

- burg bei Weißensee. Baugeschichtliche Aufarbeitung der bisherigen Forschungsergebnisse (Arbeitshefte des Thüringischen Landesamts für Denkmalpflege Erfurt), Erfurt 1998.
- Mühlmann*, Ottoger: Die Jenaer Hypokaustenanlage, in: *Forschungen und Fortschritte. Nachrichtenblatt der deutschen Wissenschaft und Technik*, 32. Jg., Berlin 1958, H. 10, S. 300–304.
- Nagel*, Herbert: Kachelöfen des 15. bis 17. Jahrhunderts (Schriftenreihe Wohnkunst und Hausrat einst und jetzt), hrsg. von Heinrich Kreisel, Bd. 8, Darmstadt o. J. (1954).
- Rhamm*, Karl: Die Grosshufen der Nordgermanen (Ethnographische Beiträge zur germanisch-slavischen Altertumskunde 1), Braunschweig 1905.
- Reiners*, Holger: Kamine. Aktuelle Entwürfe – traditionelle Formen, München 1995.
- Retzius*, Gustaf: Finnland. Schilderungen aus seiner Natur, seiner alten Kultur und seinem heutigen Volksleben, übers. v. Cornelius Appel, Berlin 1885.
- Schier*, Bruno: Hauslandschaften und Kulturbewegungen im östlichen Mitteleuropa, Göttingen 1966.
- Sprenger*, Eberhard: Recknagel/Sprenger – Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, München 1974.
- Steinbrecht*, Konrad: Die Heizanlagen in den Deutschorndensburgen in Preußen, in: *Zentralblatt der Bauverwaltung*, Jg. 40, Berlin 1920, S. 154–158.
- Stolle* 1998: Siehe *Meckseper* 1998.
- Strebel*, Ottmar (Hrsg.): Behaglichkeit durch offene Kamine und Kachelöfen, Fellbach/Stuttgart 1979³.
- Tonezzer*, Lucia: Mittelalterliche Ziegelbrandöfen, in: *Mittelalterliche Öfen und Feuerungsanlagen. Beiträge des 3. Kolloquiums des Arbeitskreises zur archäologischen Erforschung des mittelalterlichen Handwerks*, hrsg. vom Landesamt für Denkmalpflege Baden-Württemberg (Materialhefte zur Archäologie in Baden-Württemberg, H. 62), Stuttgart 2002, S. 101–114.
- Voss*, Ludwig von: Über die Lüftheizungsapparate im Schloss Marienburg in Preußen, in: *Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbflusses in Preußen*, 9. Jg., Berlin 1830, S. 41–48.
- Winter*, Ludwig: Die Burg Dankwarderode zu Braunschweig, Braunschweig 1883.

Konrad Fischer

Die konservatorische Temperierung

Grundlagen, Planung, Ausführung und Betrieb am Beispiel von Schloss Veitshöchheim bei Würzburg

Die oft kurzfristigen Schwankungen der Luftfeuchte und der Raumtemperatur in unbeheizten oder falsch geheizten Gebäuden belasten die Bausubstanz und das Inventar. In Museen, Schlössern oder Kirchen erhöhen größere Besuchergruppen die Luftfeuchte. Eine stetige Hüllflächentemperierung kann die kurzfristigen Klimaänderungen dämpfen und damit als konservatorische Maßnahme den Alterungsprozess der Bausubstanz sowie an den Materialoberflächen verlangsamen. Diese präventive Konservierung, bei der die optimierten Aufbewahrungsbedingungen für das Inventar und die Exponate die restauratorischen Eingriffe entweder gar nicht erst notwendig machen oder die erforderlichen Restaurierungszyklen zumindest auf möglichst große zeitliche Abstände strecken, verlängert auch die Instandhaltungsintervalle des Bauwerks. Der folgende Beitrag erläutert die Planungsgrundlagen und Ausführungsdetails am Beispiel des museal genutzten Gartenschlosses Veitshöchheim.

Das Bauwerk

Schloss Veitshöchheim wurde 1680 bis 1682 als „Sommer- und Lusthaus“ des Würzburger Fürstbischofs Peter Philipp von Dernbach nach Plänen des Werkmeisters Heinrich Zimmer erbaut. Unter Fürstbischof Carl Philipp von Greiffenclau fügte Balthasar Neumann 1753 die seitlichen Pavillonbauten an und gab dem Dach und dem Treppenhaus seine heutige Gestalt. Der etwa 55 m lange und im Mittel 12 m breite Baukörper mit zwei Vollgeschossen hat Geschosshöhen von ungefähr fünf Metern. Das Dachgeschoss ist nicht ausgebaut. Die Fassaden mit bis zu 70 Zentimetern starken Außenwänden bestehen aus verputztem Natursteinmauerwerk und weisen vorwiegend Kreuzstockfenster mit Einfachverglasung auf. Fürstbischof Adam Friedrich von Seinsheim ließ 1760 den Rokokogarten mit Seen, Wasserspielen und über 200 Sandsteinskulpturen des Hofbildhauers Ferdinand Tietz anlegen. Stuckaturen von Antonio Bossi und die um 1810 eingerichteten Räume des

Großherzogs Ferdinand von Toskana mit seltenen Papiertapeten prägen die hochwertige Raumausstattung. Das museal genutzte Schloss ist im Winter für den Besucherverkehr geschlossen.

Bauschäden vor der Restaurierung als Auslöser der Hüllflächentemperierung

Die witterungs- und nutzungsbedingten Feuchte- und Temperaturschwankungen beschädigten sowohl die steinerne Baukonstruktion als auch die hochwertige mobile und wandfeste hölzerne Ausstattung. Die Klimamessungen im ungeheizten Bauwerk vor dem Projektstart belegten im März etwa 13° C höhere Außentemperaturen und damit eine erhebliche Kondensationsgefahr von feuchter Warmluft an den ausgekühlten Bauteilen und dem Inventar. Deswegen veranlassten das Staatliche Hochbauamt Würzburg und die Bayerische Schlösserverwaltung den Einbau und Betrieb einer klimastabilisierenden Hüllflächen



Abb. 1. und 2. Die Schlossanlage im Luftbild (Foto: Bayer. Schlösserverwaltung) und Schlossansicht von Westen.



Abb. 3. und 4. Papiertapete im Abort, darüber Entlüftungsschacht.



temperierung als konservatorische Gegenmaßnahme. Sie wurde im Zusammenhang mit der ohnehin anstehenden Restaurierung der Raumschalen und einigen nutzungsbedingten Umbauten von 2001 (Planungsstart) bis 2006 (Einweihung) verwirklicht.

Zur Fensterfrage

Die Sollkondensation an den Einfachfenstern und deren ausreichende Fugendurchlässigkeit vermindern in der Heizperiode den Feuchtegehalt der Raumluft. Damit kann sie mit weniger Energie aufgeheizt werden. Wärmetechnisch bieten Einfachfenster vor allem bei strahlungsintensivem Heizbetrieb also keine Nachteile. Die Wärmestrahlung im Infrarot-Bereich der Wellenlänge $> 2,7 \mu\text{m}$ kann übrigens das Fensterglas ebenso wie das Ultraviolett (UV)-Licht im Bereich $< 0,3 \mu\text{m}$ nicht durchdringen – im Gegensatz zum sichtbaren Licht im dazwischenliegenden Spektrum.

Der maßgebliche Teil des Wärmetransports durch die Außenhülle ist von deren Verhalten gegenüber der Wärmestrahlung und nicht von der mit dem fiktiven U-Wert¹ berechneten Wärmeleitfähigkeit abhängig (vgl. hierzu auch Abb. 12).

Ein einfaches Beispiel kann das veranschaulichen:

In einem Raum mit 20 m^2 und $2,50 \text{ m}$ Höhe stehen in der Heizperiode die an der kalten Fassadenseite abkühlenden Energiemengen aus 50 m^3 Heizluft mit $62,5 \text{ kg}$ Gewicht einer Infrarot (IR^2)-Wärmeabstrahlung der erwärmten Oberflächen von Innenwänden, Decke und Fußboden mit über 10 Tonnen speicherfähiger Baumasse gegenüber. Insofern ist das Verhalten der Fassadenbaustoffe gegenüber der Wärmestrahlung der entscheidende Faktor.

Schwere Massivbauteile können der Durchstrahlung mit elektromagnetischen Wellen selbstverständlich wesentlich mehr Widerstand leisten als leichte Materialien, wie übliche

„Dämmstoffe“. Deswegen ist Mauerwerk, Holz oder eben Fensterglas jedem schütteren und leicht durchstrahlbaren Baustoff überlegen. Außerdem filtert jede zusätzliche Fensterscheibe mehr kostenlose Energie aus dem Tageslicht und verringert damit den Heizkosten sparenden Energiegewinn des Bauwerksinneren durch eindringende Solarstrahlung.

Im Gegensatz zu den üblichen Annahmen sind die Einfachfenster auch im Schloss Veitshöchheim echte Energiesparkonstruktionen. Sie wurden im Bestand erhalten. Gleichwohl erhielten sie aus konservatorischem Grund in den Museumsbereichen lichtfilternde Innenvorhänge. Viele historische Materialoberflächen sind lichtempfindlich: Pigmente bleichen aus, Textilien und Leder werden brüchig, organische Bindemittel korrodieren, Temperaturspannungen und wärmebedingte lokale Austrocknung beanspruchen alle Materialien. Die Lichtenergie ist im musealen Umfeld ein durchaus ernstzunehmender Schadensfaktor. Deswegen ist der Lichtschutz dem Energiesparen übergeordnet.

Die konservatorische Zielstellung der Hüllflächentemperierung

Neben den „normal“ zu beheizenden Gebäudebereichen, wie Kastellanswohnung, Büro, Kasse und Besuchertoiletten, waren die musealen Schau- und Nebenbereiche lediglich nach konservatorischen Gesichtspunkten zu temperieren. Die bisher gegebene Belastung des Bestandes durch Kondensataufnahme und Temperaturwechsel sollte vermindert werden.

Damit kam eine Klimatisierung im museumsüblichen Umfang mit aufwändiger Luftbehandlung und Anlagentechnik nicht in Frage. Sie hätte zwar definierte Luftzustände erreichen können, jedoch – und das zeigen die vielen Schäden durch Heizung und Klimatisierung – die damit verbundenen Temperatur- und Feuchteschwankungen im Nahbereich der Bausubstanz und des Inventars nur ungenügend reduzieren vermögen. Deswegen wurde ein langsames und begrenztes Nachführen der Raumluftfeuchte und -temperatur an die äußeren Witterungsverhältnisse angestrebt. Die raumseitigen Oberflächen der Bauteile und des Inventars werden dadurch weniger belastet, ihr damit einhergehender Alterungsprozess wird wesentlich verlangsamt.

Mit einer stetig betriebenen Hüllflächentemperierung lässt sich diese Substanz schonende Zielstellung erreichen. In den musealen Räumen hält die speicherprogrammierbare Steuerung der Temperieranlage die Innentemperatur auf mindestens 6 K (Kelvin) über der Außenlufttemperatur. Nach oben wird die Raumtemperatur auf maximal 20 °C begrenzt, nach unten auf mindestens 6 °C. Schon dieser „Sparbetrieb“ mit Einschaltung ab 5 Kelvin Differenz der Raumtemperatur zur Außentemperatur und Abschaltung bei 7 Kelvin Differenz kann die zerstörerischen Feuchte- und Temperaturwechsel im wertvollen Bau- und Ausstattungsbestand entscheidend verringern.

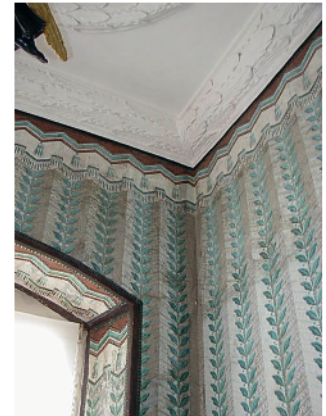
Das vielfach geforderte „Ideal-Museumsklima“ mit relativer Luftfeuchte von 45 bis 55% – eine willkürliche Festlegung ohne ausreichende Begründung – ist für die Steuerung und Auslegung einer Hüllflächentemperierung nicht maßgeblich. Entscheidend sind die Oberflächentemperatur und die davon abhängige Feuchteaufnahme des Objektmaterials. Schon ein geringer Luftfeuchtegehalt verursacht bei entsprechender Abkühlung an der Materialoberfläche bedeutende und materialschädigende Kondensataufnahme. Das kann dann bei den in herkömmlicher Weise klimatisierten Museen immer wieder beobachtet werden.

Diesem Zusammenhang an der Materialoberfläche selbst – dem eigentlichen Schutzobjekt im konservatorischen Sinn – widmet die Hüllflächentemperierung im Unterschied zu üblichen Strategien der luftgestützten

Abb. 5. Schon einige Jahre vordem Maßnahmenbeginn wurden im Dachgeschoss die kondensatbedingten Vermorschungsschäden am Gebälkaufleger beseitigt und eine statische Ertüchtigung aus Stahlträgersystemen eingebaut.



Abb. 6. und 7. Auch unter den Holzdielen und dem Tafelparkett im Obergeschoss vermorschte die Holzdeckenkonstruktion durch Kondensatauffeuchtung und folgenden Pilzbefall. In den kritischen Eckbereichen im Obergeschoss waren die wertvollen Papiertapeten mit Schimmel befallen – ebenfalls durch eine dauerhaft überhöhte Kondensataufnahme.



„Raumklimatisierung“ höchsten Vorrang:

Die Wärmestrahlung als elektromagnetische Welle im Infrarot-Bereich durchdringt in Lichtgeschwindigkeit die Raumluft, ohne sie zu erwärmen. Nur die bestrahlten „Körper“ werden warm. Analog sind Lichtstrahlen in der Luft unsichtbar. Sie „erleuchten“

reflexive und erwärmen absorptionsfähige Materialoberflächen. Damit ist ein wärmebestrahlter Körper wärmer als die von ihm erst indirekt erwärmten Luftmoleküle im Kontaktbereich. Folglich bleibt die Raumluft in einem strahlungserwärmten Raum auch kühler als dessen Raumhülle nebst Inventar. Damit sinken auch die Luft-

Abb. 8. und 9. Bei kalten Außentemperaturen kondensierte an den Einfachfenstern die überschüssige Raumluftfeuchte. Das verminderte noch größere Durchfeuchtungsschäden in kritischen Klimasituationen.



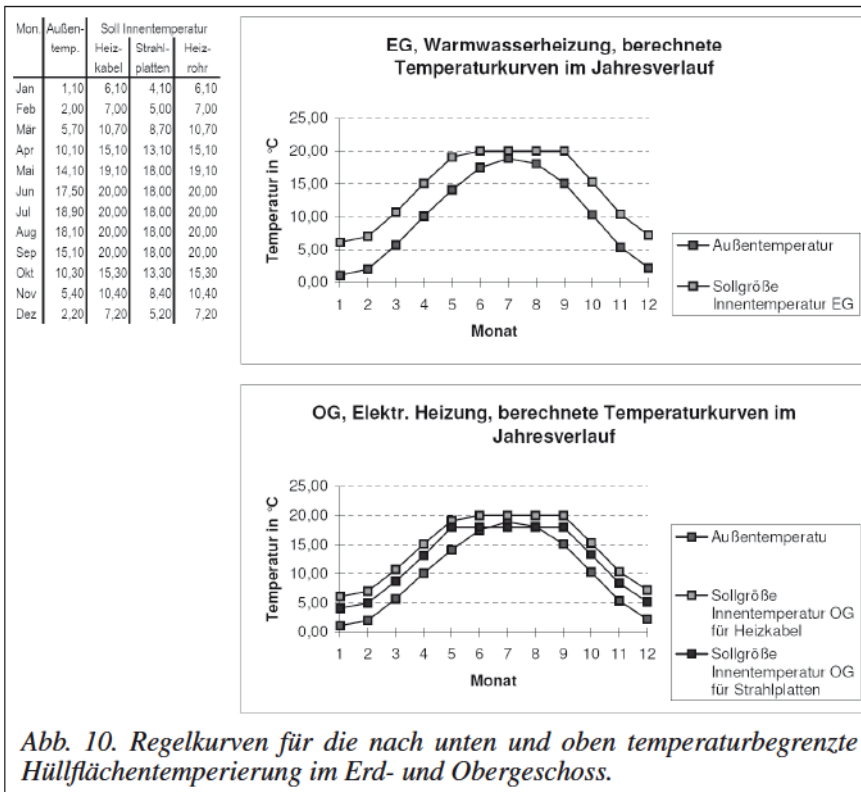


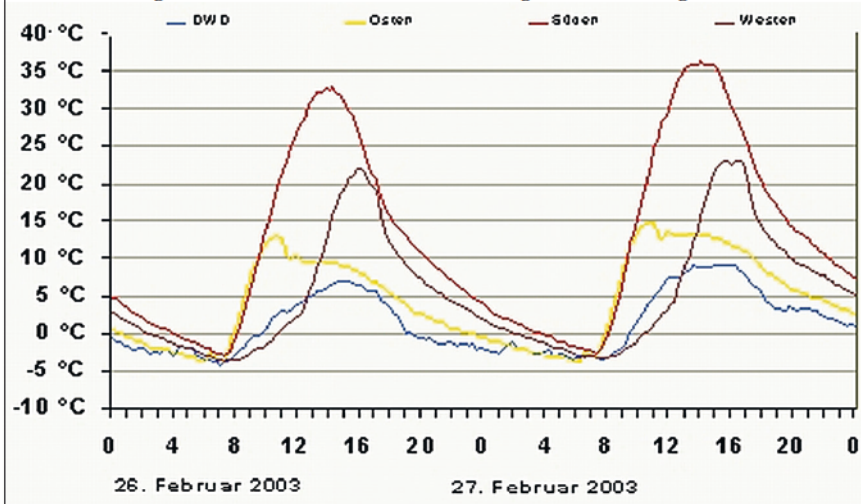
Abb. 10. Regelkurven für die nach unten und oben temperaturbegrenzte Hüllflächentemperierung im Erd- und Obergeschoss.

druckunterschiede zur Außenluft, ebenso der Lüftungswärmeverlust und der davon abhängige Heizenergieverbrauch.

Klimaanlagen und sonstige Luftheizsysteme erreichen – verstärkt mit der üblichen Nachtabsenkung des Heizbetriebs – genau das Gegenteil: Bei

ihnen ist die Luft immer wärmer, als es die erst über Warmluftkontakt erwärmte Raumhülle und das Inventar sind. Die Feuchte aus der Luft kann aber nur an kälteren, nicht an wärmeren Körpern kondensieren. Insofern sind alle gebläseabhängigen Luftheizsysteme und die ebenfalls über erhitzte

Abb. 11. Eine Freilandmessung der Abteilung Bauforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft FAL in Braunschweig erwies, dass Massivbauteile (hier eine nur 11,5 cm dicke Vorsatzschale aus Ziegel) wesentlich höhere Temperaturen erreichen, als es die Normwärmebedarfsberechnung mit der Lufttemperatur (blaue Kurve) vorsieht. Dickere Massivwände können diese Solarenergie einspeichern, im Unterschied zu speicherlosen Wärmedämmsystemen in die Nacht hinüber retten und damit den Wärmebedarf der Raumheizung absenken. Die Normberechnung berücksichtigt das nicht.



Luft arbeitenden Konvektionsheizungen (Konvektorheizung, Fußbodenleisten mit Kleinkonvektoren, Unterflur-Radiatoren) nicht nur schnell verschmutzende „Staubschleudern“, sondern auch Schimmelpilz fördernde Befeuchter mit sinnlos verschwendertischem Energieverbrauch.

Die gleichmäßig wärmestrahlende Hüllflächentemperierung bietet für Museen, historisch wertvoll ausgestattete Räume sowie für feuchteempfindliche Baukonstruktionen und Inventare deswegen erhebliche Vorteile. Doch auch wirtschaftlich gesehen, sind Temperieranlagen wegen ihres geringeren Technikaufwandes und der sparsamen Betriebsweise wesentlich günstiger als „normale“ Heizungen und Klimaanlage. Selbstverständlich gelten diese Vorteile bei der Heiztechnik, den Anlagen- und den Betriebskosten ebenso für alle „normalen“ Gewerbe- und Wohngebäude.

Die Energiesparfrage und die Bemessung der Temperieranlage

Oft wird versucht, mit U-Wert-optimierten Dämmstoffen den Energieverbrauch auch an massiven Altbauten zu senken. Meistens sind derartige Energiesparmaßnahmen unter dem Titel „energieeffiziente Sanierung“ mit einer tatsächlich energiesparenden Heizungsmodernisierung, vielleicht überdies mit einer hermetischen Gebäudeabdichtung verbunden. Deswegen fällt in der Praxis kaum auf, dass der Einbau von Dämmstoffen selbst gar keine Energieersparnis mit sich bringt.

Auch der üblicherweise intermittierende Heizbetrieb mit Nachtabsenkung kann keinerlei Energie sparen, da die nächtlich verlorene Wärme jeden Morgen wieder höchst aufwändig und mit hohem Konvektionsanteil und Lüftungswärmeverlust nachgeliefert werden muss. Dabei sind Abkühl- und Aufheizevorgänge im Gegensatz zum stetigen Heizbetrieb Exponentialfunktionen. Obwohl zumindest jeder Autofahrer weiß, wie im Gegensatz zu einer gleichmäßigen Fahrgeschwindigkeit die hektische Stop-and-Go-Fahrweise Sprit frisst und Bremsbeläge, Kupplung usw. verschleißt, ist das beim Heizungsbetrieb offenbar vollständig unbekannt.

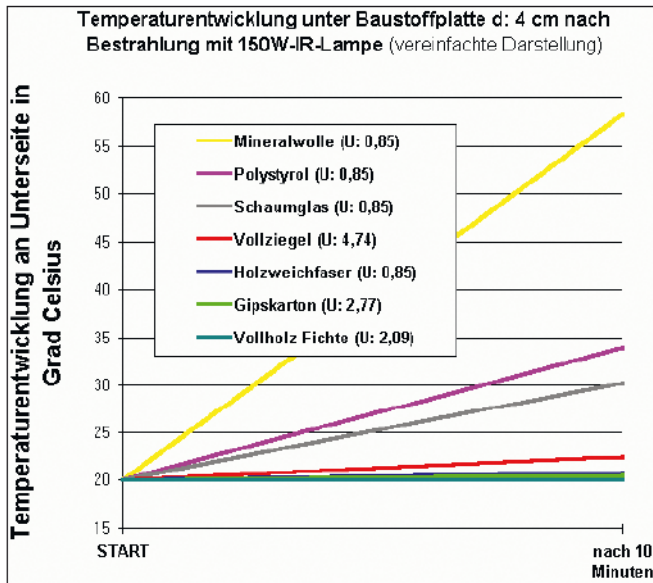


Abb. 12. Dass die Dämmeigenschaften von Baustoffen den genormten U-Werten vollständig widersprechen, zeigt das „Lichtenfelser Experiment“. Dabei werden 4 cm starke Baustoffplatten zehn Minuten mit Rotlicht bestrahlt. Gemessen werden die Temperaturerhöhungen an der strahlungsabgewandten Seite nach zehn Minuten. Geradezu abenteuerlich „schlechte“ U-Werte liefern folglich die besten „Dämm“-Werte. Die überraschend guten Werte der relativ leichten Holzwerkstoffe sind auf die abkühlende und Energie abführende Wirkung der verdunstenden Materialfeuchte zurückzuführen.

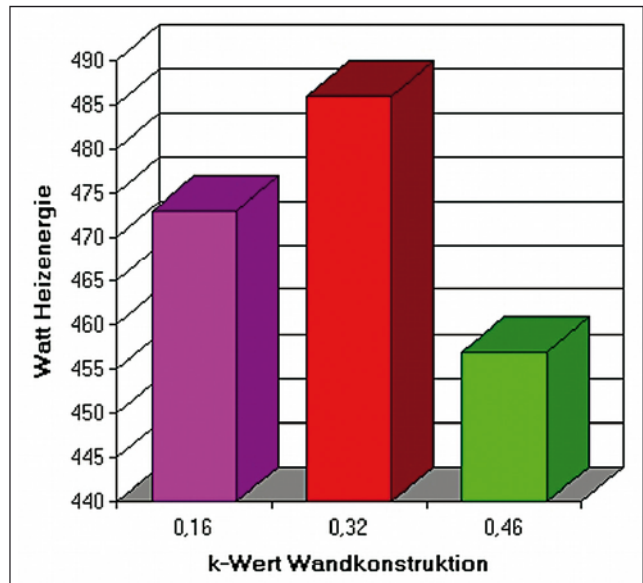


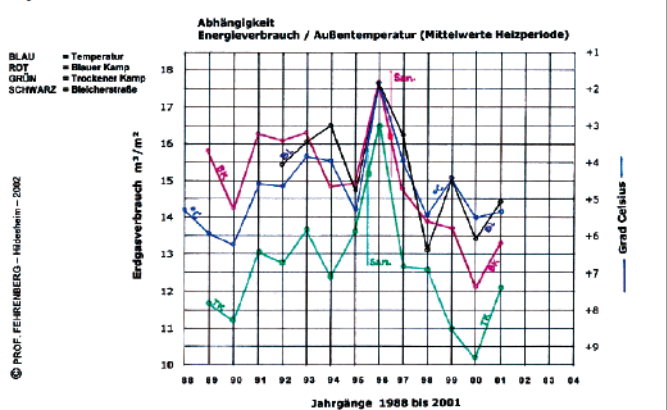
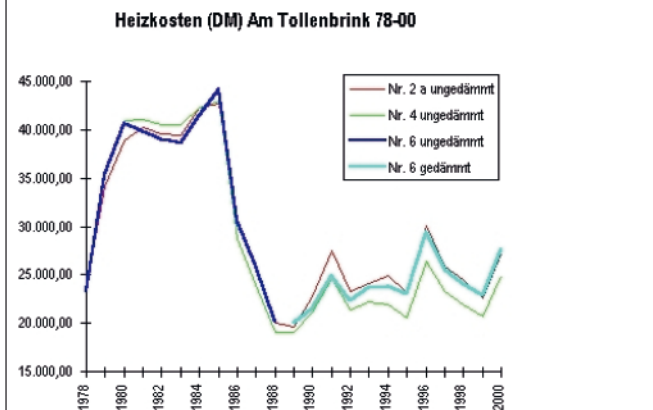
Abb. 13. „Energieverbrauch von Räumen mit verschiedenen Wandkonstruktionen“. Schon 1983 hat das Fraunhofer-Institut Holzkirchen bei Vergleichsmessungen unterschiedlicher Wandkonstruktionen herausgefunden, dass der geringste Energieverbrauch „schlechte“ k- bzw. U-Werte geradezu voraussetzt.

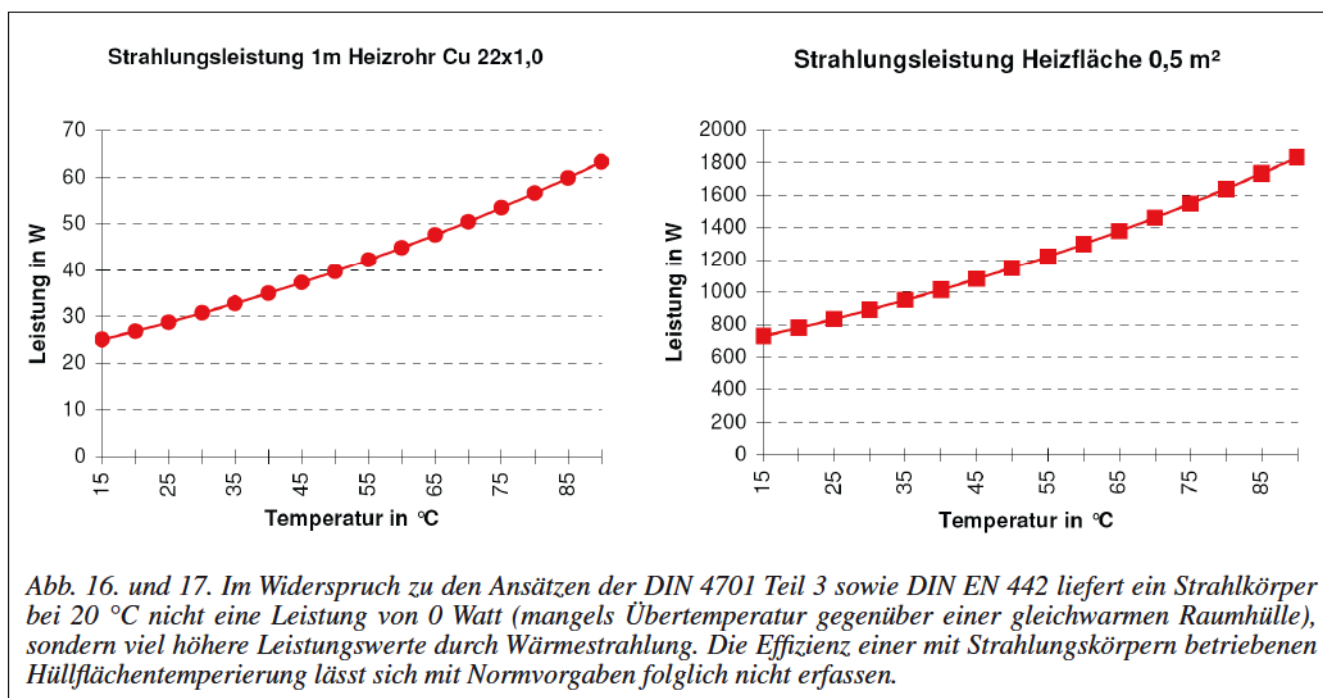
Die in den Abbildungen 11 bis 17 vorgestellten Belege stützen die alternative Herangehensweise bei der technischen Bemessung der Temperieranlage (Anlagenauslegung) durch theoretische und praktische Erkenntnisse. Nicht nur bei der Betriebsweise, auch bei der rechnerischen Bemessung der Temperieranlage weicht die-

se Vorgehensweise in wesentlichen Punkten vom Normverfahren ab. Einerseits erfolgte die Wärmebedarfsberechnung nach der lokalen Jahrestemperaturkurve (im Unterschied zu den für ganz Deutschland ohne Berücksichtigung klimatischer Unterschiede „gültigen“ Gradtagszahlen der DIN 4108). Andererseits wurden für die

Wärmedurchgangskoeffizienten nicht die genormten U-Werte angesetzt. Sie bevorzugen im Gegensatz zu den energetischen Realitäten die speicherlosen und deswegen gar nicht dämmfähigen Leichtbaustoffe. Für das tatsächliche Verhalten massiver Bauwerke im energetischen Sinn liefern solche U-Werte keine Anhaltspunkte.

Abb. 14. und 15. Gedämmte Bauten verbrauchen keineswegs weniger Wärmeenergie. Das belegen die Vergleichsuntersuchungen von Jens Fehrenberg, FH Hildesheim, an gedämmten und ungedämmten Großbauten in Hannover. Die erste Grafik zeigt die Heizkosten dreier Bauten mit 25 Wohneinheiten seit 1978, die durch die millionenschwere Dämmung von Haus 6 im Jahre 1988 nicht beeinflusst werden. Die zweite Grafik belegt, dass der Energieverbrauch nur von der mittleren Wintertemperatur (dunkelblaue Kurve, nach oben abnehmende Temperaturen) beeinflusst wird, nicht durch Fassadendämmung mit „Wärmedämmverbundsystem“ (Strich „San.“).





Auch in früheren Temperierprojekten hatte sich das Abweichen von den Industrienormen bewährt. Deshalb wurde der Wärmebedarf nicht mit Norm-U-Werten, sondern mit den wesentlich besseren U-effektiv-Rechenwerten (U_{eff}) nach Claus Meier gerechnet. Damit konnte die energetisch wirksame Solarabsorption der in Veitshöchheim im Jahresverlauf anzutreffenden mittleren Solarstrahlung und die Wärmespeicherfähigkeit des massiv gebauten Bestandes berücksichtigt werden. Die Ausgangswerte der Wärmedurchgangskoeffizienten für die historischen Konstruktionsaufbauten entstammen der Technischen Norm Gütevorschriften und Lieferbedingungen (TGL aus DDR-Zeiten) 35424/02, da die neubauorientierte DIN 4108 dafür keine Werte liefert. Die alternative Berechnung verbessert den U-Wert einer Wand auf der Nordseite von 1,14 auf einen U_{eff} -Wert von 0,54, auf der Ost- und Westseite von 1,14 auf 0,20 und auf der Südseite von 1,14 auf minus 0,12 W/m²K. Dank dieser „Strahlungsphysik“ – im bewussten Widerspruch zur industrieseitig übermäßig gesteuerten „Bauphysik“ – konnten die Wärmeerzeugung und -verteilung der Temperieranlage wesentlich kleiner und kostengünstiger ausgelegt werden. Dabei wurden die sich aus der Strahlungsphysik nach Kirchhoff, Boltzmann und Planck sowie die aus der Praxis abzuleitenden Reduzierungs-

möglichkeiten nicht mutwillig ausgereizt, um ausreichende Sicherheitsreserven zu behalten. Beim Ansatz für die Einfachfenster blieb es deshalb noch bei den DIN-U-Werten, ohne Verbesserung durch deren erhöhten Solareintrag. Auch der Lüftungswärmebedarf bzw. die genormte Luftwechselrate wurden nur etwas in Richtung Realität vermindert. Diese Sicherheitsfaktoren ließen es dann in einigen Räumen auch zu, die sich rechnerisch ergebenden geringen Unterschreitungen des Wärmeangebots hinzunehmen. Auf kostenintensive und gestalterisch teils störende Heizflächenergänzung konnte auf diese Weise verzichtet werden.

Die Wärmeerzeugung und -verteilung

Der gegebene Wärmebedarf konnte durch ein kleines Blockheizkraftwerk (12,5 kW) mit Pufferspeicher im Gewölbekeller gedeckt werden. Spitzenlasten liefert zusätzlich der schon im Bestand für die Kastellanswohnung vorhandene Gas-Brennwertkessel (24 kW). Die Warmwassererzeugung versorgt die in untergeordneten Räumen offen, im Besucherbereich und in höherwertig gestalteten Räumen eingeputzt, im Kassenbereich im Fußboden verlegten Sockelrohr-Kreisläufe im Erdgeschoss sowie die Deckenkreisläufe und die Kastellanswohnung. Für Räume

mit erhöhten Temperaturanforderungen (Büro, Kasse, Toilettenanlagen) sind zusätzliche Flachheizkörper als Strahlplatten an den Temperierleitungen angedockt. Die Kastellanswohnung behielt ihre schon vorhandenen Konvektoren. Die Außenflächen der Prunkräume im Obergeschoss werden zur Sicherheit gegen Wasserhavarie nur elektrisch mit hinter der Fußbodenleiste und auf dem Deckenstückgesims schonend verlegten Heizkabeln geringer Leistungsabgabe (20 W/m) erwärmt. Dazu kommen im besucherfreien Winter mobile Marmorplattenstrahler verschiedener Größe mit einer bedarfsgesteuerten Leistungsabgabe von 400 bis 1500 W. Sie werden in Raummitte angeordnet und bestrahlen von dort die Raumschale. Es gibt sie in verschiedenen Bauarten (rückseitig gefräste und eingemörtelte Heizkabelführung, aufgeklebte Heizplatten, trocken montierte Heizplatten und Heizmatten, Karbonfaserbeschichtung, Heizgläser mit leitender Metalloxidbeschichtung) unterschiedlicher Qualität, Wartungsfreundlichkeit und Dauerstabilität. Die Nutzung der Elektroenergie des Blockheizkraftwerkes erfolgt im Bauwerk auch für die Elektrotemperierung; temporäre Überschüsse werden gemäß Kraft-Wärm-Kopplungs-Gesetz (KWK-Gesetz) ins Netz eingespeist.



Abb. 18. Die Versorgungsleitungen durch die Geschosse konnten durch vorhandene Schornsteine und Schächte „gefädelt“ werden.

Abb. 19. Im Eingangsbereich des Erdgeschosses musste der Boden aufgenommen werden. Das ermöglichte die verdeckte Verlegung der Temperierleitungen im Sinne einer Fußbodenheizung.



Abb. 20. In hochwertigen Räumen bestand die Schlösserverwaltung auf Unterputzverlegung; die damit zwangsläufig gegebenen Baueingriffe, Kostensteigerungen und Wirkungsverluste bei der Abstrahlleistung wurden aus gestalterischen Gründen hingenommen.

Abb. 21. und 22. Die Abstrahlleistung des verputzten Sockelkreislaufes kann mit einem IR-Thermometer gemessen werden.





Abb. 23. bis 25. Die offen verlegte Sockeltemperierung im Bau (links) und nach Maßnahmenabschluss (rechts) für erhöhten Wärmebedarf ergänzt mit Strahlplatten.

Die Steuerung der Temperieranlage

Die Steuerung der Heiztechnik und das Monitoring der Raumklimawerte wurden verhältnismäßig aufwändig vorgesehen, da der Pilotcharakter des Projekts das bauherrnseits erforderte. Zur Kontrolle des Energieverbrauchs der Heizungskomponenten dienen Wärmemengen- und Stromzähler, die den Verbrauch jedes Kreislaufs einzeln auswerten.

Der Energieverbrauch

Der durchschnittliche Jahres-Heizenergieverbrauch der temperierten Flächen liegt nach drei Betriebsjahren bei 44,5 kW /m² und 9,1 kW/m³ (Heizöl-äquivalente: 4,45 l/m² und 0,91 l/m³). Die lage- und bauartbedingt unterschiedlich verwertbare Solareinstrahlung, der Anteil an Unterputzrohrleitungen und die Einbeziehung der etwas wärmeren Besuchertoiletten führen in den Geschossen zu unterschiedlichen



Verbrauchsmengen. Das tatsächliche Temperaturniveau lag ausweislich des Temperaturmonitorings selbst bei niedrigsten Außentemperaturen bei ca. 7 bis 10 °C. Das belegt das ideale Zusammenspiel von Massivbaukonstruktion und Temperiertechnik. Der



Abb. 26. und 27. Die Deckenkreisläufe im Bau (links) und nach der Fertigstellung (rechts).

Abb. 28. und 29. Die Kabeltrasse am Fußboden und das kaum sichtbare Heizkabel auf dem Stuckgesims.



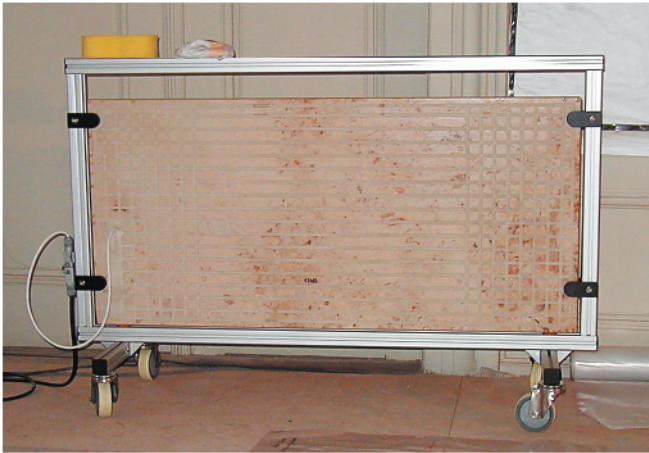


Abb. 30. und 31. Die Elektrostrahlplatten im Ersteinatz als Baustellenheizung (links) und im Sommerhalbjahr im Depot (rechts).



Jahresverbrauch Heizenergie	EG kWh/a WW	OG kWh/a EL	EG+OG kWh/a
Verbrauch 04	30.796	17.035	47.831
Verbrauch 05	30.916	20.645	51.561
Verbrauch 06	28.455	18.719	47.174

Jährlicher Heizenergieverbrauch Warmwasser (WW) und Strom (EL) der temperierten Bereiche.

zusätzliche Gas-Brennwertkessel für Lastspitzen musste zum Verbrauch nur knapp vier Prozent beisteuern.

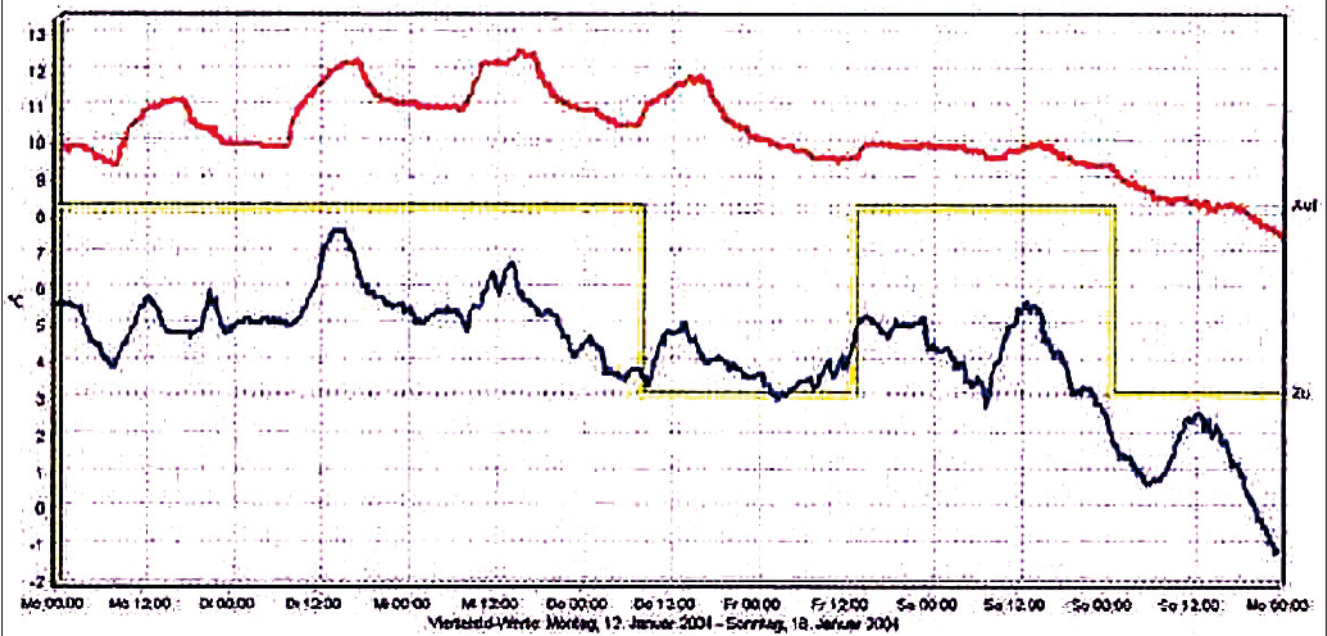
Planungsaufwand

Im hochwertigen Baubestand sind das rechtzeitige Erkennen der Einbau- und Trassenkonflikte sowie eine

darauf aufbauende Detailplanung und Leistungsbeschreibung besonders wichtig. Dazu braucht es neben einer zutreffenden Bestandsaufnahme entsprechende Sorgfalt bei der Planung. Nicht immer wird hier abgeliefert, was die bestandsgerechten Regelungen und Sonderleistungen gemäß HOAI

(Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) vorsehen. Wobei die nicht unübliche Unterhonorierung Misserfolge im Bereich der Altbausanierung geradezu vorprogrammiert. Die Erfahrung in der Baudenkmalpflege und ein fairer Planungsvertrag haben die ingenieurtechnischen Anforderungen auch bei diesem Projekt wesentlich „zum Guten“ beeinflusst. Nur ein erhöhter Aufwand kann ungewollte Substanzverluste, Kostenexplosionen und Terminkatastrophen vermeiden helfen.

Abb. 32. Außentemperatur und Innentemperatur eines Bereichs vom 12. bis 18. Januar 2004. Die Regelung funktioniert zeitnah und dämpft die Temperaturspitzen. Das Einspeichern der Wärmestrahlung im Massivbau verhindert auch Bauteilkondensat bei überraschender Warmluftzufuhr von außen. Die Innentemperatur entspricht dem Regelungsziel. (rot: Temperierungsgesteuerte Raumtemperatur; blau: Außenlufttemperatur).



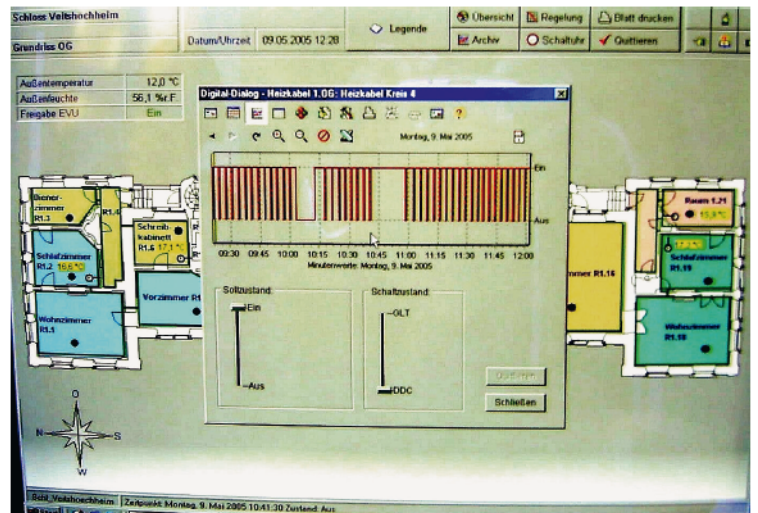
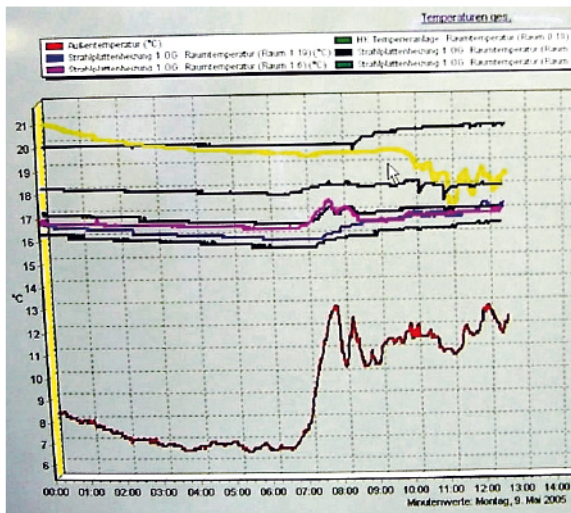


Abb. 33. und 34. In der Kastellanei wird das Gesamtsystem kontrolliert. Die Bildschirmkurven zeigen Außentemperatur und Innentemperaturen der verschiedenen Bereiche sowie die Taktung der Elektrotemperierung.

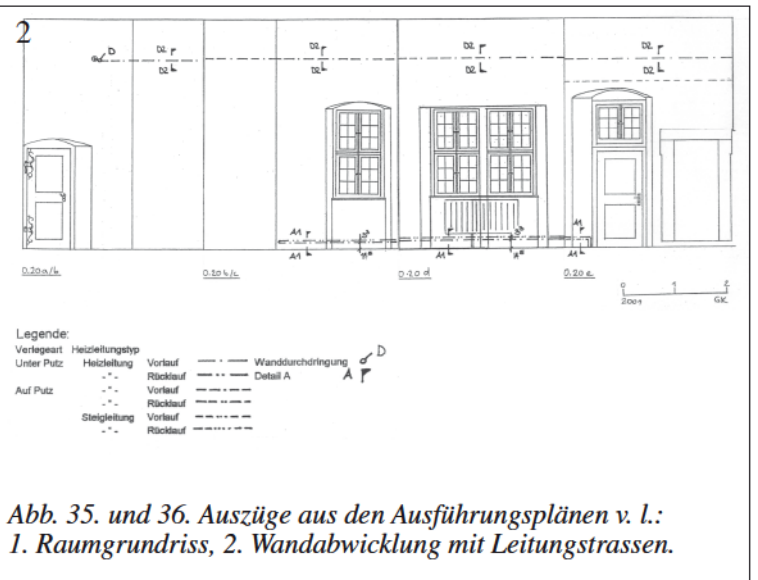
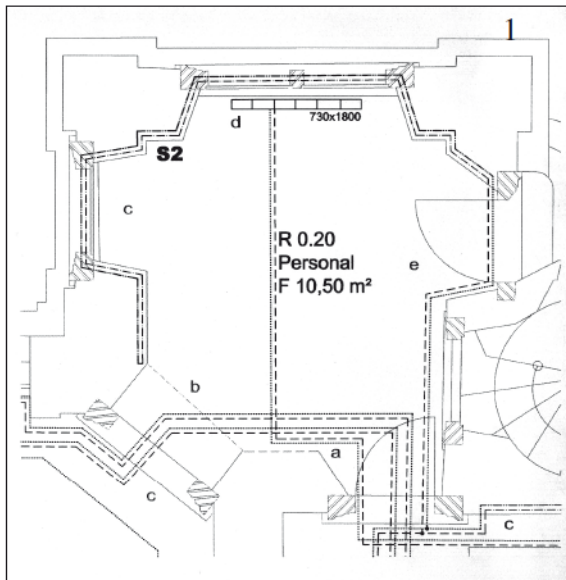


Abb. 35. und 36. Auszüge aus den Ausführungsplänen v. l.: 1. Raumgrundriss, 2. Wandabwicklung mit Leitungstrassen.

Fazit

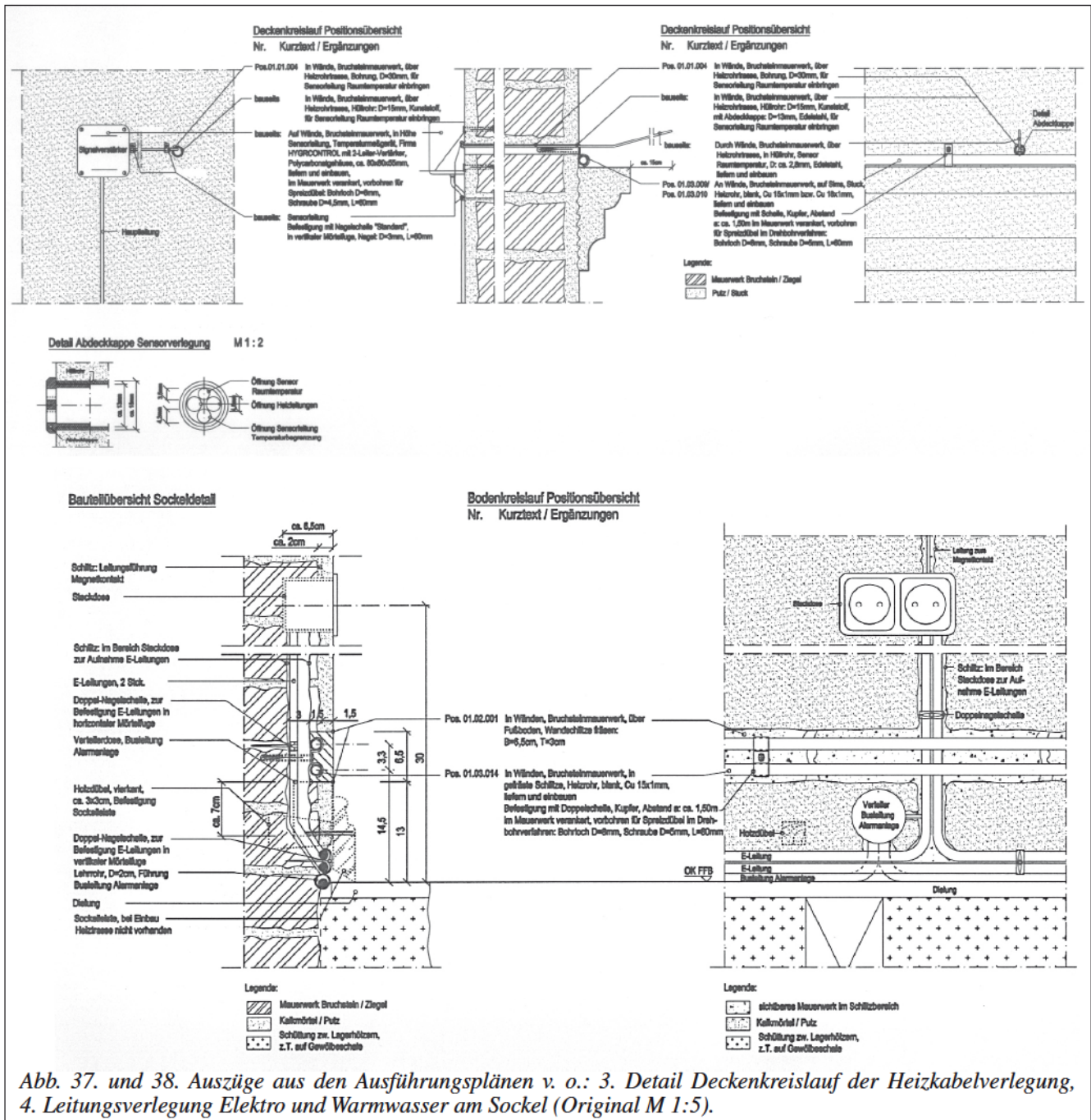
Insgesamt belegt die Hüllflächentemperierung im Schloss Veitshöchheim die positive Wirkung der Wärmestrahlungs-Temperiertechnik im speicherfähigen Massivbau aus konservatorischer und energetischer Sicht, zumal im Vergleich mit High-Tech-Klimaanlagen mit allen Luftbehandlungs-Raffinements mit doch wesentlich geringeren Investitions- und Betriebskosten sowie trotz einiger Unterputz- und Unterbodentrassierungen deutlich erhöhter Substanzschonung. Weitere Einsparungsmöglichkeiten liegen in dem pilotcharakterbedingten erhöhten Aufwand für die Heizanlage und Steuerung sowie in einem weitgehenden Verzicht auf verdeckte

Leitungsführung, der wohl auch die Betriebskosten noch weiter vermindern könnte. Die Baukosten (Stand 2005): Heizanlage Warmwasser mit Blockheizkraftwerk: 70 000 Euro, Elektrotemperierung: 35 000 Euro, Steuerung: 50 000 Euro.

Der Verfasser dankt der Bayerischen Schlösserverwaltung und dem Staatlichen Hochbauamt Würzburg für das erwiesene Vertrauen in die von (fast) allen Normen abweichende Planung und die faire Vertragsgestaltung sowie seinem Mitarbeiter Peter Göhring für sein Engagement bei der Entwicklung und Durchführung Substanzschonender Haustechnik.

Anmerkungen

¹ U-Wert: Der U-Wert (früher k-Wert) als Wärmedurchgangskoeffizient (Wärmedurchgangswert) beschreibt definitionsgemäß den Wärmedurchgang durch eine Bauteilschicht in W/m^2K . Er entspricht der Wärmemenge in Joule, die im stationären Zustand je Sekunde durch ein $1 m^2$ großes Bauteil übertragen wird, wenn zwischen der beiderseits angrenzenden Luft ein Temperaturunterschied von $1 K (1^\circ C)$ besteht. Der tatsächliche Wärmedurchgang kann mit dem U-Wert allerdings nicht bestimmt werden, da sich die Baustoffe nicht im stationären Zustand befinden, sondern ständigen Temperaturwechsel ausgesetzt sind. Außerdem vernachlässigt der U-Wert die vor dem stationären Zustand bei der Aufheizung verbrauchte Zeit und Heizenergie, das damit zusammenhängende



Wärmespeichervermögen, die Rohdichte und das Absorptionsvermögen gegenüber elektromagnetischer Strahlung. Das Lichtenfelser Experiment zeigt den Einfluss aller Stoffeigenschaften während der Aufheizphase. Die dabei auftretenden Temperaturen sind vom U-Wert unabhängig: Stoffe mit gleichen U-Werten zeigen gravierende Unterschiede. Das widerlegt

den U-Wert als realistischen Kennwert für die Wärmedämmeigenschaft von Stoffen. Der U_{eff} -Wert nach den Berechnungen von Claus Meier berücksichtigt hingegen die wesentlichen Stoffkennwerte.

² IR: Infrarot (IR) ist der unsichtbare Wärmeabstrahlungsbereich der elektromagnetischen Strahlung jenseits des roten Lichts. Er liegt zwischen $0,78 \mu\text{m}$ (= 780 nm bzw. $0,00078$

mm) und 1 mm Wellenlänge und strahlt mit Lichtgeschwindigkeit. Die Wärmestrahlung erwärmt vorwiegend Körper, nicht die dazwischen befindliche Luft. Analog durchdringt die Lichtstrahlung die Luft unsichtbar und erhellt nur den bestrahlten Körper. Ein IR-Thermometer misst die Temperatur der Wärmeabstrahlung eines Körpers und nicht die Lufttemperatur.