrolle ohne mechanische Belüftung. (Abb. 3) Bezeichnend für dieses zweistöckige Gebäude sind eine Hohlmauer aus Ziegeln und porösen Silikatblöcken und ein belüfteter Dachboden. Die im Jahresverlauf gemessene durchschnittliche relative Luftfeuchte wird durch Beheizung im Winter reduziert, so dass das Archiv den Sommer über mit der Feuchtepufferung durch das archivierte Material auskommt. [2]

Dieses Konzept funktionierte über mehrere Jahre hinweg, doch die Temperatur im Archiv lag nicht immer innerhalb der engen Grenzwerte, die von der britischen Norm BS 5454:2000 vorgegeben waren. Vor einigen Jahren wurde daher eine Klimaanlage installiert. Die derzeit geltenden Normen und Empfehlungen sind mit dem Konzept der passiven Klimatisierung leider nicht vereinbar. So nennt die internationale Norm ISO 11799 eine Temperatur von 14 °C bis 18 °C und eine relative Luftfeuchte von 35 % bis 50 % als zulässige Werte für in Benutzung befindliche Archive und Bibliotheken. [3] Die britische Norm BS 5454 schreibt 16 °C bis 19 °C und 45 % bis 60 % RH als Grenzwerte mit einem noch enger gesteckten Limit für Abweichungen vor. [4] Ein Restaurator oder Bibliothekar muss schon recht kühn sein, um sich gegen diese strengen Auflagen für klimatische Schwankungen aufzulehnen.

### Ein Magazin mit passiver Klimatisierung

Bei der Planung eines neuen Archivs zur Aufbewahrung mittelalterlicher Dokumente entschied sich der Direktor des Arnamagnæan-Instituts in Kopenhagen für eine einfache und ausfallsichere Klimakontrolle und gegen eine komplette Klimaanlage, um eine konstante Temperatur und relative Luftfeuchte zu gewährleisten. Das Archiv befindet sich im zweiten Stock eines normalen Bürogebäudes neben beheizten Räumen (Abb. 4) und ist von einer mehrschichtigen Konstruktion umgeben: [5] Das Tragwerk besteht aus 240 mm dicken Wänden und Fußböden aus Beton, die dem Archiv eine gewisse thermische Trägheit verleihen. Für die Wärmedämmung zwischen dem Archiv und den beheizten Büroräumen wurde 200 mm dicke Mineralwolle, zur Dämmung der Außenwände jedoch nur eine 50 mm dicke Schicht verwendet, um im Archiv selbst eine Temperatur zu gewährleisten, die ungefähr in der Mitte zwischen der Außentemperatur und der Temperatur in den Büroräumen liegt. Auf diese Weise wird im Archiv ohne weitere Regulierung eine Temperatur erzielt, die im Verlauf eines Jahres zwischen 15 °C und 23 °C schwankt. Um außerdem möglichst gleichmäßige RH-Werte zu erzielen, wurden die Innenwände mit 50 mm dicken porösen Kalksilikatblöcken verkleidet. Ein kleiner Ventilator sorgt für Luftzufuhr von außen, wenn die Außenluft den richtigen Wasserdampfgehalt hat, um die relative Luftfeuchte im Archiv dem vorgegebenen Idealwert anzunähern. Dadurch wird die Luftwechselrate auf 0,5 h<sup>-1</sup> angehoben, was die Temperatur kaum beeinflusst. Als Folge liegt die relative Luftfeuchte rund ums Jahr mit sehr geringen Schwankungen zwischen 50 % und 60 %. Diese Klimakontrolle funktioniert seit nunmehr acht Jahren mit beeindruckender Stabilität. (Abb. 5)



### Ein Magazin ohne Fremdbelüftung

Ein ähnliches Konzept der passiven Klimatisierung wurde für ein neues Magazin zur Aufbewahrung historischer Musikinstrumente in Kopenhagen übernommen. (Abb. 6) Das einstöckige Magazin ist in einem Industriegebäude untergebracht und von Werkstätten umgeben, die im Winter Wärme an das Magazin abgeben. Die Wände, die das Magazin von den angrenzenden Räumlichkeiten trennen, bestehen aus 190 mm dickem porösem Kalksilikat, das einen überaus wirksamen Feuchtepuffer bildet. Das ist wichtig, denn die dünnen Holzwandungen der Musikinstrumente haben nur eine geringe inhärente Pufferkapazität und sind äußerst anfällig für unterschiedliche RH-Werte. Die jährlichen Schwankungen liegen seit vielen Jahren zwischen 45 % und 60 % RH. Das Magazin wird nicht mit mechanischen Mitteln belüftet und seine ordnungsgemäße Funktion hängt von einer geringen Luftwechselrate ab. Die Außenluftzufuhr belüftet sich im Durchschnitt auf ein Raumvolumen pro Tag – viel zu wenig für Gesundheit und Wohlergehen eines Menschen, aber ausreichend für die Erhaltung von Museumsgut.

4

Die Arnamagnæan-Sammlung mittelalterlicher Bücher und Dokumente befindet sich im zweiten Stock eines Bürogebäudes auf dem Universitätscampus in Kopenhagen (2004).

5

Fünffährige Klimaaufzeichnungen aus dem Arnamagnæan-Archiv zeigen jährliche Temperaturschwankungen zwischen 15 °C und 23 °C und eine Stabilität der realtiven Luftfeuchte (RH) zwischen 50 % und 60 %. Das häufige RH-Gefälle zeigt das Raumklima in der Konservierungswerkstatt.



Foto: Søren Greve

6

Innenansicht eines Magazins für historische Musikinstrumente in einem Industriegebäude. Die Temperatur schwankt zwischen 10 °C und 23 °C, kontrolliert durch passive Beheizung aus den umliegenden Räumen, wodurch eine mäßige relative Luftfeuchte von 45 % bis 60 % erzielt wird.

Außenluft ist eine Hauptquelle von Schadstoffen und Partikeln, die Korrosion von Metallen und chemischen Zerfall organischer Materialien verursachen. Stickoxide, die hauptsächlich durch Verkehr und Verbrennung entstehen, beteiligen sich an saurer Hydrolyse, nachdem sie auf Innenflächen in Salpetersäure umgesetzt wurden. Ozon, ein natürlicher Bestandteil der Außenluft, zersetzt Materialien durch Oxidation. In einem Museumsmagazin mit hoher Luftwechselrate müsste von außen eindringende Luft gefiltert werden, um sie von Partikeln und Schadstoffgasen zu reinigen. Bei einer sehr geringen Luftwechselrate (weniger als ein Austausch pro Tag) wird das Eindringen atmosphärischer Schadstoffe von der Bausubstanz ebenso effizient verzögert wie durch mechanische Belüftung und Filterung. Die Entstehung von Innenraumluftschadstoffen, wie beispielsweise Essigsäure, lässt sich am besten durch die richtige Wahl inerter Bauprodukte und Mobiliar sowie ge-

eigneter Oberflächenbehandlungen vorbeugen. Für Sammlungen, die instabile Gegenstände beinhalten, ist die Zirkulation der Innenluft durch Kohlefilter eine Möglichkeit. [6, 7]

#### Ein Magazin mit Luftentfeuchtung

Die oben beschriebene Klimakontrolle zur Aufbewahrung der Musikinstrumente mag zwar passiv sein, verbraucht aber Energie: Die korrekte Funktion hängt vom Wärmefluss im restlichen Gebäude ab. Die jährlichen Temperaturschwankungen sind in einem unbeheizten Gebäude wesentlich größer, wie in dem in Abbildung 7 gezeigten *Betonbunker von Værløse* in Dänemark, der zwischenzeitlich zum Depot umfunktioniert wurde. Ursprünglich diente das Gebäude als Atomschutzbunker für Kampfflugzeuge auf dem Flugplatz Værløse in Dänemark, jetzt wird es aber vorübergehend zur Unterbringung historischer Möbel verwendet. Zwar werden keine täglichen Temperaturschwan-

Tabelle 1

Spezifikationen für energieeffiziente Archive und Magazine

	Temperatur (°C)	Relative Luftfeuchte (%)	Luftwechselrate (h <sup>-1</sup> )	Energie (kWh/m <sup>3</sup> pa)	Klima-Kontrollmethode
Arnemagnæan-Archiv	15–23	50–60	0.05	15	Heizung
Musikmagazin	10–25	40–60	0.05	10	Heizung
Værløse-Bunker	0–25	45–55	0.03	5	Entfeuchtung
Museumsmagazin Ribe	8–16	50–55	0.04	2	Entfeuchtung

Tab. 1

kungen verzeichnet, doch im Jahresverlauf reicht die Temperatur von 0 °C im Winter bis hin zu 25 °C im Sommer. (Abb. 8) Die Wärmeträgheit des Daches, das einen halben Meter dick ist, reicht nicht aus, um die Temperatur über das Jahr hinweg auszugleichen. Die Innentemperatur folgt der durchschnittlichen täglichen Außentemperatur. Das Betondach müsste 4 m dick sein, um eine thermische Stabilität zu erzielen, daher weisen nur die unterirdischen Räume eine konstante Temperatur rund ums Jahr auf.

Ein Adsorptionstrockner kontrolliert die relative Luftfeuchte des Magazins. Dieser muss das ganze Jahr über eingesetzt werden: Die eindringende Luft besitzt eine hohe relative Luftfeuchte, da sich die Innentemperatur nur wenig von der Außentemperatur unterscheidet. Der Entfeuchtungsbedarf ist jedoch recht gering, da der Schutzraum fast luftdicht ist. Die Luftwechselrate beträgt nur 0,03 h<sup>-1</sup>, das heißt, es dauert eineinhalb Tage, um das Luftvolumen des Schutzraums durch Außenluft zu ersetzen. Das Klima in diesem Raum wird zwar nicht passiv kontrolliert, doch ist pro Jahr nur eine Leistung von 5 kWh/m<sup>3</sup> Lagerraum erforderlich, um ihn trocken zu halten. (Tabelle 1)

#### Ein Leichtbaumagazin

Wenn der Schutzraum in Værløse anstelle des Betondachs ein mit 50 cm dicker Mineralwolle gedämmtes Dach hätte, wären die Temperaturschwankungen sehr viel geringer. Ein solches Gebäude existiert nicht, doch einer Computersimulation zufolge würden sich die jährlichen Temperaturschwankungen in einem Leichtbaumagazin auf 7 °C bis 13 °C belaufen. [8] Ein wärmegeprägtes Gebäude in Leichtbauweise erzielt eine bessere Temperaturstabilität als ein nicht gedämmtes Gebäude in Massivbauweise. Diese Stabilität hängt von der Wärmespeicherung in der Erde unter dem Gebäude ab. Der Gebäudeboden sollte daher nicht gedämmt sein, um den jahreszeitlich bedingten Wärmeaustausch zu ermöglichen.

Temperaturmessungen in einem kürzlich erbauten *Museumsmagazin in Ribe* (Dänemark) haben bestätigt, dass die im Sommer im Erdboden gespeicherte Wärme im Winter an den Raum abgegeben wird. [9] Abgesehen davon, dass dieses Gebäude als Magazin für Tausende von Museumstücken dient, hat es eine bemerkenswerte Fähigkeit, Energie zu speichern. Im Winter reicht die Temperatur gerade aus, um die relative Luftfeuchte auf ein akzeptables Niveau zu senken, im Sommer dagegen ist die Temperatur geringer als die der Außenluft, so dass eine Entfeuchtung notwendig ist. Der jährliche Energiebedarf für diese Art von Magazin beträgt etwa 2 kWh/m<sup>3</sup>. Somit ist das Gebäude weder passiv noch energieneutral, aber sehr energieeffizient. (Abb. 9)



#### Ein Magazin ohne Netzanschluss

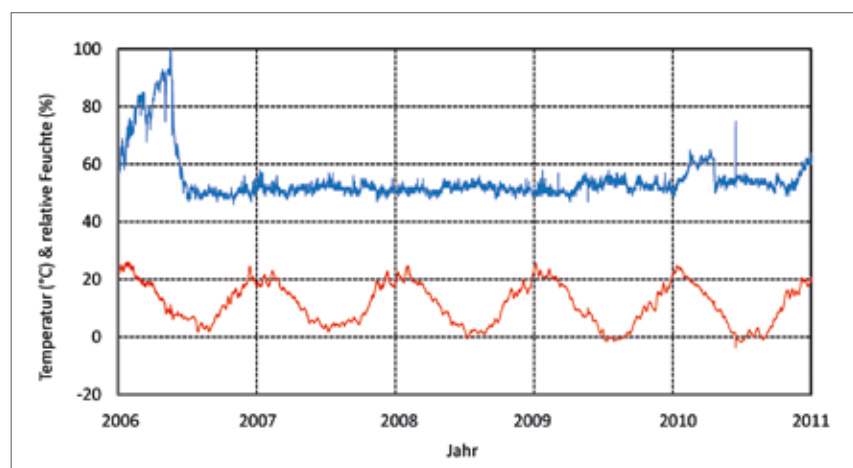
Das Gebäude in Ribe ist an das Stromnetz angeschlossen, doch Berechnungen haben ergeben, dass es mit einer Photovoltaikanlage, die 5 % der Dachfläche einnimmt, eine ausreichende Stromversorgung hätte. Damit wäre das Gebäude auf keine externe Energiequelle angewiesen. (Abb. 10) Wegen der Unvorhersehbarkeit der Sonnenenergie wäre für ein netzunabhängiges Depot ein Feuchtepuffer notwendig. Herkömmliche Baumaterialien wie Ziegel und Beton sind eher schlechte Feuchtigkeitspuffer. Die Wände müssten daher mit ungebrannten Tonziegeln mit offener Perforation ausgekleidet werden, damit Wasserdampf schnell und ungehindert eintreten kann. [10] Ungebrannte Ziegel gehören nicht zum Standardsortiment lokaler Baustoffhändler, sind aber direkt von Ziegelherstellern vor dem Brennen erhältlich und haben daher den Vorteil einer relativ geringen CO<sub>2</sub>-Bilanz. In Kombination mit einer Konstruktion in Leichtbauweise wird die Energie-

7

Außenansicht eines Betonbunkers aus Massivbeton für Kampfflugzeuge (Værløse, Dänemark), in dem vorübergehend eine Sammlung historischer Möbel untergebracht ist. Die jährlichen Temperaturschwankungen liegen zwischen 0 °C und 25 °C. Die RH wird durch Luftentfeuchtung bei 50 % gehalten.

8

Fünffährige Klimaaufzeichnungen aus dem Betonbunker am Flugplatz Værløse. Die relative Luftfeuchte (RH) wird durch Entfeuchtung kontrolliert. Man erkennt den anfänglichen Anstieg der RH, bevor die Entfeuchter eingeschaltet wurden.



8

9



9

Außenansicht eines gut gedämmten Magazins für eine lokale Museumssammlung in Ribe (2006). Die jährlichen Temperaturschwankungen liegen zwischen 8 °C und 16 °C. Die relative Luftfeuchte wird durch Luftentfeuchtung bei 50 % gehalten.

bilanz sehr viel niedriger sein als für ein wuchtiges Gebäude aus gebrannten Ziegeln oder Beton. Im Vergleich zu herkömmlichen Archiven und Museumsmagazinen ist der über die Lebensdauer eines solchen Gebäudes erforderliche Gesamtenergieaufwand zu vernachlässigen.

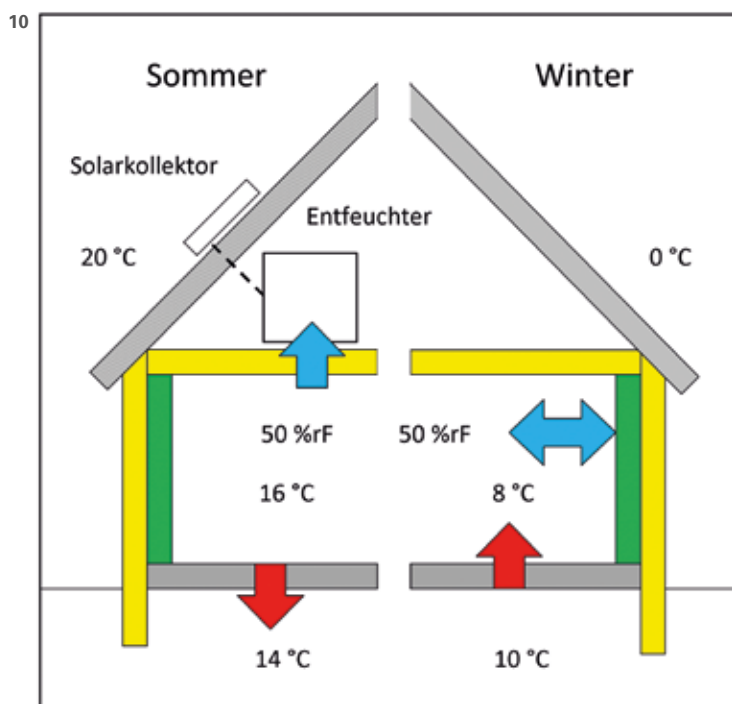
#### Der Einfluss niedriger Temperaturen auf die Bestandserhaltung

Es bleibt die Frage, ob das Thema Energieeinsparung bei der langfristigen Erhaltung von Museumsgut überhaupt eine große Rolle spielen sollte. Werden Licht- und Luftverschmutzung ausgeklammert, dann ist die Temperatur der wichtigste Faktor für den chemischen Zerfall organischer Materialien. Die Zerfallsrate bei Reaktionen in Verbindung mit Feuchtigkeit (Hydrolyse) hängt auch von der relativen Luftfeuchte ab. Die kombinierte Wirkung von Temperatur und relativer Luftfeuchte

wird in Abbildung 11 gezeigt. [11] Für eine konstante Temperatur von 20 °C und eine konstante relative Luftfeuchte von 50 % wird eine Zerfallsrate von 1 festgelegt. Die gekrümmten Linien verbinden Bedingungen, die eine konstante relative Reaktionsrate verursachen. Eine geringe Temperatur und eine geringe relative Luftfeuchte sind offensichtlich besser als eine höhere Temperatur und eine höhere relative Luftfeuchte. Im Allgemeinen ist die Temperatur von höherer Relevanz als die relative Luftfeuchte, die im Rahmen des akzeptablen Wertebereichs angesichts schädigender Volumenänderungen organischer Materialien nicht zu niedrig sein kann. Eine konstante Temperatur hat aus dieser Sicht keinen Vorteil. Temperaturschwankungen können schädlich für Objekte sein, die bei niedrigen Temperaturen verspröden, wie einige Farben und Kunststoffe. Dies gilt allerdings nur, wenn das Objekt zur selben Zeit einen mechanischen Schock erleidet, wie beispielsweise während eines Transports. Es gibt keine Belege dafür, dass gelagerte Objekte durch gemäßigte Temperaturschwankungen geschädigt werden, wie sie die Autoren in diesem Artikel vorschlagen.

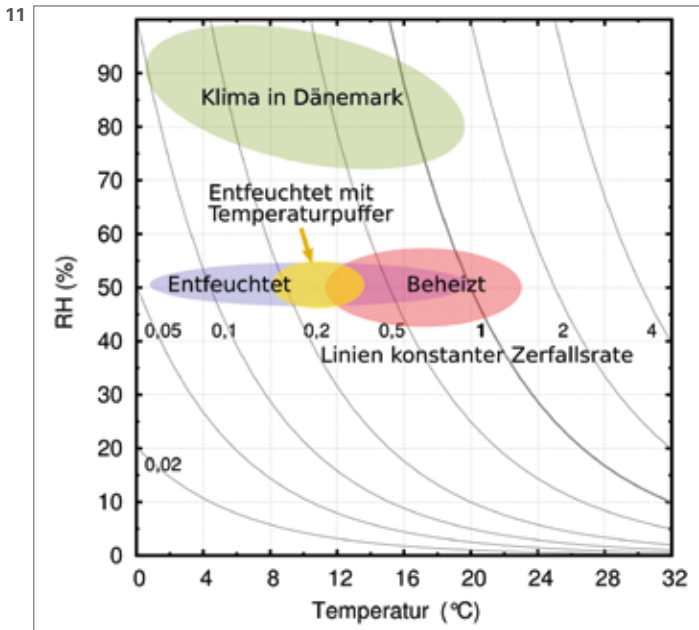
10

Querschnitt eines Museumsmagazins ohne Netzanschluss. Die Sommerwärme wird im Erdboden gespeichert und im Winter an das Gebäude abgegeben. Die RH wird im Sommer durch solarbetriebene Luftentfeuchter und im Winter durch die gemäßigte Temperatur reduziert. Die Dicke der Mauern und des Bodens muss dem jeweiligen Gebäude angepasst sein.



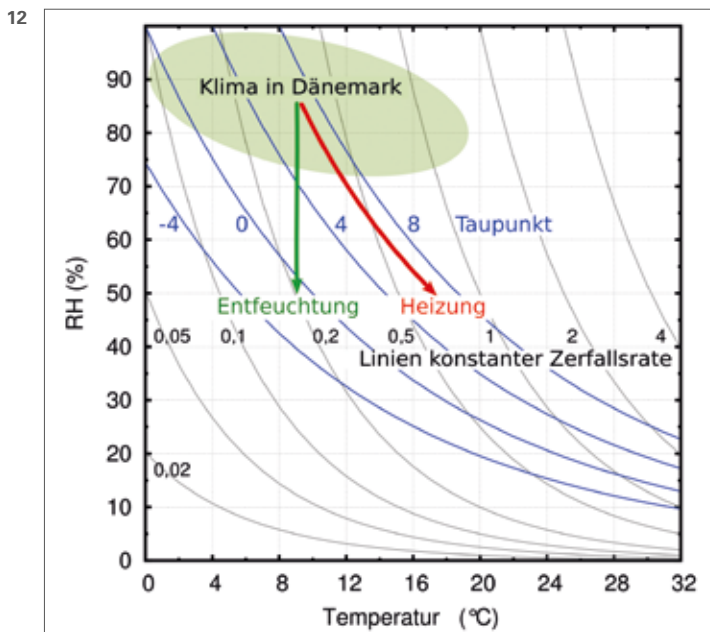
#### Der Einfluss der für die Klimakontrolle gewählten Methode auf die Bestandserhaltung

Die Zerfallsrate hängt von der für die Klimakontrolle gewählten Strategie ab. Abbildung 12 zeigt ein Zerfallsraten-Diagramm, überlagert mit Linien des gleichen Taupunkts. Der Taupunkt ist ein Maß für den Wasserdampfgehalt. Das Diagramm zeigt, welche Auswirkung die beiden, in diesem Artikel beschriebenen Beispiele der Feuchtigkeitskontrolle, auf die Zerfallsrate haben. Bei der Luftentfeuchtung wird Wasserdampf aus der Luft entfernt, so dass der Taupunkt sinkt. Aufgrund des geringeren RH-Werts geht auch die Zerfallsrate zurück, wie der grüne Pfeil im Diagramm zeigt. Wird die relative Luftfeuchte durch Beheizung gesenkt, bleibt der Taupunkt (wie der rote Pfeil zeigt) unverändert. Die relative Luftfeuchte wird zwar auf dasselbe



11 Diagramm mit Kurven gleicher Verfallsrate, überlagert von Klimabereichen für verschiedene Klimakontrollstrategien, vorgeschlagen von Sebera, verändert von Padfield [11].

12 Diagramm der relativen Reaktionsrate mit überlagerten Taupunktlinien. Die Wirkung der Luftentfeuchtung und Heizung wird durch den grünen und roten Pfeil angezeigt.



Zielniveau gesenkt, doch die Rate für den chemischen Zerfall liegt bei Beheizung höher als bei Luftentfeuchtung. Somit ist die Luftentfeuchtung nicht nur energieeffizienter, sondern auch besser für den Bestanderhalt geeignet.

#### Energieeinsparung und Bestandserhaltung – kein Widerspruch

Eine energieeffiziente Aufbewahrung in Museen ist möglich, ohne der Sammlung Schaden zuzufügen. Tatsächlich würde eine geringere Wintertemperatur, als es die derzeitigen Normen erlauben, die Haltbarkeit der Objekte erhöhen. Es gibt also keine Anzeichen für einen Konflikt zwischen Energieeinsparung und Bestandserhaltung.



Bearbeitung  
Veredelung  
Farbglas  
Spezialglas  
Werkzeug  
Zubehör  
Service

## Für Museen und Restauratoren ...

... führen wir das passende Glas.

wir liefern Ihnen Restaurierungsgläser aller Art und für alle Epochen, zum Beispiel von der Glashütte Lamberts, Schott und anderen.

Zudem liefern wir Ihnen hochwertig entspiegelte Glasprodukte von Schott (Mirogard, Amiran) und Groglass (Artglass, Diamond) mit dem höchsten UV-Schutz (auch in Übergrößen).

Zuschnitt und Bearbeitung auf Wunsch (Kante, Fläche, Verspiegelung, etc.).

Besuchen Sie uns auf der Messe „denkmal“ und „MUTEC“, die vom 22.- 24.11.2012 in Leipzig stattfindet.  
>> Halle 2, Stand F 37

Nutzen Sie unsere Beratung! Rufen Sie an und fordern Sie Ihr Angebot an!

GLS Spezial- &  
Farbglashandel GmbH  
Hasenheide 9  
82256 Fürstenfeldbruck

T +49 8141 53467-0  
F +49 8141 53467-10  
ffb@glsgmbh.de  
www.gls-spezialglas.de

GLS Spezial- &  
Farbglashandel GmbH  
Robert-Perthel-Str. 5  
50739 Köln

T +49 221 917440-0  
F +49 221 917440-10  
koeln@glsgmbh.de  
www.gls-spezialglas.de

**Zu den Autoren****Poul Klenz Larsen**

hat einen Master (1990) und einen PhD (1998) im Fach Bauphysik der Technischen Universität Kopenhagen und ist seit vielen Jahren als Berater für historische Gebäude tätig. Zudem ist er leitender Berater des Dänischen Nationalmuseums sowie Dozent an der Schule für Denkmalpflege in Kopenhagen und der Universität Gotland in Schweden. Seine Hauptinteressen sind die energieeffiziente Heizung und Klimakontrolle, Salz und Feuchtigkeit in historischen Mauerwerksstrukturen und traditionelle Mörtel für die Restaurierung.

**Morten Ryhl-Svendsen**

besitzt einen Master-Abschluss (2001) und einen PhD (2007) für Denkmalpflege der Schule für Denkmalpflege an der Königlich Dänischen Kunstakademie. Seit 1997 ist er im Dänischen Nationalmuseum tätig. Derzeit ist er leitender Forscher im Bereich der Präventiven Konservierung. Sein besonderes Interesse gilt der Luftqualität und Luftverschmutzung.

**Lars Aasbjerg Jensen**

hat den Master of Science im Fach Denkmalpflege (2003) der dänischen Schule für Denkmalpflege erworben und war als Konservator von Skulpturen an der Ny Carlsberg Glyptotek in Dänemark tätig. Seit 2004 ist er Mitglied der Gruppe für präventive Konservierung am Dänischen Nationalmuseum.

**Benny Bøhm**

besitzt den Master of Science (1973) sowie einen PhD (1977) und einen D.Sc.-Abschluss (1999) von der Technischen Universität Dänemark (DTU). Von 1998 bis 2003 war er im Auftrag des Nordischen Ministerrats »Nordischer Professor für Fernheizungssysteme« der Abteilung für Energietechnik der DTU. Seit 2009 ist er am Dänischen Nationalmuseum tätig. Er beschäftigte sich ausgiebig mit Brandschutzwissenschaft, Solar- und Fernheizungssystemen und mit Raumklima und Energieverbrauch in Museumsmagazinen.

**Tim Padfield**

besitzt einen Master-Abschluss im Fach Chemie der Universität Oxford und einen PhD der Technischen Universität Dänemark. Er war als Konservierungswissenschaftler am britischen Victoria and Albert Museum, an der Smithsonian Institution in den USA und am Dänischen Nationalmuseum tätig. Zurzeit ist er freiberuflicher Berater für präventive Konservierung.

Kontakt: Poul Klenz Larsen, Dänisches Nationalmuseum, Department of Conservation, Brede, DK-2800 Kgs. Lyngby, Tel. (+45) 33 47 35 02, E-Mail: poul.klenz.larsen@natmus.dk

Die derzeit geltenden Normen stammen aus einer Zeit, als ein konstantes Raumklima angestrebt wurde, das mithilfe der besten verfügbaren Technik und ohne Rücksicht auf sparsamen Energieverbrauch aufrechterhalten werden sollte. Es gibt jedoch keine Hinweise darauf, dass eine konstante Temperatur, die typischerweise nicht mehr als um fünf Grad variiert, für die Bestandserhaltung einer Sammlung wirklich notwendig ist. Eine energiesparende Lagerung erfordert mäßige jährliche Temperaturschwankungen, ist aber in der Lage, die relative Luftfeuchte mit einem Spielraum von 10 % beizubehalten.

**Literaturhinweise**

- [1] Padfield, T. und Larsen, P.K. (2004): Designing museums with a naturally stable climate. *Studies in Conservation* 49, 131–137.

- [2] Padfield, T., Larsen, P.K., Jensen, L.A. und Ryhl-Svendsen, M. (2007): The potential and limits for passive air conditioning of museums, stores and archives. In: Padfield und Borchersen (Hrsg.) *Museum Microclimates: Conference on Preventive Conservation*, National Museum of Denmark, 19–23 November 2007, Copenhagen, 191–198.
- [3] ISO 11799:2003. Information and documentation – Document storage requirements for archive and library materials. International Organization for Standardization, Geneva. (Deutsche Version: DIN ISO 11799:2003. Anforderungen an die Aufbewahrung von Archiv- und Bibliotheksgut. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin.)
- [4] BS 5454:2000. Recommendations for the storage and exhibition of archival documents. British Standards Institute, London.
- [5] Padfield, T. und Larsen, P.K. (2005): Low-Energy Air Conditioning of Archives. In: Verger (Hrsg.) 14th Triennial Meeting, The Hague, 12–16 September 2005: Preprints, ICOM Committee for Conservation, James & James (Science Publishers) Ltd., London, 677–80. (Außerdem veröffentlicht im *Journal of the Society of Archivists* 27 (2006), 213–226.)
- [6] Ryhl-Svendsen, M. (2006): Indoor air pollution in museums: prediction models and control strategies. *Reviews in Conservation* 7, 27–41.
- [7] Ryhl-Svendsen M. und Clausen, G. (2009): The effect of ventilation, filtration and passive sorption on indoor air quality in museum storage rooms. *Studies in Conservation* 54, 35–48.
- [8] Bøhm, B. und Ryhl-Svendsen, M. (in press): Analysis of the thermal conditions in an unheated museum store in a temperate climate, with specific interest in the thermal interaction of earth and store. *Energy and Buildings*.
- [9] Ryhl-Svendsen, M., Jensen, L.A., Larsen, P.K., Bøhm, B. und Padfield, T., (2011): Ultra-low-energy museum storage, In: Bridgland (Hrsg.): 16th Triennial Conference, Lissabon, 19–23 September 2011, ICOM Committee for Conservation, S. 8. ISBN 978-989-97522-0-7 (nur auf CD-ROM).
- [10] Padfield, T. and Jensen, L.A. (2011): Humidity buffering by absorbent materials. In: *Proceedings for the Nordic Symposium on Building Physics*, Tampere, Finland, 29 May–2 June 2011, 475–482.
- [11] Padfield, T. (2004): The isoperm and the isoburn. *Conservation Physics*: [http://www.conservationphysics.org/twpi/twpi\\_03.php](http://www.conservationphysics.org/twpi/twpi_03.php) (Zugriff am 30. August 2011).

Anmerkung: Einige dieser Veröffentlichungen können unter <http://www.conservationphysics.org> im Rahmen einer Creative-Commons-Lizenz eingesehen werden.

**Abstract****Constant indoor climate and efficient energy consumption – not an antagonism****10 years of experience with energy efficient air-conditioning in archives and storage rooms of museums**

Archives and storage rooms of museums can be extraordinarily energy efficient. Current studies show that a well-insulated single-story building without thermally insulated floors does not need heating. In such a case, the temperature fluctuates during the year between 8°C and 16°C, which is almost outside of all norms. However, this is sufficiently safe for most

collections. When combined with solar-powered dehumidification, a relative humidity (RH) of more than 50% can be maintained year-round. A few small changes, and this concept can be used in almost all temperate climate zones. *Keywords: Indoor climate control, air-conditioning, building services engineering, energy efficiency*