Die Temperierung

Beiträge zum aktuellen Forschungsstand

Tagungsband zum Internationalen Kolloquium
im Kloster Benediktbeuern am 12. November 2012,
veranstaltet von der Landesstelle für die
nichtstaatlichen Museen in Bayern

im Rahmen des Forschungsprojekts „Sammlungen erhalten:
Die Temperierung als Mittel der Präventiven Konservierung
in Museen – Eine Bewertung“

Volk Verlag München

Inhalte – Projekte – Dokumentationen · Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege · Nr. 8
Herausgegeben vom Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege

Projektpartner

Förderer

Umschlagabbildung Vorderseite: Feuchtwangen, Fränkisches Museum,
Thermographieaufnahme der Außenansicht (Foto: Stefan Bichlmair, Fraunhofer-Institut IBP)

Umschlagabbildung Rückseite: Kloster Benediktbeuern (Foto: Fraunhofer-Institut IBP)

Abbildungen Seite 6:
1. Museum im Adlhoch-Haus in Altdorf (Foto: Wolfgang Stäbler)
2. Bauernhofmuseum des Landkreises Fürstenfeldbruck Jexhof in Schöngeising (Foto: Bauernhofmuseum des Landkreises Fürstenfeldbruck)
3. Schwäbisches Bauernhofmuseum Kronburg-Illerbeuren (Foto: Kilian Kreilinger)
4. Jüdisches Museum Franken in Fürth (Foto: Reinhard Tielsch)
5. Stadtmuseum Erlangen (Foto: Thomas Liebert)
6. Kunsthalle Schweinfurt (Foto: Peter Leutsch)
7. Fränkisches Museum in Feuchtwangen (Foto: Fränkisches Museum Feuchtwangen)
8. Schloßmuseum Murnau (Foto: Marktgemeinde Murnau)
9. Oberammergau Museum (Foto: Wolfgang Stäbler)
10. Fraunhofer-Glashütte in Benediktbeuern (Foto: Heiner P. Heim)
11. Porzellanikon in Selb-Plößberg (Foto: Porzellanikon in Selb-Plößberg)
12. Orgelmuseum Altes Schloß in Valley (Foto: Kilian Kreilinger)
13. Felix-Müller-Museum in Neunkirchen am Brand (Foto: Gero Häußinger)
14. Geburtshaus Levi Strauss Museum Jeans & Kult in Buttenheim (Foto: Bildarchiv der Landesstelle für nichtstaatliche Museen in Bayern)
15. Städtisches Heimatmuseum in Bad Reichenhall (Foto: Städtisches Heimatmuseum Bad Reichenhall)
16. Lechner Museum in Ingolstadt (Foto: Zooey Braun Fotografie – Stuttgart)
17. Freilichtmuseum des Bezirks Oberbayern auf der Glentleiten in Großweil (Foto: Kilian Kreilinger)
18. Geigenbaumuseum in Mittenwald (Foto: Bildarchiv der Landesstelle für die nichtstaatlichen Museen)

Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege
Hofgraben 4, 80539 München
www.blfd.bayern.de

Schriftleitung: Constanze Fuhrmann M.A., M.Sc.

Redaktionelle Mitarbeit: Stefan Bichlmair M.Eng., Dipl.-Rest. (Univ.) Susanne Frowein, Dr. Karlheinz Hemmeter, Dr. Michael Henker, Ina Hofmann M.A., Dr. Ralf Kilian, Angela Schürzinger M.A., Georg Waldemer, Dr. Alexander Wießmann

Layout, Bildbearbeitung, Umschlag: Susanne Scherff

Druck und Fertigung: Bosch-Druck, Landshut

Volk Verlag München
Streitfeldstraße 19, 81637 München
Tel. 089-42079698-0, Fax: 089-42079698-6
www.volkverlag.de

ISBN 978-3-86222-144-8

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Angaben sind im Internet unter http://dnb.d-nb.de abrufbar.

© 2014 Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, München

BAYERISCHES LANDESAMT
FÜR DENKMALPFLEGE

Inhalt

Mathias Pfeil, Astrid Pellengahr
Vorwort 7

Michael Henker
Einführung 9

Alexander Wießmann
Die Temperierung in den bayerischen Museen. Klimastabilisierung und energetische Ertüchtigung von Altbauten ohne Gestaltveränderung 11

Henning Großeschmidt, Michael Kotterer
Das Klimakonzept der Landesstelle: Nutzerfreundliche und energiesparende Klimatisierung 15

Susanne Frowein, Michael Henker, Ralf Kilian
Das Forschungsprojekt „Sammlungen erhalten: Die Temperierung als Mittel der Präventiven Konservierung in Museen – Eine Bewertung“ 27

Stefan Bichlmair
Bauphysikalische Untersuchungen zur Bauteiltemperierung im Forschungsprojekt 30

Susanne Raffler
Die Auswirkungen von Klimaeinflüssen auf Sammlungen – Restauratorische Untersuchungen im Forschungsprojekt am Beispiel des Oberammergau Museums 39

Martin Krus und Ralf Kilian
Die Bauteiltemperierung – Untersuchung des Feuchtetransports und Energieverbrauchs durch hygrothermische Simulation am Beispiel der Renatuskapelle 47

Thomas Löther
Erfahrungen mit Wandtemperieranlagen und deren Anwendung in Sachsen und Sachsen-Anhalt 53

Alfons Huber
„Warme Wände“ oder „warme Luft“? Das Raumklimaverhalten bei unterschiedlichen Heizsystemen in Abhängigkeit vom Nutzerverhalten – ein Praxisvergleich 61

Jochen Käferhaus
30 Jahre Temperierung. Eine kritische Analyse 75

Carlo Manfredi, Andrea Luciani, Davide Del Curto, Luca Pietro Valisi
The case of Italy: Energy efficiency and preservation – Two challenges for Temperierung 82

Angelo Giuseppe Landi
A heating system for a specific climate – Experiences with Temperierung in the city of Cremona 93

Alberto Grimoldi
Historische Gebäude und Heizanlagen: Erfahrungen mit der Temperierung in Norditalien 100

Literaturverzeichnis 111

Autorenverzeichnis 115

Henning Großeschmidt, Michael Kotterer

Das Klimakonzept der Landesstelle: Nutzerfreundliche und energiesparende Klimatisierung

Die Landesstelle für die nichtstaatlichen Museen in Bayern konnte in den 1980er Jahren aus der Erfahrung mit Low-Budget-Projekten in kleineren Museen ein Klimakonzept entwickeln, das auch in großen Projekten relevante finanzielle Einsparungen ermöglicht – nicht nur gegenüber der damaligen Vorgehensweise, deren Schwerpunkt in der Konditionierung der Raumluft lag, sondern auch gegenüber der heute üblichen Kombination von Bauteilaktivierung und Lüftung. Die Vorteile resultieren unmittelbar aus einem anderen physikalischen Ansatz. Vor diesem Hintergrund ist der große Aufwand kaum nachvollziehbar, der bei jüngst abgeschlossenen Depotneubauten (Beispiele: Zentraldepot Himberg des Kunsthistorischen Museums Wien, 2011; Museumsdepot der Landeshauptstadt München in Freimann, 2011) bzw. bei begonnenen Museumsprojekten anfiel (Beispiele: Stadtmuseum Kassel, 2011; Kunsthalle Mannheim, 2011; Museum für Konkrete Kunst und Design Ingolstadt, 2012; Stadtmuseum Friedberg, 2011). Berichte von RestauratorInnen zu den beiden Depotprojekten reflektieren den Abstraktionsgrad, der in der akademischen Ausbildung dem Bereich Präventive Konservierung zu Grunde liegt.[1] Offensichtlich wird die alternative Literatur ignoriert, u. a. auch die Schriften der Landesstelle.[2]

Es zeigt sich, wie aktuell das Klimakonzept der Landesstelle ist, das 1989 erstmalig in einem größeren Kunstmuseum, dem Kunstforum Ostdeutsche Galerie Regensburg (KOG), eingesetzt wurde. Das Konzept besteht aus vier Komponenten: Maßnahmen zur Verbesserung der Pufferwirkung der Gebäudehülle, Raumbeheizung durch Temperierung der Gebäudehülle, kleindimensionierte Lüftung für die Besuchszeiten und gleitende Klimawerte als Planungsziel (s. Abschnitt „Das Klimakonzept der Landesstelle“).

Es folgte die Umsetzung von Projekten, die über die Routine in kommunalen Museen hinausgingen, so u. a. der Würzburger Kulturspeicher (1999), die Hamburger Kunsthalle (Obergeschoss des Gründungsbaus, 2006) oder der Saal 4 im Obergeschoss des Kunsthistorischen Museums Wien (2009) als Pilotraum für die Korrektur der 1999 durchgeführten Sanierung mit Heizkörpern.

Museums- und Depotprojekte im Austausch mit der Landestelle

Im Folgenden werden Projekte aufgeführt, die entweder von der Landesstelle betreut oder in Austausch mit ihr durchgeführt wurden. Sie zeichnen sich aus durch ein konservatorisch günstiges Raumklima, das ohne Kurzzeitschwankungen saisonal gleitet und daher mit einfacher Klimatechnik (wenige Heizrohre, Lüftung mit max. 1,5-fachem Luftwechsel) bei einem deutlich unter dem Üblichen liegenden Energie- und Wartungsbedarf aufrecht erhalten werden kann (s. Abschnitt „Heizsystem und Energiebedarf“). Die Energiebedarfsangaben sind in Kilowattstunden pro Kubikmeter umbauten Raum der Gebäude im Jahr angegeben (kWh/m^3·a).

Würzburger Kulturspeicher

Der Würzburger Kulturspeicher (49 000 m^3, 160 m lang, vier Geschosse; Abb. 1), in den nach Entkernung zwei viergeschossige Betonquader gestellt wurden, erhielt pro Geschoss je zwei Rohre an den Außenwänden der historischen

1. Kulturspeicher Würzburg, 1999 (Foto: Henning Großeschmidt)

Gebäudehülle (in Höhe der ehemaligen Geschosssockel) und zwei an den Außenwänden der Räume in den Quadern. Ferner wurde eine Klimaanlage mit max. 1,5-fachem Luftwechsel eingebaut. Der Gesamt-Jahreswärmebedarf (Heizung, Lüftung) liegt bei ca. 18 kWh/m³·a, bei einer relativen Feuchte (rF) zwischen 45 und 60 % und min. 20 °C im Winter und max. 25 °C im Sommer.

Ehemaliges Zentraldepot des Kunsthistorischen Museums Wien-Inzersdorf

Das Depot (Abb. 2) befand sich von 1991–2011 in einem ehemaligen Lager mit Luftheizung (Außenwände: 15 cm Stahlbeton, 5 cm Außendämmung, Trapezblech; Raumhöhe 5 m), das in mehrere Hallen unterteilt wurde. Wegen extremer Klimaschwankungen wurde 1992 in der Halle der Gemäldegalerie das Luftheizgerät durch eine Temperieranlage mit drei angestrichenen Rohrschleifen auf Putz ersetzt (Höhe 0,20 m, 1,80 und 3,80 m). 2004 erfolgte diese Maßnahme auch in Halle 3 (Klavierdepot der Sammlung Alter Musikinstrumente, 1073 m³). Das Strahlungsklima wurde hier bis zum Umzug dokumentiert. Durch Begrenzung der Heizleistung, ohne Kühlung und mit einem Luftbefeuchter, ergab sich ein zwischen 15–25 °C und 45–65 % rF gleitendes Raumklima ohne Kurzzeitschwankungen. Die Tagesschwankungen lagen bei 1 °C und 2–3 % rF. Der mittlere Jahresenergiebedarf betrug 11,65 kWh/m³·a.[3] Eine Lüftungsanlage wurde nicht benötigt. Es ist erstaunlich, dass diese Vorzüge keine Relevanz für das Konzept des Neubaus in Himberg hatten.

Alf Lechner Museum Ingolstadt

Das Museum (Abb. 3) steht exemplarisch für die „Temperierung der Gebäudehülle“: Der 11 m hohe Glasvorbau hat sechs Rohre in der Trägerkonstruktion. An den Mauerwerkssockeln der Außenwände verlaufen, jeweils in einem Mörtelprofil, zwei Heizrohre im Keller und Erdgeschoss, vier Rohre im Obergeschoss (mit Sheddach, bis 6,50 m hoch). Hier zweigen von den zwei oberen Rohren, zur Temperierung des Sheddachs, je zwei beidseitig der Shedträger verlegte Heizrohre ab (Abb. 3, untere Linie auf den Trägern). Bei min. 19 °C in der Heizperiode fallen ca. 18 kWh/m³·a an.

3. Alf Lechner Museum, Ingolstadt, 2000
(Foto: Henning Großeschmidt)

4. Hamburger Kunsthalle, Gründungsbau OG, 2006
(Foto: Henning Großeschmidt)

2. Ehem. Zentraldepot (1991–2011) des KHM, Wien-Inzersdorf
(Foto: Michael Kotterer, KOG Regensburg)

Gründungsbau der Hamburger Kunsthalle

Im Obergeschoss des Gründungsbaus (60 cm starkes Ziegelmauerwerk) wurden zur Temperierung 2006 vier Heizrohre pro Meter Außenwand (bis 45 cm Höhe) montiert. Abbildung 4 zeigt den Makart-Saal (10,30 m hoch). Die übrigen Räume sind 5,50 m hoch. Die Ausstellungsräume werden durch die Temperierung und eine Lüftung mit Dampfbefeuchtung und Kühlung bei max. 1 V/h auf 20–26 °C und 45–60 % rF gehalten. Abbildung 5 zeigt die Klimatechnik im Dachbereich über dem Makart-Saal: Links unten die An-

5. Hamburger Kunsthalle, Gründungsbau. Dachbereich über dem Makart-Saal (links) (Foto: Henning Großeschmidt)

6. Depot für Handwerk und Industriekultur, Schweinfurt, 2010 (Foto: Hans-Jürgen Benini, Städtische Kunstsammlungen Schweinfurt)

schlüsse der Raumlüftung an die Staubdecke, in Nähe der Dachschräge zwei der sechs Rohrschleifen, die die Tauwassersicherheit gewährleisten, rechts die Dachlüftung (ohne Kühlung), die im Sommer mit bis zu 5-fachem Luftwechsel/Std. eine Überwärmung des Dachraums verhindert.

Depot für Handwerk- und Industriekultur der Kunsthalle Schweinfurt

Das Depot (Abb. 6) wurde 2010 in Stahlskelettbauweise erbaut, mit Stahlblech-Sandwichelementen (8 cm Hartschaumdämmung) über gedämmtem Betonsockel (max. 85 cm hoch, teilweise bis 65 cm erdberührt) und einem Foliendach auf gedämmtem Trapezblech. Das Bild zeigt die Temperieranlage im 5 m hohen Hauptraum: vier Heizrohre bis in 60 cm Höhe. Zur Steigerung der Wärmeabstrahlung wurden die Rohre gestrichen (hier mit Klarlack, s. nächstes Beispiel). Abweichend von der Empfehlung der Landesstelle haben sie keinen Kontakt zur Sockelfläche (geringere Wärmespeicherung im Sockel). Eine Lüftung wurde nicht eingebaut. Es ergab sich ein gleitendes Klima von 14–26 °C und 43–65 % Feuchtigkeit ohne Luftbefeuchter. Die Obergrenze trat zeitweise im Sommer bei unter 20 °C Raumtemperatur ein und hätte daher statt durch einen Luftentfeuchter mit einer leichten Temperaturerhöhung vermieden werden können. Der Jahresenergiebedarf lag bei ca. 9,8 kWh/m³·a.

Dokumentation Obersalzberg in Berchtesgaden

Abbildung 7 zeigt den Hörraum der Bunkeranlage im Obersalzberg. Seit 2010 kann eine Wandoberflächentemperatur von 18 °C durch zwei Heizrohre (Ø 15 mm) gehalten werden. Da die Rohre selbst jedoch zusätzlich mit 30 °C strahlen, ist die empfundene Temperatur behaglich. Zuvor wurde nur die Raumluft dieses und des Videoraums mit einer Klimaanlage konditioniert. Der Lüftungskanal dient nur noch zur Raumlüftung zu den Öffnungszeiten (bei max. 1V/Std.). In der unveränderten Bunkerstrecke (Primärdokument), die zu diesen Räumen und zu der ebenfalls temperierten Winterausstellung führt, herrscht ein geringer natürlicher Luftwechsel. In Abbildung 8 sind je zwei

7, 8. Berchtesgaden, Dokumentation Obersalzberg. Links: Hörraum, 2010. Rechts: Abschnitt der Bunkerstrecke (Primärdokument) (Fotos: Henning Großeschmidt)

ungestrichene Heizrohre (Ø 22 mm) an den Wandsockeln sichtbar, die Wärme abgeben und gleichzeitig als Zuleitungen zu den drei zum Verweilen geeigneten Bereichen dienen. Da aber blanke Rohre gegenüber gestrichenen eine achtfach geringere Wärmeabstrahlung haben, ist die empfundene Temperatur, wie aus didaktischen Gründen gewünscht, geringer. Die Gesamtwirkung von Auftrieb und Strahlung genügt dennoch zur Ausschaltung der bisher im Sommer unvermeidbaren Kondensation am Gewölbe.

Zum besseren Verständnis der oben angeführten Beispiele zeigt Abbildung 9 den heute in Neubauten üblichen Aufwand einer Betonkernaktivierung an einem Massivdach während der Einbetonierung. Die Rohrregister liegen in der Mittelebene des Bauteils zwischen den beiden Armierungsmatten, hier beschränkt auf Flächen, unter denen sich Aufenthaltsbereiche befinden. Bei dem üblichen Rohrabstand von 20 cm fallen erhebliche Rohrlängen an.

9. Alter Hof, München, Neubau Sparkassenstraße. Betonkernaktivierung im Massivdach (Foto: Henning Großeschmidt)

Museums- und Depotprojekte ohne Austausch mit der Landesstelle

Der Schwerpunkt der Museums- und Depotplanung, soweit sie ohne Bezug zur Landesstelle abläuft, liegt in einer rigiden Klimavorgabe, die ganzjährig eine Raumtemperatur von 20 °C und 50 % relative Luftfeuchte anstrebt. Von diesem Ansatz riet die Landesstelle bereits 1984 ab, als sie in ihrem Pilotprojekt für die Temperierung der Gebäudehülle im Starnberger Stadtmuseum erste Erfahrungen mit Strahlungsklima gewonnen hatte: Bei Temperierung der Außenwände eines Raumes wird das Raumklima durch die geringe Wärmestrahlung bestimmt, die von der Gesamtfläche der Wände gleichmäßig ausgeht. Da die so erreichte Raumtemperatur kurzzeitstabil ist und sich nur gleitend ändern kann, muss auch die relative Luftfeuchte kurzzeitstabil sein, wenn die Gebäudeöffnungen abgedichtet sind.

Vor dem Hintergrund dieser Langzeiterfahrung mit Strahlungsklima ist die öffentliche Diskussion über konservatorisch sinnvolle Raumtemperaturen, die seit den 1970er Jahren immer wieder auflebt, irreführend. Denn sie negiert den einfachen Fakt, dass Wärmestrahlung Luft ohne Heizeffekt passiert. Demzufolge können bei Strahlungsklima die in unter dem Punkt „Alternative Zielvorgaben für die Klimaregelung“ aufgeführten Mängel gar nicht entstehen, zu deren Kompensation eine Vielzahl von Ingenieuren ständig neue Anlagenkomponenten und Regelungs-„Optimierungen“ erfindet, durch deren Kenntnis der moderne Klimaberater seine Kompetenz beweist, „auf der Höhe“ dieser „Entwicklung“ zu sein.

Unabhängig von der Landesstelle riet auch Günther S. Hilbert 1987 in Hinblick auf die Regelung von Klimaanlagen unter Bezug auf die saisonal gleitenden Mittelwerte des Außenklimas vom „Sollwert“-Ansatz ab und regte eine „Sollwertfeld“-Regelung an (20 °C/45 %–24 °C/55 %).[4] 1995 wies Jan Holmberg in einer Literaturstudie im Rahmen des EU-Projektes EuroCare PREVENT (1995–1997) nach, dass die Werte 18 °C/55 % rF keine Empfehlung von ICOM sind, sondern nur Mittelwerte einer durch ICOM in den 1960er Jahren durchgeführten Befragung darstellen und weder auf Forschung noch Empirie beruhen.[5]

Die rigide Klimavorgabe sollte innerhalb der Museumsplanung aus Kostengründen nicht weiter verfolgt werden. Denn das Festhalten daran verursacht neben wesentlich höheren Investitionskosten im Vergleich zum alternativen Konzept (gleitendes Raumklima als Planungsziel) erheblich höhere Betriebskosten: Im Winter entsteht ein erhöhter Bedarf an Heiz- und Befeuchtungsleistung, bei zugleich erhöhtem Risiko von Kondensations- und Schimmelschäden an nicht bzw. zu gering beheizten Außenbauteilen. Im Sommer werden Kühlung und Luftentfeuchtung zwingend, erstere wieder mit dem Taupunktrisiko und beide mit hohem Energiebedarf verbunden.

Die heute übliche Planung kombiniert sowohl für Neubauten als auch in der Bestandsanierung die inzwischen auf 20 °C/55 % angehobene Klimavorgabe, die nur mittels Klimaanlage haltbar ist, mit Heizrohrregistern in Bauteilen (Neubau: „Betonkernaktivierung“, s. Abb. 9, Altbau: Rohrregister hinter Vormauerung, s. u. Kassel). Der enorme Aufwand wird damit begründet, dass die Konstanthaltung der Raumtemperatur im Jahresverlauf „konservatorisch notwendig“ sei. Im Sommer sei daher Kühlung erforderlich, die aber konservatorisch besser mit großflächigen Bauteilen statt durch Luftkühlung bewirkt wird. Diese Register werden, da sie im Winter auch die Raumbeheizung zu leisten haben, häufig mit dem missverständlichen Begriff „Bauteiltemperierung“ bezeichnet, obwohl sie nicht aus bis zu vier nur am Wandsockel verlegten Rohren, sondern aus in der Mittelebene der Bauteile über die ganze Bauteilfläche eng verlegten Rohrschleifen bestehen. Meist werden die Geschossdecken ausgestattet, seltener die Außenwände, die stattdessen meist gedämmt, dann aber doch nicht als Hängeflächen genutzt werden (wie z. B. im Depot München-Freimann der Fall).

Beispiele für diesen erhöhten Aufwand in Neubauten sind das neue Zentraldepot des KHM Wien oder das Museumsdepot der Landeshauptstadt München (Freimann), die

beide über Betonkernaktivierung in allen Geschossdecken sowie Außenwand-Kerndämmung (Dämmung zwischen zwei Betonschichten) verfügen. Der Aufwand ist nur schwer verständlich: in Wien angesichts der guten Erfahrungen im ehemaligen Depot Wien-Inzersdorf (gutes Raumklima bei beispielhaft geringem Jahres-Energiebedarf von 11,6kWh m^3, Abb. 2) und in München (Freimann), wo die Depoträume in den Untergeschossen situiert sind, sodass die geplanten gleitenden Temperaturen (Vorgabe 15–20 °C) im Winter kaum Heizwärme- und keinen Befeuchtungsbedarf, im Sommer keinen Kühl- und nur einen geringen Entfeuchtungsbedarf erfordern.

Bei historischem Mauerwerk wird meist unter Ansetzung der ungünstigen Wärmedurchgangskoeffizienten nach DIN (s. dagegen die „effektiven U-Werte“, Abschnitt „Heizsystem“) davon ausgegangen, dass eine Wärmedämmung erforderlich ist. Da diese im Baudenkmal nur innen erfolgen kann, muss sie bei Luftbeheizung mit Luftbefeuchtung feuchteunempfindlich sein (inhomogene Wandoberflächentemperatur, Taupunktgefahr in den schlechter versorgten Wandbereichen). Nimmt die Dämmung aber Feuchte auf, nimmt der Dämmwert ab und es entstehen die in Wohnbauten seit den 1980er Jahren bekannten Wandfeuchteprobleme. Abbildung 10 zeigt die thermisch-hygrischen Einflüsse auf ein Gebäude, deren Auswirkungen mit einer Temperierung der Gebäudehülle gemindert oder eliminiert werden können.

Ein negatives Beispiel für die „Sanierung“ historischer Musemsgebäude ist der Billingbau der Mannheimer Kunsthalle. Bei Ansatz des DIN-U-Werts ist in einem Museum mit Luftbefeuchtung eine historische Gebäudehülle kondensatgefährdet. Der Billingbau erhielt „daher“ für einen Millionenbetrag eine feuchteunempfindliche Calcium-Silikat-Innendämmung, obwohl in den vier Meter hohen Räumen ein 1,20 m hohes eingeputztes Rohrregister („Wandtemperierung“) durch seinen Auftrieb den Feuchteschutz der Innendämmung gewährleistet. Davon hätte aber auch die ungedämmte Bestandswand profitiert und ihr Dämmwert wäre ohne Gestaltveränderung optimiert worden (vgl. Abb. 4). Die Hängeproblematik als Folge der Dämmschicht führt zu weiteren Mehrkosten. Ein anderes Beispiel ist das Stadtmuseum Kassel, wo eine „Kernaktivierung“ durch eine innere 11,5 cm starke Schwerziegel-Vormauerung auf einer gedämmten „Bauteiltemperierung“ vorgesehen ist. Bei guter Verankerung der Vormauerung gibt es hier also wenigstens keine Hängeprobleme.

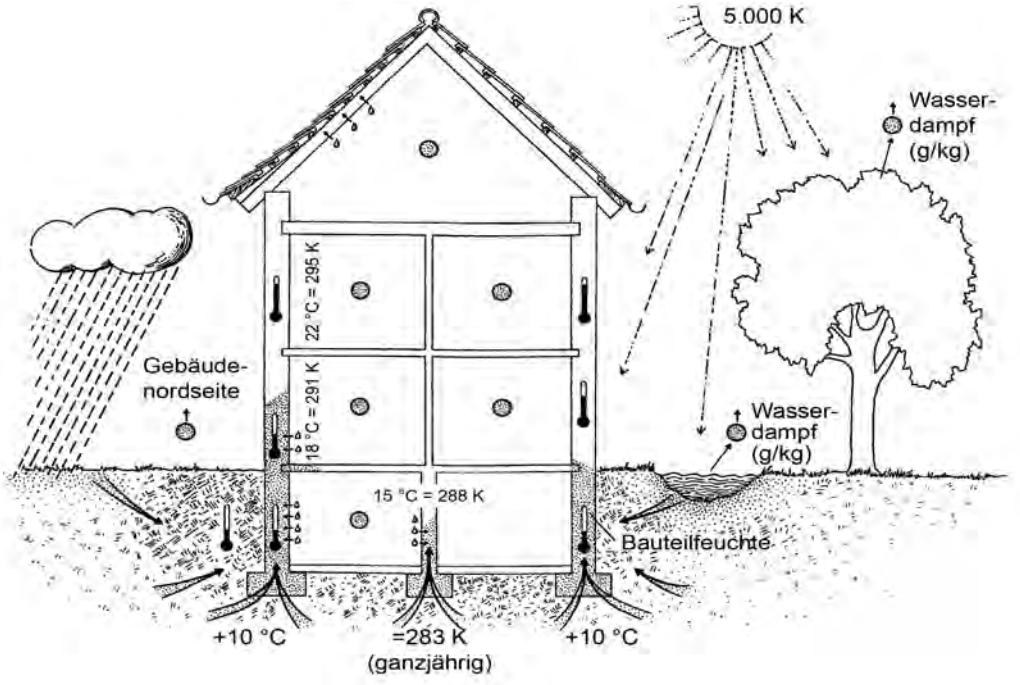
Das Klimakonzept der Landestelle

Das Konzept beruht auf vier Komponenten, deren Wechselwirkung eine optimale Klimaqualität bei geringem technischen und finanziellen Aufwand ermöglicht:

a) Verbesserung der Speicherwirkung der Gebäudehülle zur Dämpfung der äußeren Temperaturschwankungen, insbesondere zur Vermeidung des Kühlbedarfs (s. d),
b) Raumbeheizung ausschließlich durch Ausgleich der Wärmeverluste der Gebäudehülle durch „Temperierung“ (= zwei bis sechs Heizrohre an den Sockeln aller Raumaußenwände, auf oder knapp unter Putz),
c) kleindimensionierte Lüftungsanlage (max. 1 V/h), nur zur Konditionierung der Frischluft bei Besuchsverkehr,
d) gleitende Klimawerte als Regelungsziel.

Heizsystem

Wegen seiner Auswirkungen auf Baukörper, Energiebedarf, Klimastabilität und Behaglichkeit muss die erste Überlegung dem Heizsystem gelten.



10. Sommerliche Feuchte im unbeheizten Haus (Zeichnung nach Großeschmidt: Hans Stölzl, BLfD, München)

Heizsystem und Gebäudehülle
Die Beheizung darf nicht über die Raumluft erfolgen, sondern muss direkt und ausschließlich auf die Gebäudehülle bzw. auf die Außenwände der einzelnen Räume einwirken. Bei kontinuierlichem Betrieb ergeben sich zwangsläufig und ohne weitere Maßnahmen die Feuchtesanierung und der Feuchteschutz des Gebäudes, da aufsteigende Feuchte, Schadsalzaktivität, Kondensation, Schimmelbildung und Pilzbefall ausgeschlossen werden. Daraus folgen bei Massivbauteilen die Verbesserung der Wärmespeicherung und die Verringerung der Verluste durch Wärmeleitung. Die U-Werte der Wärmeverlustflächen reduzieren sich ohne Wärmedämmung auf die „effektiven" U-Werte, die je nach Himmelsrichtung um 1/3 (Nord) bis 3/4 (Süd) geringer sind als die für alle Expositionen gleichen U-Werte nach DIN. Ein Wärmeschutznachweis nach diesen Werten bewirkt eine Freistellung von der Wärmedämmpflicht gemäß § 24,2 der derzeit gültigen Energieeinsparverordnung.[6]

Heizsystem und Raumklima
Die üblichen Heizverfahren, einschließlich der Heizkomponente von Klimaanlagen, beruhen auf einer Wärmeverteilung mit aufgeheizter Raumluft. Auch die Fußbodenheizung, oft als Strahlungsheizung missverstanden, setzt durch ihre waagerechte Anordnung unter der Raumluftmasse diese nach Aufheizung der unteren Schicht immer wieder neu in Bewegung. Nichtbeheizen der Raumluft aber führt zu einer Reihe relevanter Vorteile. Zwei Beispiele: Ohne Zugerscheinungen werden im Vergleich zu Heizkörperheizung bereits geringere Raumtemperaturen als behaglich empfunden. Da der Luftwechsel vom Raumluftdruck abhängt und dieser wiederum von der Lufttemperatur, genügt in Bestandsbauten bei Temperierung der Gebäudehülle die Abdichtung doppelverglaster Altfenster.

Die konservatorische und energetische Bedeutung zeigt sich erst bei der Betrachtung der Raum*luft*temperatur. Diese ist bei Heizkörperheizung im oberen Raumteil um bis zu 20 Grad höher als im restlichen Raum. Bei Strahlungsklima dagegen ist sie über die gesamte Raumhöhe gleich und auch im oberen Raumteil deutlich geringer, da sie nicht über der Wandoberflächentemperatur liegen kann. Der Raumluftdruck ist daher erheblich niedriger. Die Folge ist ein geringer Luftaustausch durch Fugen und Öffnungen bzw. mit nicht klimatisierten Hausbereichen, sodass geringere Wasserdampfverluste geringeren Befeuchtungsbedarf bedeuten. Zugleich verringern sich die auf dem Luftweg entstehenden Wärmeverluste. Bei Luftbeheizung ändern nämlich auch dichte Fenster und Außentüren (selbst mit Windfang) nichts an den internen Verlusten (in den oberen Raumbereich, in Verkehrsbereiche bzw., verstärkt durch den Kamineffekt, in das Treppenhaus). Die Wärmerückgewinnung einer Lüftung aus der Raumluft bringt lediglich einen Teil der Wärme zurück, die bei Strahlungsheizung gar nicht an sie abgegeben worden wäre. Umgekehrt kann sich daher bei Strahlungsklima eine solche Anlage nicht amortisieren. In Bereichen ohne Anforderungen an das Raumklima (Wohnhäuser etc.) ist wegen des geringen Wärmeinhalts der Raumluft die Fensterlüftung energetisch nicht relevant – im Gegensatz zur Raumbeheizung mit Heizkörpern, wo die Raumluft als Heizmedium fungiert.

Heizsystem und Energiebedarf
Die energetisch relevanten Wirkungen bei der Temperierung der Gebäudehülle führen zu Einsparungen, die bei einer sog. „energetischen Sanierung" nur mit großem Aufwand und unter Gestaltveränderung des Bauwerks zu erreichen sind. Der Energiebedarf der zu Beginn angeführten Beispiele ist exemplarisch: Bei Ganzjahresbetrieb im erdberührten Bereich und Mindest-Raumtemperaturen in der Heizperiode von 15–20 °C ergaben sich 9,8–18,0 kWh pro Kubikmeter umbauten Raum. Die Form der Temperierung, die 1989 im KOG verwendet wurde, entsprach der seit 1983 erprobten Grundform der Wandtemperierschalen, die Architekt Karl Assmann († 1988) 1978 entwickelt hatte. Bereits im Pilotprojekt zeigte sich der energetische Vorteil der direkten Wandbeheizung: Der vor Kontakt mit der Landesstelle beschaffte Gaskessel, dessen berechnete Leistung mittels Heizkörpern in einer Gebäudehälfte 18 °C ermöglichen sollte, reichte aus, um mit den Wandschalen 18 °C im ganzen Gebäude zu erreichen. Später zeigte sich, dass die Gesamtwirkung mit geringstem Installationsaufwand (in der Regel bis zu vier Heizrohre an den Außenwandsockeln, Abb. 1–8) geleistet werden kann.

11. KOG Regensburg. Sonnenschutz an Glasflächen im Außenbereich (Fotos: Michael Kotterer, KOG Regensburg)

Gebäudehülle

Einen wesentlichen Beitrag zur passiven Konservierung gewinnt man durch Optimierung der Pufferwirkung der Gebäudehülle. Als Beispiel seien hier zunächst die Maßnahmen im KOG aufgeführt, die auch darauf abzielten, auf

12. Temperieranlage im Leichtbau (Wohnhaus, DG)
(Foto: Henning Großeschmidt)

die kostenintensive Gebäudekühlung zu verzichten: Das Museum war 1970, nachdem die ehemalige Kunsthalle von 1904 um das Galeriegebäude erweitert worden war, als Tageslichtmuseum konzipiert. 1989 empfahl die Landesstelle, auf Tageslicht weitgehend zu verzichten und den Anteil der Massivbauteile an der Gebäudehülle zu erhöhen. In der ehemaligen Kunsthalle erfolgte dies, indem das ungedämmte Sparrendach durch 20 cm starke Porenbetonelemente ersetzt wurde. Durch die massiven Dachschrägen gelang die Absenkung der sommerlichen Temperaturobergrenze auf 26 °C, sodass mit der Nachtlüftung ohne Kühlung 24 °C gehalten werden konnten. Jedoch trat die Stabilisierung der relativen Luftfeuchte erst ein, als 1997 die Störquellen, die Anschlussfugen zur Kuppel, gefunden und abgedichtet wurden.

Im Erweiterungsbau von 1970 wurde die Dämpfungsfähigkeit der Gebäudehülle durch den Austausch der Glasbänder unter der Erdgeschossdecke gegen Mauerwerk verbessert. Ferner erfolgten das Abdichten von Baufugen und der Einbau von fugendichten Türen und Fenstern mit Wärmeschutzverglasung. Die Kühllast wurde durch Begrenzung der Anschlussleistung der Beleuchtung auf max. 12,5 W/m^2 weiter reduziert, um die Aufheizung von Innenbauteilen durch die Wärmestrahlung und Abwärme des Kunstlichts möglichst gering zu halten bzw. die Pufferwirkung der inneren Bauteile nicht zu schmälern. Durch den weitgehenden Ersatz des Tageslichts durch Kunstlicht werden auch Luxzahlen unter 200 möglich, ohne dass die Brillanz der Ausleuchtung leidet, da sich bei Kunstlicht wegen des geringeren Anteils an kurzwelligem Licht eine größere Pupillenweite einstellt. Eine Minimierung der restlichen Kühllast wurde 1997 durch weiteren außenliegenden Sonnenschutz an Fenstern und Glaselementen erreicht. Abbildung 11 zeigt Lochbleche am Glasdach und am oberen Glasfeld sowie Rollos darunter. Die Beschattung des 1989 gepflanzten Baums allein war nicht ausreichend.

Die Langzeiterfahrungen der Landesstelle mit Massivbauten und einfacher, geringdimensionierter Haustechnik führen zu folgenden Empfehlungen: Bei Museumsneubauten sollte im Ausstellungs- und Depotbereich die monolithische Massivbauweise bevorzugt werden. Für die Gebäudehülle von Depotneubauten eignet sich auch die Holzständerbauweise (Abb. 12) mit Holzweichfaserplatte als Füllung (Freilichtmuseum Massing) oder die Sandwichbauweise (Depothalle in Schweinfurt mit 8 cm starken gedämmten Trapezblechpaneelen). Generell von Vorteil sind der Verzicht bzw. die Abschottung von Fenstern sowie eine Dachkonstruktion bzw. Dachsanierung mit starker Pufferwirkung (schwerere Dämmstoffe, Massivholzlagen, Porenbetonelemente etc.).

Die Bedeutung der Dämpfungsfähigkeit der Gebäudehülle zeigt sich immer wieder in Gebäuden mit Massivmauerwerk, deren Öffnungen verschlossen sind und die selten begangen werden. Vor dem Hintergrund der heutigen Klimadoktrin mit ihrer kostenträchtigen Forderung nach Klimakonstanz ist das Werkstatthaus des Glasmalers Karl Vollmer (1903–1975) in Offenburg (Abb. 13, 14) ein frappierendes Beispiel. Das seit dem Todesjahr unsanierte und unbeheizte Haus (28 Jahre verschlossen, seit 2003 sporadisch zu Führungen des Stadtmuseums geöffnet) fungiert seit 38 Jahren als „Depot“. Dass in den unveränderten Arbeitsräumen im Erd-und Obergeschoss zwar eine feine Staubschicht, jedoch weder Schimmel, noch Korrosion oder Spuren von Kondensation zu sehen sind, ist der günstigen Gesamtsitua-

13, 14. Werkstatthaus des Glasmalers Karl Vollmer (1903–1975) in Offenburg. Hausansicht von Südwest und Südostraum des OG
(Fotos: Henning Großeschmidt)

tion zu verdanken: Dank des erhöhten Erdgeschoss-Niveaus wirkt sich dort die Feuchteproblematik des KG nicht aus. Das Außenklima wird durch das Massivmauerwerk, die Doppelverglasung (Winterfenster) und die teilweise florale Beschattung gepuffert. Der minimale Luftwechsel liegt selten über dem Fugenluftwechsel der geschlossenen Fenster und Türen.

Lüftungsanlage

Das Konzept für einen Einsatz von Lüftungsanlagen, der in Museen mit höherer Besucherfrequenz unumgänglich ist, muss auf ein geringstmögliches Störpotential und einen reduzierten Energiebedarf zielen. Dazu muss die Anschlussleistung der Anlage beschränkt werden. Bei Verfolgung der o. a. Maßnahmen und der im Folgenden genannten Klimavorgaben genügt auch aus physiologischer Sicht ein geringer Raumluftwechsel. Dank dieser Vorgaben konnte im KOG die Anlage auf maximal ein Gebäudevolumen pro Stunde ausgelegt werden. Der Frischluftanteil ist variabel, zwischen 0 (Frostphasen im Winter) und max. 1 im Sommer. Reine Umluft ist ebenfalls möglich. Die Heizwirkung der Lüftung dient der Frischluft-Nacherwärmung, nicht der Raumbeheizung.

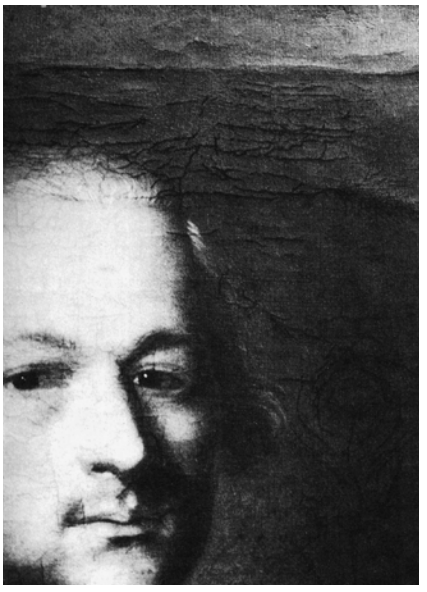
Dank der optimierten Dämpfungsfähigkeit der Gebäudehülle und der beschränkten Anschlussleistung des Kunstlichts konnte im Sommer ein Temperaturanstieg im Raum auf über 24 °C allein durch Nachtlüftung vermieden werden. Angedacht ist, weitere Glasflächen durch massives Material zu ersetzen und eine Kühlkomponente mit geringer Leistung nachzurüsten, welche die Zulufttemperatur auch tagsüber auf 22 °C begrenzbar macht. Damit wäre auch die Abwärme des Ventilatormotors kompensiert, die den Zuluftstrom mit 3–5 K belastet. In Depots ist bei Beachtung der oben und in den Abschnitten "Heizsystem und Gebäudehülle/Raumklima" gegebenen Empfehlungen eine Lüftungsanlage nur in Ausnahmefällen erforderlich, z. B. bei schadstoffbelastetem Lagergut.

Alternative Zielvorgaben für die Klimaregelung

Klimaanlagen gelten nach wie vor als Optimallösung für die Raumklimatisierung. Sie wirken durch ständige Konditionierung der Raumluft über ein Kanalnetz, das von einer Zentrale in alle Räume geführt wird. Sie verursachen aber nicht nur hohe Investitions-, Energie- und Folgekosten (wie Wartungs- und Ersatzbeschaffungskosten), sondern können auch nur von Klimatechnikern bedient werden. Damit ist der örtliche Hausmeister oder Restaurator in der Regel überfordert. Im Folgenden werden die prinzipiellen Nachteile der reinen Raumlufttechnik im Vergleich zu Wandtemperierung mit minimierter Lüftung und die einfachen physikalischen Ursachen dieser Nachteile aufgeführt. Sie gelten ebenso für Heizkörperheizung mit Luftbe- und -entfeuchtern:

Zum Einen müssen zum Heizen große Luftmengen bewegt werden. Die Aufheizung der Luft provoziert durch den erhöhten Luftdruck höheren Luftwechsel und damit höhere Lüftungswärmeverluste und einen höheren Bedarf an Luftbefeuchtung. Die Außenwandoberflächen (Hängeflächen) sind kälter als die Raumluft (und der darin enthaltene Wasserdampf), die relative Feuchte in Wandnähe ist daher höher als im Raum. Die der örtlichen rF entsprechend feuchteren Außenbauteile haben eine höhere Wärmeleitfähigkeit und die wandnahe Ausstattung wie beispielsweise „das Bild an der kalten Wand" (Maria Ranacher) haben eine höhere Materialfeuchte.

Zum Anderen ändert die Anlagenfunktion ständig die Dichte der Luft (aufgeheizte Luft steigt, gekühlte Luft fällt, befeuchtete Luft steigt, entfeuchtete Luft fällt). Eine sinnvolle Führung der Luft und eine verbindliche Erfassung von Messwerten sind daher schwierig, vor allem bei großem Raumvolumen oder gar beim Raumverbund über mehrere Stockwerke. Hier herrschen ständig Zugerscheinungen, der Hausstaub wird verwirbelt, und es besteht die Gefahr der Schimmelbildung an kühleren Stellen der Gebäudehülle.



15. Kondenswasser im Craquelée (Foto aus Schaible, ZKK 2/1990, S. 238)

Abbildung 15 zeigt einen solchen Fall an einem Januartag in einem Museum mit Klimaanlage: Bei Werten in Raummitte von 18 °C und 58 % rF sind 7,5 g Wasser im Kubikmeter Luft enthalten, wodurch Kondenswasser im Krakelee eines an einer Außenwand hängenden Gemäldes entstand. Aus dem Mollier-h-x-Diagramm (Abb. 16) kann als Temperatur der Bildoberfläche 9,3 °C ermittelt werden, was der Grund für die Kondenswasserbildung war. Das Diagramm ist hier reduziert auf die im Museumsalltag ohne Klimaanlage wichtigsten drei Größen: 1. örtliche(!) Temperatur, 2. von der Saison bestimmte Wasserdampf-Menge im Kubikmeter Luft und 3. daraus resultierend die relative Feuchte. Es zeigt also die Abhängigkeit der lokalen relativen Luftfeuchte vom tatsächlichen Feuchtegehalt der Raumluft und der örtlichen Temperatur (Wand, Gegenstand), die durch Wandtemperierung beeinflusst werden kann (vgl. Abb. 10).

Um gleichzeitig die Jahresenergiekosten, die Wartungskosten und das konservatorische Störpotential der Klimatechnik minimieren zu können, dürfen gegen die starken

saisonalen Schwankungen des Außenklimas keine starren Werte (früher 18 °C, 55 %, heute 20–22 °C, 55 %) angestrebt werden. Vielmehr müssen die Raumtemperatur und die relative Raumluftfeuchte mit den saisonalen äußeren Mittelwerten gleiten. Für Ausstellungsräume von Museen sind Temperaturen zwischen 18 und 24 °C sinnvoll. Max. 26 °C über eine Woche sind konservatorisch nicht schädlich, wenn die Änderungen gleitend eintreten.[7] Auch physiologisch sind diese Temperaturgrenzen nicht problematisch: Im Winter wird dank des bei Temperierung zugfreien Strahlungsklimas eine bei tiefster Außentemperatur eintretende Raumtemperatur von z. B. 16 °C nicht als unangenehm empfunden. Umgekehrt ist im Sommer die bei höchsten Außentemperaturen zugelassene Obergrenze (26 °C) für den Besucher gut tolerierbar, wenn seine Entwärmung durch eine geringe, einem einfachen Luftwechsel entsprechende Luftbewegung gewährleistet wird. In Depoträumen, in denen sich Personen kaum länger aufhalten, sind im Winter Mindesttemperaturen von 15 °C sinnvoll. Aus konservatorischer Sicht können sie auch deutlich darunter liegen, während die Obergrenze von 24 °C baulich, also durch Dämmung, Verschattung und geringen Luftwechsel, statt durch Kühlung gesichert werden sollte. Die relative Luftfeuchte sollte sich zwischen 45 und 60 % bewegen, bei gleitender Änderung sind auch Werte von 40 und 65 % unschädlich. Das Auskeimen von Pilzsporen setzt feuchtes Material voraus, das Myzel ist aber erst ab einer örtlich herrschenden relativen Luftfeuchte von mindestens 65 % und der daraus folgenden hygroskopischen Materialfeuchte lebensfähig.

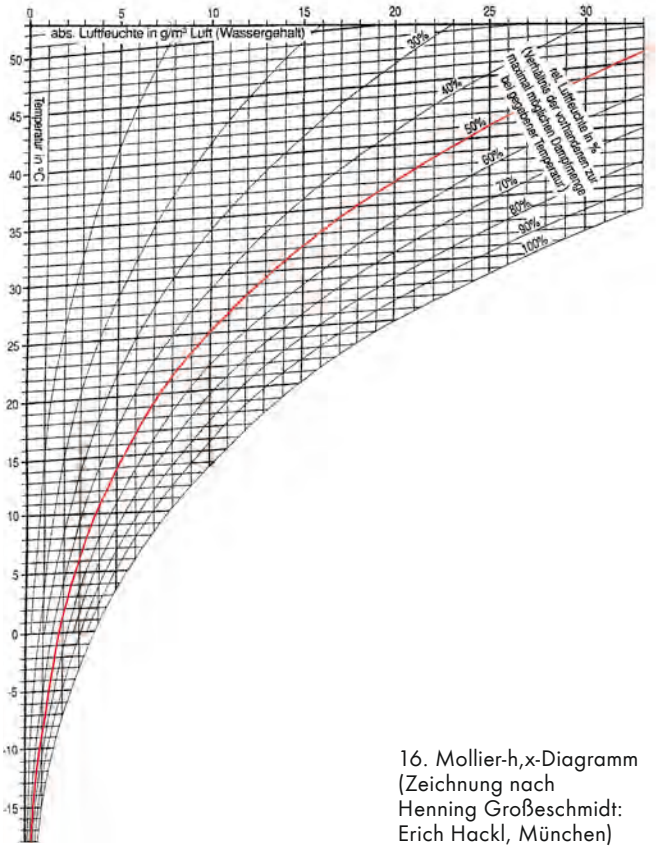
Demnach sollte das Ziel der Klimaregelung das Vermeiden von Kurzzeitschwankungen beim ansonsten saisonal gleitenden Raumklima sein. Im Rahmen des EU-Forschungsprojektes EuroCare 1383 PREVENT8 (1995–1997), das sich u. a. der Suche nach dem Heizsystem mit dem geringsten konservatorischen Schadenspotential widmete, wertete das KOG seine Langzeit-Klimamessungen aus und stellte die positiven Erfahrungen mit dem Klimakonzept der Landestelle dar. Dabei zeigte sich die konservatorische Qualität in der Homogenität des Raumklimas und der Kurzzeitkonstanz der gleitenden Werte.

Exkurs Keller

Gerade die sommerliche Feuchteproblematik von Kellern spricht für das Verfahren der Temperierung. Das Hauptargument ergibt sich aus dem Vergleich der Stockwerke (vgl. Abb. 10). Im Gegensatz zu den oberirdischen werden die erdberührten Bauteile und damit auch die im Raum befindlichen Gegenstände im Sommer ohne künstliche Wärmezufuhr nicht wärmer. Es fehlt die solare Zustrahlung. Wegen des saisonalen Anstiegs der Absolutfeuchte wäre dieser Temperaturanstieg während des Sommers aber erforderlich und geschieht in den Obergeschossen und im größten Teil des Erdgeschosses auch ohne Heizung. Beispiel: Bei einem Außenklima mit 30 °C und 40 % rF (10,7 g/m3 Absolutfeuchte) liegen in einem Raum mit 19,5 °C bereits 75 % oder bei 18 °C bereits 82 % rel. Luftfeuchte vor (vgl. Abb. 16). Die Grenze zur Kapillarkondensation wird damit überschritten, und es kommt, unabhängig von der Feuchte aus der Erdberührung, zu Einlagerung von Wasser aus der Raumluft in die Wand. Entsprechend hoch ist die Materialfeuchte des kalten Lagerguts. In nicht temperierten Kellern treten im Sommer meist noch tiefere Temperaturen ein. Bei 16 °C und 10,7 g absoluter Feuchte läge die rF sogar bei 95 %.

Die Temperierung der Wandoberflächen und (auf dem Wege des Strahlungsaustauschs) der Raumausstattung ist daher der vom Installationsaufwand her einfachste und für Gebäude und Inventar gleichermaßen vorteilhafte Weg. Denn in einem ganzen Kellergeschoss können durch wenige Heizleitungen die Kondensation und Schimmelbildung und das durch Erdberührung bedingte Feuchte- und Schadsalzproblem ausgeschaltet und die Räume universell genutzt werden.

Die üblichen Luftentfeuchter wirken direkt durch Entfernen von Wasserdampf aus der Raumluft durch Luftkühlung. Dieses Entfeuchten ist deutlich energieaufwendiger als Heizen. Für jeden Raum ist ein Gerät erforderlich. Ein neueres Verfahren ist die „Klimalüftung“ (Lüftung nur, wenn die äußere absolute Feuchte geringer als die innere ist). Dieser elektronisch kontrollierte Luftwechsel setzt neben zwei Lüftern und mehreren Fühlern die Beschaffung eines Computers voraus. Bei diesen Kosten ist die Behandlung eines ganzen Geschosses kaum sinnvoll. Mit beiden Verfahren sind für die Personennutzung geeignete Raumtemperaturen nicht erreichbar. Die Heizkörperheizung wiederum bewirkt die Luftentfeuchtung durch Erhöhung des Luftwechsels als Folge der Luftbeheizung. Bei allen Methoden, außer der



16. Mollier-h,x-Diagramm (Zeichnung nach Henning Großeschmidt: Erich Hackl, München)

17. Archiv für alte Dokumente der TU München, einfache Regelung über Rücklauftemperaturbegrenzer (Foto: Henning Großeschmidt)

Temperierung, wird das Erdfeuchte- und Schadsalzproblem verstärkt, da die Verdunstung aus dem Kapillarsystem des Mauerwerks in den Raum angeregt wird.

Kellerräume mit Temperierung sind einfach einzuregeln. Im KOG fand die Regelung der Temperierrohre zunächst über die DDC-Anlage (über Heizungsregelung) statt. Seit 1997 geschieht die Regelung, wie ursprünglich empfohlen, über die Erfassung der Rohrabkühlung am jeweiligen Schleifenende (Rücklauftemperaturfühler) mit einfachen thermomechanisch wirkenden, kostengünstigen, wartungsfreien Thermostaten. Bei Neuinstallation werden am Verteiler am Rücklaufende des Einzelkreises Rücklauf-Temperaturbegrenzer eingebaut (Abkürzung RTL = return temperature limiter). Zum Nachrüsten an vorhandenen Verteilern können auf die Ventilsitze des Vorlaufbalkens Thermostate mit Fernfühlern an den Rückläufen montiert werden. Abbildung 17 zeigt das Archiv für alte Dokumente der TU München, mit fünf erdberührten Hüllflächen. Unten sind am Ende der vier Kreise die vier RTL erkennbar. Links davon ist die elektrische Heizpatrone sichtbar (2 kW), die den geringen Wärmebedarf im Sommer deckt, wenn die Hauszentrale keine Wärme liefert. Die Thermometer zeigen das Ende der Trockenheizphase: Der Unterschied zwischen Vor- und Rücklauf beträgt nur noch vier Grad.

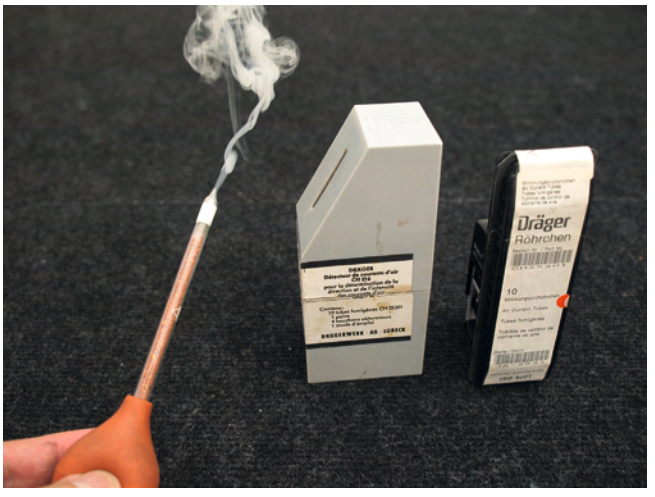
Die Reaktion der Ventile auf die Rohrabkühlung ist bauphysikalisch vorteilhaft, da so der Wärmebedarf des Wandsockels die Regelung bestimmt. Auf diese Weise kann im Sommer in nicht unterkellerten Räumen die „thermische Horizontalsperre“ mit geringster Leistung aufrechterhalten werden. Die Einstellung auf 2 (= max. 20 °C Rücklauf) erlaubt bei Unterschreitung einer Sockeltemperatur von ca. 20 °C kurzzeitig das Fließen von ca. 30 °C Vorlauf, die (bei entsprechender Einstellung der Heizkurve) im Sommer noch bereit stehen. Da im Winter ein deutlich höherer Vorlauf benötigt wird, muss der Thermostat zu Beginn der Heizperiode einmal auf 4–4,5 gestellt werden (= max. 40–45 °C Rücklauf). Damit können die durch die Heizkurve nun bereitstehenden 50–55 °C Vorlauf wirksam werden. Die auf diese Weise gehaltene Temperatur der Putzüberdeckung der Rohre bestimmt die Stärke des Warmluftauftriebs an den Außenwänden, aus deren Wärmeabstrahlung die Temperatur des Raums und seines Inhalts folgt. So wird direkt die Wandtemperatur und indirekt die Raumtemperatur geregelt – unabhängig von der Möblierung, vorausgesetzt, dass ein Abstand von min. 15 mm zur Außenwand eingehalten wird. Zugleich sind dadurch die Schimmelbildung an den Außenbauteilen und der Pilzbefall an Balkenköpfen ausgeschaltet. Bei elektronischer Regelanlage entfällt das zweimalige Umstellen der RTL, wenn Rohrfühler an den Kreisenden die Vorgaben geben (wie beispielsweise im Stadtmuseum Bad Reichenhall der Fall).

Selbsthilfe im KOG

Im KOG erlauben die bei der Sanierung erreichten Ergebnisse „optimierte Dämpfungsfähigkeit der Gebäudehülle, Heizen durch Wandtemperierung, minimierte Lüftung, Beschattung der Glasflächen und geringe elektrische Anschlussleistung der Beleuchtung“ eine einfache Anlagen- und Steuerungstechnik. Diese können im Museumsalltag von Hausmeister und Restaurator überwacht und bedient werden. Das Hauspersonal führt selbst „Regie“ und ist nicht von Klimatechnikern abhängig, die oft weder ein konservatorisches Grundverständnis haben, noch die oben beschriebenen physikalischen Ursachen der Problematik voll erkennen. Im KOG wird bei besonderen Außenklimasituationen und höherer Besucherfrequenz der Heizregler selbst betätigt oder kontrolliert gelüftet, das Klima regelmäßig gemessen und aufgezeichnet. Bei der Beurteilung von Klimasituationen und den daraus abzuleitenden Reaktionen wurde die Nutzung des Mollier-h-x-Diagramms als hilfreich erkannt.

Strömungsprüfung

Ein einfaches Hilfsmittel zum Aufspüren von Undichtigkeiten ist das Strömungsprüfröhrchen, mit dem die Richtung und Intensität selbst von geringen Luftströmungen



18. Das Strömungsprüfröhrchen
(Foto: Michael Kotterer, KOG Regensburg)

sichtbar gemacht werden kann, z. B. wenn an einer Fensterfuge Luft nach außen entweicht (Abb. 18). Auch der vom Lüftungsplaner versprochene Weg der konditionierten Luft einer Klimaanlage kann damit verfolgt werden.

Routinemäßige Überprüfung der Anlagenwirkung

Erst mit dem Infrarotthermometer erkennt man den wesentlichen konservatorischen Mangel der „Luft"-Heizung, der in der ungleichförmigen, lokal zu geringen Wandoberflächentemperatur besteht. Misst man die Temperatur an der Oberfläche des Gehäuses eines Raumfühlers (angebracht meist an einer Innenwand oder über einem Türdurchgang), so erhält man eine von diesem Fühler an seinem Ort gemessene Temperatur, die allgemein als „Raumtemperatur" bezeichnet wird. Der Vergleich mit den Oberflächentemperaturen einer Außenwand oder eines dort hängenden Bildes zeigt, dass diese Temperaturen in der Regel geringer sind, sodass wegen der überall gleichen Absolutfeuchte die relative Luftfeuchte dort höher ist. Im temperierten, strahlungsdominierten Raum dagegen zeigt sich bei gleichem Messvergleich der wesentliche konservatorische Vorteil, wenn statt der Raumluft die Wärmeverlustflächen beheizt werden. Die geringe Wärmeabstrahlung der nicht abkühlenden Außenwände geht ohne Heizwirkung durch die Raumluft (Gas) hindurch. Langfristig stellt sich durch allseitigen Strahlungsaustausch der Wände und Gegenstände (Festkörper) eine homogene „Raum"-Temperatur ein, an die sich die Lufttemperatur anpasst. Da im Raum überall die gleiche absolute Feuchte herrscht, ist die relative Luftfeuchte im Raum ebenfalls überall gleich. Im Gegensatz zur Situation in einem luftbeheizten Raum ist bei Strahlungsklima die Klimamessung an einem Ort im Raum aussagefähig für den übrigen Raum, wie auch für das Klima in Vitrinen oder Schränken an Außenwänden.

Die Lüftungsanlage im KOG

Zunächst war bei der Sanierung 1989–93 eine Lüftungsanlage mit zwei Leistungsstufen eingebaut worden. Die Luftwechselrate der ersten Stufe betrug 1/10 Gebäudeluftvolumen pro Stunde, die der zweiten ein volles Volumen, wahlweise im Umluft- oder im Frischluftbetrieb. Die Anlage erhielt Komponenten für Lufterwärmung und Befeuchtung. Deren Leistung war für die Aufbereitung der geringen Frischluft-Maximalmenge begrenzt, da die Heizungsaufgabe von der Temperierung gedeckt wird. Auf eine Komponente zur Luftentfeuchtung wurde verzichtet, da diese Aufgabe die Temperierung ebenfalls leistet. Die anfänglich eingebaute zweite Stufe der Lüftungsanlage (1-facher Luftwechsel) erwies sich vor allem im Winterbetrieb in der Regel als zu hoch. Es wurde daher, ebenfalls 1997, ein Mehrstufenbetrieb mit den zusätzlichen Optionen des 0,3- und 0,6-fachen Luftwechsels nachgerüstet. Damit konnten die Klimawerte während der Janosch-Sonderausstellung im Januar 1998 zwischen 10 und 16 Uhr bei ca. 0,6-fachem Luftwechsel pro Stunde auch an einem Spitzentag mit 2000 Besuchern ohne Probleme eingehalten werden.

Raumfühler

Die Regelung von Klimaanlagen wird durch verschiedene physikalische Effekte gestört. Die Fühler in den Einzelräumen sollen das Resultat der Luftkonditionierung abbilden. Eine korrekte Anzeige ist aber nur unter gleichen Strömungsbedingungen in Fühlernähe möglich. Es liegt daher nahe, die Fühler jeweils dorthin zu setzen, wo die Abluft den einzelnen Raum verlässt. Dann können aber die Raumbereiche nicht unterschieden werden (Außenwand, Raummitte etc.), was aber nötig ist wegen der Abhängigkeit der örtlichen Höhe der rF von der dort herrschenden Temperatur. Werden daher mehrere Fühler in den Einzelräumen verteilt, sind einheitliche Messbedingungen eher unwahrscheinlich, da im Bereich der Einzelfühler unterschiedliche Anströmgeschwindigkeiten oder Turbulenzen herrschen können. Im Vergleich zum Strahlungsklima besteht ein weiteres generelles Problem bei auf die Luft einwirkender Klimatechnik darin, dass die Anlagenfunktionen Dichtunterschiede der Luft hervorrufen (s. „Alternative Zielvorgaben für die Klimaregelung"). Es ist daher schwierig, eine repräsentative Fühlerposition im Raum zu finden. Aufwendigere Anlagen erhalten mehrere Fühler pro Raum (z. B. drei Sensoren), die aus o. a. Gründen jeweils andere Messergebnisse liefern. Der Rechner verwendet den Durchschnitt als Regelwert oder lässt den am meisten abweichenden Wert unberücksichtigt und zieht den Mittelwert der verbleibenden Sensoren zur Regelung heran. Die Regelungsschwankungen werden sich immer im Bereich von ± 3 % bewegen, dem Toleranzbereich der Fühler. Dazu kommen die messtechnisch gegebenen Grenzen der Fühler und die Kalibrierungsproblematik speziell der Feuchtefühler. Dank des alternativen Klimakonzeptes (Schwerpunkte Wandheizung, Lüftung mit minimaler Luftwechselrate) blieben dem KOG diese prinzipiellen technischen wie örtlichen Einschränkungen und eine daraus folgende aufwendige Anlagensteuerung mit einem Netz von Raumsensoren erspart. So konnten die Investitionskosten klein gehalten werden, und der jährliche Wartungsaufwand bleibt überschaubar.

Handmessgeräte für Luftfeuchte und Lufttemperatur

Die Feuchtefühler der Handmessgeräte brauchen oft bis zu einer Stunde, um sich an die Verhältnisse am Messort anzupassen, wenn sie zuvor unter davon abweichenden Klimabedingungen gelagert oder genutzt waren. Nach einigen Minuten zeigt sich jedoch die Tendenz und man wartet solange, bis sich die Anzeige nicht mehr wesentlich ändert. Starkes Schwenken verkürzt die Anpassungszeit. Die Temperaturanzeige dieser Geräte zeigt streng genommen nicht die tatsächlich örtlich herrschende Lufttemperatur an, sondern das in der jeweiligen Raumhöhe herrschende Mittel aus Lufttemperatur und umgebender Strahlungstemperatur der Raumhüllflächen. In der Heizperiode können die üblichen Geräte also nur bei „Wand"-Heizung (Strahlungsklima) ausreichend genau sein. Im konventionell beheizten Raum („Luft"-Heizung, Wände kälter als die Luft) müsste der Lufttemperatursensor mit einer spiegelnden Hohlkugel

umgeben sein, die nur Luft an den Fühler lässt, den Strahlungsaustausch mit den kälteren Wänden aber verhindert, um die deutlich über der Wandtemperatur liegende Lufttemperatur zeigen zu können.

Infrarotthermometer

Bei konventioneller Heizung erlaubt ein Infrarotthermometer die Abschätzung der Kondensationsgefahr: Man erkennt sofort den Temperaturunterschied zwischen der „Raum"-Temperatur (gemessen an einem Möbel) und der Außenwand-Oberflächentemperatur, die darunter liegt. Bei Temperierung ist mit dem Infrarotthermometer die Überwachung der Temperieranlage möglich, da die Messung die durch die Anlage erreichte Wandtemperatur anzeigt. Das Gerät wird auf den Emissions-Koeffizienten 0,95 eingestellt, der für die üblichen Baumaterialien ausreichend genau ist. Durch Infrarotmessung kann auch dargestellt werden, ob bei Zuleitungen eine Rohrdämmung sinnvoll ist: Misst man mit der Einstellung 0,95 ein blankes Kupfer- oder Edelstahlrohr, das ohne Materialkontakt an einem Bauteil entlang verläuft (z. B. als Zuleitung unter der Kellerdecke), so sieht man, dass es „physikalisch gedämmt" ist. Da blankes Metall einen Emissionswert um 0,1 hat, zeigt das Gerät nicht die Oberflächentemperatur an, sondern die vom Rohr ausgehende Strahlung, die wegen des geringen Emissionswerts auch bei hoher Oberflächentemperatur gering ist. Eisenrohre, die nach kurzer Zeit leicht korrodieren, strahlen bei gleicher Oberflächentemperatur deutlich stärker. Mit Plastik geschützte Rohrdämmschalen strahlen ähnlich stark wie ungedämmte, von Heißwasser durchflossene Kupferrohre.

Museums- und Depotprojekte im Austausch mit der Landestelle – Fazit

Obwohl das Konzept der Landesstelle im nichtstaatlichen Museumsbereich in Bayern seit 1983 ständig neu zur Anwendung kommt und die Temperierung im EU-Projekt EuroCare PREVENT im Vergleich mit anderen Heizverfahren als das Heizsystem mit dem geringsten konservatorischen Schadenspotential erkennbar wurde, wird dieser Ansatz in Forschung und Lehre immer noch weitgehend ignoriert. Die Fachliteratur zeigt eine zu geringe Vernetzung von Fragen der Konstruktion der Gebäudehülle, der Abhängigkeit der raumseitigen Außenwand-Oberflächentemperatur im Winter von der Art der Heizwärmeübertragung sowie der Bedeutung dieses Zusammenhangs für die energetische Sanierung, die Feuchtesanierung und die Raumluftkonditionierung. Dies führt gerade in größeren öffentlichen Projekten oft zu eklatanten Kostensteigerungen, die durch Anwendung des Temperierverfahrens vermieden werden könnten. Wesentliches Hindernis einer breiteren Nutzung der Verfahrensvorteile gerade in diesem Sektor, liegt im Zusammenwirken von drei Faktoren: Die Delegierung von Systemvergleichen und Risikobewertungen an freiberufliche Kräfte, das Bestehen auf DIN (obwohl DIN-Normen laut BGH „private Regelwerke mit Empfehlungscharakter" sind) und die auf der Bausumme basierende Honorierung der Planer. Zur Kostenexplosion gerade im Museumsneubau, wo sich die rigide Klimavorgabe als Routine für die Planung größerer Projekte durchgesetzt hat, trägt bei, dass in der akademischen Ausbildung der Restauratoren die Vorgabe an vielen Instituten weiter gelehrt wird. Die Entstehungsgeschichte und der aus dieser Forderung unmittelbar folgende Mehraufwand werden dabei selten betrachtet.

Die Verunsicherung in den Bauämtern ist sehr groß. Bei der Empfehlung der Temperiermethode zur Minderung des Aufwands wird oft nicht verstanden, dass es sich nicht um ein System anstelle eines anderen handelt. Stattdessen ist mithilfe einfacher Maßnahmen die Herstellung einer Gesamtwirkung das Ziel, die dank des ganzheitlichen Konzepts der Methode im Vergleich zu konventionellen Vorgehensweisen mit wesentlich geringerem Aufwand herstellbar ist. Bei Altbauten liegt die Einsparung in der als „Kollateralnutzen" eintretenden Feuchtesanierung und energetischen Optimierung ohne Gestaltveränderung, bei Neubauten in der vereinfachten Bauweise und in der Kostenreduktion bei Herstellung, Wartung und Energiebedarf der für Heizung und Lüftung erforderlichen Technik. Dies bedeutet zugleich minimiertes technisches Störpotential und Handhabbarkeit durch das Hauspersonal.

Anmerkungen

1 Vgl. Kimmel/Schaaf-Fundneider/Fleck 2012, S. 16.; Tello 2012, S. 57; Zobel 2013, S. 16–22.
2 Vgl. Boody/Grosseschmidt/Kippes/Kotterer 2004, hier insbesondere: Käferhaus 2004, S. 49–76 sowie 296–323; Kotterer, S. 77–98; Ranacher, S. 170–187. Weiter: Holmberg 1995; Huber 2012, S. 349–350; Käferhaus/Huber 2010, S. 102–115; Ritter 2009, S. 3, 10; Werner 1983, S. 10.; Auswahl der von der Landesstelle für die nichtstaatlichen Museen in Bayern herausgegebenen Literatur: Grosseschmidt 1984, 1992, 1994, 1998, 2006; Ortmeier 1993; Kreilinger 1994.
3 Vgl. Huber 2012, S. 349–350.
4 Vgl. Hilbert 1987, S. 191.
5 Vgl. Holmberg 1995.
6 EnEV 2007/2013, § 24 (2). Soweit die Ziele dieser Verordnung durch andere als in dieser Verordnung vorgesehene Maßnahmen im gleichen Umfang erreicht werden, lassen die nach Landesrecht zuständigen Behörden auf Antrag Ausnahmen zu.
7 Burmester 2000, S. 23.
8 Das im Rahmen der EUREKA-Initiative durchgeführte europäische Forschungsprojekt EUROCARE EU-1383 PREVENT (Preventive Conservation) untersuchte innerhalb eines fünfjährigen Forschungszeitraumes gängige Heizungen und deren Wirkungen auf Gebäude, Raumklima und Menschen. Gegenstand der Untersuchung war auch die Temperierung, die von allen untersuchten Heizungen die besten Resultate brachte.