

Geschichte der Architektur und der Bauphysik

H.-P. Leimer

BBS INGENIEURBÜRO, Wolfenbüttel

Zusammenfassung

Bei den Betrachtungen zur Architektur und Bauphysik wird der Bogen der Architektur von den Anfängen des Bauens, den Anfängen des Siedelns wie in Katal Hüyük und Jericho, bis hin zu den Bauten des 21. Jahrhundert aufgezeigt. An ausgewählten Beispielen zeigt sich die enge Beziehung der Architektur mit der Bauphysik. Hierbei sind die empirischen Entwicklungen der Bauphysik genauso darzustellen, wie die weitreichenden innovativ technischen Möglichkeiten.

Stichwörter:

Bauphysik, Wärmeschutz, Feuchteschutz, Schallschutz, Brandschutz, Instandsetzung, Gebäudesimulation

Die Geschichte der Bauphysik

In die Zeit des Mesolithikums, ca. 10000 v.Chr., suchten die Menschen vor Wind und Wetter Schutz. Hier, zu Beginn der Fachwerkbaukunst, zeigt sich, dass einfache Windschirme den Anforderungen an einen Unterschlupf nicht mehr Stand hielten und begonnen wurde die Gebäude in die Erde hineinzubauen. Hier wurde somit nicht nur der Schutz vor Wind, sondern die Wärme des Erdreiches ausgenutzt.

Die Region nördlich des Polarkreises, im Land der ewigen Kälte, zeigt die Wohnformen der Eskimos in ihren Iglus, eine optimierte Bauform. Durch einen tunnelähnlichen Eingang auf der windabgewandten Seite wird der Innenraum erreicht. Das Eindringen von kaltem Wind wird so wirkungsvoll begegnet. Schneeblöcke als Wandbaustoff führen aufgrund ihrer bauphysikalischen Eigenschaften, bei Undichtigkeiten taut die raumseitige Schneeschicht und bildet eine Eisschicht, nicht nur zu einer winddichten Konstruktion, sondern gewährleisten ein Innenraumklima mit Temperaturen deutlich über 0° C. Ein angenehmes Raumklima, wenn man das extreme Außenklima mit Außentemperaturen geringer als - 30°C bedenkt.

Nicht nur im Bereich der thermischen Ausbildung der Gebäudehülle wurden Entwicklungen vorangetrieben. Auch im Bereich der Akustik und des Schallschutzes wurden grundlegende Überlegungen von den Baumeistern der damaligen Zeit aufgezeigt.

Vitruv, ein römischer Baumeister der Zeit um 33 v.Chr. schrieb die bautechnischen Erkenntnisse der damaligen Zeit in seinem Werk *'De Architectura libri decem - 10 Bücher über Architektur'*, fest. In seinem Werk gab er nicht nur genaue Angaben über die Baustoffe und deren Wirkweisen sondern beschrieb u.a. in seinem VI. Buch *'.. die Berücksichtigung der klimatischen Verhältnisse bei der Anlage von Privatgebäuden'* und stellte in seinem V. Buch grundlegende Anforderungen bei der *'Auswahl des Platzes für das Theater nach akustischen Verhältnissen'* mit einer Beeinflussung der Akustik durch den Einsatz von *'Schallgefäßen im Theater'* auf.

Bereits seit dem Altertum war aus der allgemeinen Lebenserfahrung bekannt, dass der Schallschutz eines Bauteiles mit seiner Masse steigt. Da die Dicke der Wände und (Gewölbe-)Decken - konstruktiv bedingt - mit der gewünschten Größe der Räume wuchs, war somit zwangsläufig für denjenigen, die es sich leisten konnten großzügige Wohnungen bauen zu lassen, ausreichender oder sogar guter Schallschutz gegeben. Die großen Brandkatastrophen

im Mittelalter führten im Weiteren dazu, dass viele neuerrichtete Gebäude im Bereich geschlossener Bauweisen mit doppelten Brandmauern versehen wurden, zwischen denen teils noch gerade zugängliche (40 bis 60 cm breite), teils nur wenige Zentimeter breite Fugen verblieben, um das Überspringen von Feuer zu erschweren. Ohne zusätzlichen Aufwand war hierdurch von Haus zu Haus ein hervorragender Schallschutz gegeben, der auch heute noch, trotz gesteigerter Anforderungen, meist als ausreichend empfunden wird.

Vitruv's grundsätzliche Festschreibungen der Bautechnik schrieb Leon Batista Alberti um 1400 in seinem gleichlautenden Werk fort. Es folgten die Aufzeichnungen der Bauhütten, Gilden und Meisterschulen.

Erst ab dem 16. Jh. wurden die Erfahrungen und die empirischen Erkenntnisse der Menschen durch die aufkommenden Naturwissenschaften fortgeschrieben.

Im Mittelalter wurde erkannt, dass man bei der Betrachtung zur Wärme die Intensität=Temperatur und Quantität=Wärmemenge der Wärmeeinwirkung unterscheiden muss.

Im 17. Jh. war allgemein verbreitet, dass Wärme ihren Ursprung in der Bewegung der die Körper aufbauenden Teilchen hat und dass die kinetische Energie und Wärmeenergie in unmittelbarem Zusammenhang zu sehen sind. Mit der Einführung des Thermometers wurde eine quantitative Formulierung der Grundgesetze der Wärmelehre möglich. Diesen Schritt verdanken wir JOSEPH BLACK (1728-1799). Bei seinen Untersuchungen über die Wärmemengen, die benötigt werden, um in Körpern gleicher Masse, aber unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung die gleiche Temperaturerhöhung zu erzielen, kommt BLACK zum Begriff der spezifischen Wärme. RUMFORD stellt um 1800 eine kinetische Theorie der Wärme im Gegensatz zur Wärmesubstanztheorie. Er zog aus diesen Überlegungen bereits bestimmte Schlüsse: Die Wärme kann keine Substanz sein, weil man sonst einem Körper nicht eine unbegrenzte Menge davon entnehmen könnte. Die Wärme kann nichts anderes als Bewegung sein, die sich durch mechanische Reibung stets neu erzeugen lässt, so dass man aus einem Körper so lange Wärme fortleiten kann, solange diese Wärme mittels mechanischer Arbeit erzeugt wird.

FOURIER, 1768-1830; formulierte neue, raum- und zeitabhängige Theorien der Wärmeausbreitung. Sowohl für die Entwicklung der Mathematik als auch die der Physik kommt FOURIERS Untersuchungen eine grundlegende Bedeutung zu. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts dienten diese zwar noch immer als Ausgangspunkt für wärmephysikalische Untersuchungen, ihre erfolgreichsten Anhänger wie CARNOT und LAPLACE zogen jedoch bereits die Möglichkeit in Betracht, dass die Wärme eine Bewegungsform der Materieteilchen ist. Die Schwierigkeit bestand darin, dass sie von dieser Vorstellung ausgehend nicht zu quantitativen Gesetzen gelangen konnten.

Die Entdeckung des Energieerhaltungssatzes wird gewöhnlich mit drei Namen verbunden: JULIUS ROBERT MAYER (1814-1878) Schiffsarzt; JAMES PRESCOTT JOULE (1818-1889), und HERMANN von HELMHOLTZ (1821-1894). JOULE hat bereits 1841 das nach ihm benannte Gesetz über die Wärmeentwicklung beim Fließen eines elektrischen Stromes veröffentlicht, wonach die erzeugte Wärme dem Quadrat der Stromstärke, dem Widerstand und der Zeit proportional ist. Die Arbeit von HELMHOLTZ zur Energieerhaltung ist 1847 unter dem Titel *Über die Erhaltung der Kraft* erschienen.

CLAUSIUS musste feststellen, dass zur Erklärung der thermodynamischen Erscheinungen die Erkenntnis von der Äquivalenz der Größen Arbeit und Wärme oder - allgemeiner formuliert - der Erhaltungssatz der Energie nicht ausreicht und dass noch ein weiterer Satz formuliert werden muss.

Die hygienischen Anforderungen an Gebäude und Räume untersuchte der Arzt PETTENKOFER bei seinen Betrachtungen der Bauhygiene. Ihm verdanken wir die immernoch 'beliebten' Theorien zur 'Atmenden Wand', bei denen der sagenhafte Luft-

austausch über die Bauteile beschrieben wird, wobei erstmals DARCY mit seinen Forschungen die spezifische Durchlässigkeit von Stoffen, hier noch im Hinblick auf die Sickerströmung von Wasser durch die wassergesättigten Poren von Festkörpern, untersucht. Erst nach 1945 formuliert sich die Physik unter der besonderen Berücksichtigung des Bauwesens zur Bauphysik. Eine Betrachtung weniger für das Bauwerk, mehr für den Menschen. Wohl eines der ersten Bücher über die 'Technische Bauhygiene' war die gleichnamige Veröffentlichung von W. CORDS-PARCHIM von 1953, Vorlesungsskript der TH Dresden von 1948.

KRISCHER formuliert mit der 'makroskopischen' Theorie der Feuchtebewegung in porösen Stoffen erstmals nur makroskopisch feststellbare Effekte, Veränderungen der Wassergehalte. Diese typischen Verteilungen, Veränderungen und deren Gesetze bildet er mathematisch durch die Formulierung der Flüssigwassertransportzahl, Flüssigleitzahl, nach. Im Weiteren befasst Krischer sich mit den wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik, deren Ergebnis zur Bestimmung des MY-Wertes (diffusionstechnische Eigenschaften der Stoffe) führen, die GLASER mit bei seinen Untersuchungen in einem graphischen Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgängen für die Beurteilung der Feuchteentwicklung in mehrschichtigen Außenbauteilen nutzte.

1 Architektur gestern und die Betrachtungen zur Bauphysik

1.1 Raumklimatische Betrachtungen am Beispiel Herzog-Anton-Ulrich-Museum, Braunschweig

Das Herzog Anton Ulrich Museum, Braunschweig, gehört, wie die von Klenze erstellte Alte Pinakothek in München, Sempers Gemäldegalerie in Dresden oder auch das Weimarer Landes Museum zu den wenigen Bauten, die Ende des 19. Jh. als reine Museumsbauten bzw. Gemäldegalerien geplant und gebaut wurden.

Hierbei galt es nicht nur Räume für die Repräsentation von Bildern oder Kunstobjekten, sondern auch klimatechnisch geeignete 'Behältnisse' zur Aufbewahrung zu schaffen.

1.1.1 Raumklimatische Verhältnisse der Historie

Zur Beschreibung des Raumklimas im historischen Zustand des Museums wird ein Aufsatz des damaligen Museumsdirektors des Herzog-Anton-Ulrich-Museums Hermann Riegel zitiert:

"Schon während der Aufstellung der Sammlungen zeigte sich, dass die Luft im Inneren des Hauses, ... , sehr trocken war. Auf Holz gemalte Bilder bekamen Risse und andere Holzsachen litten Wie es aber zugeht, dass in dem neuen Gebäude diese auffällige Erscheinung eintrat, weiß ich nicht. Ich ließ deshalb, unter Benutzung der vor einigen Jahren in der Gemäldesammlung der Königlichen Museen zu Berlin gewonnenen Erfahrungen und gemachten Einrichtungen innerhalb einer der großen Doppelbänke über der Heizung in einem der Oberlichtsäle einen Wasserzerstäuber probeweise aufstellen. Die Hoffnung scheint begründet, auf diese Weise dem Übel mit Erfolg zu begegnen." [Riegel, Hermann; 1889].

1.1.2 Raumklimatische Verhältnisse der Gegenwart

In der Gegenwart sind Untersuchungen zum klimatischen Verhalten des Herzog-Anton-Ulrich Museums notwendig geworden, weil in den letzten Jahren zunehmend Feuchteschäden im Dachgeschossbereich aufgetreten sind. Der Grund liegt hauptsächlich in der winterlichen Heizperiode. Wird die Raumluft erwärmt, so sinkt die rel. Luftfeuchte der Raumluft, da

wärmere Luft mehr Feuchtigkeit aufnehmen kann. Für die Ausstellungsräume wird aus konservatorischen Gründen eine konstante Raumlufttemperatur und rel. Luftfeuchte angestrebt. Infolgedessen wird die angeheizte Raumluft in den Ausstellungsräumen befeuchtet. Aufgrund der direkten Verbindung zum Dachgeschoss, in dem heute nur ungenügend geheizt wird, kühlt die warme, feuchte Luft aus den Ausstellungsräumen bis zum Erreichen des Dachgeschossbereiches stark ab. Bei abkühlender Luft steigt die relative Luftfeuchte bis auf ihren Sättigungspunkt $\phi = 100\%$ an. Bei weiterer Abkühlung, wie z.B. an der kalten Glasdachoberfläche, fällt dann Tauwasser aus.

Ein weiteres Problem besteht darin, dass in den Ausstellungsräumen diese Werte für die Raumlufttemperatur und für die Raumluftfeuchte verhältnismäßig große Schwankungen aufweisen. So kommt es vor, dass beispielsweise die Raumluft zunächst befeuchtet wird und zum späteren Zeitpunkt wieder entfeuchtet werden muss.

1.1.3 Konservatorische Anforderungen an das Raumklima

In Museen wird ein konservatorisches Raumklima zur Erhaltung von Kunstwerken angestrebt. Um Schäden an den Ausstellungsstücken zu vermeiden, muss sichergestellt werden, dass durch ein in verhältnismäßig engen Grenzen konstant gehaltenes Raumklima weder Feuchtigkeitsaufnahme noch Feuchtigkeitsabgabe stattfindet und äußere Einflüsse durch jahreszeitliche Schwankungen vermieden werden.

Für die Bewahrung und Präsentation wertvoller Kulturgüter werden international die nachfolgend angegebenen Raumluftwerte angestrebt:

	Temperatur [°C]	relative Luftfeuchte [%]	
Magazine, Depots		16 bis 18	55 bis 60
Ausstellungen, Sammlungen		18 bis 20	50 bis 60 □

Tabelle 1 Konservatorische Anforderungen an das Raumklima /1/

Schäden, die als Folge von Feuchtigkeitsaustauschvorgängen am Ausstellungsgut auftreten, lassen sich nur dann vermeiden, wenn sich die relative Luftfeuchte innerhalb eines Toleranzbereiches von ca. +/-5% sehr langsam verändert. Daher sollen Temperaturschwankungen 1 K je Stunde nicht übersteigen.

In Abhängigkeit von den jahreszeitlichen Klimaschwankungen wird in der Fachliteratur folgendes Sollwertprogramm für das Raumklima in musealen Ausstellungen empfohlen:

Monat	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Temperatur [°C]	22	20	21	22	23	24	24	24	23	22	21	20
relative Feuchte [%]	45	45	50	50	50	55	55	55	50	50	50	45

Tabelle 2 Planungswerte für einige ausgeführte Museumsbauten /2/

1Institut für Kulturbauten; 2/1986

2Schramek, Ernst-Rudolf; 1997

Das Ziel einer Raumklimaregulierung ist es, die auftretenden Klimaschwankungen so zu beeinflussen, dass sie sich zu jeder Zeit in den zulässigen Grenzen bewegen. Auf der Grundlage der Bestimmungen von unterschiedlichen Sorptionsisothermen, auch unter Berücksichtigung der Sorptionsgeschwindigkeiten, z.B. Büttenspapier, Leinwand, div. Stoffen, zeigt es sich, dass in einem Bereich von 50% rel. Luftfeuchte die Sorptionsisothermen sehr flach ausfallen, d.h., Feuchteänderungen der Raumluft in diesem Bereich führen nur zu geringen Änderungen der Baustofffeuchten. Die Klimate mit rel. Luftfeuchte $50 \pm 5\%$ und Raumlufttemperaturen $20 \pm 2^\circ\text{C}$ werden somit vorgeschlagen.

Weiterhin muss berücksichtigt werden, das in Räumen, in denen sich Menschen aufhalten, die Frischluftzufuhr durch Luftaustausch zwischen innen und außen erforderlich wird. Denn mit einer Nutzung der Ausstellungsräume geht zwangsläufig eine Beeinflussung des Raumklimas durch die Besucher und das Museumspersonal einher /3/.

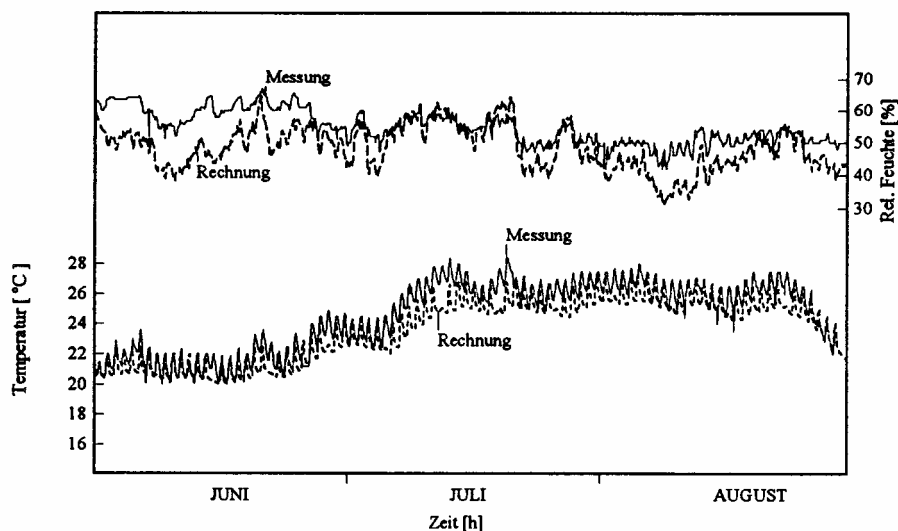


Abb. 1 Vergleich der Raumtemperaturen und -feuchten - Sommer

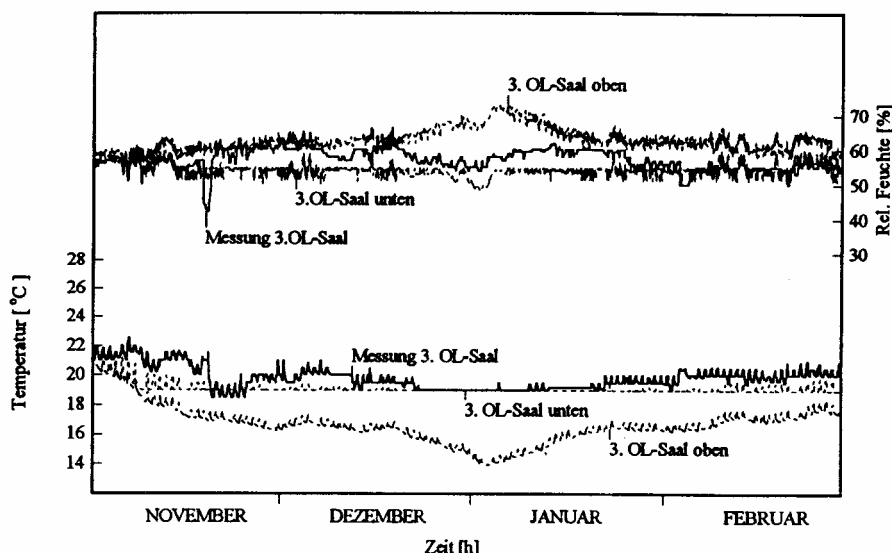


Abb. 2 Vergleich der Raumtemperaturen und -feuchten - Winter

Berechnet man die sich einstellenden Raumlufttemperaturen und -feuchten so zeigt sich, dass das Raumklima in keinem Falle den Anforderungen genügen. Man kommt somit zu dem Schluss, dass die Probleme nach Planung/Erstellung des Gebäudes zu den heutigen Problemen grundsätzlich gleich sind.

Ein Instandsetzungskonzept, sei es durch Heizungs-, Lüftungs-, Klimatisierungsanlagen und/oder auch in Kombination mit einer Bauteilinstandsetzung muss folgen, um die bestehenden Werte, nicht nur der Kunstgüter sondern auch des Gebäudes, zu bewahren.

1.1 Feuchteschutz der Bauteile und Raumakustik am Beispiel des städtischen Hallenbades der Stadt Quedlinburg

Das städtische Hallenbad der Stadt Quedlinburg befindet sich im Sanierungsgebiet des historischen Stadtkerns. Das Gebäude wurde 1904/05 errichtet. Zu dieser Zeit war ein Hauptaugenmerk die Schaffung einer hygienischen Grundversorgung der Bevölkerung. Bauphysikalisch traten wohl zu Beginn kaum Probleme auf, da trotz unzureichendem Wärmeschutz ein Höchstmaß an Gebäudeundichtigkeiten im Bereich der Fenster und Türen, aber auch im Bereich eines offenen Oberlichtes zur Verfügung standen, um die feuchtwarme Raumluft aus dem Gebäude abzuführen.

Aufgrund einer geänderten Lüftungstechnik in Verbindung mit dem mangelhaften Wärmeschutz, auch/besonders im Bereich von Wärmebrücken, konnte im Decken- und Wandbereich des Hallenbades, im Bereich der Feuchträume, aber auch in Räumen üblicher Nutzung, großflächig Schimmelpilzbefall festgestellt werden. Dieser Schimmelpilzbefall führt nicht nur zu ästhetischen Beeinträchtigungen, sondern stellt eine nicht zumutbare Gesundheitsgefährdung der Nutzer dar.

1.1.1 Grundlagen

Die Beurteilung des wärme- und feuchtetechnischen Verhaltens von Gebäuden ist entscheidend von der Genauigkeit der zur Verfügung stehenden Rechenverfahren abhängig. Es zeigt sich, dass mit den bis dato eingesetzten üblichen Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Wärmebilanz, z.B. Nachweise zur Wärmeschutzverordnung und zur Bestimmung des Feuchteverhaltens von Bauteilen, z.B. Verfahren nach DIN 4108, lediglich stationäre, für die entscheidenden Fragen der Zulässigkeit der Gebäude und Bauteile höchst unzulängliche Rechenmodelle zur Verfügung stehen. Die eingeführten Verfahren liefern unter zumeist ungünstigen, extremen Randbedingungen brauchbare Vergleichs- und Zulässigkeitswerte, die aufgrund der vereinfachten Lösung nur Richt- und/oder Extremwerte aufzeigen. Eine Beurteilung und Vorausschau auf das reale wärme- und feuchtetechnische Verhalten von Gebäuden mit ihren Bauteilen ist nicht möglich. Basierend auf den Erkenntnissen der auf diesem Gebiet bestehenden Grundlagenforschung konnten numerische Verfahren, wie dynamische Klimasimulationsberechnungen für Gebäude oder instationäre Verfahren zur Bestimmung der Wärme- und Feuchteverteilung im Bauteil, weiter entwickelt werden. Somit wird es möglich, klimatische Zustände nicht nur im Hinblick auf das Raumklima zu erfassen, sondern durch diese Kombination zu erwartende Schäden der äußeren Raumschale im Vorfeld einer Baumaßnahme differenzierter bewerten zu können. Oftmals fehlen jedoch erforderliche Kennwerte für Baustoffe und Konstruktionen, die eine Bewertung der Rechenergebnisse in Frage stellen. Durchgeführte Untersuchungen zeigen, dass die erforderlichen Kennwerte unbekannter Baustoffe mittels einfacher Laborversuche bestimmt werden können und es mit qualifizierter Anwendung der Programmsysteme möglich wird, eindeutige Beschreibungen der Wechselwirkung des Gebäudes aus seiner

Nutzung auf das Bauteil zu bestimmen. Im Vorfeld einer geplanten Baumaßnahme oder Instandsetzung können so unterschiedliche Varianten realitätsnah beurteilt werden.

1.1.2 Vorgehensweisen zur Entwicklung eines Sanierungskonzeptes

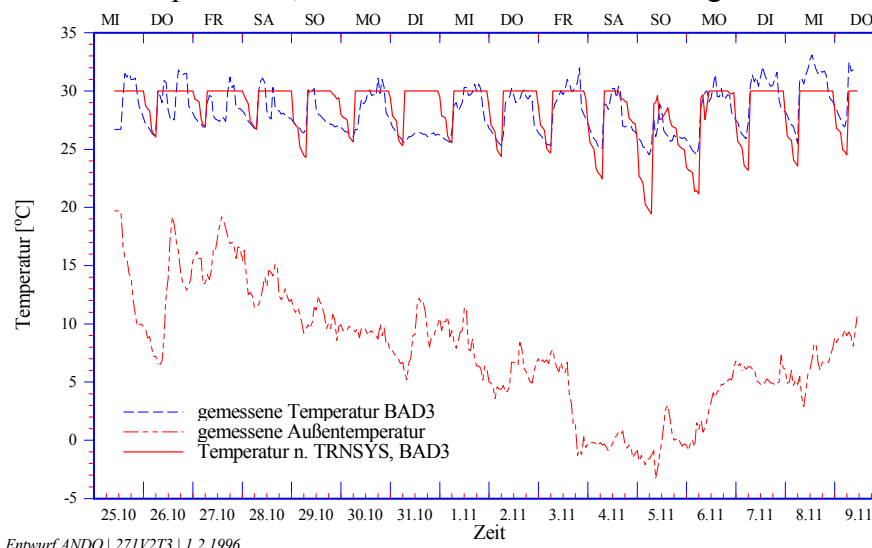
Aufgrund der dargestellten Probleme ist eine sorgfältige Planung einer Sanierungsmaßnahme des Gebäudes unumgänglich. Basis einer folgenden Untersuchung ist dabei die Bestimmung der örtlichen Situation, da allgemeine Aussagen über das Verhalten von Gebäuden und Bauteilen, bedingt durch erhebliche Unterschiede der Bauteile und Baustoffe, nicht möglich sind. Die Vorgehensweise ist umfangreich in /4/5/ dargestellt.

Die Grundlagen des Sanierungskonzeptes bilden hierbei die Bestimmung der örtlichen Situation, Bauteile, Details, Messung der Temperatur und Feuchte über einen gewissen Zeitraum, labortechnische Bestimmung der bautechnischen Kennwerte, Durchführung von Vergleichsrechnungen zur Eichung der Programmsysteme, Berechnungen von Sanierungsvarianten im Jahreszyklus.

1.1.3 Thermisch-hygrische Gebäudesimulationsberechnung

Mit dem Programmsystem TRNSYS (= Transient System Simulation Program /6/), einem Programm zur Simulation von thermischen Systemen unter instationären Bedingungen, wurde das klimatische Verhalten (Temperatur und Feuchte) untersucht.

Grundlage eigentlich jeder Berechnung ist die 'Eichung' eines Programmsystems durch Vergleich einer messtechnischen mit einer rechentechnischen Bestimmung des Temperatur- und Feuchteverhaltens. Bei der vergleichenden Simulationsberechnung des Gebäudes wurden die in diesem Fall gemessenen Außentemperaturen und -feuchten auf das Gebäude aufgebracht und das Temperatur- und Feuchteverhalten ermittelt. Bei der vergleichenden Betrachtung sind die gemessenen Temperaturen der Messstelle 1, mit den nach TRNSYS berechneten Temperaturen, Zone BAD3 in Abb. 3 u. 4 dargestellt.



4 BBS INGENIEURBÜRO Bericht Nr. 4; Bauphysikalische Untersuchungen zur Entwicklung eines Sanierungskonzeptes, bausubstanz 4 + 5+6/94

5 BBS INGENIEURBÜRO Bericht Nr. 4; Bauphysikalische Untersuchungen zur Entwicklung eines Sanierungskonzeptes, bausubstanz 4 + 5+6/94

6 Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin "TRNSYS - A Transient Simulation Program", Wisconsin 1992

Abb. 3 Vergleich Simulation - Messung: BAD3 - Temperaturverlauf

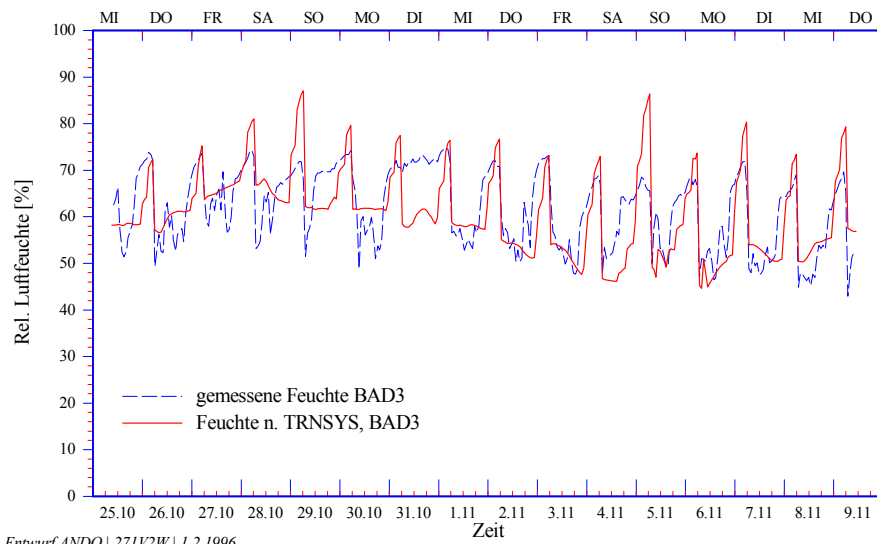


Abb. 4 Vergleich Simulation - Messung: BAD3 - Feuchteverlauf

Es lässt sich feststellen, daß der Temperaturverlauf der Simulation dem der Messung folgt. Abweichungen lassen sich auf die unregelmäßige Kohleheizung zurückführen. Die Luft nimmt in Abhängigkeit ihrer Temperatur eine bestimmte Masse an Wasserdampf bis zu ihrer Sättigung auf. Mit zunehmender Temperatur der Luft steigt die aufnehmbare Wassermenge, so dass die relative Luftfeuchte bei gleicher Wassermenge sinkt. Die relativen Luftfeuchten liegen in einem Bereich von 45% bis 85%. Abweichungen von der gemessenen relativen Luftfeuchte sind auf die Abweichungen im Temperaturverlauf bzw. auf den vereinfachten Ansatz der Nutzerbedingungen zurückzuführen.

1.1.3.1 Temperatur und Feuchteverhalten des Gebäudes im Testreferenzjahr

Um das Gebäude im Jahresverlauf beurteilen zu können, wird das Testreferenzjahr TRY 02, entsprechend dem nord- und westdeutschen Tiefland, auf das Gebäude aufgebracht und das wärme- und feuchtetechnische Verhalten aufgezeigt.

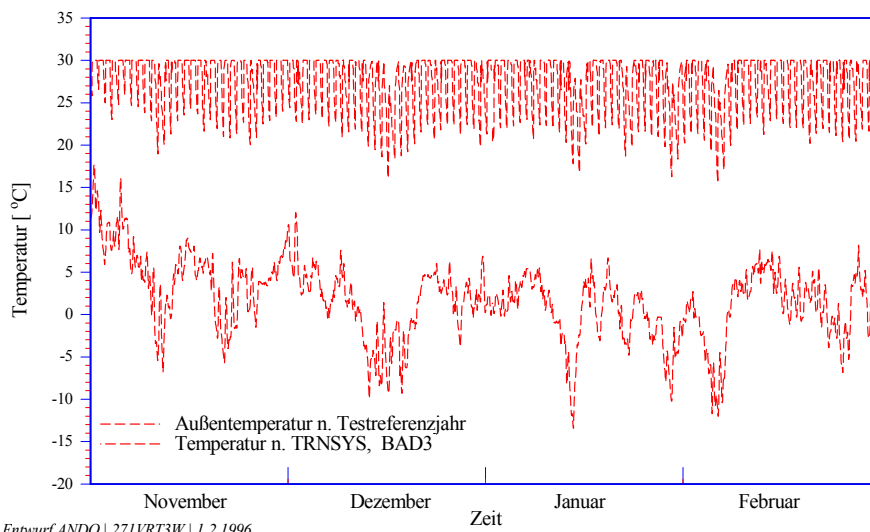


Abb. 5 Temperaturverlauf BAD3, Winterperiode TRY 02

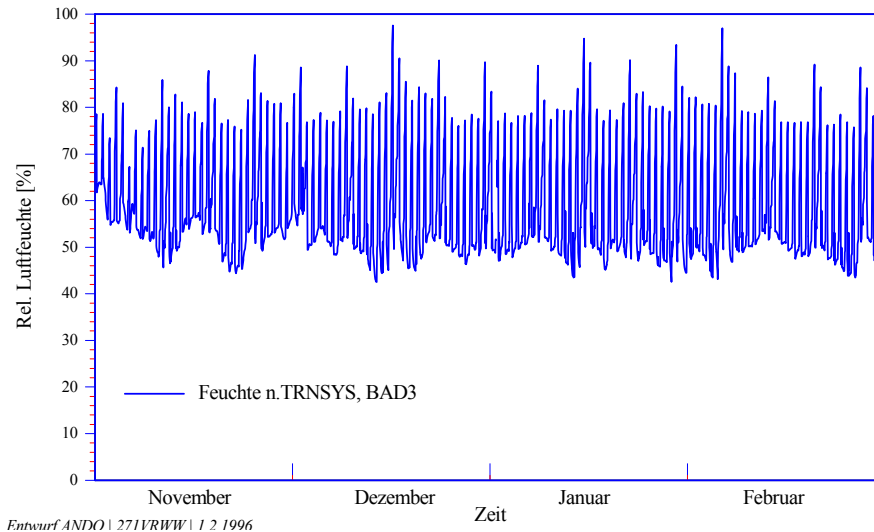


Abb. 6 Feuchteverlauf BAD3, Winterperiode TRY 02

In den Wintermonaten schwanken die Temperaturen in BAD3 zwischen 16°C und 30°C. An kalten Frosttagen kann während der Öffnungszeiten die Temperatur von 30°C in der Schwimmbadhalle nicht erreicht werden. Nachts sinken die Temperaturen auf 16°C. Die relative Luftfeuchte erreicht zu diesem Zeitpunkt Höchstwerte von 98%. Aus diesen Gründen sind die Bauteiloberflächen stark tauwassergefährdet.

1.1.4 Thermische und hygrische Bauteilsimulationsberechnung

Um die Auswirkungen eines veränderlichen Raumklimas auf die Bauteile genauer zu betrachten, wurden ergänzend zu den in TRNSYS vorhandenen Feuchteberechnungen die Berechnungen der Bauteile mit dem Programmsystem WUFI /7/ durchgeführt.

Als Randbedingungen der Berechnung werden die meteorologischen Daten des TRY 02, wie Temperatur, Strahlung, Regen/Schlagregen, relative Luftfeuchte, oder die gewonnenen Messwerte auf das Bauteil aufgebracht. Die Raumklimadaten, Temperatur und relative Feuchte, werden aus den Berechnungen der Gebäudesimulation übernommen und auf das Bauteil aufgebracht.

1.1.4.1 Auswertung der Berechnungen

Bei der Bewertung der Feuchteentwicklungen zeigt sich, dass der Gesamtwassergehalt ab dem 6. Jahr bis auf einen maximalen, eingeschwungenen Bereich ansteigt.

Bei der Betrachtung der Feuchteentwicklung der Baustoffe gilt, dass eine Gefährdung der Baustoffe ausgeschlossen werden kann, solange die Gebrauchstauglichkeit der Baustoffe nicht gefährdet ist. Grenzwerte der Baustoffe siehe /8/.

7 Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart 1994

8 Leimer, H.-P.: Beitrag zur Bestimmung des wärme- und feuchtetechnischen Verhaltens von Bauteilen bei der Instandsetzung historischer Fachwerkgebäude. Dissertation Weimar 1991

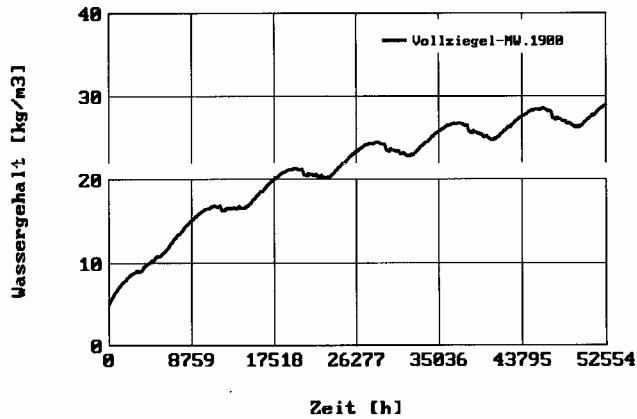


Abb. 7 Feuchteentwicklung im Vollziegel MW

Die Berechnungen zeigen folgende Feuchteentwicklung:

P Ziegel max. $u = 30 \text{ kg/m}^3 = 1.5 \text{ M-\%}$ 0.25 M-\%

P Wärmedämmputz max. $u = 26 \text{ kg/m}^3 = 8 \text{ M-\%}$ 3 M-\%

Die Gebrauchstauglichkeit der Baustoffe ist nicht eingeschränkt.

2 Architektur *gestern* - Nutzung *heute* und die Betrachtungen zur Bauphysik

2.1. Untersuchung des energetischen Verhaltens von Mehrfamilienwohngebäuden unter instationären Bedingungen am Beispiel von Block-, Reihen-, Geschoßbauten /9/

Auf der Grundlage eines vom Bundesministerium für Raumordnung und Städtebau finanzierten Rechenprogrammes zur Ermittlung von Luft- und Bauteiltemperaturen sowie Heiz- und Kühlleistungen /10/wurden Analysen des Temperaturverhaltens sowie des energetischen Leistungsbedarfs durchgeführt.

Das Rechenprogramm berücksichtigt dynamische Effekte in einem eingeschwungenen Zustand basierend auf den gebäudespezifischen Grundlagen.

Die Variation der Randbedingungen, die ein Bauwerk belasten, ermöglicht es, eine Optimierung des Wärmeschutzes von Gebäuden rechnerisch durchzuführen.

Anhand von Vergleichsrechnungen zur DIN 4701 und der VDI-Richtlinie 2078 /11/ sowie TRNSYS konnte die Aussagefähigkeit des Verfahrens überprüft werden.

2.1.1 Bestimmung des Energetischen Bedarfes der Einzelwohnungen

Eine der wesentlichen Fragestellungen bei der energetischen Betrachtung von großen Block- und Plattenbauten ist die Lage der Wohnung im Baukörper.

9Leimer H.-P.; BBS INGENIEURBÜRO Berichte Nr. 8

10 Haferland, Heindl, Fuchs; Rechenprogramm zur Ermittlung von Luft- und Bauteiltemperaturen sowie Heiz- und Kühlleistungen, 1977

11 VDI 2078, Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume, Entwurf 1990

Die Untersuchungen wurden in Anlehnung an eine Untersuchung von Hauser ^{/12/} durchgeführt.

Bei der Betrachtung der Wohneinheiten muss nach der Lage im Baukörper unterschieden werden:

Dachlagen, Mittelwohnungen, Kellerlage und Randwohnungen

Für die dargestellten Wohnungen wurden im Weiteren der Transmissionswärmeverlust der Außenbauteile bei einer Innentemperatur von 20°C und einer min. Außentemperatur von -14°C sowie die solaren Gewinne für **den Bestand** und **die wärmetechnische Instandsetzung** näher betrachtet.

Die Lüftungswärmeverluste je Wohneinheit sind bei rechentechnischer Betrachtung als gleich anzunehmen. Wärmeverluste über die Innenbauteile der Wohnungen untereinander wurden nicht betrachtet.

Die Energieverluste zeigen sich zu:

Transmission + Solare Gewinne

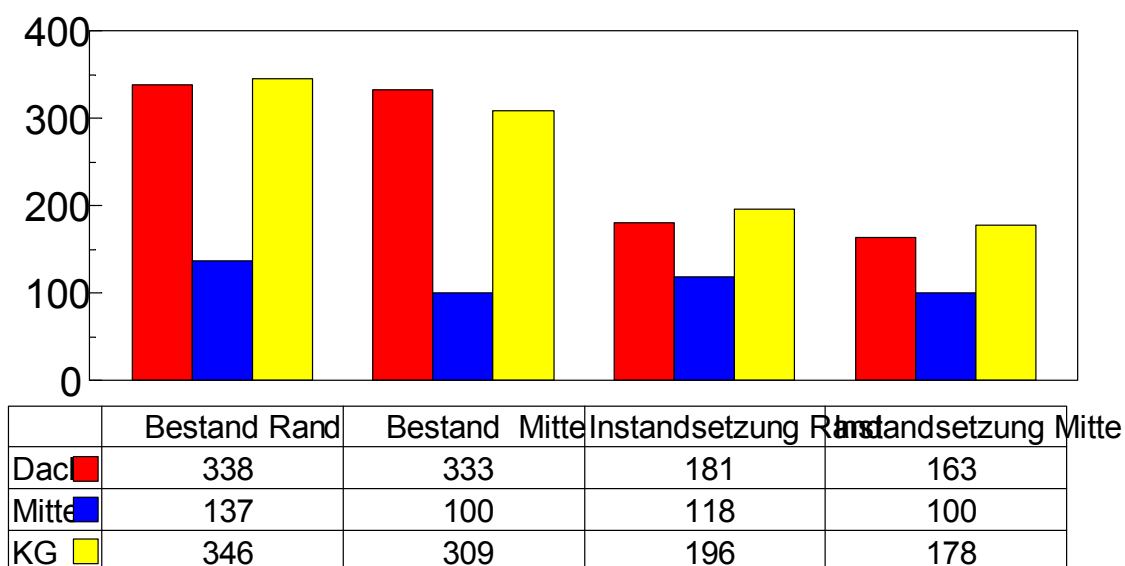


Tabelle 3 Energieverluste [%] der Wohneinheiten in Abhängigkeit der Lage im Baukörper

Die Berechnungen zeigen, dass die Energieverluste der Wohnungen Randlage, Dach und Keller, bis zum 3,5-fachen Wert im Vergleich zur mittleren Wohnheinheit auftreten können. Mit einer wärmetechnischen Instandsetzung kann der Energieverlust auf den 2-fachen Wert, bei Optimierung noch günstiger, beschränkt werden.

Aus diesen Berechnungen wird deutlich, warum bei 'üblicher' Heizkostenabrechnung die mittleren Wohnungen bevorzugt werden!

Um diesem 'Unrecht' entgegenzuwirken können weitere Untersuchungen/Optimierungen durchgeführt und durch unterschiedliche Wärmedämmmaßnahmen, die in Abhängigkeit der Lage der Wohnungen an den Außenbauteilen durchgeführt werden, eine möglichst 'gerechte' Heizkostenverteilung erreicht werden.

¹² Hauser, Thermische Entkoppelung von Wohnungen durch Wand- und Deckenbekleidungen; Bauphysik 4/93