Klima in Museen und historischen Gebäuden

Vom konservatorisch richtigen Heizen und Lüften

Michael Kotterer, Henning Großeschmidt

Die örtliche Materialfeuchte von Raumschale und Artefakten steht im Gleichgewicht mit dem Wasserdampfgehalt der anliegenden Luft und der örtlichen Materialtemperatur (Abb. 1). Heizen und Klimatisieren dienen u.a. dazu, die Materialfeuchte in einem tolerablen Bereich zu halten. Es ist üblich, diesen Bereich auf dem Umweg über die relative Luftfeuchte anzugeben und diese an einem beliebigen Punkt im Raum zu messen. Bei konventioneller Beheizung mit freier Luftumwälzung durch Heizkörperheizung oder Vollklimaanlage entstehen aber zwei Nachteile: Die Oberflächentemperatur einer Außenwand ist uneinheitlich und liegt prinzipiell tiefer als die einer Trennwand. Da die absolute Feuchte im Raum überall gleich ist, muss an den Oberflächen einer kalten Außenwand bzw. eines Artefakts in ihrer Nähe eine höhere relative Luftfeuchte herrschen als anderswo im Raum. Dieses als „Kalte-Wand-Problem" (Ranacher) bekannt gewordene Phänomen führt an solchen Oberflächen zu Schäden durch Feuchteaufnahme, Schimmelbildung und erhöhte Staubhaftung. Nur die objektnahe Klimamessung kann stichhaltig sein und auf die konventionelle Raumbeheizung als die Ursache weisen. Eine Wandtemperierung (Abb. 2) vermeidet diese Nachteile, da ihre Raumheizwirkung durch Beheizung der Innenseite der Gebäudehülle entsteht. Darüber hinaus führt ihr Betrieb zur Bauteiltrocknung und zur Ausschaltung des Schadsalzproblems. Kombiniert man sie mit einer durch Fugenabdichtung und äußere Beschattung optimierten Gebäudehülle und einer kontrollierten mechanischen Lüftung (zwingend für Museen mit höheren Besucherzahlen), so entsteht ein nachhaltiges Klimatisierungskonzept mit physiologischen und konservatorischen Vorteilen gegenüber der konventionellen Vorgehensweise, bei deutlich niedrigeren Investitions-, Unterhalts- und Betriebskosten.

Climate in Museums and Historic Buildings. Correct Heating and Ventilation as demanded by the Conservator

The material humidities of a room's shell and the artifacts within it are in equilibrium with the water vapor content of the surrounding air (Fig. 1) and depend on the material's local temperature. Among other purposes, heating and climate control serve to maintain material humidity within a tolerable range. It is usual to specify this range indirectly by specifying the relative air humidity and to measure this at any point within the room. With conventional heating systems with air circulation (e.g., radiators, full air conditioning systems), however, this approach has two major disadvantages: The surface temperatures of the outer walls are uneven and lower than those of the partition walls. Since the absolute humidity is the same everywhere in the room, the relative air humidity must be higher at the surfaces of cold outer walls and artifacts near them than it is elsewhere in the room. This phenomenon, known as the "Cold Wall Problem" (Ranacher), results in damages to such surfaces due to moisture absorption, mildew, and increased dust adhesion. Thus, in conventionally heated rooms, only climate measurement near objects of interest is valid. Wall tempering (Fig. 2) avoids these disadvantages because it uniformly heats the inside of the building shell and thus the entire room. Additionally, tempering results in the drying out of building walls and elimination of damaging salt problems. If one combines tempering with an optimized building shell (sealing of joints and openings, external shades) and controlled ventilation (necessary for supplying fresh air in museums with a larger numbers of visitors), a sustainable climate control system is achieved with physiological and conservational advantages over conventional methods, and with clearly lower capital, maintenance, and operating costs.

Das „Kalte-Wand-Problem"

Obwohl die Gebäudehülle Probleme des Raumklimas direkt hervorruft, gilt die Behandlung der Raumluft nicht nur in Wohnräumen, sondern auch in Museen und Archiven, selbst in der Denkmalpflege, als einfachster Ausweg. Obwohl ein Gebäude nur über seine Hüllflächen Wärme verliert, gilt es als sinnvoll, an einzelnen Stellen der Räume die Luft aufzuheizen und ihrer zufälligen Zirkulation die Verteilung der Wärme zu überlassen. Darauf basiert die Wirkung traditioneller Heizkörper wie auch die der Luftheizung, z. B. als Komponente von Vollklimaanlagen. Fußbodenheizung und Kirchenbankheizung verursachen die gleiche falsche Luftbewegung. Die Verschmutzung der Innenflächen der Raumschale zeigt den Fehler freier Luftzirkulation. Wegen der ungleichmäßigen Wärmeverteilung (die Oberflächentemperatur einer Außenwand bleibt uneinheitlich und liegt prinzipiell tiefer als die einer Trennwand) kühlen größere Außenwandflächen und Objekte in ihrer Nähe ab und nehmen Feuchte aus der Raumluft auf. Es entsteht das „Kalte-Wand-Problem". An Ausstattungsschichten und Gemälden an kalten Außenwänden droht stärkere Verschmutzung, Leimabbau und Schimmel. Bei zusätzlichem Feuchteeintrag durch Luftbefeuchtung (Museum) oder erhöhte Personenzahl (Kirche) kann an Gemälden und Ausstattungsschichten sogar Kondensat entstehen.

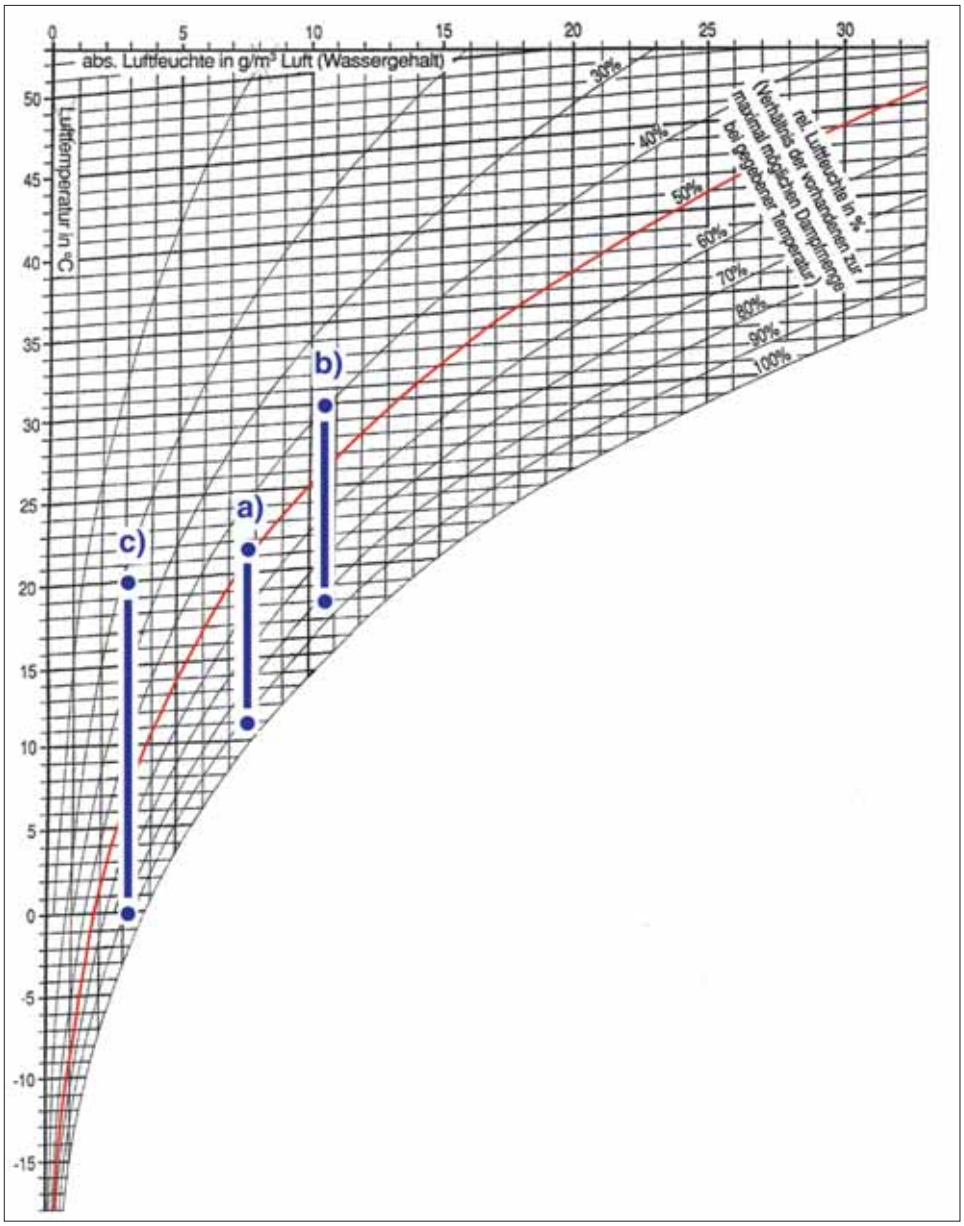
Maria Ranacher (1/L, S. 172) dokumentierte als erste systematisch das bei konventioneller Beheizung auftretende Problem der ungleichförmigen Temperaturverteilung an Gemälden an Außenwänden sowie die Verschmutzung der Bildoberflächen, Wände und Raumecken und prägte den Begriff „Kalte-Wand-Problematik" (Abb. 3). Eines ihrer Beispiele für Temperaturmessungen an Gemälden im Kunsthistorischen Museum Wien (KHM), Tizians „Nymphe und Schäfer", zeigte am 20.02.1990 bei in der Saalmitte gemessenen Klimawerten von 21,5 °C und 48 % rel. Luftfeuchte (abs. Feuchte: 7,8 g/kg, s. Abb. 1, Beispiel a) folgende Werte: Malschichtoberfläche des schräg hängenden Bildes im oberen Bereich 21 °C, unten nur 19,5 °C; Wandoberfläche dahinter unten 14 °C. An sehr kalten Wintertagen sank dort die

Wandtemperatur bis auf 11 °C (Abb. 4). Die hinter dem Bild um bis zu 10,5 °C unter der Raumlufttemperatur liegende Außenwandtemperatur bewirkte ein intensives Kondensationsgeschehen (s. Abb. 1, Beispiel a). Die Wandbespannung hinter Tizians Bild zeigte Wasser- und Rostflecken (Abb. 5). Als Konsequenz ergibt sich, dass Klimawerte sehr nahe am Objekt gemessen werden müssen, nicht „irgendwo“ im Raum. Da die Schadensursache (Heizkörperheizung) bei der Sanierung des KHM beibehalten wurde, statt sie, wie von Ranacher angeregt, durch Wandtemperierung auszuschalten, mussten die Gemälde an den Außenwänden an Haltern mit ca. 15 cm Wandabstand gehängt werden, um den Heizluftkreislauf an der Wandfläche nicht zu behindern. In dieser grotesken Hängesituation befinden sich die Gemälde „außerhalb der Gefahrenzone“. Ein anderes Beispiel aus dem KHM ist die Schimmelbildung im Craquelé von Rugendas „Reiterschlacht“. Der gute Zustand der unteren Bildzone ist ein weiterer Hinweis darauf, dass die Temperatur hinter einem Bild nicht tiefer sein darf als davor. Das untere Keilrahmenprofil schirmt den unteren Leinwandrand von der tiefen Wandoberflächentemperatur ab (Abb. 6), so dass dort keine Feuchte abgeschieden wird. Volker Schaible (6, S. 237) veröffentlichte das Beispiel eines Gemäldes an einer Außenwand eines Museums mit Klimaanlage, das Kondensat im Craquelé zeigt, obwohl die in Raummitte gemessenen Klimawerte 18 °C und 58 % rF betrugen (Abb. 7). Es bestätigt ebenfalls den Mangel freier Luftkonvektion: Selbst bei „Vollklimatisierung“ kann die Temperaturgleichheit vor und hinter

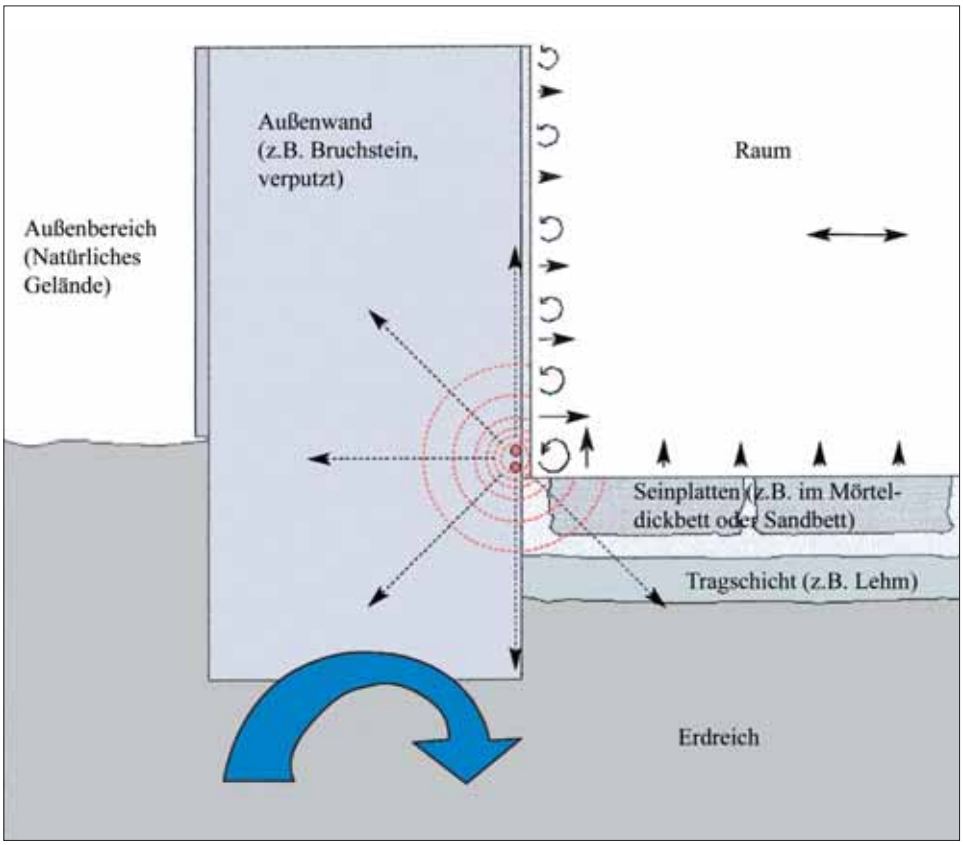
Beispiel a (Ranacher):
Bei Klimawerten von 21,5 °C und 48 % (7,8 g/kg) liegen bei 11 °C 92 % vor, bei 10 °C fällt Wasser aus.

Beispiel b:
Bei 10,5 g/kg (Hochsommerwerte von 30 °C und 40 %) herrschen bei 18 °C bereits 82 %.

Beispiel c:
Bei Winterwerten von 0 °C und 80 % (3,2 g/kg) führt die Aufheizung auf 18 °C ohne Befeuchtung zu 23 %. Zeichnung Erich Hackl, München



1
Mollier-h, x-Diagramm. Abhängigkeit des örtlichen Wertes der relativen Raumluftfeuchte vom Wassergehalt der Außenluft sowie von der Raumlufttemperatur bzw. von der Bauteil-Oberflächentemperatur



Rote Punkte: Heizrohrschleife (Vor- und Rücklauf, CU blank, 15 mm) im Innenputz bei max. 15 mm Überdeckung. Bei erdberührten Böden: 1. Leitung (Vorlauf) knapp über dem Fertigfußboden

Lange Pfeile: Wärmeverteilung durch Wärmeleitung: radial im Material der Wandbodenecke

Rote Kreise: Wärmestau mit zylindrischen Isothermen

Rundpfeile: Wärmeverteilung durch Konvektion: Warmluft-Auftrieb, an der Wandoberfläche anliegend (Coanda-Effekt)

Kleine Pfeile: Wärmeabstrahlung der Bauteiloberfläche

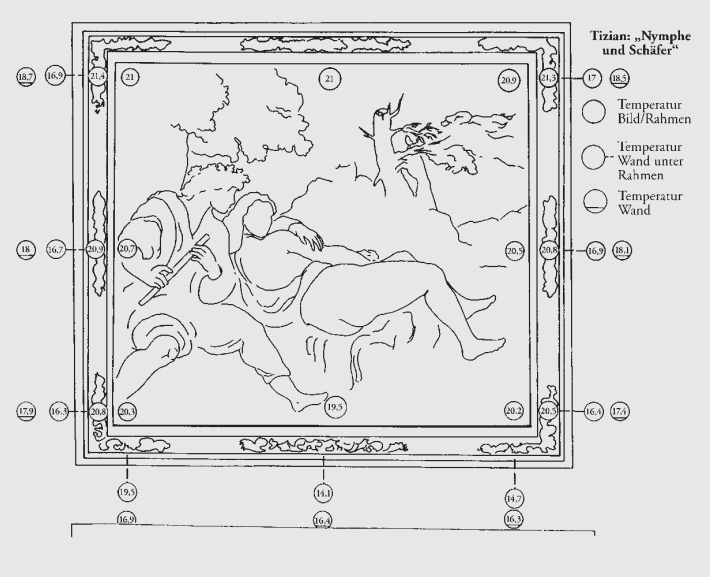
Doppelpfeil: Strahlungsaustausch zwischen Außenwand, Trennwänden und Mobiliar (Reflexion)

Blauer Pfeil: Bodenfeuchte. Thermische Horizontalsperre durch die radiale Wärmeausbreitung

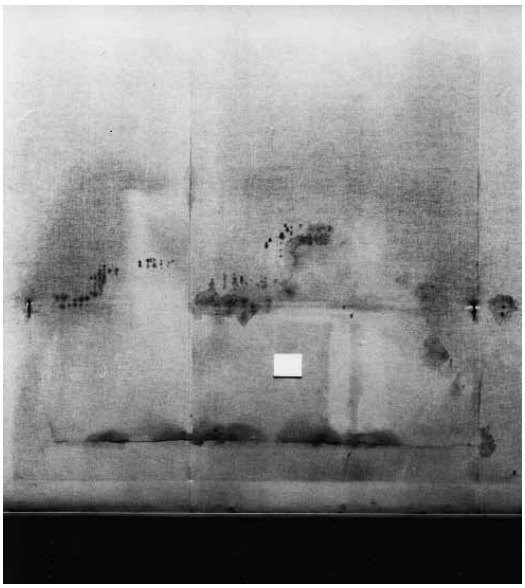
2
Die Temperierung nach Großeschmidt. Wirkungsmechanismus in „historischer" Situation: Bauteile ohne Wärmedämmung und Feuchtesperre, durch kontinuierliches Wärmeangebot trocken gehalten.

3
Links: Einblick in Saal I der Gemäldegalerie des Kunsthistorischen Museums Wien (KHM), Zustand vor Sanierung 1990: Die Staubablagerungen an Wänden und Bildern zeigen den Verlauf Staub führender Luftströme und den Staubhorizont im oberen Drittel.

Rechts: Detail aus Saal III der Gemäldegalerie des KHM, vor Sanierung im Zustand 1990. Auf der Wandbespannung zeichnen sich Luftstromverlauf und Staubanlagerungen an der kalten Wand im Bereich des hier hängenden Rundbilds von Veronese ab.



4
Tizians „Nymphe und Schäfer", Außenwand von Saal II (KHM), Diagramm mit Oberflächentemperaturen an Wand und Bild, 5. März 1990, 9:00 Uhr. Zeichnung Maria Ranacher



5
Wandbespannung hinter Tizians „Nymphe und Schäfer", Abdruck des Zierrahmens in der unteren Hälfte, Abdruck des Keilrahmens und dunkle Wasserflecken aus mehreren Jahren zeugen von intensiver Kondensation, Zustand 1990.

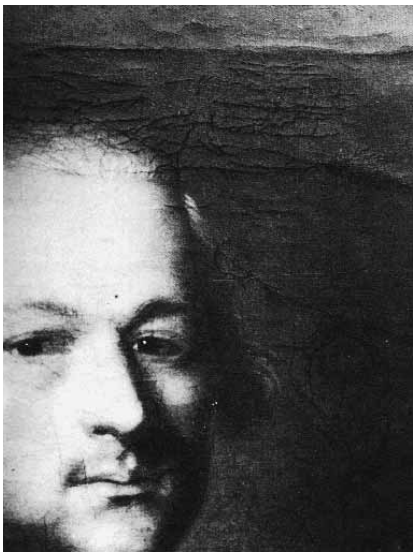
einem in normaler Hängung an einer Außenwand präsentierten Objekt nicht erreicht werden, da die Luftzirkulation und damit die Heizwirkung hinter dem Bild behindert bzw. ausgeschlossen ist.

Konservatorisch sinnvolles Heizen: Die Temperierung (1/A)

Die Raumbeheizung geschah über die längste Zeit der Menschheitsgeschichte mit Strahlungswärmequellen (offenes Feuer/Kamin, Hypokaustenheizung, Kachelofen), ohne Einsatz der Raumluft zur Wärmeverteilung. Erst seit den 1930er Jahren wurde es üblich, durch Aufheizung der Raumluft zu heizen. Eine perfekte Strahlungsheizung war die römische Hypokausten-Wandheizung, bei der die Verbrennungsgase des außen unter Bodenniveau liegenden Holzofens direkt zur Beheizung der Räume genutzt wurden. Die Wärmeverteilung erfolgte dadurch, dass die Rauchgase über einen Verbindungskanal (Fuchs) aus dem Ofen in den Hohlboden strömten, in der an den Außenwandinnenseiten montierten Hohlziegelschicht (auf der die Zierschicht des Raumes angebracht war) aufstiegen, sich in Querkanälen auf der Mauerkrone sammelten und schließlich über Tonrohre durch die Dachkonstruktion hindurch nach außen geleitetet wurden. Die Räume wurden also beheizt durch umweglose, ständige Deckung des Wärmeverlustes der Außenwände, so dass diese nicht abkühlten und ausreichend Wärme in den Raum abstrahlten, ohne dass dabei Zug und Staubverteilung entstehen konnten. Dabei wurden die Wände trocken gehalten und waren auch in den Thermalbädern, bei einer Wassertemperatur von ca. 45 °C – selbst in Germanien bei - 20 °C – vor Kondensat geschützt („Wärmedämmung").

Die Temperierung, die von der Landestelle für die Nichtstaatlichen Museen in Bayern in den 1980er Jahren entwickelt wurde, erzielt mit wesentlich einfacheren Mitteln eine ähnliche Wirkung, und zwar über die Erwärmung eines Putzstreifens vor zwei am Wandsockel eingeputzten Heizrohren (Abb. 2). Es entsteht ein schwacher Warmluftauftrieb, der an der Wand anliegt („Coanda-Effekt": Ein in Bauteilnähe austretender Luftstrom legt sich an die Fläche an (11, S. 1063). Dieser Warmluftschleier erwärmt ohne Beteiligung der Raumluftmasse die gesamte Wandoberfläche gleichmäßig von unten her. Die Luft hat dabei aber eine zu geringe Strömungsgeschwindigkeit, um Staub aus der Umgebung mitzureißen. Die Heizwirkung wird ergänzt durch den ständigen Strahlungsaustausch der „Festkörper" untereinander (Wände und Mobiliar), durch fortwährende Emission und Reflexion von Wärmestrahlung. Diese Verhältnisse herrschen im unbeheizten Raum im Sommer! In alten Bauernhäusern – Gebäude mit massivem Mauerwerk und kleineren Fenstern (und deshalb geringer direkter Sonneneinstrahlung in den Raum) – ist dies gut zu studieren: Die Außenwände nehmen am Tag durch diffuse und direkte Sonneneinstrahlung Wärme auf, speichern sie und geben einen Teil davon über 24 Stunden ab als Infrarot-Strahlung in den Raum, an die Trennwände und das Mobiliar (im Museum: an die Exponate). Die Wärmemengen, die bei derartig großflächigen „Strahlungsheizkörpern" abgegeben werden müssen, damit „der Raum" nicht abkühlen kann, sind so gering, dass weder davor montierte Vertäfelungen noch daran hängende Bilder Schaden leiden. Vielmehr strahlen diese ihrerseits die von

6
G. Ph. Rugendas „Reiterschlacht“, bis 1989 in der Sekundärgalerie des KHM. Das Bild zeigt Schüsselbildung und Schimmelbefall in der unteren Hälfte.
Detail rechts unten mit typischen Kalte-Wand-Schäden, extremer Schimmelbefall und Schüsselbildung der Malschichten nur an den wandexponierten Stellen; der vom Keilrahmen geschützte untere Rand ist unversehrt.



7
Situation in einem vollklimatisierten Museum (18 °C, 58 % rF) im Januar: Kondenswasserbildung im Alterscraquelée eines an einer Außenwand hängenden Leinwandgemäldes

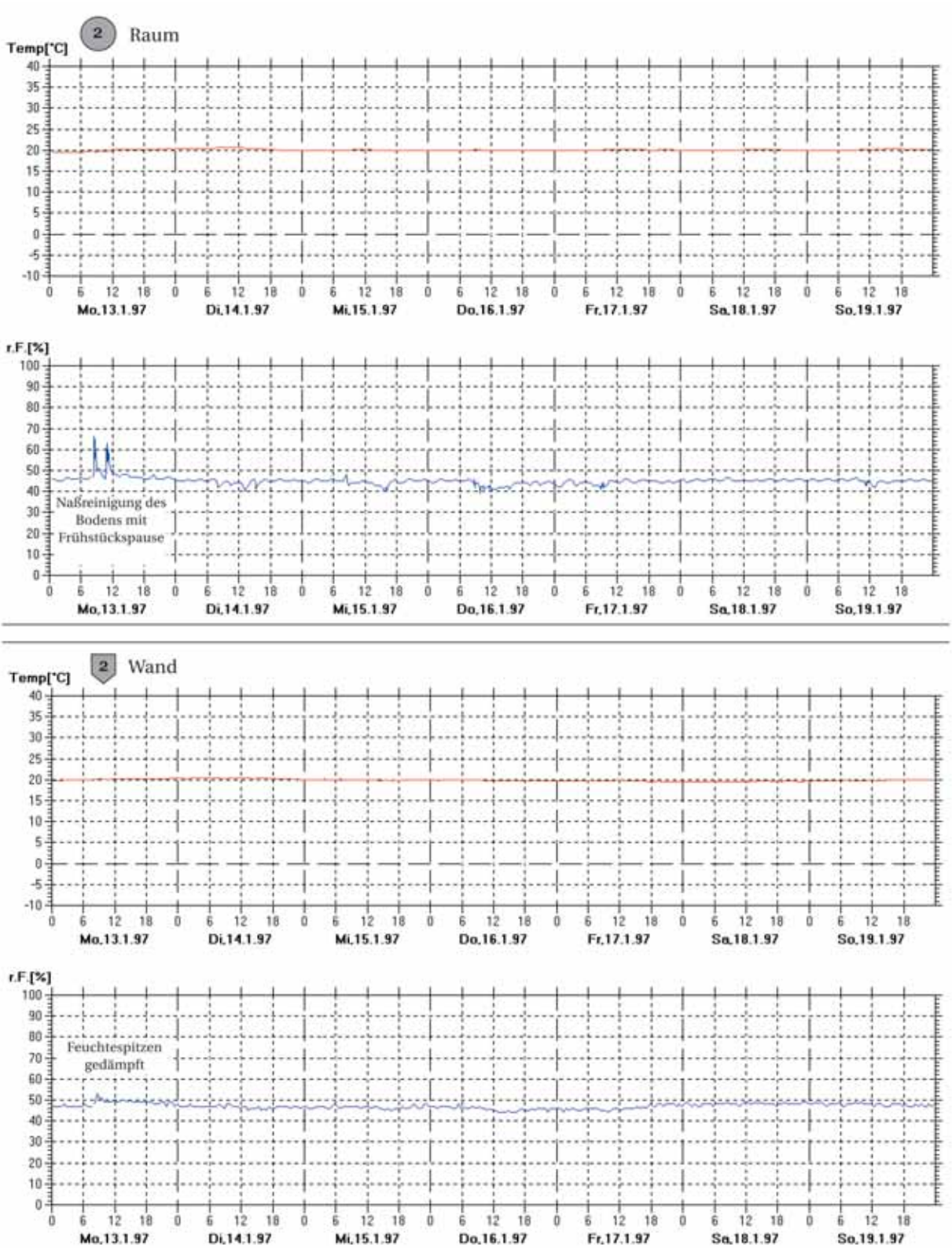
der Wand aufgenommene Wärme ab. In Räumen mit einer Temperierung als Heizanlage hält die gleiche physikalisch ideale Wärmeverteilung im Winter konservatorisch optimale Verhältnisse mit homogener Raumtemperatur und relativer Luftfeuchte aufrecht, gerade zu der Zeit, wo die üblichen Heizmethoden Probleme hervorrufen und auch die Vollklimatisierung trotz großem Aufwand ihre Aufgabe nicht überall erfüllen kann (Abb. 7).

Fachleute ohne Erfahrung mit dem Temperierverfahren bzw. ohne Vorstellung von dieser alternativen Art der Wärmeverteilung raten in Gebäuden mit historischer Raumschale und Ausstattung (Schlösser, Kirchen etc.) meist von jeder Beheizung ab, da sie annehmen, dass sich die beiden konservatorischen Mängel „des Heizens“, zu geringe relative Luftfeuchte und Staubverteilung durch Luftumwälzung, nicht vermeiden lassen. Dabei wird nicht realisiert, dass diese Nachteile nur von den „anerkannten“ Heizverfahren hervorgerufen werden, die die Raumluft zu freier Konvektion aufheizen, nicht aber von der der Wand gegenüber stehenden Strahlungsheizung (Kachelofen), deren Strahlung das Gas (die Raumluft) ohne Heizeffekt passiert, wie auch nicht von Sockelleistenheizung (bei Wassertemperaturen bis 45 °C) und Temperierung, da hier der Warmluftauftrieb an der Wand anliegt und daher ebenfalls keinen Einfluss auf die Raumluft nimmt. Betrachtet man ferner das Mollier-h, x-Diagramm (Abb. 1), das den Zusammenhang von relativer Luftfeuchte, Temperatur und absoluter Luftfeuchte darstellt, so erkennt man, dass die relative Luftfeuchte keine unabhängige Größe ist, sondern aus den beiden anderen Größen resultiert. Die üblichen Verfahren zur Luftentfeuchtung wirken durch Entfernen von Wasserdampf aus der Raumluft, direkt durch Entfeuchter, Klimaanlage oder „Klimalüftung“ (elektronisch kontrollierter Luftwechsel: Lüftung nur, wenn die äußere absolute Feuchte geringer als die innere ist) oder indirekt durch Erhöhung des Luftwechsels als Folge der Luftbeheizung (Heizkörperheizung, Luftheizung). Die Wirkung erreicht nur frei im Raum stehendes Inventar, führt zur Verstärkung des Schadensmechanismus von aufsteigender bzw. seitlich eindringender Feuchte und belässt den Nachteil, dass die Außenwand ungleichmäßig warm und kälter als die Raumluft ist. Die Anhebung der Wand-Oberflächentemperatur und (auf dem Wege des Strahlungsaustauschs) der Materialtemperatur der Raumausstattung durch die Temperiermethode ist daher der vom Installationsaufwand einfachste und für Gebäude und Inventar gleichermaßen vorteilhafte Weg zur Luftentfeuchtung. Dabei kommt zugleich das Feuchte- und Schadsalzproblem der erdberührten Außenbauteile zum Stillstand

8
Kunstforum Ostdeutsche Galerie Regensburg (KOG):
Links: Galeriegebäude von Südwesten.
Rechts: Kunsthalle von Südwesten, daneben der Graphiktrakt, seitlich rechts das Schützenhaus

9
Messkampagne 1996/97 im KOG. Luftfühler für Temperatur und relative Feuchte, hinter einem Bild an einer Außenwand und unter einer Sitzbank in Raummitte montiert

und es ergibt sich eine physiologisch günstige (besucherfreundlichen) Raumtemperierung.
Für das Beheizen (Temperieren) zur Senkung der relativen Luftfeuchte spricht auch die Feuchteproblematik von Kellern. Deren Wände und damit auch die im Raum befindlichen Gegenstände werden im Sommer wegen des Fehlens der solaren Zustrahlung ohne künstliche Wärmezufuhr nicht wärmer, was aber wegen des saisonalen Anstiegs der Absolutfeuchte erforderlich wäre und in den Obergeschossen und im größten Teil des Erdgeschosses auch geschieht. Beispiel: Bei einem Außenklima mit 30 °C und 40 % rF (10,5 g/m^3 Absolutfeuchte) liegen in einem Raum mit 19,5 °C bereits 75 % oder bei 18 °C 82 % rF vor (Abb. 1, Beispiel b). Entsprechend hoch ist die Materialfeuchte.
Damit verwandt ist die Problematik von Ausgrabungen, die nur behaust, aber nicht temperiert sind. Häufig ist auch hier die Abstoßung von Oberflächenmaterial zu beobachten, so dass der allmähliche Verlust der freigelegten originalen Oberflächen zu beklagen ist. Nach langer Zeit der Aufnahme von Feuchte und Salz aus dem anliegenden Erdreich sind die Bauteile nach der Freilegung nun der Raumluft mit ihrer schwankenden relativen Luftfeuchte ausgesetzt. Die bereits vorhandenen Schadsalze kristallisieren bei sinkender relativer Luftfeuchte aus und werden bei Feuchteanstieg wieder gelöst. Dieser Wechsel führt zu Materialabstoßung. Die an den Schollen haftenden Salze werden ständig ergänzt durch die aufsteigende Feuchte, die ebenfalls erst durch die Freilegung wirksam wird. Die Verlegung weniger einzelner Heizrohre in Fugen von Wandbodenecken, am Übergang zu Fehlstellen mit neuzeitlichem Material, unter Besucherstegen etc. führt auch hier über die Anhebung der Materialtemperatur zur Unterbindung der Schadensmechanismen.
Ein weiteres Beispiel sind die Exponatgebäude in Freilichtmuseen (vgl. auch 1/N). Nach der Translozierung eines Gebäudes bzw. nach dem Ende der mit der Nutzung verbundenen Beheizung, treten mehr Frost- und Feuchteschäden an der Hülle und im Inneren auf als im bewohnten Zustand. Generell nimmt die Gebäudehülle eines unbeheizten Gebäudes (wegen des Fehlens des Wärmegefälles in den Außenbauteilen) von außen mehr Feuchte bei Regen auf als die eines beheizten und aus dem gleichen Grund verweilt die Feuchte auch länger. Im Winter steigt bei jedem plötzlichen Temperaturanstieg nach einer Frostphase die äußere absolute Luftfeuchte rasch und stark an. Dank des natürlichen Luftaustauschs steigt nun auch die innere, so dass im ganzen Haus an den herunter gekühlten Materialien der Taupunkt vorliegt und sie feucht werden. Wie oben ausgeführt, nehmen während des Sommers mit seiner hohen Absolutfeuchte alle Oberflächen, die nicht wärmer als 19 °C werden (z. B. Wände im Keller oder in der Erdgeschoss-Nordhälfte und die in deren Nähe befindlichen Gegenstände), Feuchte aus der Raumluft auf.
Alle Beispiele zeigen, dass es sinnvoller ist, „zu kalte“ Bauteile im Sommer zu temperieren und so die Ursache für die



10
KOG. Temperatur- und Feuchtekurven Raum 2. Die Temperaturgleichheit hinter dem Gemälde und im Raum ist evident. Der Fühler der Raumkurve ist nur ca. 35 cm über dem Boden an einem Sockel montiert und gibt den starken Feuchteanstieg in Folge der wöchentlichen Nassreinigung des Bodens wieder. Die 2. Spitze zeigt die Wiederaufnahme der Nassreinigung nach der Frühstückspause.

überhöhte Materialfeuchte dieser Problemflächen und der Raumausstattung direkt zu behandeln, statt sie auf dem Umweg über die Behandlung der Raumluft kompensieren zu wollen, um so „das Rauklima zu verbessern". Darüber hinaus gelingt nicht nur die „Trockenlegung" (Ausschaltung aufsteigender Feuchte) von nicht unterkellerten Wandsockeln durch die „thermische Horizontalsperre" (an Stelle der „kalten" Verfahren zur Horizontalsperrung wie Mauersäge, Einschlagen von Stahlblechen oder Bohrlochtränkung), sondern auch die Sanierung erdberührter Mauern (ohne aufwendige Außenisolierung) durch das von der inneren Oberfläche ausgehende ganzflächige Wärmegefälle. Ein weiterer Effekt ist, dass auch die Oberflächen der erdberührten Böden – ohne Feuchtesperre und Wärmedämmung – trocken werden und die Raumtemperatur annehmen, da die Randbeheizung die vollflächige Aufnahme von Erdwärme erlaubt und die durch die Temperierung verstärkte Wärmestrahlung der übrigen Raumhüllflächen auf den Boden einwirkt.
Schließlich zeigt sich ein weiterer Fehler der Behandlung der Luft im freien Raum bei physiologischer Betrachtung. Die Luft, die den Menschen umgibt, muss er ständig als „Lebensmittel" neu aufnehmen. Die innere Kontaktfläche, die Lungenoberfläche, ist mit ca. 100 m² rund 40-mal größer als die Oberfläche des Körpers. Während letztere „nur" den Zugerscheinungen ausgesetzt ist, wirkt sich jegliche Verschlechterung der Luftqualität durch Überwärmung, Verstaubung und Verkeimung der Luft über Atmung und Blutkreislauf direkt auf den Organismus aus. So ist auch die Kühlung der Raumluft – anstelle von z. B. Maßnahmen zur äußeren Beschattung von Fenstern – physiologisch nachteilig: Sie beeinträchtigt die Schutzwirkung der Schleimhaut.

Das Beispiel des temperierten Kunstforums Ostdeutsche Galerie Regensburg (KOG) (1/P). Ein Alternative zum konventionellen Konzept der Vollklima-Anlage

Das Kunstforum (KOG) wurde in den Jahren 1989 bis 1998 saniert. Planungsgrundlage war das Klima-Konzept der Landesstelle für die Nichtstaatlichen Museen in Bayern, das sie aus der seit 1983 angewachsenen Erfahrung mit der Temperierung für Museen mit höheren Besucherzahlen entwickelt hatte. Es ist durch die Trias: Optimierte Gebäudehülle – Wandtemperierung – minimierte mechanische Lüftung charakterisiert.
Im 1. Bauabschnitt wurde zunächst die Gebäudehülle des KOG optimiert durch Abdichtung der Öffnungen und Baufugen, Wärmeschutzverglasung der Fenster, Dämmung des Altbaudaches und Vermauern der Oberlichtbänder des Neubaus. Dessen Flachdach wurde mit einer Dachkonstruktion überbaut, u. a. zur Reduzierung des Lichteinfalls und zum Ausschluss direkter Sonneneinstrahlung durch die Lichtkuppeln (Abb. 8). Ein wichtiger Bestandteil des Konzeptes, die äußere Beschattung der Glasflächen beider Gebäude, konnte erst Jahre später und nur eingeschränkt durchgesetzt werden, als im Sommer vor allem im Obergeschoss weiterhin hohe Raumtemperaturen auftraten. Der gute Wärmedurchgangskoeffizient einer Wärmeschutzverglasung wird zwar dem winterlichen Wärmegefälle vom Raum nach außen gerecht, nicht aber dem wesentlich größeren von außen nach innen bei Sonneneinstrahlung (vergl. 1/M). Als zweites wurde die Luftheizung durch eine Temperieranlage ersetzt, die den Transmissionswärmebedarf des Gebäudes für eine Mindest-Raumtemperatur von 18 °C bei tiefster Außentemperatur deckt. Schließlich wurde eine Lüftungsanlage eingebaut, zunächst mit zwei Leistungsstufen. 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 auf die Aufbereitung dieser geringen Frischluft-Maximalmenge begrenzt. Auf eine Komponente zur Luftentfeuchtung wurde verzichtet, da diese Aufgabe die Temperierung leistet. Wesentlicher Bestandteil des Planungskonzeptes war auch der Verzicht auf eine Kühl-Komponente, da deren Ziel (max. 26 °C Raumtemperatur) auf energetisch neutrale Weise erreicht werden sollte: Durch Erhöhung der Dämpfungsfähigkeit der Gebäudehülle (s. o.), die Beschränkung der Anschlussleistung der Kunstlichtanlage auf 12 W/m² und die „Nachtkühlung" im Sommer mit einfachem Luftwechsel.
Was mit der Temperierung als alleiniger Winterheizung zu leisten ist – bei einer Lüftung, die mit ihrer geringen Luftmenge nur die eigenen Lüftungswärmeverluste deckt und zur Raumbeheizung sonst nichts beitragen muss – verdeutlichen eindrücklich die Klimamessungen im sanierten KOG (Abb. 9, 10): Die Raumtemperatur entspricht dem Standard von Museen mit Vollklimaanlage. Die Temperaturgleichheit hinter dem Gemälde und im Raum ist evident. Die Wochenkurve der relativen Luftfeuchte weist am Montag zwei Spitzen auf. Sie wurden durch die von der Frühstückspause des Reinigungspersonals unterbrochenen Nassreinigung des Bodens verursacht (seit dieser Zeit findet nur noch Feuchtreinigung statt). Hinter dem Gemälde sind die Feuchtespitzen gedämpft. Ansonsten ist der Feuchteverlauf auffallend gleichmäßig. Ein Thermo-Hygrograph schreibt unter solchen Bedingungen (Strahlungsheizung, kontrollierter geringer Luftwechsel) flache Kurven. Die Kurven sind typisch für alle Ausstellungsräume, gleichgültig ob sie in der Kunsthalle oder im Galeriegebäude, ob sie im Süden, Norden, Osten oder im Westen liegen. Die Temperierung zeigt die gewünschten Effekte: Das Kalte-Wand-Problem ist gelöst, das Raumklima erweist sich als homogen und stabil, es gibt nur minimale Kurzzeitschwankungen und keine Temperaturschichtung im Raum, selbst im 16 m hohen Foyer (Abb. 11), das auf seinen beiden Ebenen temperiert ist. Die Änderungen im Tagesverlauf und von Tag zu Tag liegen in konservatorisch günstigen, engen Grenzen. Die Änderungsgeschwindigkeit ist reduziert, so dass sich die Anpassung des Feuchtegehalts der Objekte ebenso langsam und daher konservatorisch unbedenklich vollzieht. Solche Verhältnisse erlauben den Verzicht auf die kostenträchtige Einhaltung der „klassischen" Klimawerte (18–20 °C und 50–55 % rF übers ganze Jahr). Das KOG genießt die finanziell wie konservatorisch relevanten Vorteile der „Sollwertfeld-Regelung", d. h. von im Jahresverlauf gleitenden Raumklimawerten (Temperatur 18–26 °C, rF 45–60 %): geringes konservatorisches Gefährdungspotential, geringe Jahresenergie- und Wartungskosten. Seit der Sanierung könnte im Winter auch eine rel. Luftfeuchte um 55 % ohne Probleme aufrechterhalten werden, was aber

11
Messung der Temperaturverteilung in der ca. 16 m hohen kuppelüberwölbten Eingangshalle des Kunstforums Ostdeutsche Galerie. Abweichung 1,5 °C

aus konservatorischen Gründen nicht nötig erscheint (2, S. 3; 1/D, S. 92 ff).

Wie oben bereits erwähnt, konnte 1997 der außen liegende Sonnenschutz, der sich in Zeiten mit stärkster Sonneneinstrahlung als unverzichtbar erwiesen hatte, mit gewissen Einschränkungen nachgerüstet werden. Seitdem werden nur noch während weniger Wochen im Jahr Raumtemperaturen von 24 °C überschritten und max. 27,4 °C erreicht. Dies galt während der meisten Jahre seit Nachrüstung des Sonnenschutzes. Bei normaler Besucherfrequenz ist es im KOG gültige Regel, dass im Sommer nur nachts mit voller Außenluftrate gelüftet wird und die Lüftungsanlage tagsüber steht.

Die anfänglich eingebaute 2. 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 konnte im Januar 1998 während der Janosch-Sonderausstellung zwischen 10 und 16 Uhr bei ca. 0,6-fachem Luftwechsel pro Stunde auch an einem Spitzentag mit 2.000 Besuchern die Untergrenze der relativen Luftfeuchte ohne Probleme eingehalten werden.

Bei Eröffnungen im zentralen Raum der Sonderausstellung, die meist um 11 Uhr vormittags stattfinden, entsteht bei sehr hoher Besucherkonzentration zeitweise ein Frischluftproblem. Auch das wurde 1997 durch Umrüstung der Lüftungsanlage gelöst. Bei Eröffnungen kann nämlich der zentrale, große Sonderausstellungsraum bei Bedarf fast die gesamte Luftmenge der Lüftungsanlage erhalten, die normalerweise in alle Ausstellungsräume gleichmäßig verteilt wird. Da sich in den übrigen Räumen dann kaum Besucher aufhalten, können diese Räume vorübergehend abgeschaltet werden. So kann im Zentralraum temporär ein ca. 1,3-facher Luftwechsel erreicht werden.

Zum Sommerproblem eine letzte Anmerkung: Wie sich leider in den letzten zunehmend wärmeren Sommern 2005 und 2006 mit langen ungewöhnlich heißen Phasen gezeigt hat, wäre es vorteilhaft, wenn der Frischluftzustrom im Hochsommer dauerhaft auf mindestens 24 °C heruntergekühlt werden könnte, denn die Spitze der Raumtemperaturen stieg während dieser Phasen weiter an. Ein Kühlteil wäre auch dann notwendig, wenn bei hoher Außentemperatur über den ganzen Tag sehr hohe Besucherzahlen vorlägen, so dass über mehrere Stunden Außenluftzufuhr erforderlich würde. Allein die Motorabwärme der zentralen Lüftungseinheit erhöht nämlich die Lufttemperatur der beförderten Luft bereits um mindestens 2–3 Grad. Im Dachbereich ungünstig geführte Lüftungskanäle (Planungsschwäche) tragen zusätzlich zur Erhöhung der Raumtemperaturen bei. Dank der geringen maximalen Luftmenge der Anlage wäre die Begrenzung der Zulufttemperatur aber durch Ansaugung der Frischluft über einen Erdkanal zu leisten (vergl. 1/B, S. 69 ff) oder mit einem gering dimensionierten Kühlaggregat.

Ein bisher kaum diskutiertes Thema: Die Luftwechselrate

Ein wesentliches Kriterium zur Bewertung von Klimasituationen in Gebäuden berücksichtigte die allgemeine Diskussion und die Fachliteratur bisher kaum: die Luftwechselrate, d. h. wie häufig in der Stunde das Raumluftvolumen gegen Außenluft ausgetauscht wird. Innerhalb des EU 1383 PREVENT Projektes dagegen war dies der zweite Schwerpunkt (vgl. 2/3/4/5; Einteilung von Gebäuden nach „Holmberggraden in 3, Teil C, S. 3.4 oder 1/C, S. 84). Nur ein abgeschlossener Luftraum kann klimastabilisiert werden. Die meisten historischen Gebäude haben selbst nach Abdichtung von Fenstern, Türen und Baufugen noch einen natürlichen Luftwechsel von min. 0,3 Raumvolumen pro Stunde, meistens jedoch einen höheren. Bessere Werte von 0,2 oder 0,1 sind nur bei modernen Gebäuden mit hohem Aufwand zu erreichen. Fensterlose, von Erdreich umgebene Kellerräume bieten entsprechend günstigere Bedingungen. Geben Baumaterialien und Objekte keine Schadstoffe ab, muss in Museumsräumen nur bei Personenbelegung, nicht aber aus klimatischen Gründen, Frischluft zugeführt werden. Wegen der plötzlichen Klimastörung bei Fensterlüftung sollte dies kontrolliert geschehen (durch Abluftventilatoren oder eine Lüftungsanlage). Eine möglichst dichte Gebäudehülle ist Voraussetzung für einen kontrollierten Luftwechsel. Es gibt daher keine zu dichten, sondern nur schlecht gelüftete Gebäude. In der kontrollierten Lüftung liegt der Schlüssel zur Dämpfung der Einwirkung von Lüftungsereignissen (Klimaschwankungen), wie auch der Belastung der Raumluft mit Luftschadstoffen von außen. Messungen in Schloss Schönbrunn (4) bewiesen, dass nicht der Massentourismus, sondern die Schwankungen des Außenklimas die starken Raumklimaschwankungen hervorriefen. Ursache war, dass Fenster, Außen- und Treppenhaustüren nicht abgedichtet waren, so dass bei Wind überraschend hohe Raten des natürlichen Luftwechsels von 15 bis 17 Raumvolumen pro Stunde auftraten. Zu diesen Zeiten folgte das Raumklima mit geringer Verzögerung

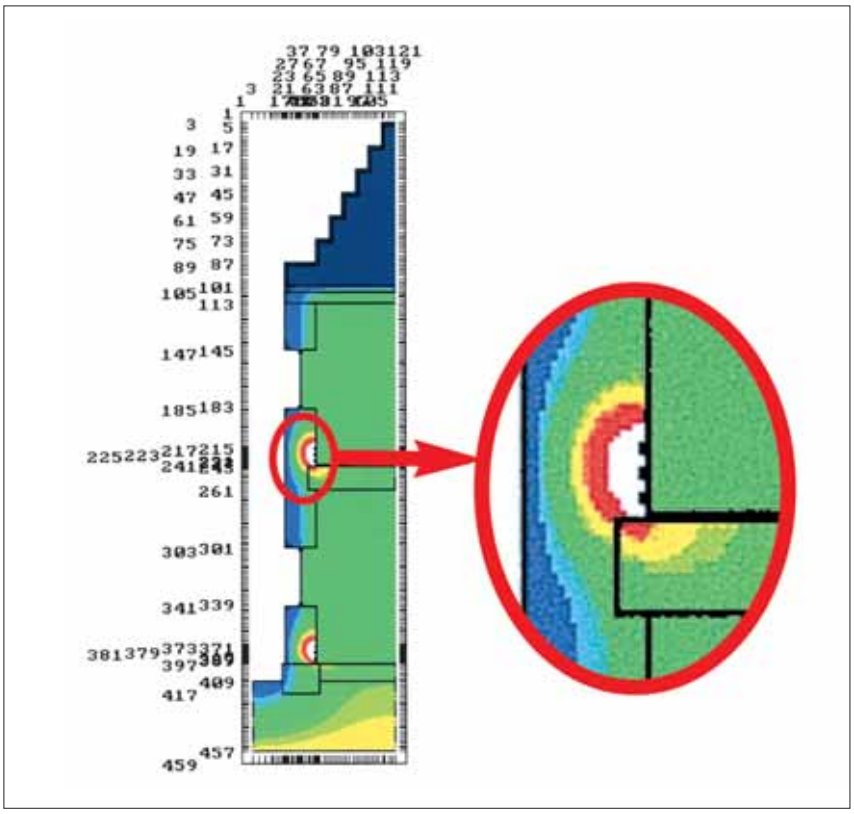
dem Außenklima. Bei 8.000 Besuchern an Spitzentagen ergibt sich innerhalb der Besuchszeit eine theoretische Belegungsrate von ca. 40 Personen pro Raum. Es wurde ein Lüftungskonzept erarbeitet, das den hohen natürlichen Luftwechsel durch einen bedarfsbezogenen kontrollierten ersetzt. Zunächst wurden durch dichte Überdachung von Innenhöfen Service- und Aufenthaltsräume für ankommende Besuchermassen oder Gruppen geschaffen, von denen aus die Besucher in kleinen Gruppen auf verschiedenen Touren durch unterschiedliche Raumfolgen geführt werden. Ferner wurden die Fenster- und Außentüren abgedichtet. Der Frischlufteintritt wurde in die Treppenhäuser unter die EG-Treppen verlegt, angeschlossen an zwei lange, im Erdreich verlegte Kanäle (Erdwärmetauscher). Über historische Lüftungskamine mit je einer Öffnung zu ausgewählten Räumen in den Geschossen, die am oberen Ende mit drehzahlgesteuerten Abluftventilatoren versehen wurden, wird die Luft kontrolliert durchs Haus bewegt. Die in den Treppenhäusern austretende Frischluft wird durch die Erdwärmetauscher ökologisch sinnvoll vorbehandelt. Ein stärkerer Luftwechsel wird nur noch bei hohem Besucheraufkommen hergestellt, und zwar durch intensiveren Betrieb der Abluftventilatoren, jedoch nur, wenn der Absolutfeuchtevergleich keine schädlichen Schwankungen erwarten lässt. Die Umsetzung dieses Konzepts war abgeschlossen, als man sich an die hygienisch und konservatorisch sinnvolle Mindestluftwechselrate herangetastet hatte.

Keine Überdimensionierung raumlufttechnischer Anlagen (vgl. 1/B)

Vollklimaanlagen, die alle Funktionen durch Behandlung der Raumluft leisten, müssen große Luftmengen bewegen. Sie benötigen aus physikalischen Gründen einen Luftdurchsatz, der dem vier- bis zu achtfachen des zu behandelnden Volumens pro Stunde und mehr entspricht. Zugerscheinungen und Staubaufwirbelung im Raum sind kaum vermeidbar. Meist werden sie in Hinblick auf die nur an wenigen Tagen des Jahres auftretenden maximalen Kühl- oder Heizlasten dimensioniert.
Entsprechend kostspielig sind Errichtung, Unterhalt und Betrieb, entsprechend groß ist die Klimastörung bei Fehlsteuerung. Eine Überdimensionierung raumlufttechnischer Anlagen ist gerade im Museumsbereich nachteilig. Bei ungünstigen Bedingungen neigen überdimensionierte Anlagen zu kurzfristigen, starken Leistungswechseln, bedingt durch regeltechnisches Takten. Kleindimensionierte Anlagen haben diesen Nachteil nicht. Sie können nur konservatorisch unbedenkliche, langsame Änderungen im Raumklima verursachen. In Depots sind höhere Luftwechselraten generell abzulehnen. Für den dort geringfügigen Personenverkehr wäre ein max. 0,1-facher Luftwechsel pro Stunde bei Anwesenheit von Personen ausreichend. Dieser Wert könnte z. B. in einem fensterlosen Depot als Vorgabe für einen Abluftventilator (mit automatischer Jalousieklappe) gelten, der bei geringer Luftnachströmung über Türfugen kein Zuluftgerät benötigt. Falls erforderlich, wäre im Dauerbetrieb damit eine mechanische Grundlüftung zur Abführung von Schadstoffen garantiert.

Akzeptanz des Temperierverfahrens: Diskrepanz von Messung und konventioneller Berechnung/ Simulation der Temperierung

Im Rahmen des Eurocare EU 1383 PREVENT Projektes wurde in einem mit 2 Heizrohren (Ø 18 mm) im Putz der Außenwandsockel temperierten Pavillons von Schloss Salsta (Schweden) versucht, die gemessenen Raumtemperaturen (1/D) durch eine Computersimulation nachzuvollziehen (1/E). Die mit einem gängigen Programm berechneten Raumtemperaturen lagen in der zweidimensionalen Simulation des Wärmedurchgangs durch eine Außenwand deutlich unter den gemessenen. Erst die virtuelle Erhöhung der Leistung, nämlich die Annahme eines dritten Heizrohres (d. h. 50 % mehr Heizleistung), erbrachte annähernd das gemessene Temperaturniveau (Abb. 12). Genauer waren die Ergebnisse der dreidimensionalen Simulation unter Einbeziehung des Strahlungsaustauschs der Wände, auch hier jedoch erst nach Anpassung von Parametern.
Gerade bei großen Museumsprojekten wird auf die konventionelle Berechnung oder Simulation vertraut. Dies führt oft dazu, dass entweder vom Einbau einer Temperieranlage ganz abgesehen wird oder gegenüber den aus der Erfahrung abgeleiteten Angaben der Landesstelle stark überdimensionierte Anlagen eingebaut werden. Das Dilemma liegt darin, dass die üblichen Verfahren zur Wärmebedarfsabschätzung direkt zu einem theoretisch höheren Bedarf an Installation und Energieaufwand führen, da sie nicht berücksichtigen, dass die Beheizung der Außenbauteile den Wärmeverlust verringert: Die Raumlufttemperatur wird nur gering erhöht und die warmen Bauteile werden trocken. Es werden also die durch Wärmeleitung (pro 1 % weniger Wandfeuchte verringert sich der U-Wert um bis zu 10 %) und auf dem Luftwege entstehenden Wärmeverluste deutlich verringert. Nach herrschender Lehre sind diese Effekte – unabhängig von der Art der Wärmeverteilung (vulgo: vom „Heizsystem“) – nur zu erreichen durch besonders dichte Fenster und eine Wärmedämmung, die die Erscheinung des Bauwerks beeinträchtigt und deren Oberfläche in wenigen Jahren durch Staubhaftung und Algenbewuchs unansehnlich ist. Namhafte Institutionen und Gutachter gründen ihre Ablehnung der Temperiermethode gar auf Untersuchungsergebnisse von Temperieranlagen, deren Bau und Betrieb von den Vorgaben der Urheberbehörde so stark abweichen, dass die Effekte der Temperierung gar nicht eintreten können. Zahlreiche ohne Kontakt mit der Landesstelle begonnene Projekte scheiterten daran, dass niemand wagte, derartigen Aussagen zu widersprechen. Da in der Regel vom Planer die Gewährleistung für starre Raumklimawerte, nicht aber für eine bestimmte konservatorische Qualität des Raumklimas (gleitende Werte, keine Zugerscheinungen, keine Staubumwälzung, minimaler Befeuchtungsbedarf etc.) verlangt wird, greifen die meisten Büros auf „bewährte” Systeme bis hin zur Vollklimaanlage zurück, wie sie in der Berufsausbildung vermittelt werden. Wird ferner als Basis zur Berechnung des Honorars wie üblich die Bausumme, nicht aber ein bau- und betriebskostenminimierender Planungsaufwand herangezogen, fehlt jeglicher Anreiz für die Planung einer Temperieranlage, deren minimaler Aufwand auf der Anerkennung der physikalischen



12
Zweidimensionale Simulation des temperierten Pavillons in Schloss Salsta, Schweden. In dieser Art der Simulation konnte die gemessene Raumtemperatur nur durch Annahme einer dritten Heizleitung (50 % mehr Heizleistung) erreicht werden.

13
Auswahl temperierter Objekte (aus mehreren hundert Beispielen)

Auswahl temperierter Objekte (aus mehreren hundert Beispielen)

Museen
A - Innsbruck, Schloß Ambras, Wunderkammer (Filiale KHM Wien)
A - Linz, Schloßmuseum
A - Wien, Kunsthistorischen Museum (KHM), Depotgebäude in der Traviatagasse
D - Augsburg, Schaezler-Palais
D - Bremen, Kunsthalle
D - Frankfurt, Städel Museum, Altbau
D - Hamburg, Kunsthalle, Gründerbau, Obergeschoß
D - Hamburg, Ernst Barlach Haus
D - Ingolstadt, Alf Lechner Museum
D - München, Bayerisches Nationalmuseum, Krippensammlung, Depots
D - München, Städtische Galerie im Lenbachhaus, Histor. Räume
D - Nürnberg, Verkehrsmuseum Museum
D - Regensburg, Kunstforum Ostdeutsche Galerie
D - Würzburg, Kulturspeicher

Schlösser
A - Wien, Schloß Schönbrunn
D - Achberg, Schloß Achberg
D - Hundshaupten, Schloß Hundshaupten
D - Meseberg, Schloß Meseberg (Gästehaus der Bundesregierung))
D - Passau, Oberhaus
I - Cremona, Palazzo Cattaneo, Ala Ponzone
S - Salsta, Schloß Salsta, Pavillions
SLO - Brezice, Schloß Brezice, Turmsaal, Rittersaal

Exponatgebäude in Freilichtmuseen
D - Alle 7 bayerischen Freilichtmuseen
D - Detmold, Westfälisches Feilichtmuseum
D - Hösseringen bei Uelzen, Museumsdorf
D - Wolfegg bei Ravensburg, Bauernhausmuseum

Archive/Bibliotheken
A - Wien, Musikverein
D - München, TU, Archiv für alte Dokumente
D - Weilheim, Stadtarchiv

Kirchen
A - Klosterneuburg, Stiftskapelle
A - Wien, Karmelitenkirche
D - Berchtesgaden, Martinskapelle
D - Landshut, Heilig Geist Kirche
D - München, St. Emmeram
I - Monza, Chiesa Sacro Cuore
SLO - Teharje, Sv. Martin

Behauste Ausgrabungen
D - Augsburg, Diözesanmuseum
D - Regensburg, Dokument Neupfarrplatz

Hotels/Restaurants/Wohnhäuser
D - Groß Ziethen, Schloßhotel
D - München, Künstlerhaus am Lenbachplatz, Restaurantkeller
D - München, Alter Hof, 'Vinorant', Untergeschoß
Hunderte Wohnhäuser, z. B. Barfüßerstraße 13, D-Halle

Wirkungen fußt. Nur dann aber können die möglichen Kostenvorteile genutzt werden: geringere Installationskosten gegenüber den konventionellen Systemen und Einsparung von Baukosten durch Wegfall von Maßnahmen zum Feuchte- und Wärmeschutz (z. B. 10).

Gerade bei öffentlichen Bauvorhaben sind die meisten konventionell denkenden Planer nicht bereit, die Temperierung zu vertreten, da die Baubehörden in der Regel die Gewährleistung nach den DIN-Normen verlangen, obwohl die der Methode entgegenstehenden Normen durch die seit 1983 angewachsene Erfahrung widerlegt sind (vergl. 1/G-K u. 1/N-P, 7, 8, 9 10 usw., Abb. 13). Entgegen der allgemeinen Anschauung sind im Bauvertragsrecht aber nicht automatisch die Bestimmungen der anerkannten Regelwerke juristisch relevant wie DIN und die „anerkannten Regeln der Technik“, da sie nur den Stand der Technik und die derzeitig im Bauwesen herrschenden Anschauungen wiedergeben, die sich ändern können. Geschuldet ist vielmehr der „Erfolg“ und daher können Regeln vereinbart werden, die aus der Praxis stammen, wenn dadurch der Erfolg gewährleistet ist. Die Erfahrung zeigt, dass eine Beauftragung zur Planung einer Temperierung nur sinnvoll ist, wenn sie ausdrücklich auf der Basis der veröffentlichten Vorgaben der Urheberbehörde geschieht. Dann können auch Großprojekte kostengünstig realisiert werden wie der Würzburger Kulturspeicher (9), von dessen knapp 50.000 m^3 umbautem Raum tagsüber, nach Öffnung der Sammlungsräume in den drei Etagen, ca. 40.000 m^3 zusammenhängen.

Erwähnt werden muss schließlich, dass auch Nutzer von Temperieranlagen sich bisweilen nicht um den bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlage kümmern. So kommt es vor, dass nicht gängige Temperierschleifen unentdeckt bleiben oder dass im Sommer an erdberührten Bauteilen der Feuchteschutz nicht eintritt, weil man die Anlage ganz abschaltet, statt sie in diesen Bereichen im sommerlichen Minimalbetrieb weiter laufen zu lassen. Auch eine Temperieranlage braucht die verständige, engagierte Bedienung, das Mitdenken des Betreibers und die bestimmungsgemäße Anwendung, so wie jede andere technische Anlage auch. Dank der technisch einfachen Konstruktion kann das aber statt dem „studierten“ Ingenieur auch der praxisorientierte Hausmeister oder der Restaurator leisten.

Im Eurocare EU 1383 PREVENT Projekt wurde die Temperierung als Heizmethode auf breiter, internationaler Basis untersucht und bestätigt: Das staatliche Institut für Bauwesen ZRMK in Ljubljana untersuchte die Methode in Zusammenarbeit mit der Universität Ljubljana und dem Slowenischen Restaurierungsinstitut (1/E, 1/F). Das Büro Käferhaus Wien verglich die Methode in Kloster Mauerbach mit anderen Heizverfahren (1/Q). Von diesem Büro ließ die Schloss Schönbrunn Betriebsgesellschaft die Eignung des Verfahrens für Schloss Schönbrunn prüfen und zusammen mit der natürlichen kontrollierten Lüftung dort einbauen (1/B). Die Haftcourt Ltd. in Stockholm, die exklusiv für das Statens Fastighetsverk („Reichsantiquariatsamt“) arbeitet bzw. die Königlich Technische Hochschule Stockholm erprobten und bewerteten ebenfalls die Methode (1/D). Das Kunstforum Ostdeutsche Galerie führte über ein Jahr Klimamessungen in dem temperierten Museumsgebäude durch (1/P). Das Ergebnis ist eindeutig: Die Temperierung ist eine kostengünstige und energieeffiziente Heizmethode, die physiologische und konservatorische Vorteile gegenüber konventionellen Verfahren bietet (s. Kasten rechts).

Henning Großeschmidt
Ltd. Restaurator i. R.
Landesstelle für die nichtstaatlichen Museen in Bayern
beim Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege
Tratstraße 11
D-82347 Bernried

Michael Kotterer
Restaurator
Kunstforum Ostdeutsche Galerie Regensburg
Dr. Johann Maier Straße 5
D-94049 Regensburg

ZWEIFEL AN DER LÖSUNG VOLLKLIMAANLAGE

- Lösung mit dem höchsten Finanzbedarf: hohe Investitions-, Betriebs-, Wartungs- und Folgeinvestitionskosten („Halbwertszeit“ der Anlagen ca. 10–15 Jahre)
- die physikalisch erforderlichen, großen Luftwechselraten bedingen ein großes konservatorisches Gefährdungspotential bei Fehlsteuerung, sie führen zu Zugerscheinungen im Raum und zu Staubaufwirbelungen
- die komplexe Anlagentechnik bedingt ein hohes Risiko des Ausfalls von Teilbereichen oder der gesamten Anlage
- oft muss aber mit der Anlage ungeeignete Museumsarchitektur kompensiert werden, daher wäre bei Ausfall Evakuierung der Kunstwerke nötig
- bei mangelnder Wartung Gefahr durch Mikroorganismen in Luftwäscher, Lüftungskanälen, Filter
- „Kalte-Wand-Problematik“ nicht gelöst
- nicht immer stabile Bedingungen: Schwankungsbreiten der rF wie bei nicht vollklimatisierten Gebäuden möglich
- nur schwer in historische Bausubstanz integrierbar, hoher Platzbedarf

ALTERNATIVE KLIMATISIERUNGSKONZEPTE

GEBÄUDE

- Massive Bauweise erbringt gute Dämpfungsfähigkeit gegenüber Außenklimaschwankungen
- Abdichten von Fugen, Fenstern etc., Einrichten eines ausreichend großen Windfangs, um kontrollierten Luftwechsel zu ermöglichen
- Vermeiden zu hoher Wärmelasten der künstlichen Beleuchtung durch geeignete Anordnung und konservatorisch sinnvolle Beschränkung auf z. B. max. 10–15 W/m^2
- Außenbeschattung von Fensterflächen und Oberlichtern, um sommerlichen Wärmeeintrag zu minimieren

LÜFTEN/FRISCHLUFTWECHSELRATE/INFILTRATIONSRATE

- Klassifikation von Museumsgebäuden anhand der Frischluftwechselrate/Infiltrationsrate nach Holmberg
- nur ein definiertes, abgeschlossenes Raumluftvolumen kann klimastabilisiert werden, deshalb Gebäude so dicht wie möglich machen
- bei Schadstoffabgabe aus Objekten und Einrichtung und bei Personenbelegung muss kontrolliert gelüftet werden (Schlüssel zur Dämpfung unkontrolliert einwirkender Lüftungsereignisse/Klimaschwankungen)
- hohe Frischluftmengen bedeuten das Einführen größerer Mengen von gasförmigen und festen Schadstoffen und im Winter einen erhöhten Befeuchtungsbedarf: hohe Aufbereitungskosten, hoher Filteraufwand; größere raumlufttechnische Anlagen daher nur wenn unbedingt notwendig
- in der Regel genügt im Ausstellungsbereich ein max. 1-facher Luftwechsel pro Stunde abhängig vom Besucheraufkommen (im Winter möglichst Umluftbetrieb)
- in fensterlosen Depots Abluftventilator mit 0,1-fachem Luftwechsel pro Stunde. Betrieb nur bei Personenbelegung bzw. wenn Abfuhr von Schadstoffen nötig. Nachströmung über Türfugen
- die Überdimensionierung raumlufttechnischer Anlagen zum Zweck größerer Funktionssicherheit führt bei ungünstigen Bedingungen zu ständigem Lastwechsel, bedingt durch regeltechnisches Takten; klein dimensionierte Anlagen haben diesen Nachteil nicht und können nur langsame Änderungen im Raum bewirken, die konservatorisch unschädlich sind.
- Die Kosten und das konservatorische Gefährdungspotential werden weiter verringert, wenn von der Sollwert-Regelung zur Sollwertfeld-Regelung übergegangen wird (saisonal gleitende Raumklimawerte als Regelungsziel)

KÜHLEN

- Kühlung zur Kompensation von Wärmelasten der Gebäudehülle und der Beleuchtung sollte nicht notwendig sein (massive Bauweise, außenliegender Sonnenschutz, geeignete, reduzierte Beleuchtung)
- an heißen Sommertagen nur nachts Lüften („Nachtkühlung“ mit der bereits abgekühlten Außenluft. Kann wegen hohem Besucheraufkommen nicht bis zur Nacht gewartet werden, evtl. Kühlung der Frischluft nur um wenige Grad bei max. einfachem Luftwechsel
- Ökologisch sinnvoll: Kühlen der zugeführten Frischluft mit einem Erdwärmetauscher

HEIZEN

- Konvektoren, Luftheizung, Fußbodenheizung scheiden im Museumsbereich aus. Aufheizen der Raumluftmasse bedingt höheren Luftdruck (Wasserdampf- und Energieverluste), Staubaufwirbelung, „Kalte-Wand-Problematik“
- Temperieren der Wandoberfläche erzeugt homogenes und physiologisch und konservatorisch günstiges Strahlungsklima ohne Zugerscheinungen. Masse der Raumluft ist nicht am Heizen beteiligt, reduzierte Wasserdampf- und Energieverluste, geringerer Apparateaufwand, kein Problem der „kalten Wand“, Energie- und Investitionseinsparung

ENTFEUCHTEN

- geringfügiges Anheben der Raumlufttemperatur durch Wandtemperierung ist kostengünstiger als Entfeuchtung der Raumluft
- Kondensat an Wänden, die auch im Sommer kalt sind (Keller etc.) durch Wandtemperierung vermeidbar
- gerade bei aufsteigender Feuchte bzw. bei seitlicher Erdberührung des Mauerwerks Trockenlegung und Senkung der Raumluftfeuchte durch Temperierung (nach Füllen von Rissen etc.), da Luftentfeuchtung das Problem verstärkt (neue Feuchtigkeit kommt aus dem Porensystem nach)

BEFEUCHTEN

- Luftbefeuchtung bei „Luft“-Heizung bedingt Gefahr von Gebäudeschäden durch Kondensation, da nur eine ungleichmäßige Beheizung der Gebäudehülle erreicht wird
- Verdunstungsbefeuchter/Luftwäscher sind Dampf- und Ultraschallbefeuchtern vorzuziehen (selbst bei Störfall maximale rel. Luftfeuchte 65 %, bei den anderen bis zu 100 %)
- Einzelraumgeräte sind gut zugänglich und daher leicht zu warten bzw. zu ersetzen
- zentrale Befeuchter und das dazugehörige, schwer zugängliche Luft-Kanalnetz müssen intensiv betreut und gewartet werden. Halbwertszeit unzugänglicher Teile 10–15 Jahre (s. o.)

Literatur

A Handbuch zur Temperiermethode

1/A-Q) Kotterer, M., Großeschmidt, H., Boody, F.P., Kippes, W., (Hrsg./ Ed.), Klima in Museen und Historischen Gebäuden: Die Temperierung / Climate in Museums and Historical Buildings: Tempering. Wissenschaftliche Reihe Schloss Schönbrunn (9), Wien / Vienna 2004. 506 Seiten, Buch 1–192, CD 193–506

1/A) Großeschmidt, H., Das temperierte Haus: Sanierte Architektur – behagliche Räume – Großvitrine, 14–48 (engl.), 325–382 (dt.)

1/B) Käferhaus, J., Kontrollierte natürliche Lüftung und Bauteilheizung als probate Mittel der Schadensprävention am Beispiel von Schloss Schönbrunn, 49–76 (dt.)

1/C) Kotterer, M., Internationale Standard-Klimawerte und Haustechnik in Museen und historischen Gebäuden in der Diskussion, 77–98 (dt.), 383–404 (engl.)

1/D) Holmberg, J., Comparison of Tempering and Conventional Convection Heating, 99–106 (engl)

1/E) Šijanec-Zavrl, M., Žarnić, R., Thermal Response of Wall-Tempered Heritage Buildings-Monitoring and Simulation, 107–127 (engl.)

1/F) Malovrh, M., Zupan, M., Praznik, M., Neue Wege zum Beheizen historischer Gebäude, 128–137 (dt.). Der Beitrag beschreibt die Temperierung von Kirchen.

1/G) Klein, F., Hofer, A., Die Renovierung von fünf historischen Räumen in der Städtischen Galerie im Lenbachhaus, München, 138–146 (dt.), 405–414 (engl.)

1/H) Münnich, J., Kahlert, G., Erweiterung und Umbau 1995/96 des Ernst Barlach Hauses, Stiftung Hermann F. Reemtsma, 147–150 (dt.), 415–418 (engl.)

1/I) Voß, G., Wohnen im Denkmal. Sanierung des Wohn- und Geschäftshauses Barfüßerstraße 13 in Halle, 151–154 (dt.), 419–422 (engl.)

1/J) Becker, T., Erfahrungen mit der Temperierung in Italien, 155–162 (dt.), 423–430 (engl.)

1/K) Käferhaus, J., Schloss Meseberg, künftiges Gästehaus der deutschen Bundesregierung, als Beispiel für Schadensprävention und Raumheizung durch Temperierung, 163–169 (dt.)

1/L) Ranacher, M., Gesundheit durch Thermische Kondensatprävention. Optimales Gebäudeklima für Kulturgut und Denkmalpflege, 170–187 (dt. Kurzfassung.) u. 431–462 (dt. Langfassung)

1/M) Huber, A., Das optimale Museumsfenster, 188–191 (dt. Kurzfassung), 467–506 (dt. Langfassung)

1/N) Kleinmanns, J., Die Temperierung historischer Gebäude: Eine Methode zur Verhütung feuchtebedingter Bauschäden, 193–200 (dt.), 201–208 (engl.)

1/O) Leipoldt, D., Kurzbericht über Heizkostenreduzierung /Energieeinsparungen / Investitionseinsparungen im Anlagenbau durch den Einsatz der Temperierung: Vergleichende Untersuchung im Gymnasium Waldstraße, Hattingen, 209–214 (dt.), 215–220 (engl.)

1/P) Kotterer, M., Klimamessungen im Kunstforum Ostdeutsche Galerie Regensburg. Analyse und Dokumentation, 221–244 (dt.), 245–268 (engl.)

1/Q) Käferhaus, J., Kartause Mauerbach: Auf der Suche nach der schadenspräventiven Heizung für historische Gebäude. Vergleich von sechs unterschiedlichen Wärmeverteilsystemen und deren Auswirkung auf die Räume, 269–324 (dt.)

B Andere zitierte Beiträge (2–10 von besonderer Relevanz für das Thema)

2) Holmberg, J., Relative Humidity, RH, in historic houses, museums and museum storage rooms, a literature study, Report No 1 from Swedish partners, Projektbüro EU 1383 PREVENT an der TU Wien, Wien 1995

3) Holmberg, J., A Literature search on Air Change Rate in Historic (Cultural) Buildings und Technical Classification of Museum Buildings ICOM-ICAMT 1989, beide in Report No 7 from Swedish Partners, Projektbüro EU 1383 PREVENT an der TU Wien, Wien 1997

4) Kippes, W., Clima management and air flow control. Zu den Ursachen der Raumklimaschwankungen im Schloss Schönbrunn. In: Report No 3 from Austrian Partners, Projektbüro EU 1383 PREVENT an der TU Wien, Wien 1997

5) Kippes, W., Raumklima in historischer Bausubstanz. Dissertation TU Wien, Institut für Kunstgeschichte, Denkmalpflege und Industriearchäologie, Wien 1999

6) Schaible, V., Überlegungen zum Phänomen der Schüsselbildung an Leinwandgemälden. In: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung (1990) 2, 235–250

7) Engelbrecht, M., Die Temperierung – ein alternatives Heizsystem. Diplomarbeit FH München, Fachbereich 05 Versorgungstechnik, München 1995

8) Grepmeier, K., Sanierung von feuchtem Mauerwerk. Die Temperierung als übergreifende Alternativlösung. Diplomarbeit TU München, Lehrstuhl C für Thermodynamik, München 1997

9) Weißmann, H., Die Temperierung des Kulturspeichers Würzburg. In: Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (Hrsg.), bau intern (2003) 12, 241–243

10) Angermann, T., Schimmelt nicht mehr. Alternative Trockenlegung der ehemaligen Kaiserresidenz „Alter Hof“ in München. Sanitär und Heizungstechnik (2005) 11, 82–84

11) Recknagel, H., Sprenger, E., Hönmann, W., Schramek, E. (Hrsg.), Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. München 1992

Abbildungsnachweis

Abb. 1: Zeichnung Erich Hackl, München
Abb. 2: Basierend auf einer Grafik von Miha Praznik, ZRMK, Ljubljana und Michael Kotterer, Regensburg
Abb. 3, 5, 6: Margarete Neundlinger, Wien. Aus Ranacher (1/L) S. 176, 178, 179
Abb. 4: Zeichnung Maria Ranacher. Aus Ranacher (1/L), S. 178
Abb. 7: Aus Schaible (6), S. 238
Abb. 8: Oberes Foto Michael Kotterer, Regensburg, unteres Foto Wolfram Schmidt, Regensburg
Abb. 9: Michael Kotterer, Regensburg
Abb. 10: Messungen Josef Passauer, Regensburg
Abb. 11: Henning Großeschmidt, München
Abb. 12: Grafik mit hinzugefügtem Ausschnitt der Wand-Boden-Ecke basierend auf Šijanec-Zavrl, M., Žarnić, R., (1/E), S. 122

Heft 1 2008

2008 | 1

Archäologische Funde
Sakrale Textilien
Textile Raumkunst
Polyesterplastik
Malschichtbefestigung
Klima
Archäometrie

Beiträge

zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut

Verband der Restauratoren e.V. (VDR)
Haus der Kultur
Weberstraße 61
53113 Bonn

Telefon +49 (0) 228 24 37 366
Telefax +49 (0) 228 26 19 669

E-Mail: info@restauratoren.de
Internet: www.restauratoren.de

ISBN 978-3-7954-2070-3
ISSN 1862-0051

9 783795 420703

VDR Beiträge

Verband
der Restauratoren

VDR Beiträge
zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut
Heft 1 | **2008**

VDR Beiträge

zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut

Heft 1 | 2008

Gedruckt mit freundlicher Unterstützung
der Messerschmitt Stiftung

Verband
der Restauratoren

Impressum

Herausgeber:
© 2008
Verband der Restauratoren e.V. (VDR)
Haus der Kultur
Weberstraße 61
D-53113 Bonn
Telefon: +49 (0) 228 24 37 366
Telefax: +49 (0) 228 26 19 669
E-Mail: info@restauratoren.de
Internet: www.restauratoren.de

Vertrieb über:
Verlag Schnell + Steiner GmbH
Leibnizstraße 13
D-93055 Regensburg
Internet: www.schnell-und-steiner.de
ISBN 978-3-7954-2070-3 | ISSN 1862-0051

Redaktion:
Prof. Ingo Timm, Berlin (Redaktionsleitung)
Prof. Friedemann Hellwig, Hamburg
Klaus Martius, Nürnberg
Prof. Hans Michaelsen, Potsdam
Prof. Ivo Mohrmann, Dresden
Annik Pietsch, Berlin
Dr. Cornelia Weyer, Düsseldorf

Beirat:
Prof. Valentin Boissonnas, Schweizerischer Verband für Konservierung und Restaurierung (SKR)
Prof. Irene Brückle, Staatliche Museen zu Berlin
Prof. Dr. Gerhard Eggert, Staatliche Akademie der Bildenden Künste, Stuttgart
Prof. Erwin Emmerling, Technische Universität München
Prof. Jörg Freitag, Fachhochschule Potsdam
Stefan Kainz, Österreichischer Restauratorenverband (ÖRV)
Prof. Dr. Matthias Knaut, Fachhochschule für Technik und Wirtschaft (FHTW), Berlin
Prof. Dr. Gertraud Maierbacher-Legl, Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK), Hildesheim
Prof. Dr. Christoph Merzenich, Fachhochschule Erfurt
Prof. Dr. Friederike Waentig, Fachhochschule Köln

Publikationsbeauftragte der Fachgruppen:
Archäologische Ausgrabung: Hans Albert Lang
Archäologische Objekte: Stephanie Gasteiger
Ethnographische Objekte: Sandra Gottsmann
Gemälde: Ute Stehr
Kunsthandwerkliche Objekte: Claudia Magin
Möbel und Holzobjekte: Jochen Flade
Moderne Kunst - Kulturgut der Moderne: Stephanie Grossman
Präventive Konservierung: Alexandra Schieweck
Polychrome Bildwerke: Anette Klöpfer
Steinkonservierung: Prof. Dr. Rainer Drewello
Technisches Kulturgut: Dr. Volker Koesling
Textil: Maria Ellinger

Projektbetreuung:
Helge David, Sabria David
Redaktionsbüro text-raum
Im Krausfeld 8
D-53111 Bonn
E-Mail: redaktion-beitraege@restauratoren.de

Englische Abstracts der Beiträge Zitzmann und Antons:
Klaudia Pontz

Gestaltung, Layout:
Homann/Güner/Blum, Hannover

Druck:
Druckerei Brandt, Bonn

Für namentlich gekennzeichnete Beiträge sind die Verfasser verantwortlich. Die Beiträge geben nicht unbedingt die Meinung der Herausgeber und der Redaktion wieder.

Für die Rechte und den Bildnachweis des jeweiligen Beitrages zeichnet der Autor.

Die Redaktion bedankt sich herzlich bei den AutorInnen für die Einreichung ihrer Manuskripte.

Alle Rechte beim Herausgeber. Nachdruck, fotomechanische Vervielfältigung sowie alle sonstigen auch auszugsweisen Wiedergaben nur mit vorheriger Genehmigung des VDR.

Abbildungen auf den Umschlagseiten 1 und 4:
Zwei Sessel, 18. Jahrhundert, in unterschiedlicher Polsterausführung (s. Beitrag von Christa Zitzmann)
Rückseite:
Duane Hanson, Woman with Purse (s. Beitrag von Aline Jahn)

Seite **6** Editorial

Seite **7** Beiträge

7 **Viktoria Balon** Die Prinzessin von Ukok

13 **Sr. Klara Antons** Das Ende einer Kasel – Staub und Asche, Vitrine oder eBay

21 **Charlotte Klack-Eitzen** Marias neue Kleider. Skulpturenornate in Kloster Wienhausen

32 **Christa Zitzmann** Die Bedeutung von Textilien für die Raumgestaltung des Rokoko

43 **Barbara de Groot** Textile Raumkunst. Phantasievoller Ersatz, Rekonstruktion oder Restaurierung, Beispiele aus Bayerischen Schlössern

54 **Kerstin Krainer** Malschichtbefestigung an einer barocken Wanddekoration auf Leinwand unter Verwendung von Cyclododecan

64 **Aline Jahn** „Woman with Purse“ von Duane Hanson. „Humerusfraktur“ – Konzeptfindung und Restaurierung

75 **Salome Guggenheimer, David Thickett** Investigation into the Potential of Low-Oxygen Storage for Freshly Excavated Iron Artifacts: Fundamental Research Using the Revolutionary Preservation System (RP-System™)

87 **Michael Kotterer, Henning Großeschmidt** Klima in Museen und historischen Gebäuden. Vom konservatorisch richtigen Heizen und Lüften

101 **Frank Heydecke** Aus Alt mach Neu – Meine Klimaanlage macht nicht, was ich will!

Seite **107** Miscellanea

107 **Gerhard Eggert** Der Mensch als Bedeutungssucher und der Mythos der Aura

Seite **110** Corrigenda & Addenda

110 **Heike Ulbricht, Michael Neumann** Zum Einsatz von Kompositen in der Porzellanrestaurierung. Restaurit – Top oder Flop? Addendum zu ihrem Beitrag in Heft 1/2006 und dem darauf folgenden Addendum von Stefan Drescher in Heft 1|2/2007 „Der problematische Umgang mit lichthärtenden Dentalmassen in der Porzellanrestaurierung“

115 **Elise Grosche** Corrigendum: Eine Tabelle zum Beitrag „Dünnschichtchromatographischer Nachweis von Organochlor-Bioziden und synthetischen Pyrethroiden in Holz“ in Heft 1|2/2007

Seite **116** Rezensionen

116 Lieselotte Kötzsche, Der bemalte Behang in der Abegg-Stiftung in Riggisberg. Eine alttestamentliche Bildfolge des 4. Jahrhunderts **(Kathrin Mälck)**

118 Staatliche Kunstsammlungen Dresden (Hrsg.), Gerettet. Die Restaurierung der großen Formate nach der Flut 2002 **(Ursula Haller)**

120 Ivo Mohrmann u.a., Die Technik der Tüchleinmalerei (DVD) **(Ingo Timm)**