



A. Huber, A. Korjenic und T. Bednar



Typische Situation in der Übergangszeit.

Links: Aufgrund der Thermik des Hauses entweicht ein Großteil der über die Radiatoren abgegebenen Wärme über offene Fensterflügel.

Rechts: Bei bauteilgebundener Wärmeverteilung (Temperierschleifen in der Fensterlaibung) werden die Lüftungswärmeverluste signifikant verringert.





AUF DER SUCHE NACH DER RICHTIGEN ENTSCHEIDUNG THERMOGRAPHIE, DICHTIGKEITSMESSUNGEN UND PILOTANLAGE IM VORFELD THERMISCHER SANIERUNG

Alfons Huber, Azra Korjenic und Thomas Bednar

1. ZUR THEMENSTELLUNG

Zwischen 1989¹ und 2006² wurden die wichtigsten Häuser bzw. Sammlungen der österreichischen Bundesmuseen einer Generalsanierung unterzogen. Seit Jahren fällige Verbesserungen an der Bausubstanz, der Infrastruktur und Ausstattung in den Sammlungen, Büros und Werkstätten wurden unter Einsatz der so genannten „Museumsmilliarde“ durchgeführt. Von außen betrachtet, also aus der Sicht der Besucher, ist die „Sammlung Österreich“³ attraktiv und gut aufgestellt und kann sich im internationalen Vergleich sehen lassen. Dennoch können, nach derzeitigem Kenntnisstand, selbst bei großzügig gestecktem Rahmen nur einige wenige sanierte Häuser bzw. Teilsammlungen ganzjährig und auch bei kritischer Witterung jene weltweit akkordierten Klima- und Aufbewahrungsbedingungen vorweisen, wie sie auch in den international üblichen und hauseigenen Leihverträgen gefordert werden. Obwohl unbestritten grundlegende Verbesserungen etwa im Bereich der Haustechnik, der Beleuchtung und der Besucherfreundlichkeit durchgeführt wurden, ist evident, dass die Museen die in den Sanierungskonzepten definierten Rahmenbedingungen der „Präventiven Konservierung“ nicht zuverlässig erfüllen, nämlich ganzjährig Aufbewahrungsbedingungen zu schaffen, die die Alterung der Objekte signifikant verlangsamen und restauratorische Eingriffe soweit wie möglich unnötig machen oder zumindest hinauszögern⁴.

Bis zum Ende des 20. Jahrhunderts war die Frage nach den optimalen schadenspräventiven Klimabedingungen für Kunst- und Kulturgüter im Museum von Überlegungen und Maßnahmen zur „richtigen“ Raumluftkonditionierung geprägt, die vorwiegend über die Lufttemperatur und relative Feuchte definiert wurden. Die gängigen Denkmodelle und viele der in die Praxis umgesetzten Lösungen gingen von der Vorstellung aus, dass die Raumluft in den Ausstellungs- und Depotbereichen mittels technischer Eingriffe und Korrekturen in den gewünschten Sollbereich gebracht werden müsse. Logische Konsequenz dieses Konzepts war die Entwicklung von raumlufttechnischen Anlagen, mittels derer die Raumluft mehrmals pro Stunde umgewälzt und durch Heizen oder Kühlen, Be- oder Entfeuchten den vorgegebenen Sollwerten angepasst wurde. In diesem Denkmodell wurden Einflüsse der Gebäudehülle mehr oder weniger vernachlässigt und Fragen nach den Ursachen suboptimaler Klimabedingungen kaum gestellt. So ist etwa der solare Strahlungseintrag über Fenster und Oberlichtdächer oder eine der wichtigsten Regelgrößen der Heizungs- und Klimatechnik, nämlich der jahreszeitlich adäquate Außenluftwechsel, im konservatorischen Diskurs sowie in Sanierungskonzepten bis Ende des 20. Jahrhunderts kaum zu finden.

¹ Beginn der Sanierung der Gemäldegalerie des Kunsthistorischen Museums.

² Teileröffnung des Museums für Völkerkunde.

³ Einer der Schlüsselbegriffe der von BM Claudia Schmied 2008 initiierten Museumsreform.

⁴ Fast alle Sammlungen des Kunsthistorischen Museums, das Museum für Völkerkunde sowie etwa auch das Technische Museum Wien und das Österreichische Haus-, Hof- und Staatsarchiv, wurden – aller repräsentativen Erscheinung zum Trotz – als klimatisch-konservatorische Sanierungsfälle eröffnet (relative Feuchtwerte im Winter von bis zu 15 % rF; sommerliche Raumtemperaturen von bis zu über 32 °C; unkontrollierter Luftwechsel mit stark schwankenden Klimaverläufen; Fenster, Lichtdächer und verglaste Liftschächte als „Sonnenkollektoren“; ungelöste Staub-, Kondensat- und Schimmelproblematik; hoher Energieverbrauch etc.). Sie mussten entweder mit großem finanziellen Aufwand nachgerüstet werden oder warten seit über 20 Jahren darauf. Die seit 1988 für die Sammlung alter Musikinstrumente geforderte Reaktivierung der originalen Lüftungsschächte zur Senkung der sommerlichen Raumtemperaturen (bis zu 30,5 °C) wurde 2009 von der neuen Geschäftsführung in Angriff genommen, aber bis 2010 noch nicht in Auftrag gegeben.



Der ständig steigende Einsatz von technisch gestützter Klimatisierung in den letzten 30 Jahren hat jedoch im Vergleich mit konventionellen, „passiven“ Klimakzepten nicht zu der erwarteten signifikanten Verbesserung der schadenspräventiven Klima- und Aufbewahrungsbedingungen in den Museen geführt, dafür aber zu einer enormen Kostensteigerung im Bereich der Haustechnik sowie im laufenden Betrieb⁵. Dabei zeigte sich, dass die ursachenrelevanten bauphysikalischen Einflüsse der Gebäudehülle weitaus höher anzusetzen sind als eine immer ausgefeiltere Klima- und Gebäudeleittechnik zur Symptombekämpfung. Die thermische Sanierung eines Gebäudes hingegen, verbunden mit kontrolliertem Luftwechsel und möglichst wenig anlagen- und regeltechnischen Eingriffen, bewirkt sowohl stabilere und schadenspräventive Klimabedingungen für die Objekte als auch eine deutliche Reduktion der Betriebskosten. Es zeigte sich, dass eine Trendumkehr nur durch ein übergreifendes, im Einklang mit den bauphysikalischen Gegebenheiten entwickeltes konservatorisches Betriebskonzept erreicht werden kann⁶.

Die Tatsache, dass die meisten Häuser „gerade erst“ saniert wurden, macht es jedoch, besonders in Zeiten knapper Budgets, enorm schwierig, nochmals Mittel für Maßnahmen zu lukrieren, die aus der Sicht der Verant-

wortlichen entweder vor kurzem abgeschlossen worden waren oder gar nicht nötig sind, weil die Sanierungen ohnedies nach gültigem Stand der Technik durchgeführt wurden. Hier braucht es einerseits gewichtige, sachlich objektive Argumente und andererseits gesellschaftspolitische Ansätze, um die EntscheidungsträgerInnen zum Handeln zu bewegen.

Die gemeinsame Klammer zwischen konservatorischen und gesellschaftspolitischen Anliegen heißt „thermische Sanierung“ und „Senken des Energieverbrauchs“. Wie bereits a. a. O. gezeigt⁷, liegt der Schlüssel zu einem funktionierenden konservatorischen Klimakzept in der thermischen Sanierung der Gebäudehülle, wozu neben dem Dichten der Fenster und Türen und einem kontrollierten Luftwechsel die Verringerung der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste sowie die Reduktion der sommerlichen Wärmeeinträge zählen. Untrennbar damit verbunden ist auch die Frage nach dem Heizsystem mit dem geringsten konservatorischen Schadenspotential. Alle genannten Maßnahmen führen automatisch – dies wird auch der vorliegende Beitrag zeigen – zu einem drastischen Absenken der Gesamtenergiekosten von bis zu über 30 %. Allein diese Tatsache wäre angesichts der Klimadiskussion Argument genug, um die beschriebenen Maßnahmen so rasch wie möglich durchführen zu lassen.

⁵ T. Oreszyn – M. Cassar – K. Fernandez, *Comparative Study of Air-Conditioned and Non Air-Conditioned Museums*, in: IIC, *Preventive Conservation: Practice, theory and research*, IIC Ottawa Congress, London 1994, 144–148.

⁶ A. Huber, *Kontrollierter Luftwechsel – der Schlüssel für ein nachhaltiges Klimakzept*, in: *Technologische Studien. Kunsthistorisches Museum. Konservierung – Restaurierung – Forschung – Technologie*, Bd. 6, 2009, 10–45.

⁷ Huber 2009 (zit. Anm. 6).





2. THERMISCHE VERBESSERUNG DER FENSTER UND BALKONTÜREN

Alle Fenster und Balkontüren der Neuen Burg (mit Ausnahme des Segmentbogens) wurden seitens der Burghauptmannschaft zwischen 2003 und 2008 tischlerisch instand gesetzt, die Beschläge wurden nachgestellt und die Oberflächen neu beschichtet. Abschließend wurden die Fugenfalze an den Innenflügeln mit silikonverklebten Silikon-Hohlprofilen (System Nuschei) gedichtet. Die Reparatur von Kastenfenstern ist nicht durch eine ÖNorm geregelt⁸, die beschriebenen Arbeiten entsprechen dem derzeit geltenden Stand der Technik.

Langjährige Beobachtungen haben jedoch gezeigt, dass diese Maßnahmen, die im Bereich der „normalen“ Fenstergrößen in Wohnungen, Büros und Werkstätten (mit rund 2 m² Glasflächen und rund 10 m Falzfugenlängen) durchaus zielführend sind, sich bei den bis zu 5 m hohen Fenstern und Balkontüren im Prunkstiegenhaus sowie in den Ausstellungs- und Bibliothekssälen als unzureichend herausstellten. So weisen beispielsweise die 23 Balkontüren der Hofjagd- und Rüstkammer im 1. Stock des Corps de Logis an den Innenflügeln Glasflächen von je 4,2 m² und Falzfugenlängen von 17 m pro Flügelebene auf. Bei den drei Rundbogen-Fenstertüren mit 9 m² Glasfläche addieren sich die Falzfugen der 12 Fenster- und Türflügel zu einer Länge von 48 m. Damit betragen die Glasflächen das 2- bis 4,5-Fache der Fensterflächen eines gewöhnlichen Bürofensters, die Falzfugen fast das 5-Fache.

Ähnlich ungünstig verhalten sich die elf von den Plateaus im Prunkstiegenhaus auf die Säulengalerie führenden großen Balkontüren, die innere Glasflächen von 4,3 m² sowie eine Falzfugenlänge von 19 m aufweisen. Die übrigen 8 Fenster weisen gleiche Glasflächen, aber etwas kürzere Falzfugen (16,8 m) auf. Hinzugezählt werden müssten auch die nicht quantifizierbaren Fugen der 12 pro Türe mit Glasleisten eingesetzten (aber nicht eingekitteten) Glasscheiben.

Auch nach der Sanierung sind folgende Mängel festzustellen:

- Bei starkem Windangriff ist in der Nähe der Fenster und Balkontüren Zugluft zu spüren, die durch Bewegungen der Lichtschutzvorrichtungen im Fensterkasten fallweise auch sichtbar ist.

- Bei tiefen Außentemperaturen im Winter fällt die Raumtemperatur auch bei voll aufgedrehten Radiatoren in den nach Nordwesten orientierten Raumgruppen auf unter 16 °C. Die Strahlungsfelder der großen Glasflächen mit Scheibentemperaturen von unter 12 °C verstärken den Eindruck der Unbehaglichkeit.

Folgende Fragen waren zu beantworten:

1. Womit lassen sich die erhöhten Lüftungswärmeverluste während der Heizperiode vor allem bei Wind verringern?
2. Wie können die Oberflächentemperaturen der Innenscheiben angehoben werden?
3. Wie kann das thermische Verhalten des Gesamtsystems Kastenfenster insgesamt verbessert werden?
4. Wie können die Verbesserungsmaßnahmen messtechnisch erfasst und objektiv evaluiert werden, d. h. welches Energiesparpotential lässt sich abschätzen? Damit ließe sich die Amortisation errechnen, um den Entscheidungsträgern die Sinnhaftigkeit einer solchen Maßnahme nahe zu bringen.

2.1 Optimierung der Fugendichtungen

Wie bereits in den Technologischen Studien 6/2009 beschrieben, wurde eine der großen Doppelflügeltüren im Saal 3 der Hofjagd- und Rüstkammer gezielt nachgerüstet, um sowohl den Wärmedurchgang durch die Scheiben als auch die Lüftungswärmeverluste über die 17 m Falzfugen zu verringern. Dazu wurden zunächst die Schließbleche nachgesetzt, um den Schwund der Türblätter zu kompensieren; weiters wurden die Oberlichtflügel für den Winterfall mit zwei Drehhaken fixiert, die während der Sommermonate bei Bedarf geöffnet werden können. Die Anschlüsse der Innenflügel an die Stöcke wurden seitlich durch silikongedichtete Stockleisten optimiert. Um die Dichtigkeit des Systems zu erhöhen, wurden auch die Außenflügel sowie die inneren und äußeren Mittelfugen (die beträchtliche Schwundmaße aufwiesen) mit Silikon-Hohlprofilen nachgedichtet – nicht jedoch der äußere Oberlicht-

⁸ Die ÖNorm 5300 gilt für Fenster im Allgemeinen, die ÖNorm B 5320 für Fenstereinbauten.



flügel, damit ein minimaler Luftaustausch zur Außenluft gewährleistet ist. Da die Hofjagd- und Rüstkammer im Winter nicht befeuchtet wird, besteht prinzipiell keine Gefahr der Kondensatbildung im Fensterkasten.

Die gleiche Maßnahme wurde 2009 an einer der großen nordwestorientierten Türen auf Plateau 1 im Prunkstiegenhaus durchgeführt. (Hier war ursprünglich geplant, die inneren Glasscheiben durch Wärmeschutzgläser zu ersetzen; durch einen Kommunikationsfehler wurde jedoch die Tür neben der Mustertür in Saal 3/ Hofjagd- und Rüstkammer umgerüstet.)

2.2 Winddruckbogen

Um die Dichtigkeit der sich nach innen öffnenden Außenflügel zu erhöhen, wurde der äußere Flügel mit einem eigens entwickelten „Winddruckbogen“ versehen, der in etwa 2/5 der Höhe den Gehflügel an der Schlagleiste mit etwa 10 mm Vorspannung gegen den Stehflügel presst und einem Aufdrücken der Türe bei Windangriff gezielt entgegenwirkt⁹ (Abb. 1 und 2).

2.3 Verringerung des Wärmedurchgangskoeffizienten der Glasflächen

Um den Wärmedurchgang durch die Glasflächen zu verringern, wurden an der Mustertür in Saal 3 der Hofjagd- und Rüstkammer sog. Vorsatzflügel angebracht, also an der Außenseite der Innenflügel mittels Bändern (zum Öffnen und Putzen) scharnierte und mit zwei parallel verlegten Vorlegebändern möglichst luft- und staubdicht verschraubte zusätzliche Fensterrahmen, die beide Innenflügel und die Oberlichtklappe in ein Verbundfenster umrüsteten¹⁰.

Um diese einfach durchzuführende, am Denkmalschutz orientierte und relativ preisgünstige Lösung mit heute üblichen Sanierungsstandards vergleichen zu können, wurden in der daneben befindlichen Tür alle Scheiben ausgetauscht, die Falze nachgefräst und Wärmeschutzgläser (3–6–3, Argon) eingesetzt. (Dies war ursprüng-

lich für die nachgedichtete Balkontür auf Plateau 1 des Stiegenhauses geplant; aufgrund des erwähnten Missverständnisses blieb die 2. Mustertür im Saal 3 daher ohne Zusatzdichtung und Winddruckbogen, wodurch das Gesamtsystem nicht optimiert war.)

2.4 Verbesserung des thermischen Verhaltens der Balkontüren durch „Fensterpölster“

Alle Balkontüren des Hauses weisen im unteren Bereich Holzfüllungen auf, die ebenfalls als thermische Schwachstelle anzusehen sind, da sich in diesem Teil der Kastentüre im Winter ein „Kaltluftsee“ bildet. Der Zwischenraum in Saal 3 hat die Maße 170 x 70 x 20 cm, bei der Balkontür auf dem Plateau beträgt er 200 x 105 x 40 cm.

Zur thermischen Verbesserung und Anhebung der Oberflächentemperaturen der Füllungen wurde der Zwischenraum mit Schaumstoffplatten aus Ethafoam ausgekleidet. Es sollte untersucht werden, wie weit sich dadurch die Oberflächentemperatur sowohl der Füllungen als auch der darüber befindlichen Fensterscheiben anheben lässt.

2.5 Auswertung der Fensteroptimierung

An der optimierten Mustertür in Saal 3 der Hofjagd- und Rüstkammer war bereits im Frühjahr 2009 vom Institut für Hochbau und Technologie/Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz (Dr. Korjenic, DI Holzer) ein standardisiertes Dichtigkeitsprüfverfahren nach ÖNorm EN 13829 („Blower Door Test“) durchgeführt worden. Durch die oben beschriebenen einfachen Maßnahmen hat sich der Luftvolumenstrom durch die Fensterfugen um ca. 25 % verringert¹¹.

Aufgrund der durch den Blower Door Test erwiesenen signifikanten Verbesserung der Mustertüre wurden Anfang Oktober 2009 bei allen Fenstern und Balkontüren der Sammlung alter Musikinstrumente die Außenflügel in der erwähnten Weise nachgedichtet. Die Wirksamkeit der Maßnahme lässt sich unter anderem auch daran ablesen, dass der seit November 2008 täglich dokumen-

⁹ Die Mustersanierung im Wert von ca. 1.800,- € wurde von den genannten Firmen als Sponsoraktion dankenswerterweise unentgeltlich durchgeführt.

¹⁰ Magistrat der Stadt Wien MA39, *Gutachten über die Wärmedämmung eines zweiteiligen Holzkastenfensters ohne und mit „Nuschei“-Vorsatzfenstern an den Innenflügeln vom 4.8.1983* (Zl. MA39-F197, 198/83).

¹¹ Huber 2009 (zit. Anm. 6), 20.





Abb. 1: Türe in Saal 3 der Hofjagd- und Rüstkammer mit Vorsatzflügel, Stockleisten und Winddruckbogen.



Abb. 2 a

Links Befestigung des Winddruckbogens am Türstock, rechts Angriffspunkt am Türrahmen.



Abb. 2 b

Tabelle 1: Durchschnittlicher Wasserverbrauch der Luftbefeuchter in Liter/Tag.

Jahr	2008	2009	2010	Differenz [Liter]	Differenz [%]
Monat					
1		172	127	-45	-26
2		202	148	-54	-27
3		141	116	-25	-18
4		145	120	-25	-17
5		107	72	-35	-33
6		78	37	-41	-53
7		23	56		
8		23	54		
9		78	66	-12	-15
10		106	73	-33	-31
11	173	98		-75	-43
12	167	94		-73	-44
Summe der Tagesmittel				-418	
Ersparnis pro Jahr ca.				12.700	

tierte Nachfüllbedarf der Luftbefeuchter im Winter 2009/10 gegenüber dem Vorjahr signifikant niedriger lag. 2009 und 2010 gab es im Jänner und Februar mehrere Kältetage, sodass beide Jahre kompatibel erscheinen. (Der Mehrbedarf im Juli und August 2010 ist auf die erstmals wieder auf 30 °C angestiegenen Raumtemperaturen zurückzuführen, was wiederum auch auf den durch die bessere Dichtigkeit verminderten Nachtluftwechsel zurückgeführt werden kann¹²; daraus resultierte ein Nachbefeuchtungsbedarf zur Erhaltung der relativen Feuchte, der bei konservatorisch adäquaten Raumtemperaturen nicht aufgetreten wäre.)

In *Tabelle 1* sind die seit November 2008 für jeden Monat errechneten Tagesmittelwerte aufgelistet und den Monats-Tagesmittelwerten des Folgejahres gegenübergestellt. Aus der Summe der Tagesmittel des Min-

derverbrauchs errechnet sich (Tagesmittel x 30,4) eine Gesamteinsparung von 12.700 Litern Wasser im Jahr (der lüftungstechnisch bedingte Mehrverbrauch für Juli und August 2010 wurde bewusst herausgenommen).

Um 20 Liter Wasser zu verdunsten, verbraucht der Luftbefeuchter Defensor PH 26 auf Stufe 2 (von 4) 3,64 kWh. Das etwas einfachere Gerät WD-B 450 der Fa. WD-Austria benötigt auf Ventilator-Stufe 2 rund 0,85 kWh, auf Stufe 1 sind es 1,1 kWh. Der Minderverbrauch der 20 Luftbefeuchter der SAM von rund 12.500 Liter pro Jahr bedeutet, hochgerechnet auf alle ca. 40 Luftbefeuchter in der Neuen Burg, je nach Gerät und Gebläsestufe allein durch verminderte Nachbefeuchtungsverluste ein Einsparpotential zwischen 1.000 und 4.500 kWh pro Jahr.

¹² Eine durch eine „Klimaampel“ (SmartSwitch II Z; Fa. FreyTec/Ing. Roland Frey Informationstechnik, Wolfsgraben) gesteuerte kontrollierte Lüftung wurde im Oktober 2010 eingebaut. Damit sollen in Zukunft während der Sommermonate die Sammlungsräume mittels „Nachtlüftung“ gekühlt werden, wodurch erfahrungsgemäß auf Befeuchtung weitgehend verzichtet werden könnte.

¹³ DI Manfred Grüner sei für die freundliche Unterstützung bei der Auswertung der genauen Messdaten gedankt.



3. BAUPHYSIKALISCHE EVALUIERUNG DER MASSNAHMEN

Um auch das thermische Verhalten der nachgerüsteten Türen zu untersuchen, wurden von fünf unterschiedlichen Balkontüren am 10.5.2010 vom Institut für Hochbau und Technologie/Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz (DI Grüner¹³, Ing. Hofbauer) thermographische Aufnahmen gemacht und anschließend ausgewertet.

3.1 Messanordnung

Für die thermographischen Aufnahmen wurden fünf Türelemente (doppelflügelige Kasten-Balkontüren) in zwei Ausstellungsbereichen und zwei Wandflächen in zwei übereinander liegenden flächengleichen Werkstatträumen der SAM ausgewählt. Zusätzlich zu den thermographischen Aufnahmen wurden im Untersuchungszeitraum an jeweils vier Stellen der untersuchten Objekte die Oberflächentemperaturen mittels Thermoelementen ermittelt. Diese direkte Messung

der Oberflächentemperatur dient zur eventuell notwendigen nachträglichen Korrektur der Emissionsgrade der unterschiedlichen Oberflächenmaterialien der Aufnahmen und somit zur weiteren Erhöhung der Genauigkeit der Messung.

Die thermographischen Aufnahmen wurden mit einer NEC H2640 (S/N 9120111) Wärmebildkamera mit Standardobjektiv (21,7 °) angefertigt und mit der Software irMOTION PREMIUM PROFESSIONAL ausgewertet.

In der nachfolgenden *Tabelle 2* sind die Räumlichkeiten, in denen die thermographischen Aufnahmen durchgeführt wurden, und eine Kurzbeschreibung der Untersuchungsobjekte angegeben.

Im nachfolgenden Diagramm (*Abb. 3*) werden die Klimadaten des Messtages und des Tages davor dargestellt. Der grau markierte Bereich bezeichnet den

Tabelle 2: Räumlichkeiten und Kurzbeschreibung der Untersuchungsobjekte.

Saal 3 – Hofjagd- und Rüstkammer	Türelement 1 mit gasgefüllter Isolierverglasung
	Türelement 2 mit Verbundverglasung und „Fensterpolster“
	Türelement 3 unsaniert
Jagdplateau	Türelement 4 unsaniert
	Türelement 5 mit sanierten Fugen und gedämmtem Füllungsbereich („Fensterpolster“)
Werkstatt	unten (Radiatoren)
	oben (Sockelheizleiste/Wandtemperierung)

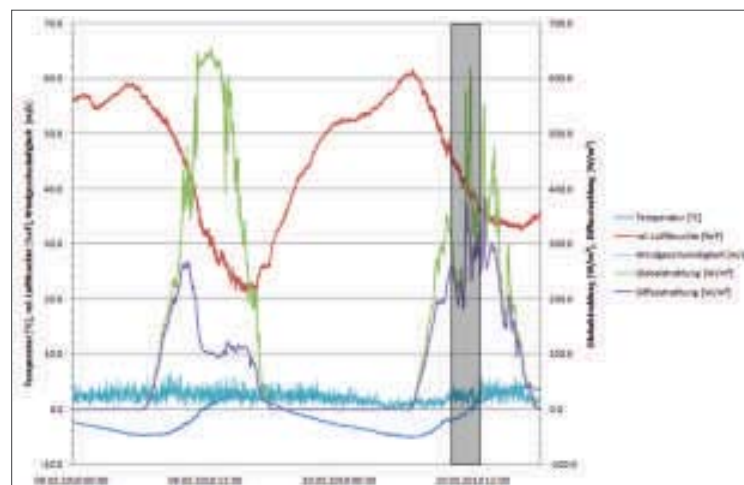


Abb. 3: Klimadaten vom Standort Asparngünde, Adolf-Blamauergasse 1–3, 1030 Wien.



Zeitraum der Aufnahmen. Die Daten stammen von der Wetterstation des Instituts für Hochbau und Technologie, Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz, Adolf-Blamauergasse 1–3 (Aspanggründe), 1030 Wien.

3.1.1 Allgemeine Hinweise zu den thermographischen Aufnahmen:

- Die Temperaturskala ist für die jeweiligen Räume gleich, damit sind die Aufnahmen direkt visuell vergleichbar.
- Der Temperaturwert in Rot oberhalb der Temperaturskala stellt den Maximalwert in der Aufnahme dar.
- Der Temperaturwert in Blau unterhalb der Temperaturskala stellt den Minimalwert in der Aufnahme dar.
- Die vertikalen und horizontalen Profilschnitte zeigen anschaulich den Temperaturverlauf entlang ausgewählter und in den thermographischen Aufnahmen eingezeichneter Linien.
- Die Thermogramme zeigen die Oberflächentemperatur von Objekten, eine Aussage über den U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$]) von Bauteilen ist ohne weiterführende Messungen (Wärme-strommessung) nur angenähert möglich.

3.2 Saal 3 der Hofjagd- und Rüstkammer (HJRK)

In der HJRK wurden drei Türelemente untersucht. In Abb. 4 ist die Anordnung der Thermo-elemente dargestellt. Die Messergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 3 eingetragen.



Abb. 4: Türelement im Saal 3 mit der Anordnung der Thermo-elemente.

Tabelle 3: Oberflächentemperaturen der Türen und Raumtemperaturen bzw. relative Feuchte in Saal 3 der Hofjagd- und Rüstkammer während der Thermographie.

	T1	T2	T3	T4	Mitteltemp. Füllung	Raumtemp.	Raumluftfeuchte	Außen-temp.
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[%rF]	[°C]
Türelement 1 mit gasgefüllter Isolierverglasung	15,2	14,1	15,7	14,8	–	17	22	–2
Türelement 2 mit Verbundverglasung und „Fensterpolster“	13,9	14,9	15,1	14,5	13,5	17	22	–2
Türelement 3 unsaniert	12,0	14,5	14,0	14,7	12,5	17	22	–2





3.2.1 Türelement 1 mit gasgefüllter Isolierverglasung (Abb. 5)

Vor allem im Bereich der Bodenfuge und abschnittsweise im Bereich der Mittelfuge ist eine erhebliche Oberflächenabkühlung durch Luftundichtigkeiten festzustellen. An der Bodenfuge liegt die Oberflächentemperatur an der kältesten Stelle nur etwa 3 °C über der Außenlufttemperatur. Die Glastemperaturen sind im Vergleich zu den beiden anderen Varianten gleichmäßiger und höher, bedingt durch die gasgefüllte Isolierglasscheibe.

Die roten (warmen) Zonen in den Verglasungen sind Reflexionen der Saalbeleuchtung.

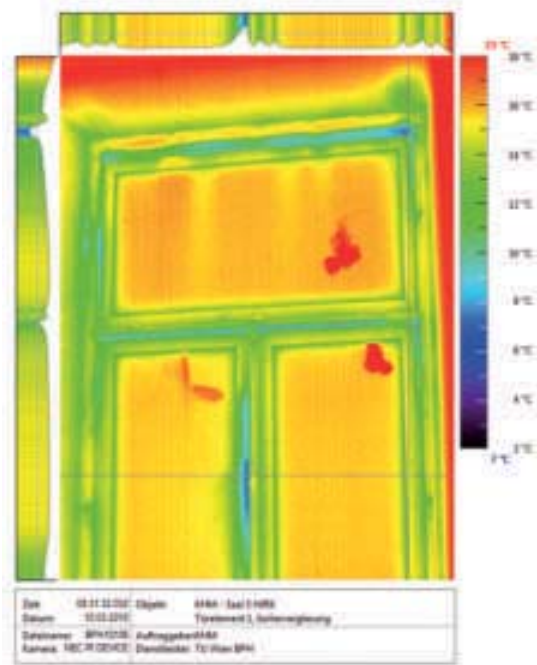


Abb. 5 a

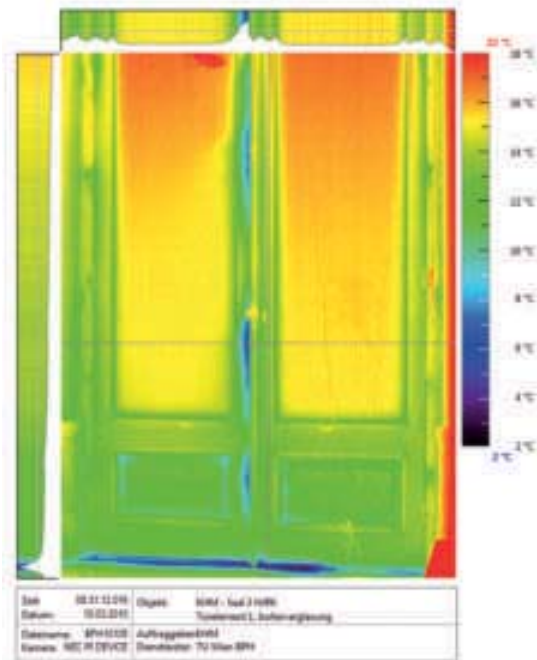


Abb. 5 b

Thermographien von Türelement 1 mit gasgefüllter Isolierverglasung.





A. Huber, A. Korjenic und T. Bednar

3.2.2 Türelement 2 mit luftgefüllter Verbundverglasung und „Fensterpolster“ (Abb. 6)

Bei dieser Variante sind Luftundichtheiten in geringerem Ausmaß und nur im unteren Bereich des Türelementes zu erkennen. Selbst die niedrigste Oberflächentemperatur im Bereich der Fugenundichtheiten liegt rund 7 °C über der Außenlufttemperatur. Die Oberflächentemperatur der Verbundverglasung weist einen höheren vertikalen Temperaturunterschied auf als bei der Variante mit Isolierverglasung.

Im Bereich der Holzfüllungen, also dort, wo der Fensterkasten mit Schaumstoffplatten gedämmt ist, liegt die Temperatur um ca. 2 – 3 K höher als bei Variante 1 und 3 (Fensterkasten ungedämmt).

Die roten (warmen) Objekte in den Verglasungen sind Reflexionen der Saalbeleuchtung.

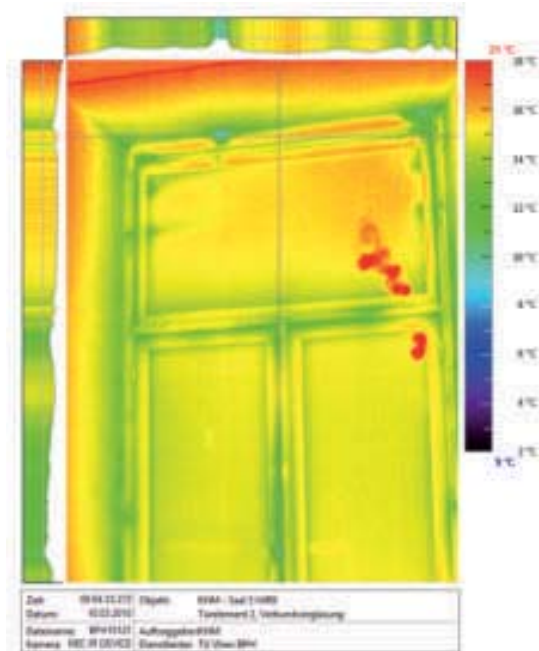


Abb. 6 a

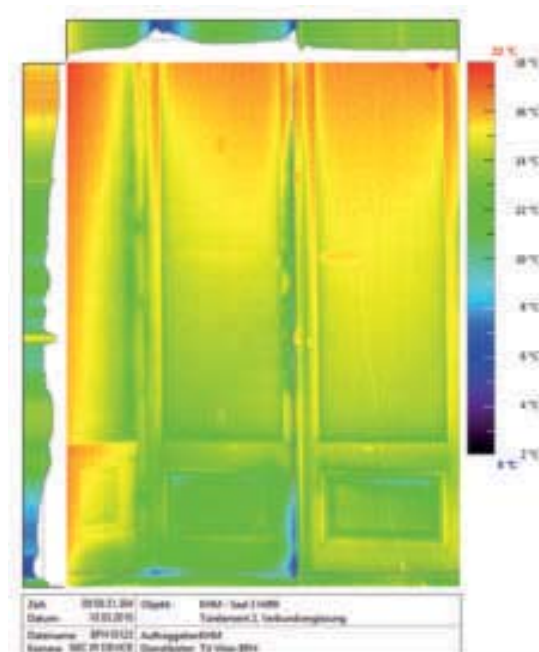


Abb. 6 b

Thermographien von Türelement 2 mit Verbundverglasung.





3.2.3 Türelement 3, unsaniert mit Einscheibenverglasung (Abb. 7)

Bei der unsanierten Variante ist im Bereich der Bodenfuge und vor allem im Bereich der Mittelfuge eine erhebliche Oberflächenabkühlung durch Luftundichtigkeiten festzustellen. Die Oberflächentemperatur der Einscheibenverglasung liegt deutlich unter derjenigen der beiden anderen Varianten. Durch die temperaturbedingte Schichtung der Luft im Zwischenraum des Elements kommt es auch zu einer deutlich erkennbaren Abkühlung im Bereich der Türfüllung.

Die roten (warmen) Objekte in den Verglasungen sind Reflexionen der Saalbeleuchtung.

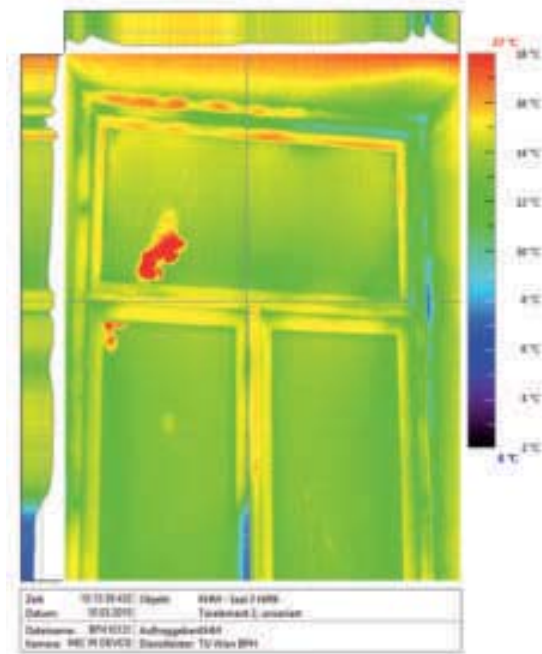


Abb. 7 a

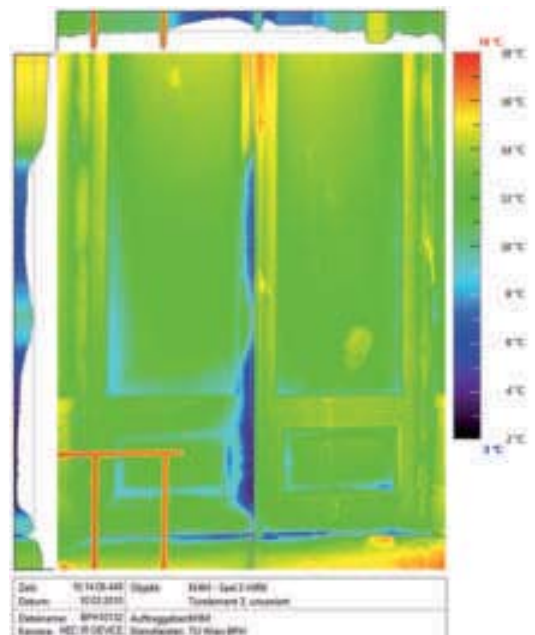


Abb. 7 b

Thermographien von Türelement 3 unsaniert mit Einscheibenverglasung.



3.3 Jagdplateau der Hofjagd- und Rüstkammer

Auf dem Jagdplateau wurden zwei Türelemente untersucht. Die Anordnung der Thermofühler ist in *Abb. 8* dargestellt. Die Messergebnisse sind in der nachfolgenden *Tabelle 4* eingetragen.



Abb. 8: Türelement auf dem Jagdplateau der Hofjagd- und Rüstkammer mit der Anordnung der Thermoelemente.

Tabelle 4: Oberflächentemperaturen der Türen und Raumtemperaturen bzw. relative Feuchte auf dem Jagdplateau der Hofjagd- und Rüstkammer während der Thermographie.

	T1	T2	T3	T4	Mitteltemp. Füllung	Raum- temp.	Raumluft- feuchte	Außen- temp.
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[%rF]	[°C]
Türelement 4 unaniert	12,5	14,1	13,2	15,0	12,8	17	26	-1
Türelement 5, Fugen saniert und „Fensterpolster“	13,6	15,3	14,2	14,9	15,0	17	26	-1





3.3.1 Türelement 4, unsaniert (Abb. 9)

Vor allem im Bereich der Bodenfuge und im unteren Teil der Mittelfuge ist eine Oberflächenabkühlung durch Luftundichtigkeiten festzustellen. An der Mittelfuge und im unteren Bereich der Füllungen liegt die Oberflächentemperatur an der kältesten Stelle um etwa 8 °C über der Außenlufttemperatur.

Durch die temperaturbedingte Schichtung der Luft im Tür-Zwischenraum kommt es auch zu einer deutlich erkennbaren Abkühlung des Elements im unteren Bereich.

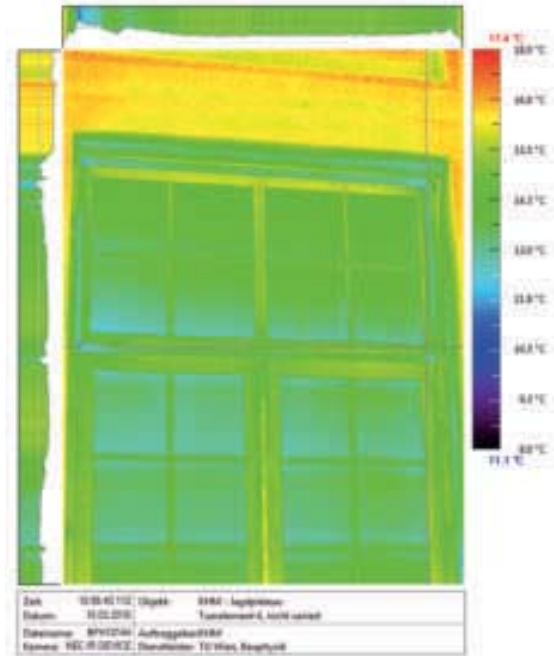


Abb. 9 a

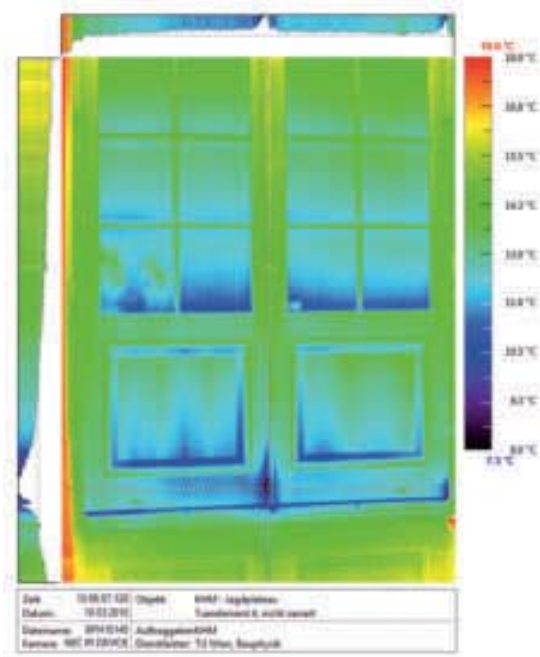


Abb. 9 b

Thermographien von Türelement 4 unsaniert mit Einscheibverglasung.





3.3.2 Türelement 5, Fugendichtung optimiert, Zwischenraum gedämmt („Fensterpolster“) (Abb. 10)

Im Bereich der Bodenfuge und in geringerem Ausmaß im unteren Teil der Mittelfuge ist eine Oberflächenabkühlung durch Luftundichtigkeiten festzustellen. Durch die temperaturbedingte Schichtung der Luft im Tür-Zwischenraum kommt es auch zu einer erkennbaren Abkühlung des Elements im unteren Bereich (Türfüllung). Allerdings sind die unteren Bereiche der Verglasungen sowie die Türfüllungen gegenüber dem Referenzelement 4 um 2,5 – 4 K wärmer, da der Luftraum zwischen Außen- und Innenflügel mit Dämmstoff („Fensterpolster“) ausgefüllt wurde.

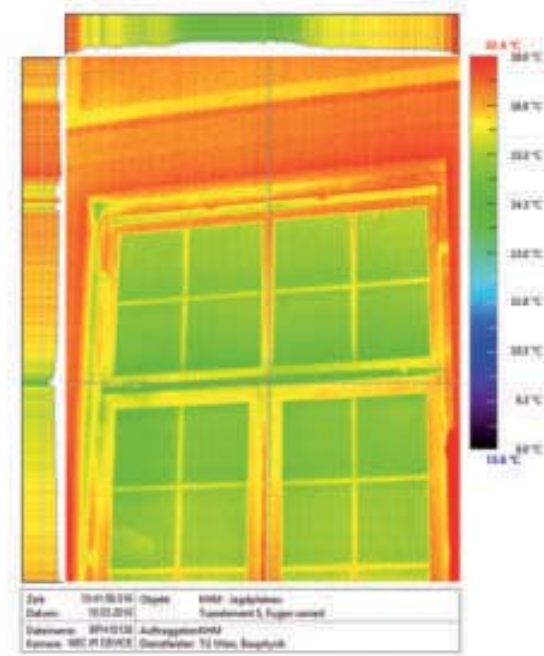


Abb. 10 a

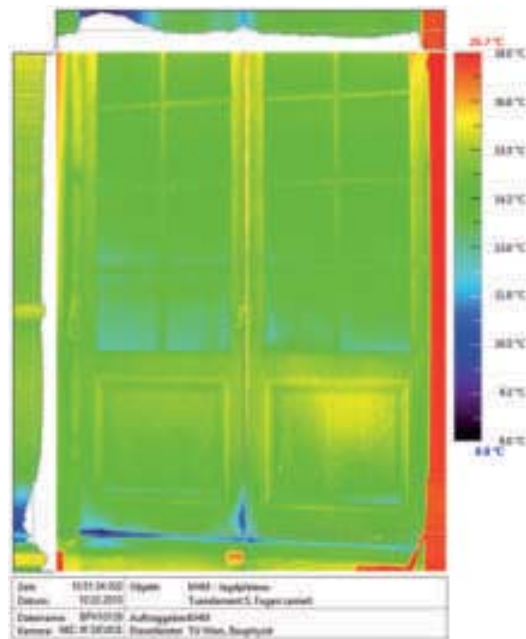


Abb. 10 b

Thermographien von Türelement 5, Fugendichtung optimiert, Zwischenraum gedämmt („Fensterpolster“).





3.4 Auswertung der Thermographien

Aus den Messungen der Oberflächentemperaturen und dem Temperaturgefälle zur Außenluft lassen sich die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) der untersuchten Bauteile aufgrund der folgenden physikalischen Beziehungen angenähert folgendermaßen bestimmen:

$$t_{i0} = t_i - (R_{si}/R_T) \cdot (t_i - t_e)$$

$$R_T = 1/U = R_{si} \cdot (t_i - t_e) / (t_i - t_{i0})$$

$$U = 1/R_T$$

Dabei bedeutet t_{i0} die innere Oberflächentemperatur des Bauteils (Fensterscheibe, Füllung), t_i die Innentemperatur („Raumtemperatur“), t_e die Außentemperatur, R_{si} den inneren Wärmeübergangswiderstand mit $0,13 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ und R_T den Wärmedurchlasswiderstand. Der Wärmedurchgangskoeffizient U [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] lässt sich damit leicht als Kehrwert des Wärmedurchlasswiderstandes ermitteln.

Die an den jeweiligen Messpunkten errechnete Verringerung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) und die daraus abgeschätzte thermische Verbesserung des Bauteils ist aus *Tabelle 5* ersichtlich:

Die Oberflächentemperaturen der Messpunkte T3 der Türelemente 1, 2 und 3 in der Hofjagd- und Rüst-kammer sind durch die halb herabgelassene beschichtete

Sonnenschutzfolie im Fensterkasten deutlich angehoben, was sich auch in den Thermographien (sie sind allerdings nur bedingt aussagefähig) sowie in einer Verringerung der U-Werte abbildet. Die beiden unsanierten Türelemente 3 und 4 weisen im unteren Bereich der Innenscheiben praktisch gleiche U-Werte auf. Die großen Türen auf dem Jagdplateau haben keine durchgehenden Lichtschutzfolien, sondern einzelne Bahnen einer gelochten Aluminium-beschichteten Folie („Pergerflex“) als Rollo vor den Außenscheiben; der Wärmedurchgang durch die Außengläser ist dadurch etwas vermindert.

Das Nachdichten der Außenflügel in Element 5 bildet sich durch eine Verringerung des U-Wertes der Innenscheibe beim Messpunkt T1 um 24 % ab, was auch die Messergebnisse des Blower Door Tests bestätigt. Eine Isolier- oder eine Verbundverglasung würde den Wärmedurchgang deutlich verringern. Die Dämmung im unteren Türfüllungs-Bereich („Fensterpolster“) im Türelement 5 wirkt sich – wie auf den Thermographien deutlich sichtbar – signifikant aus: Die Oberflächentemperatur der Füllung wird um mehr als 2 K angehoben, wodurch sich der Wärmedurchgang durch die Füllung halbiert. Da durch die Dämmung und das Nachdichten der Außenflügel der „Kaltluftsee“ im Türkasten verringert wird, ist auch die Scheibentemperatur am Innenflügel deutlich angehoben.

Bei der Dämmung der Verbundglas-Türe 2 in Saal 3 der Hofjagd- und Rüst-kammer wurden die Schaumstoff-

Tabelle 5: Vergleich der durch die Optimierungsmaßnahmen verringerten Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte).

	U-Wert Glas T1	Verringerung im Vergleich zu Glas T1 unsaniert	U-Wert Glas T3	U-Wert Füllung	Verringerung im Vergleich zu Fül- lung ungedämmt
	[$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]	[%]	[$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]	[$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]	[%]
Türelement 3 unsaniert	2,02	–	1,22	1,8	
Türelement 1 mit gasge- füllter Isolierverglasung	0,73	64	0,53	–	
Türelement 2 mit Verbund- verglasung und „Fensterpolster“	1,26	38	0,77	1,5	26
Türelement 4 unsaniert	1,92	–	2,05	1,7	–
Türelement 5, Fugen saniert und „Fenster- polster“	1,45	24	1,62	0,86	52

platten an der Oberseite nicht durch eine genau eingepasste durchgehende Platte abgeschlossen. Dadurch konnte mehr kalte Luft in die Zwischenräume zwischen den Platten eindringen, weshalb dieses Polster nicht so wirkungsvoll war wie die Dämmung auf dem Jagdplateau. Dieses wesentliche Detail muss bei einer allgemeinen Umsetzung von temperierenden Maßnahmen beachtet werden.

Im Blick zu behalten ist auch die Kondensatgefahr im Fenster- bzw. Türkasten, die dann entsteht, wenn feuchte Luft in den Zwischenraum dringt. Die Thermographie bietet ein objektives Kontrollinstrument in Hinblick auf die Frage, ob das Dichten der Innenflügel als zweckmäßig anzusehen ist bzw. wo ein gezieltes Nachdichten notwendig wäre. Weiters ist zu beachten, dass die gewünschte Basisbefeuchtung im Stiegenhaus eine relative Feuchte von 40 %rF nicht überschreiten sollte, weil dann bei 18 °C Raumtemperatur die Absolutfeuchte bei ca. 5 g/m³ liegt und eine Taupunktunterschreitung (bei ca. 4 °C) in den thermisch sanierten Kastenfenstern bzw. -türen ausgeschlossen sein müsste.

Generell kann festgehalten werden, dass sich durch das Nachdichten der Außenflügel und die beschriebenen Optimierungen am Kastenfenster die Heizwärmeverluste über die Fensterfugen um rund 25 % verringern lassen. Der U-Wert der Glasflächen eines Kastenfensters lässt sich durch eine Verbundverglasung („Vorsatzflügel“) am Innenflügel vorsichtig geschätzt um rund 30 % verringern; bei Isolierverglasung beträgt die

Verringerung des Wärmedurchgangs am Innenflügel bis zu mehr als 60 %.

Aus den U-Werten in *Tabelle 5* lässt sich auch die mit der Fensteroptimierung verbundene Energieeinsparung grob abschätzen (*siehe Tabelle 6*). Der Jahresenergiebedarf in kWh pro m² errechnet sich nach der Formel: U-Wert · 24h · Heizgradtage [für Wien: 3.320] / 1.000.

Nimmt man für die Glasflächen der unsanierten Kastenfenster einen U-Wert von rund 2,0 [W/m²K], für die Verbundscheibe U = 1,2 [W/m²K] und für die Isolierverglasung U = 0,7 [W/m²K] an, so ergeben sich folgende Jahresenergiebedarfswerte pro m²:

Allein in Hinblick auf die Ausstellungsräume der HJRK mit 23 Fenstertüren (mit je 4,2 m² Glasfläche und 1,2 m² Füllungsfläche) zuzüglich der drei Rundbogenfenster (mit je 9 m² Glasfläche und 1,5 m² Füllungsfläche) resultiert daraus für die rund 124 m² Glasfläche bei (der billigeren) Verbundverglasung eine Energieersparnis von rund 7.750 kWh pro Jahr; die aus recycelten Ethafoam-Platten (Ausstellungsverpackung) hergestellten „Fensterpölster“ zum Dämmen der rund 32 m² Türfüllungsflächen würden den Heizenergiebedarf um ca. 2.140 kWh pro Jahr verringern. Insgesamt ließen sich nur für diese eine Sammlung pro Jahr etwa 780,- € an Heizkosten einsparen. (Der die Einsparungsmaßnahmen noch begünstigende Einfluss der Lichtschutzeinrichtungen wurde dabei gar nicht berücksichtigt.)

Tabelle 6: Jahresenergiebedarf pro m² und das aus den Optimierungsmaßnahmen resultierende Energiesparpotential.

		U-Wert [W/m ² K]	Jahresenergiebedarf [kWh/m ² ·a]	Differenz [kWh/m ²]	Kosten (Preisbasis 0,08 €/kWh) [€/m ²]
Kastenfenster Glas	unsaniert	2,0	159		
Kastenfenster Glas	Verbundscheibe	1,2	96	63	5,04
Kastenfenster Glas	Isolierglas	0,7	56	107	8,56
Türfüllung Holz	unsaniert	1,7	136		
Türfüllung Holz	gedämmt	0,9	69	67	5,36



4. UMRÜSTEN DER RADIATORHEIZUNG AUF WANDTEMPERIERUNG

Die Frage nach dem Heizsystem mit dem geringsten konservatorischen Schadenspotential spielte im museologischen Diskurs der 1980er und 1990er Jahre eine zentrale Rolle. Durch das EuroCare Projekt EU 1383 „Prevent“ sowie durch zahlreiche realisierte Projekte ist inzwischen zweifelsfrei nachgewiesen, dass alle bauteilgebundenen Wärmeverteilsysteme (Prinzip der Wandtemperierung, *activated walls*) allen anderen Systemen, die frei im Raum verteilte Warmluft als Heizmedium verwenden, konservatorisch-klimatisch signifikant überlegen sind¹⁴. Zu den Vorteilen zählen eine gleichmäßige Wärmeverteilung sowie geringe Strahlungsasymmetrien der Raumlflächen, höhere Konstanz der Temperaturwerte und der relativen Feuchtigkeit, geringerer Nachbefeuchtungsbedarf, geringere Störungsanfälligkeit ohne Gefahrenpotential bei Anlagenausfall und nicht zuletzt ein gegenüber Luftheizungssystemen oder Klimaanlage deutlich verringerter Energieverbrauch von mehr als 20 %. (Unter Einbeziehung aller „externen“ Kosten für Einbau und Wartung einer Vollklimaanlage, Nachbefeuchtung etc. liegt die Betriebskostensparnis in einem Museum um ein Vielfaches darüber¹⁵.)

Gerade das Phänomen der signifikanten Energieeinsparung wird von der konventionellen Heizungs- und Klimatechnik immer wieder in Abrede gestellt, ist aber inzwischen bauphysikalisch abgesichert, da einerseits Luftheizungssysteme tendenziell höhere Lüftungswärmeverluste verursachen und andererseits temperierte Wände im historischen Altbau eine geringere Materialfeuchte sowie in der Folge eine minimierte Wärmeleitfähigkeit und damit einen deutlich höheren Wärmedurchgangswiderstand (bzw. geringeren U-Wert) aufweisen. Als Faustregel für in Altbauten verwendete traditionelle Baustoffe (z. B. Ziegel) gilt: Bei Abnahme des volumsbezogenen Feuchtigkeitsgehalts um 1 % nimmt die Wärmeleitfähigkeit um etwa 10 % ab¹⁶.

Daher besteht eines der ambitioniertesten Ziele des Gesamtklimakonzepts für die Neue Burg in der Idee, die vorhandene Radiatorheizung auf Bauteilaktivierung umzurüsten, ohne dass die vorhandenen Wärmeverteilsysteme geändert werden müssten¹⁷. Durch eine konsequente und flächendeckende Umsetzung dieser Maßnahme ließen sich mit größter Wahrscheinlichkeit mehr als 20 % an Energiekosten einsparen, da erstens aufgrund der höheren Strahlungstemperaturen der Außenwände mit niedrigeren Lufttemperaturen gleich hohe Behaglichkeit erzeugt werden kann und zweitens dadurch ein signifikanter Teil der Lüftungswärmeverluste wegfiel und darüber hinaus der Nachbefeuchtungsbedarf mittels Luftbefeuchter sinken würde¹⁸.

Als Pilotversuch wurden in der oberen Restaurierwerkstatt der Sammlung alter Musikinstrumente (Neue Burg, 1. Obergeschoss/Unterteilung) alle drei Radiatoren entfernt und stattdessen an der Außenwand eine Sockelheizleiste (Fa. L'Orange Vie, Leistung: 200 W/Laufmeter) montiert, die an die vorhandenen Vorlauf- und Rücklaufleitungen des linken vertikalen Steigstranges angebunden wurde (*Abb. 11*). In der darunter befindlichen, flächengleichen Werkstatt (1. Obergeschoss, Raum 0133) wurde der mittlere Radiator entfernt und der rechte Heizkörper (der vom nächstfolgenden Steigstrang angespeist wurde) mit dem linken parallel geschaltet (*Abb. 12*), sodass beide Versuchsräume mit der gleichen Vorlauftemperatur angespeist wurden. In beiden Räumen wurden am 21.1.2010 genormte Wärmemengenzähler (techem compact IV) montiert, die den Energieverbrauch in kWh akkumulierend aufzeichneten. Durch Zwischenablesung wurden ab 23.2.2010 die Verbräuche der einzelnen Messperioden ermittelt (*vgl. Abb. 3 und 4*). Das Messprotokoll ist im Anhang angeführt (*vgl. Tabelle 9*).

¹⁴ F. Boody – H. Großes Schmidt – W. Kippes – M. Kotterer (Hgg.), *Klima in Museen und historischen Gebäuden: Die Temperierung* (Wissenschaftliche Reihe Schönbrunn, Bd. 9), Wien 2004.

¹⁵ Oreszyn – Cassar – Fernandez 1994 (zit. Anm. 5), 144–148.

¹⁶ K. Krec – E. Panzhauser, *Fenster – Außenwände – Lüftung*, in: Stadtmuseum Nordico, Linzer Planungs-institut (Hgg.), *Neue Wege der Klimatisierung im Altbau. Bauphysik in Bezug auf die Sanierung historischer Gebäude* (Linzer Werkstattgespräche 3), 2. Aufl. Linz 1992, 54–75; E. Tschegg – W. Heindl – A. Sigmund, *Grundzüge der Bauphysik*, Wien – New York 1984, 263–265.

¹⁷ Dem Gebäudemanagement unter Ing. Gerhard Seidl und insbesondere Ing. Jörg Stark wird für die kooperative Umsetzung der Versuchsanordnung gedankt. Dr. Franz Pichler (Fa. Techem) danke ich für die jahrelange geduldige Beratung und Unterstützung.

¹⁸ D. Leipoldt, *Kurzbericht über Heizkostenreduzierung / Energieeinsparungen / Investitionseinsparungen im Anlagenbau durch den Einsatz der Temperierung*, in: Boody – Großes Schmidt – Kippes – Kotterer 2004 (zit. Anm. 14), 214–218 (auf CD).



A. Huber, A. Korjenic und T. Bednar



Abb. 11 a: Anstelle der Radiatoren wurde in der oberen Werkstatt die Sockelheizleiste entlang der Außenwand verlegt.



Abb. 11 b: Die Sockelheizleiste ist an die vorhandene Vorlauf- und Rücklaufleitung des Wärmeverteilsystems angeschlossen. Der Wärmeverbrauch kann über einen Wärmemengenzähler abgelesen werden.



Abb. 12: Zwei Radiatoren im Raum wurden parallel geschaltet und mittels Wärmemengenzähler wurde ihr Gesamtverbrauch ermittelt.





In beiden Versuchsräumen wurden an je fünf Messpunkten Temperatur- und Feuchtefühler angebracht¹⁹, um Verlauf und Verteilung von Raumtemperatur und relativer Feuchte zu dokumentieren und somit ein räumliches „Klimaprofil“ zu erstellen. Nach einigen misslungenen Versuchen mit den vorhandenen, aber inzwischen altersbedingt unzuverlässigen Luftbefeuchtern wurden im März 2010 zwei neue Geräte (Luftbefeuchter WD-B 450 der Fa. WD-Austria 26) gekauft und ab 17.3.2010 mit Stromzähler-Zwischensteckern ausgerüstet, um über den Verbrauch der Geräte den Nachbefeuchtungsbedarf vergleichen zu können. In beiden Räumen wurde vor der hofseitigen Außenwand im Wandabstand von 3 cm ein „Bild“ (Spanplatte 10 mm; 140 x 104 cm) montiert und an der Rückseite ein Fühler befestigt, um die Temperaturentwicklung hinter einem an einer „kalten Wand“ aufgehängten Bild, abhängig vom Heizsystem, untersuchen zu können.

Beide Räume waren „fremdbeheizt“, denn unterhalb des radiatorbeheizten (unteren) Werkstattraumes befindet sich ein radiatorbeheizter Büroraum mit ca. 22 °C Raumtemperatur; über dem mit Sockelheizleiste beheizten (oberen) Werkstattraum liegt ein Archivraum, in dem am Vergleichstag ebenfalls knapp 22 °C gemessen wurden.

4.1 Position der Messfühler im Raum

Die Messfühler wurden in den in *Tabelle 7* angeführten Positionen angeordnet: Um einen Einfluss der Heizrohre bzw. der Heizleiste möglichst zu unterbinden, wurden die Fühler T_{iu} mit Alublech gegen die Strahlungsquelle abgeschirmt.

In den Kurvenblättern bezeichnet das Kürzel OW die Fühler der oberen Werkstatt mit Sockelheizleiste („Wandtemperierung“), UW die Fühler der unteren Werkstatt („Radiatorheizung“). Die Außentemperatur wurde über den Außenfühler im Hof A erfasst.

4.2 Justierung der Thermostatventile

Die Thermostatventile wurden so justiert, dass sich auf dem türwandseitig an gleicher Stelle montierten hochwertigen Holzindustrie-Wandthermometer (Hygro-Thermometer Fa. Lauber, D-Alfdorf) in beiden Räumen die gleiche Gleichgewichtstemperatur („Raumtemperatur“) von 20 °C ergab. Dabei stellte sich während der Vollheizperiode Februar – März die „empfundene Temperatur“ am Arbeitsplatz (Fühler T_{iu} in Sitzhöhe neben dem Arbeitstisch) im Raum mit Heizleiste um ca. 1 – 2 K höher ein als im Raum mit Radiatorheizung. Dadurch war gleichzeitig dem Vorwurf der Manipulation vorgebeugt, dass durch absichtliche Drosselung der Raumtemperatur niedrigere Verbüräuche erzielt werden sollten.

Tabelle 7: Anordnung und Kurzbezeichnung der Messfühler im oberen und unteren Werkstattraum.

Nr.	Bezeichnung	Position
1	<i>obere Werkstatt</i> <i>untere Werkstatt</i>	an der Decke (Raumhöhe 3,2 m) türseitig an der Decke (Raumhöhe 3,6 m) türseitig
2	T_{io}	20 cm unter der Decke, fensterseitig
3	T_{iu}	„Arbeitsplatz“ (68 cm hoch), gegen Heizrohre mit Alublech abgeschirmt
4	<i>Wand</i>	hinter Spanplatte 10 mm, 140 x 104 cm („Bild“)
5	<i>Fenster</i>	in Kopfhöhe vor dem Fenster

¹⁹ Klimaampel SmartSwitch II Z, Fa. FreyTec/Ing. Roland Frey Informationstechnik, Wolfgraben.



4.3 Fragestellungen

Es sollten folgende Fragestellungen behandelt werden:

1. Wie verhalten sich beide Heizsysteme tendenziell hinsichtlich der Temperaturprofile im Raum?
2. Wie verhalten sich beide Heizsysteme tendenziell hinsichtlich der Klimakonstanz (Verlauf von Temperatur und relativer Feuchte), z. B. auch im Falle eines „Klimaschocks“?
3. Wie reagieren die Systeme im Volllastbetrieb (Thermostatventile ganz auf)?
4. Wie reagieren die Systeme in Hinblick auf einen bewussten Sparbetrieb (Sockelheizleiste) versus „Normalverhalten“ (Radiatoren)?
5. Gibt es Unterschiede im Nachbefeuchtungsbedarf?
6. Lassen sich die durch Heizen bei offenem Fenster im Frühjahr verursachten Heizenergieverluste quantifizieren?

4.4 Auswertung der Messungen

Die Messfühler waren am 9.2.2010 fertig montiert. Nach der Einjustierphase wurde zunächst das stationäre Verhalten der beiden Systeme erfasst. Auf den folgenden Diagrammen ist das „Klimaprofil“ von jeweils einem Raum abgebildet. Die oberen fünf Kurven geben den Temperaturverlauf an den beschriebenen Messpunkten wieder; die darunter befindlichen drei Linien entsprechen der relativen Feuchte an den markantesten Raumpunkten, wobei gleiche Farben dem jeweils gleichen Messpunkt entsprechen (zur besseren Lesbarkeit wurden die Messwerte der relativen Feuchte hinter dem „Bild“ und vor dem Fenster weggelassen). Die in Hof A gemessene Außentemperatur ist grau unterlegt. Bei jedem Beispiel ist zuerst der Klimaverlauf im konventionell mit Radiatoren beheizten Raum dargestellt, dem der gleiche Messzeitraum im Raum mit Sockelheizleiste gegenübergestellt ist.

4.4.1 „Stationäres“ Verhalten von Radiatorheizung und Sockelheizleiste (Wandtemperierung)

In Abb. 13 ist das Verhalten der Temperatur- und Feuchtezustände des mit Radiatoren beheizten Raumes dem mit einer Sockelheizleiste temperierten Raum im „stationären“, d. h. im mehr oder weniger gleichmäßigen und ungestörten, Betrieb bei überwiegend

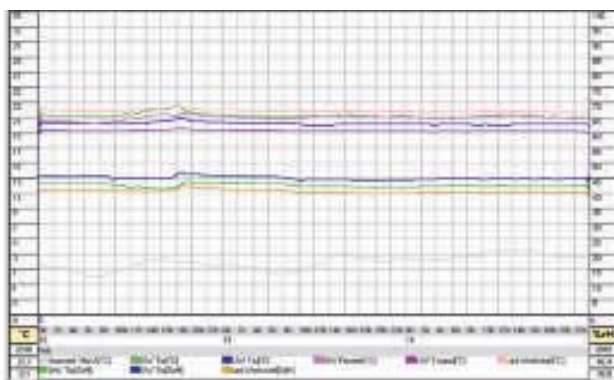


Abb. 13 a: Raum mit Radiatorheizung (Freitag bis Sonntag). Der Klimaverlauf ist sehr gleichmäßig. Im Deckenbereich (rosa) ist es mit 22 – 23 °C um 2 K wärmer als am Arbeitsplatz (blau).

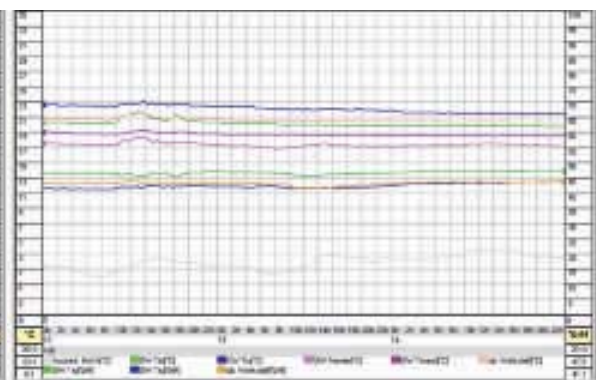


Abb. 13 b: Klimaprofil im Raum mit Wandtemperierung (Freitag bis Sonntag). Der Klimaverlauf ist sehr gleichmäßig. Der Arbeitsplatz (blau) ist mit 22 – 23 °C angenehm temperiert; im Deckenbereich (rosa) ist es um 2,5 K kühler.





geschlossenen Türen (Wochenende) gegenübergestellt. Es kommt zu einer Schichtung der Lufttemperatur, wobei im radiatorbeheizten Raum das Temperaturmaximum von 22,8 °C im Deckenbereich auftritt; der Temperaturverlauf am Arbeitsplatz liegt bei 20,5 – 21 °C. Die Temperatur hinter dem „Bild“ beträgt sehr gleichmäßig etwa 19 °C; am Fenster über den Radiatoren treten Temperaturen im Behaglichkeitsbereich auf.

Im Raum mit Wandtemperierung ist die Temperatur im unteren Wanddrittel, also am Arbeitsplatz, mit 22,5 – 23 °C am höchsten; unter der Decke liegt sie um rund 2,5 K darunter. Die Wandtemperatur hinter dem „Bild“ unterscheidet sich nicht merklich von derjenigen des Vergleichsraumes. Die niedrige Temperatur beim Fenster in einem Bereich, der zwischen 17 und 18 °C liegt, ist an der unteren Grenze des Behaglichkeitsfeldes angesiedelt und wird daraus erklärbar, dass die Fühler zunächst am „Kämpfer“ (Unterkante der Oberlichte) befestigt waren. Sie wurden nach der zweiten Messung in Kopfhöhe, d. h. zur unteren Fensterquersprosse, versetzt, was dem tatsächlichen Körperempfinden besser entspricht.

Die Spreizung der Luftschichten-Temperatur und der relativen Feuchten ist in etwa gleich. Entsprechend dem „gespiegelten“ Temperaturverlauf ist die Feuchte im temperierten Raum unter der Decke etwas höher als in Fußbodennähe.

Es ist evident, dass der durch Konvektion (von den Radiatoren) bewirkte Wärmestau an der Decke des unteren Versuchsraumes den oberen (temperierten) Raum stärker mitheizt als der obere Raum (ohne Wärmestau an der Decke) den darüberliegenden radiatorbeheizten Raum. Der untere Raum wird allerdings ebenfalls vom Wärmestau des darunterliegenden radiatorbeheizten Raumes mitbeheizt, sodass dieser Einfluss als vernachlässigbar angesehen wird.

4.4.2 „Klimaschock“ 16.2.2010

Am 16.2.2010 wurde bei 3 °C Außentemperatur durch Öffnen der Fenster von 14.15 bis 15.00 Uhr ein „Klimaschock“ provoziert (Abb. 14). Im „stationären“ Betrieb zeigten sich keine signifikanten Unterschiede. Der Temperatureinbruch erscheint bei der Sockelheizleiste etwas stärker, allerdings stabilisierte sich nach dem Ereignis die ursprüngliche Temperatur rascher auf dem alten Niveau. Die relative Feuchte im temperierten Raum ist tendenziell etwas höher; die Unterschiede liegen jedoch nahe den Messtoleranzen der Feuchtefühler. Der Fenster-Temperaturfühler befindet sich offensichtlich durch die offen stehenden Fensterflügel im Strahlungseinfluss der Wand und ist dadurch vor einem größeren Temperaturabfall geschützt.

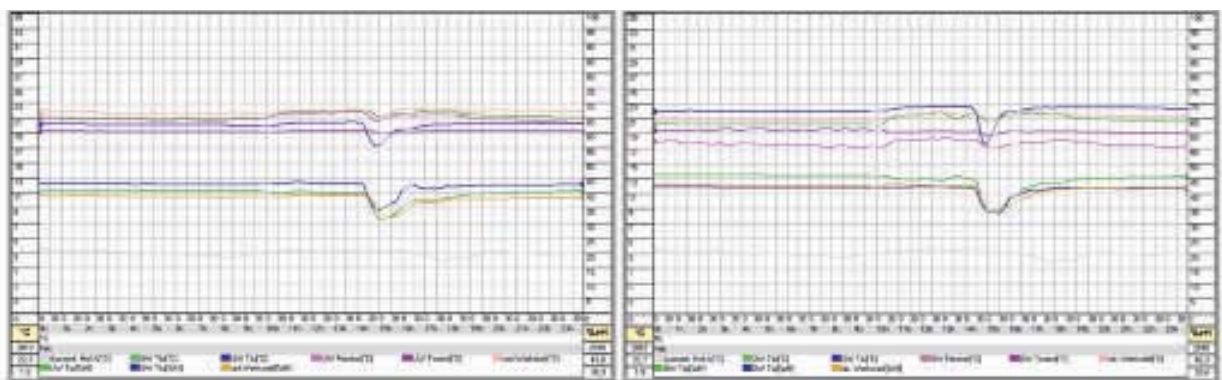


Abb. 14 a: Klimaschock im Raum mit Radiatorheizung. Die Spreizung der relativen Feuchte ist etwas größer als in Abb. 14 b.

Abb. 14 b: Klimaschock im Raum mit Wandtemperierung. Die Temperatur stabilisiert sich etwas rascher wieder auf dem ursprünglichen Niveau.



4.4.3 Stationärer „Volllastbetrieb“ 19.–21.2.2010

Am 18.2.2010 wurden in beiden Versuchsräumen die Thermostatventile voll aufgedreht und es wurde das grundsätzliche Verhalten der beiden Systeme im ungestörten Betrieb untersucht (Freitag bis Montag 00.00 Uhr; *Abb. 15*). Die im Raum umgewälzte Radiator-Heizluft bewirkte ein häufigeres Einschalten des Luftbefeuchters – der Feuchteverlauf im temperierten Raum ist insgesamt konstanter.

4.4.4 „Kontrollierter Heizbetrieb“ 22.2.–28.2.2010

In KW 8 (22.–28.2.2010) wurde ein „kontrollierter Heizbetrieb“ untersucht, wobei in beiden Räumen die Thermostatventile auf 4 eingestellt waren (*Abb. 16*). Dabei zeigte sich, dass der radiatorbeheizte Raum im fluktuierenden Tagesbetrieb zu größerer Instabilität tendiert. Im temperierten Werkstatttraum war am Dienstag kein Betrieb (kein Licht, keine inneren Lasten und Personen), Mittwoch bis Freitag haben hingegen drei StudentInnen gearbeitet (Licht, Leimkocher etc.).

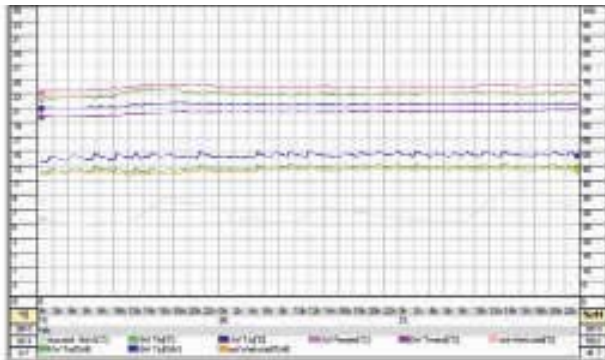


Abb. 15 a: Überwiegend stationärer Vollbetrieb (Ventilstellung 6) im Raum mit Radiatorheizung (Freitag und Wochenende). Zusätzlich Luftbefeuchter aufgestellt und auf 48 %rF justiert. Häufigere Einschaltintervalle sind gut erkennbar.

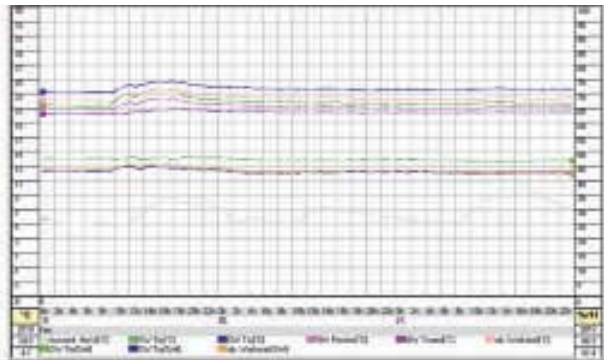


Abb. 15 b: Überwiegend stationärer Vollbetrieb (Ventilstellung 6) im Raum mit Wandtemperierung (Freitag und Wochenende). Zusätzlich Luftbefeuchter aufgestellt und auf 48 %rF justiert.

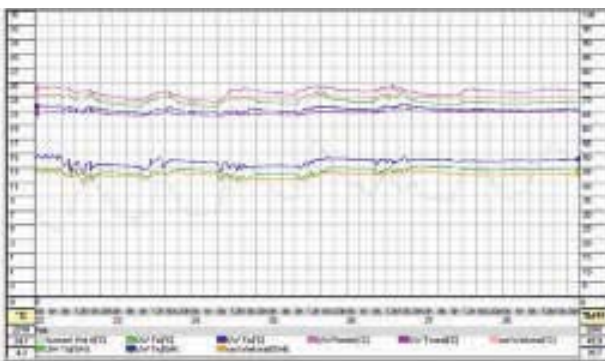


Abb. 16 a: Kontrollierter Heizbetrieb im Raum mit Radiatorheizung (Ventilstellung 4), Luftbefeuchter 48 %rF. An den Werktagen höhere Tageserwärmung durch Beleuchtung und innere Lasten. Tendenziell unruhiger Klimaverlauf mit größerer Spreizung als bei Wandtemperierung.

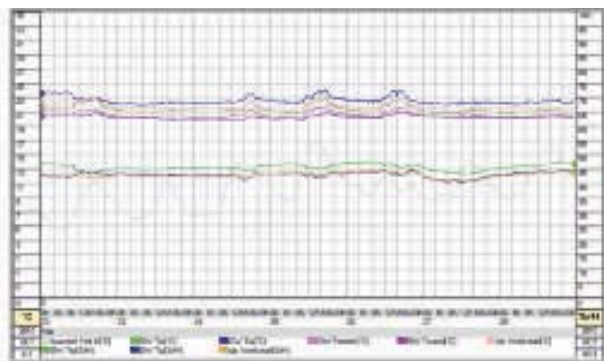


Abb. 16 b: Kontrollierter Heizbetrieb im Raum mit Wandtemperierung (Ventilstellung 4), Luftbefeuchter 48 %rF. An den Werktagen höhere Tageserwärmung durch Beleuchtung und innere Lasten. Tendenziell ruhiger Klimaverlauf mit geringerer Spreizung als bei Radiatorheizung.





Der kontrollierte Heizbetrieb wurde bis zum 8.3.2010 fortgeführt; am Wochenende erfolgte ein Kälteeinbruch. In diesen zwei Wochen wurden im temperierten Raum 65 kWh Heizenergie verbraucht, im radiatorbeheizten Raum 107 kWh.

4.4.5 „Üblicher Heizbetrieb vs. Sparbetrieb“ 8.3.–14.3.2010

Um die Spreizung der Verbrauchsvariablen auszuloten, wurde in KW10 das Thermostatventil der Radiatoren etwas höher gedreht („üblicher Heizbetrieb“, Ventilstellung 4,2) und die Sockelheizleiste leicht gedrosselt („bewusstes Sparen“, Ventilstellung 3,8) (Abb. 17). Die Gleichgewichtstemperatur lag im radiatorbeheizten Raum mit 19,8 °C anfangs um 0,2 K unter der des temperierten Raums; am Ende der Woche war das Verhältnis umgekehrt und die Temperatur im temperierten Raum lag mit 19,9 °C um 0,1 K unter derjenigen des radiatorbeheizten Raumes. Im temperierten Raum stieg die Arbeitsplatztemperatur im Untersuchungszeitraum von 22,4 auf 22,8 °C; im radiatorbeheizten Raum fiel diese jedoch trotz höherer Ventilstellung von 20,7 auf 20,3 °C, um am letzten Tag wieder auf 20,6 °C zu steigen, was auf den Kälteeinbruch zurückgeführt werden könnte.

Der Kälteeinbruch bis 0 °C schlug sich auch im Verbrauch nieder: Die Sockelheizleiste im Sparbetrieb (ohne Komfortverlust) verbrauchte 23 kWh; die Radiatoren verbrauchten im gleichen Zeitraum mit 45 kWh fast die doppelte Heizwärmemenge.

4.4.6 „Frühjahrs-Normalbetrieb“ in öffentlichen Bauten: Heizung bei offenem Fenster 15.3.– 15.4.2010; 15.–19.4.2010 bzw. 1.5.–31.5.2010

Die Vorlaufregelung der Heizungsanlage der Neuen Burg ist seit etwa 15 Jahren über einen Außentemperaturfühler gesteuert. Die Heizanlage wird aktiviert, wenn die Außentemperatur im Burggarten 15 °C unterschreitet. Dies hat zur Folge, dass fast jedes Jahr im September zu heizen begonnen wird, obwohl die Räume durch die vom Sommer gespeicherte Wärme Temperaturen zwischen 23 und 25 °C aufweisen. Im Frühjahr hingegen bleibt die Heizung eingeschaltet, solange die Außentemperaturen nachts unter 15 °C absinken, auch wenn durch solare Strahlungseintrag die Raumtemperaturen längst über 20 °C angestiegen sind. Im Frühjahr 2010 war die Heizanlage am 10. Juni noch aktiv.

Seit vielen Jahren wird in der Übergangszeit beobachtet, dass an sonnigen Tagen tagsüber in vielen Büros die Fenster offen stehen und die unterhalb der Fenster situierten Radiatoren aufgedreht sind. Selbst wenn das Thermostatventil auf „Sparmodus“ gestellt ist, kann der Eintritt kühlerer Außenluft dazu führen, dass das Thermostatventil aufmacht. In jedem Fall geht aufgrund der gebäudeeigenen Thermik fast die gesamte vom Radiator abgegebene Konvektionswärme durch das Fenster verloren. Neben den Lüftungswärmeverlusten ist auch der Nachbefeuchungsbedarf durch die Luftbefeuchter höher. Diese Thematik sollte genauer untersucht werden.

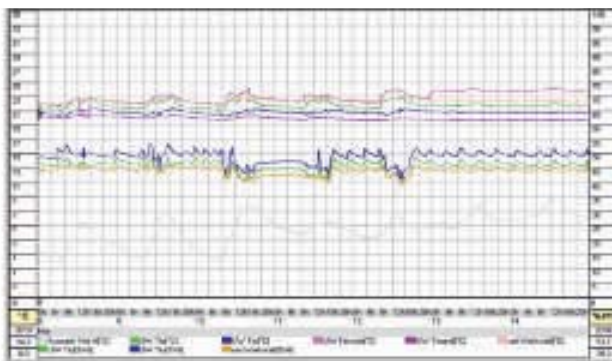


Abb. 17 a: „Normaler“ Heizbetrieb im Raum mit Radiatorheizung (um 9 Uhr Ventilstellung 4,2). An Werktagen stärkere Fluktuation durch offene Türen, Beleuchtung und innere Lasten. Tendenziell unruhiger Klimaverlauf mit größerer Spreizung als bei Wandtemperierung.

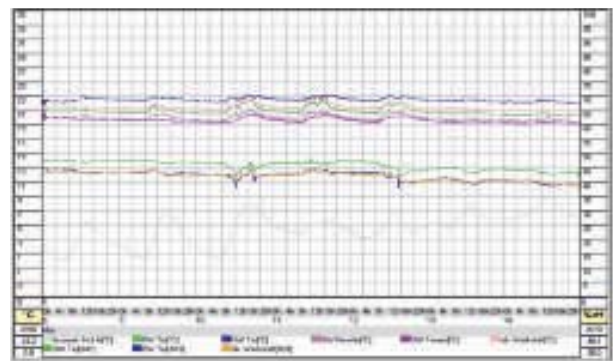


Abb. 17 b: „Sparsamer“ Heizbetrieb im Raum mit Wandtemperierung (um 9 Uhr Ventilstellung 3,5). An den Werktagen stärkere Fluktuation durch offene Türen, Beleuchtung und innere Lasten. Tendenziell ruhiger Klimaverlauf mit geringerer Spreizung als bei Radiatorheizung.



Zunächst wurde über einen Monat im radiatorbeheizten Raum bei Ventilstellung 4,2 „normaler Heizbetrieb“ eingestellt und regelmäßig untertags ein Fenster geöffnet. Im temperierten Raum war das Thermostatventil auf „Sparbetrieb“ (Ventilstellung 3,5) geschaltet und für den gleichen Zeitraum ebenfalls ein Fenster geöffnet (Abb. 18). Zwischen 15.3.2010 und 15.4.2010 wurden im temperierten Raum 119 kWh verbraucht; im radiatorbeheizten Raum lag der Verbrauch mit 217 kWh um den Faktor 1,8 höher.

Zwischen 15.4. und 19.4. wurde nochmals der Verbrauch bei Vollbetrieb (Thermostatstellung 6) beider Systeme in der fortgeschrittenen Übergangszeit untersucht (Abb. 19). In dieser Zeit verbrauchte die Sockelheizleiste 27 kWh, der Mehrverbrauch der Radiatorheizung mit 40 kWh lag um den Faktor 1,5 darüber. Für diese Messung konnte auch erstmals der Verbrauch der Luftbefeuchter störungsfrei ermittelt werden²⁰. Im temperierten Raum lag der Verbrauch bei einer Laufzeit von knapp 4 Stunden bei 0,12 kWh; der Luftbefeuchter des radiatorbeheizten Raums verbrauchte in 9:40 Stunden 0,31 kWh.

Im letzten Messzeitraum wurde der „in den Büros übliche Heizbetrieb in der Übergangszeit“ (Ventilstellung 4,2) dem „Sparbetrieb in der Übergangszeit“ (Ventilstellung 3,5), gegenübergestellt, wobei in beiden Räumen werktags fallweise zur gleichen Zeit gelüftet wurde (Abb. 20). Zwischen 19.4. und dem Ende der Heizperiode (10.6.2010) verbrauchte die Sockelheizleiste 2 kWh; im radiatorbeheizten Raum wurden im gleichen Zeitraum 263 kWh sprichwörtlich „zum Fenster hinaus geheizt“. Es muss allerdings eingeräumt werden, dass bis 10. Juni 2010 in beiden Räumen die Steigstränge mit Warmwasser versorgt waren und somit auch der temperierte Raum indirekt mit Wärme versorgt war. Durch eine andere als die bisher übliche Form der Wärmeverteilung könnten die Lüftungswärmeverluste allerdings drastisch verringert werden.

Entsprechend hoch war auch der Nachbefeuchtungsbedarf: Im temperierten Raum lief der Luftbefeuchter 12:40 Stunden mit einem Verbrauch von 0,36 kWh; im radiatorbeheizten Raum lag der Verbrauch nach 83:18 Stunden bei 2,54 kWh bzw. um den Faktor 7 darüber.

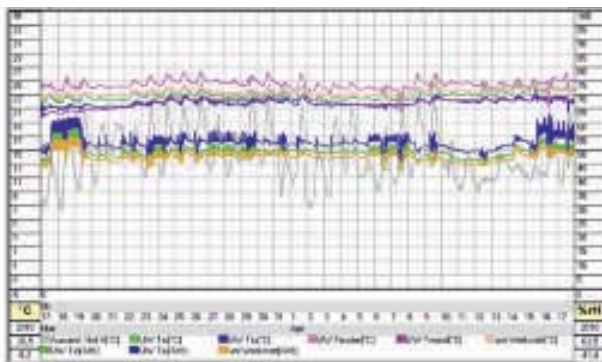


Abb. 18 a: „Normaler“ Heizbetrieb im Raum mit Radiatorheizung. (Am 17.3.2010 neue Befeuchter mit größerer Regelhysterese installiert.) An den Werktagen stärkere Fluktuation durch offene Türen, Beleuchtung und innere Lasten. Tendenziell sehr unruhiger Klimaverlauf mit größerer Spreizung als bei Wandtemperierung.

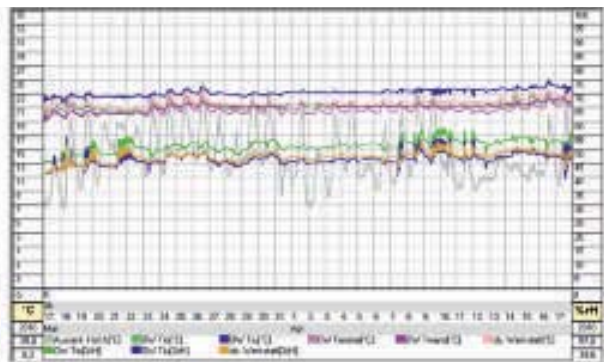


Abb. 18 b: „Sparsamer“ Heizbetrieb im Raum mit Wandtemperierung. (Am 17.3.2010 neue Befeuchter mit größerer Regelhysterese installiert.) An den Werktagen stärkere Fluktuation durch offene Türen, Beleuchtung und innere Lasten. Tendenziell ruhiger Klimaverlauf mit geringerer Spreizung als bei Radiatorheizung.

²⁰ Bei den vorherigen Messperioden kam es immer wieder zu Pannen wegen irrtümlich abgedrehter Hauptschalter, leergelaufener Geräte etc., die einen objektiven Vergleich nicht möglich machten.



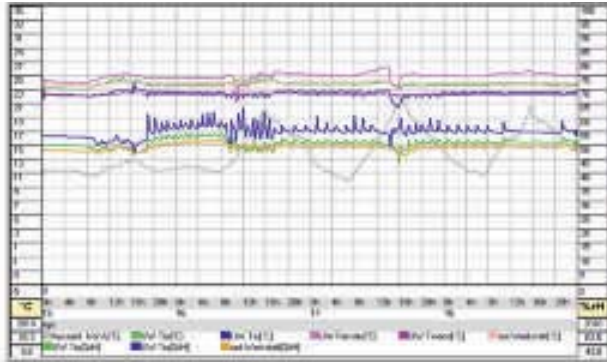


Abb. 19 a: Voll-Heizbetrieb in der Übergangszeit im Raum mit Radiatorheizung (Ventilstellung 6). An den Werktagen stärkere Fluktuation durch offene Türen und Fenster. Tendenziell unruhiger Klimaverlauf mit größerer Spreizung als bei Wandtemperierung.



Abb. 19 b: Voll-Heizbetrieb im Raum mit Sockelheizleiste (Ventilstellung 6). Luftbefeuchter schaltet sich erst am dritten Tag ein. Tendenziell ruhiger Klimaverlauf mit geringerer Spreizung als bei Radiatorheizung.

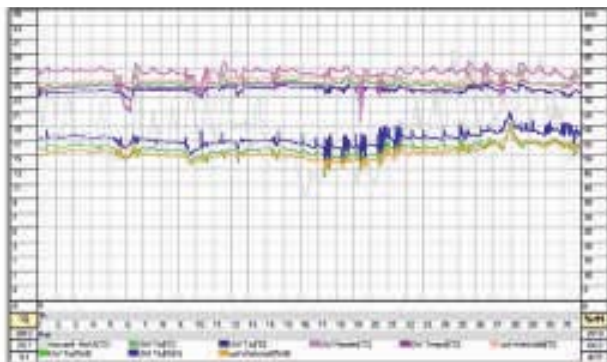


Abb. 20 a: „Üblicher“ Heizbetrieb in der Übergangszeit (Heizen bei offenem Fenster) im Raum mit Radiatorheizung (Ventilstellung 4,2). An den Werktagen mit kühler Außentemperatur stärkere Fluktuation durch Zugluft. Tendenziell unruhiger Klimaverlauf mit größerer Spreizung als bei Wandtemperierung.

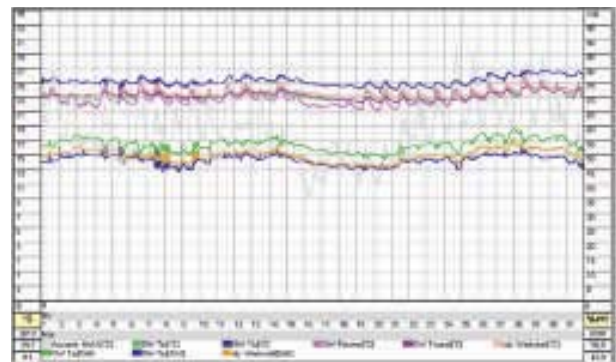


Abb. 20 b: Kontrollierter Heizbetrieb (Ventilstellung 3,5) in der Übergangszeit im Raum mit Sockelheizleiste. Diese hat sich ab 20.4.2010 nicht mehr eingeschaltet. Wärmegewinne nur durch Steigstränge. An den Werktagen stärkere Fluktuation durch offene Türen und Fenster. Tendenziell ruhiger Klimaverlauf mit geringerer Spreizung als bei Radiatorheizung.

4.5 Resümee

Der akkumulierte Endstand der seit 21.1.2010 (mit Zählerstand 0) eingebauten Wärmemengenzähler betrug am 10.6.2010 im Raum mit Radiator-Heizung 1.172 kWh, im Raum mit Sockelheizleiste 562 kWh, wobei sich letzterer Endstand nach dem 23.4. (= 48 Tage) nicht mehr geändert hat.

Die signifikanten Unterschiede im Heizwärmeverbrauch erfordern eine vorsichtige Beurteilung. Der enorme Mehrverbrauch vor allem in der Übergangszeit (in der Neuen Burg war aufgrund der kühlen Witterung und Außenfühlersteuerung bei Raumtemperaturen von 23 °C bis zu 25 °C die Heizanlage bis Anfang Juni in Betrieb) ist ohne besonderen Erklärungsbedarf überwiegend auf Lüftungsverluste zurückzuführen. Vom 23.4. (hier blieb der Zähler der Sockelheizleiste stehen) bis Ende der Heizperiode verbrauchte der radiatorbeheizte Raum (bei Ventilstellung 4,2 und untertags fallweise offenem Fenster – wie in vielen Büros üblich) weitere 259 kWh (wobei auch im temperierten Raum zum jeweils gleichen Zeitpunkt die Fenster offen waren). Es scheint evident, dass radiatorbeheizte Räume zum Erreichen von „Behaglichkeit“ (Wandoberflächentemperaturen) generell höhere Lufttemperaturen erfordern und damit diese Räume auch einen höheren Druck aufweisen, was die Lüftungswärmeverluste erhöht.

Der Raumluftzustand im temperierten Raum wird von den Nutzern als „leichter“ als im radiatorbeheizten beschrieben und die Luftqualität gilt prinzipiell als angenehm. Die durch die sog. „Warmluftwalze“ an den kalten Außenbauteilen und Fensterflächen ständig konvektiv vorbei geführte Raumluft bewirkt – im Vergleich zum weitgehend „stationären“ Zustand einer temperierten Außenwand – möglicherweise in einem nicht unmaßgeblichen Ausmaß eine Erhöhung des konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten α .

Der Mehrverbrauch des Luftbefeuchters (im Messzeitraum um den Faktor 7), der beim Einzelgerät vernachlässigt werden kann, würde sich bei den ca. 40 in der Neuen Burg stationierten Geräten jedoch über einen längeren Zeitraum deutlich zu Buche schlagen. Die signifikant längere Laufzeit führt letztlich auch zu einem rascheren Verschleiß der Geräte.

Nicht zuletzt ist aus den Klimakurven bei bauteilgebundener Wärmeverteilung auch ein deutlich stabilerer Klimaverlauf ablesbar. Sowohl aus konservatorischen als auch aus ökonomischen Gründen ist somit ein Umbau der Heizanlage von konvektiver Wärmeverteilung mittels Radiatoren auf bauteilgebundene Wärmeverteilung mittels Sockelheizleiste zu empfehlen.

Unabhängig davon wird auch ein Umrüsten der Vorlaufregelung von Außenluftfühler-Steuerung auf Bauteil-(Masse-)fühler-Steuerung empfohlen.

Bezüglich der simulierten „Kalte-Wand-Problematik“ ließen sich keine signifikanten Unterschiede feststellen. Offenkundig war das Format des „Bildes“ hinsichtlich der Größe des Wandabschnittes zu klein bzw. die Pufferwirkung der 65 cm dicken Ziegelwand zu groß. Die Temperatur im Luftraum zwischen Bildrückseite und Wandoberfläche war bei der Sockelheizleiste geringfügig höher; in beiden Fällen war der Klimaverlauf konstant.

4.6 Thermographische Auswertung

In zwei Werkstattträumen der Sammlung alter Musikinstrumente mit unterschiedlichen Wärmeverteilsystemen wurden die Wandbereiche unmittelbar neben den Fenstern sowie im Einflussbereich der Heizelemente (Radiator bzw. Sockelheizleiste) untersucht. Die Thermoelemente wurden wie folgt angeordnet:

- T1: in etwa 3 m Höhe an der Wand;
- T2: in etwa 1 m Höhe an der Wand;
- T3: etwa 5 cm hinter dem Rand der Holzplatte („Bild“);
- T4: Raumtemperatur in 1 m Höhe.

Die Messergebnisse sind in der nachfolgenden *Tabelle 8* eingetragen.

Diese Thermogramme und die Messung der Wandoberflächen mit Thermoelementen zeigen nur geringe Unterschiede der Temperaturen (*Abb. 21 bis 24*).

Bei der Sockelheizung ist der vertikale Temperaturverlauf im Vergleich zur Radiatorheizung umgekehrt. Die Oberflächentemperatur des Radiators liegt mit 43,5 °C

Tabelle 8: Oberflächen- und Raumtemperaturen bzw. relative Feuchte im unteren und oberen Werkstatttraum während der Thermographie.

	T1	T2	T3	T4	Raumtemperatur	Raumluftfeuchte	Außentemperatur
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[%rF]	[°C]
Werkstatt unten (Radiatoren)	19,2	19,1	18,1	20,3	20,5	43	0
Werkstatt oben (Sockelheizung)	19,7	20,2	19,2	20,7	21,3	38	0



Abb. 21 a

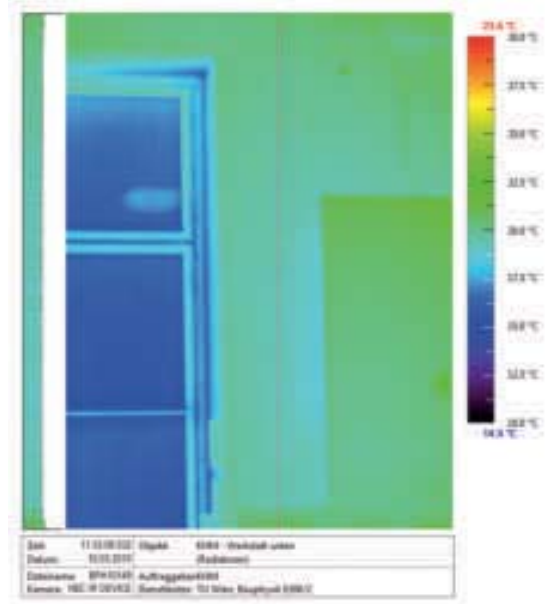


Abb. 22 a



Abb. 21 b
Unterer Werkstattraum mit Radiatorheizung.

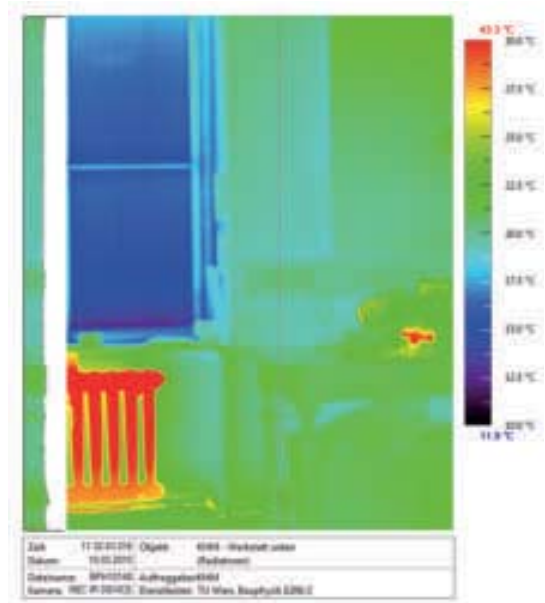


Abb. 22 b
Thermographien des radiatorbeheizten Raumes.



A. Huber, A. Korjenic und T. Bednar



Abb. 23 a

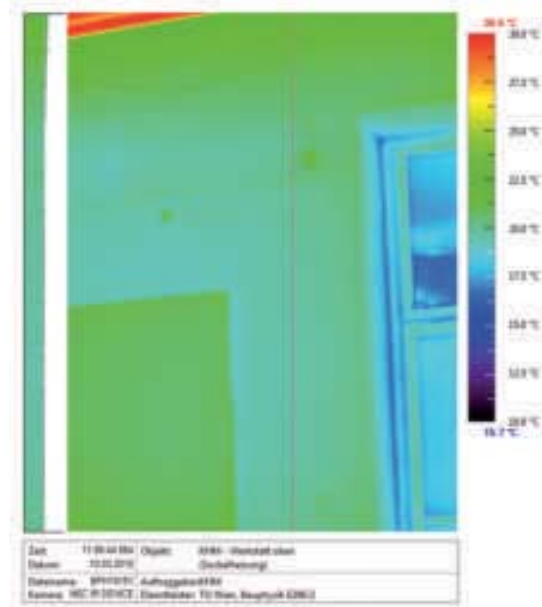


Abb. 24 a



Abb. 23 b
Oberer Werkstattraum mit Sockelheizleiste.

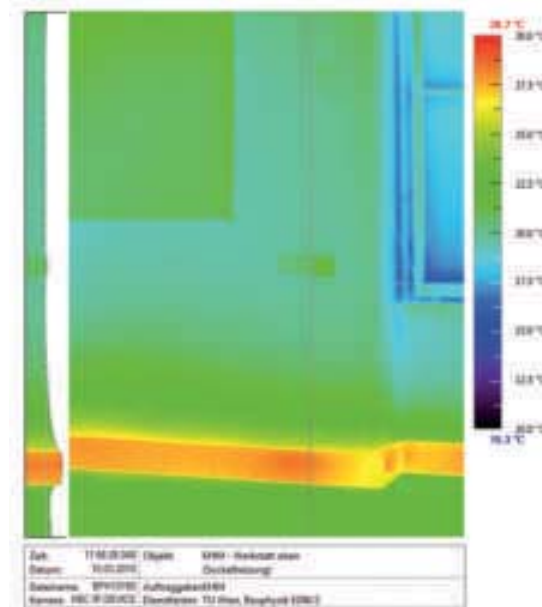


Abb. 24 b
Thermographien des Raumes mit Sockelheizleiste.





deutlich über derjenigen der Heizleiste (28,7 °C); dennoch ist in der Aufenthaltszone die Wandtemperatur im Raum mit Sockelheizung höher. Obwohl die Lufttemperatur unter der Decke im radiatorbeheizten Raum deutlich höher liegt, ist die Wandtemperatur in 3 m Höhe um 0,5 K tiefer als im Raum mit Sockelheizung.

5. ABSCHLIESSENDE ÜBERLEGUNGEN

Ziel dieser Arbeit ist es, den Entscheidungsverantwortlichen bauphysikalisch abgesicherte Grundlagen an die Hand zu geben, um in denkmalgeschützten Museumsbauten oder Verwaltungsgebäuden aus der Gründerzeit Verbesserungsmaßnahmen durchzuführen, die in dieser Form von keiner Norm erfasst und deshalb der Eigenverantwortung des Gebäudeerhalters anheim gestellt sind. Da unter Denkmalschutz stehende historische Gebäude von der EU-Gebäuderichtlinie ausgenommen sind, besteht bisher auch kein unmittelbarer gesetzlicher Druck zu deren Umsetzung.

Die Ausgliederung einzelner Verwaltungseinheiten wie etwa der Museen, der Universitäten oder auch der ehemaligen Bundesgebäudeverwaltung und ihre Umwandlung in privatrechtlich geführte, womöglich auf Gewinn ausgerichtete Betriebsgesellschaften hat zwar den Entscheidungsspielraum der einzelnen Geschäftsführungen beträchtlich erweitert; langfristig wirksame, nachhaltige Systemänderungen und Investitionen werden dadurch aber nicht forciert, im Gegenteil: So wird etwa die – aus Steuermitteln basisfinanzierte – heutige Bundesimmobiliengesellschaft (BIG) oder die Burghauptmannschaft Österreich (BHÖ) nur zögerlich Initiativen zur thermischen Sanierung eines von ihr verwalteten Gebäudes ergreifen, weil der „Gewinn“, nämlich die Verringerung der Heizwärmeverluste und Betriebskosten, nicht ihnen,

sondern den – ebenfalls ausgegliederten und aus Steuermitteln basisfinanzierten – eingemieteten Nutzern, also etwa einer Universität, einer Kaserne oder einem Museum, zugutekommt. Das „sparsame Wirtschaften“ und somit zugleich auch das Hintanhalten der dringend notwendigen nachhaltigen Investitionen wird dann vielleicht sogar am Ende des Geschäftsjahres mit einem heute üblichen – wiederum aus Steuermitteln unterstützten – Bonus belohnt.

Um zukunftsrelevante Investitionen durchzusetzen, muss das Einsparpotential signifikant hoch sein und zusätzlich an die politische Verantwortung der Entscheidungsträger appelliert werden. Da Energie in Zukunft mit großer Wahrscheinlichkeit rascher teurer werden wird als prognostiziert, werden sich energieeffiziente Maßnahmen früher amortisieren als erwartet.

6. ANHANG

Messprotokoll (Auszug, *Tabelle 9*) des Vergleichs zwischen Radiatorheizung und Bauteiltemperierung (Sockelheizleiste). In der Vollheizperiode Februar – März wurden die Thermostatventile so justiert, dass sich auf den an gleicher Stelle montierten Wandthermometern im Raum mit Sockelheizleiste die gleiche Gleichgewichtstemperatur („Raumtemperatur“) wie im Raum mit Radiatorheizung ergab (sie kann auch etwas höher sein). Dabei war die „empfundene Temperatur“ am Arbeitsplatz (Fühler T_{iu} in Sitzhöhe neben dem Arbeitstisch) im Raum mit Heizleiste um ca. 1 – 2 K höher als im Raum mit Radiatorheizung. Dadurch war gleichzeitig dem Vorwurf der Manipulation vorgebeugt, dem zufolge durch eine absichtliche Drosselung der Raumtemperatur niedrigere Verbräuche erzielt werden sollten.

Tabelle 9: Messprotokoll (Auszug). Werte vom 31.5. entsprechen dem Endzählerstand am Ende der Heizperiode.

Datum	Zeit	OW Temperierung					UW Radiatoren				
		Δ kWh	kWh	T_{in}	Raumtemp.	%rF	Δ kWh	kWh	T_{in}	Raumtemp.	%rF
09.02.	09:30	8	179	21,4	19,6		13	269	19,8	19,4	
10.02.	10:00	5	186	22,3	19,6		9	282	20,2	19,6	
11.02.	09:00	5	192	22,3	19,6		8	294	20,3	19,6	
15.02.	09:30	21	221	21,5	19,4		36	346	20,1	19,4	
16.02.	09:30	10	231	21,9	19,6		12	358	20,1	19,5	
	14:15	2	233				3	361			
	15:00	1	234	20,6	19,3	35	1	362	17,9	19,1	34
	18:00	2	236				2	364			
17.02.	11:00	8	244	22,2	19,8		9	373	20,2	19,6	
18.02.	09:30	7	254	22,6	19,8		8	385	20,5	19,7	
19.02.	09:30	8	267	23,3	20,1		13	406	21,2	20,0	
22.02.	09:30	28	304	23,6	20,3		49	461	21,3	20,2	
23.02.	10:30	6	310	22,6	20,0		6	467	20,2	20,0	
24.02.	11:00	8	318	22,8	20,0		7	474	20,8	20,0	
25.02.	10:00	4	322	22,7	19,9		9	483	21,0	20,0	
26.02.	13:30	5	327	23,1	20,2		10	493	21,7	20,2	
01.03.	09:00	15	342	22,6	20,0		23	516	21,0	20,0	
02.03.	12:00	5	347	22,9	20,2		9	525	21,4	20,2	
05.03.	14:00	14	361	23,2	20,5		24	549	21,1	20,2	
08.03.	09:00	14	375	22,4	20,0		25	574	20,7	19,8	
09.03.	08:30	6	381	22,3	19,9		11	585	20,6	19,8	
10.03.	09:00	7	388	22,5	19,8		10	595	20,3	19,8	
12.03.	09:30	10	398	22,8	19,9			610	20,6	20,0	
15.03.	11:00	16	414	22,7	20,0		37	656	21,3	20,1	
19.03.	11:00	16	430	22,8	20,0		43	699	21,5	20,2	
22.03.	09:00	9	439	22,5	19,8		24	723	21,5	20,1	
24.03.	12:30	5	444		20,6		17	740		20,8	
29.03.	19:00	5	449		20,2		31	771		20,6	
30.03.	13:00	1	450		20,2		3	774		20,8	
31.03.	17:00	5	455	22,8	20,1		4	778	22,4	20,8	
06.04.	09:30	31	486		20,1		32	810		20,2	52
07.04.	10:00	4	491		20,2	48	4	816		20,2	52
08.04.	10:00	3	496		20,2	52	5	823		20,3	52
09.04.	08:10	2	500		20,3	52	5	830		20,5	51
12.04.	09:00	13	515		20,2	52	20	852		20,6	50
14.04.	18:00	13	528		20,8	53	15	867		21,0	53
15.04.	18:30	5	533		20,8	53	6	873		20,8	52
16.04.	09:30	5	538		20,6	52	9	882		21,0	53
17.04.	18:00	10	548			52	14	896		21,0	53
18.04.	09:00	5	553		20,6	52	7	903		20,8	54
19.04.	10:00	7	560	24,1	20,5	52	10	913	23,0	21,0	54
23.04.	09:30	2	562	24,1	20,5	52	38	948	23,3	21,1	48
26.04.	12:00	0	562		20,7	53	24	974		21,1	48
30.04.	09:00	0	562	24,5	21,0	52	26	1000	22,7	21,1	52
03.05.	18:00	0	562	25,2	21,0	55	16	1016	23,9	21,2	58
10.05.	17:00	0	562	25,3	22,0	54	47	1063	24,9	23,9	54
25.05.	17:00	0	562	25,4	21,1	54	107	1170	24,5	21,8	56
31.05.			562					1172			



ZUSAMMENFASSUNG

Ein Jahrzehnt nach Einsatz der sog. „Museumsmilliarde“ zur Sanierung der österreichischen Bundesmuseen zeigt sich, dass die in den Sanierungskonzepten definierten klimatischen Rahmenbedingungen zur „Präventiven Konservierung“ nicht zuverlässig erfüllt werden können und, vor allem auf dem Gebiet der thermischen Sanierung, weitere Maßnahmen ergriffen werden müssen. Eine Erhöhung der Klimakonstanz ist nur über einen kontrollierten Luftwechsel möglich; Voraussetzung dafür ist allerdings ein Nachdichten der Gebäudehülle, womit gleichzeitig die Heizenergieverluste verringert werden können.

Der Beitrag untersucht mittels Blower Door Test und Thermographicaufnahmen einfache Maßnahmen zur Optimierung bereits sanierter großformatiger Fenster und Balkontüren im denkmalgeschützten Altbau, wodurch deren Wärmedurchgang sowie die Lüftungswärmeverluste um weitere 25 % gesenkt werden können.

In einem zweiten Pilotprojekt wird die Möglichkeit zur Umrüstung einer bestehenden Radiatorheizung auf Bauteiltemperierung (d. i. das Heizsystem mit dem geringsten

konservatorischen Schadenspotential) mittels Sockelheizleiste untersucht und der Wärmebedarf der Wärmeabgabegeräte (Radiator bzw. Sockelheizleiste) mittels Wärmemengenzähler erfasst. Neben der signifikant verbesserten Klimakonstanz konnte auch ein deutlich verringerter Nachbefeuchtungsbedarf sowie ein im Vollastbetrieb um ca. 25 – 30 % verringerter Heizwärmebedarf nachgewiesen werden. In der Übergangszeit ab Mitte April lag (wegen des Heizens bei offenem Fenster) der Mehrverbrauch der Radiatoren zwischen 50 und 100 %. Am Ende des Messzeitraumes betrug die von den Radiatoren abgegebene Wärmemenge mehr als das Doppelte von derjenigen der Sockelheizleiste. Bei Gebäuden mit in den Außenwänden verlegten Steigsträngen einer durchgehend betriebenen Zentralheizung wird eine Vorlaufsteuerung über Bauteilfühler (statt Außenluftfühler) empfohlen.

Die beiden Pilotprojekte schaffen Entscheidungssicherheit für die Sinnhaftigkeit der Nachsanierung von großformatigen Fenstern und Türen sowie für die Umrüstung von Radiatorheizung auf Bauteiltemperierung.

SUMMARY

A decade after the implementation of the so-called “museums billion” for the refurbishment of the Austrian federal museums, it is clear that the environmental conditions for “preventive conservation” defined in the renovation concepts have not been reliably fulfilled and, particularly with regard to thermal refurbishment, further measures must be taken. An increase in climatic stability is only possible through controlled air exchange; the prerequisite for this, however, is the sealing of the building shell, through which heating energy loss can simultaneously be reduced.

The essay investigates simple measures for the optimization of already refurbished large-format windows and balcony doors in a historic listed building using the “Blower Door Test” and thermographic imaging, through which heat transmission and heating loss could be reduced by a further 25 %.

In a second pilot project, the possibility of converting an existing hydronic system to a wall-based radiant heating system (a so-called activated wall or ‘wall tempering’ system, i.e., the heating system with the least

damage potential, conservation-wise) using a baseboard heating strip was investigated and the thermal requirements of the heating devices (radiator or baseboard heating strip) were measured via heat meter. Beside the significantly improved climatic stability, a considerably reduced need for humidification and a c. 25 – 30 % reduction in heating energy demand under full load operation could also be proven. In the transitional season beginning in mid-April, the overuse of the radiators (due to heating with the windows open) lay between 50 and 100 %. At the end of the measurement period, the amount of heat emitted by the radiators was more than twice that of the baseboard heating strip. In buildings with the risers of a continuously-run central heating system laid in the exterior walls, flow control using building component sensors (rather than exterior air sensors) is recommended.

Both pilot projects make a confident case for the refurbishment of large-format windows and doors and for the adaptation of radiator heating to activated wall heating systems.