

Bauphysikalische Untersuchungen zur Entwicklung eines Sanierungskonzeptes

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer

Dipl.-Ing. Frank Eßmann

1 Einführung

Bei der Sanierung eines Gebäudes wird im Allgemeinen angestrebt, eine den heutigen Anforderungen gemäße Nutzung zu gewährleisten. Hierbei sollte jedoch stets berücksichtigt werden, dass es sich bei dieser Baumaßnahme nicht um einen Neubau handelt, denn ein bedenkenloses Anpassen an die heutigen Bedürfnisse kann baukonstruktive, bauphysikalische und natürlich auch denkmalpflegerische Gesichtspunkte verletzen.

Eine zusätzliche Schwierigkeit der Sanierung liegt darin begründet, dass historische Gebäude eine Vielzahl von unbekanntem Parametern in sich bergen. Unbekannt sind nicht nur die Baustoffe, sondern zu weiten Teilen auch die Konstruktionen. Aufgrund der Vielfältigkeit sowie der mangelhaften Erfassung bzw. Erfassbarkeit bestehender Substanz in den Normen sind hierzu bauphysikalische Untersuchungen erforderlich. Diese gliedern sich in eine Bestands- und Schadensanalyse, wobei sie sich jeweils in Versuche (in situ und im Labor) sowie bauphysikalische Berechnungen unterscheiden. Bei bauphysikalischen Fragen sind die folgenden sechs Hauptbereiche zu umreißen, bei denen verschiedene Bauteile zu untersuchen sind.

- A) Wärme- und Feuchteschutz der Außenbauteile
 - Außenwand
 - Fenster
 - Dach bzw. Decke zum nicht ausgebauten Dachraum
 - Sohlplatte bzw. Decke zum nicht beheizten Keller
 - insbes. Detailpunkte
- B) Energetisches / Klimatisches Verhalten der Räume
 - Außenbauteile wie A)
 - u. U. Innenbauteile
- C) Feuchtebelastung im Allgemeinen im Kellergeschoss
 - Kellerwand
 - Sockel
 - Kellersohle
- D) Schlagregenschutz
 - Außenwand
 - Fenster
 - insbes. Fugen/Anschlüsse
- E) Schallschutz
 - Nutzungstrennwand
 - Nutzungstrenndecke
 - Treppe
 - u. U. Außenbauteile

- F) Brandschutz
 Tragende Bauteile
 Nutzungstrennwand
 Nutzungstrenndecke
 Treppe
 "Brandwand"

Die für die einzelnen Fragestellungen A) bis F) notwendigen Versuche sind im folgenden Bild zusammenfassend dargestellt.

nötige / zu empfehlende Untersuchung	A	B	C	D	E	F
Rohdichte	X	X	X	X	X	
Kapillares Saugvermögen	X		X	X		
Rücktrocknungsvermögen	X		X	X		
Ausgleichsfeuchte		X	X	X		
Wassergehalt		X	X	X		
Wasser-Eindringvermögen				X		
Schallmessungen					X	
Klimamessungen (i.A. Temperatur / Feuchte)	X	X	X			
Grundwasserstand			X			
Bodengutachten			X			
pH-Wert			X			
Schadstoffgehalt (Chlorid CL ⁻ , Sulfat SO ₄ ²⁻ , Nitrat NO ₃ ⁻ , kalklösende Kohlensäure,)			X	X		X
Stoffanalyse (Mörtel, Farbe, Inhaltsstoffe, etc.)	X			X		X
Tierische / Pflanzliche Schädlinge			X			

Bild 1 Notwendige Versuche zu den Problembereichen A) - F)

Obige Tabelle ist unbedingt variabel und als nicht in jedem Fall vollständig zu betrachten. Je nach Objekt und Sanierungsaufwand sind weitere Untersuchungen z. B.

- Rissbreiten-Ermittlung / Rissbild-Dokumentation
- Optische Beurteilung an unzugänglichen Stellen mit Hilfe der Endoskopie
- Feststellen von Wärmeverlusten mittels Thermografie
- Druck- und Biegedruckfestigkeit
- ...

erforderlich.

Für ein Sanierungskonzept müssen je nach Fragestellung unterschiedliche Normen und Verordnungen herangezogen werden. Zusätzlich sollten jedoch stets aktuelle Forschungserkenntnisse berücksichtigt werden, da der Bereich Sanierung nur dürftig in den Richtlinien abgedeckt ist.

2 Problembereich A: Wärme- und Feuchteschutz der Außenbauteile

2.1 Ermittlung der vorhandenen Situation

Es werden alle Außenbauteile jeweils unter besonderer Berücksichtigung der Detailpunkte untersucht. Für die Ermittlung des Bauteilaufbaus ist eine Materialentnahme vor Ort erforderlich. Werkzeuge hierfür sind das Bohrkerngerät (nass bzw. trocken) sowie Hammer und Meißel.

Bohrkerngerät (BKG)	Hammer / Meißel
+ schnell (insbes. nass) einfach (insbes. nass) gleichmäßiger Entnahmekörper	+ siehe Nachteile BKG
- Wassergehalt verfälscht (insbes. nass) mangelnde Sensibilität für Störungen, etc.	- siehe Vorteile BKG

Bei wertvoller Substanz (Wandmalereien, o.ä.) ist eine Materialentnahme natürlich nur in Ausnahmefällen möglich. Es ist dann besonders sensibel vorzugehen, wobei eine gewisse Vorsicht stets erforderlich sein sollte.

2.2 Versuchstechnische Einstufung der Baustoffe

Mit Hilfe der entnommenen Proben können die Rohdichten nach üblichem Verfahren z. B. durch Tauchwägung (DIN 18125 /¹/) bestimmt werden. Die Rohdichte bildet den Basiswert für die Abschätzung des wärmetechnischen Verhaltens sowie dient als Grundlage für weitere bauphysikalische Kennwerte.

Mit Hilfe der Rohdichte kann die mittlere Wärmeleitfähigkeit des Baustoffes λ_B bestimmt werden. Für Ziegel kann λ_B mit Hilfe des Diagramms (Bild 2) ermittelt werden. Es sind hier die Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit λ_R nach DIN 4108, T4 aufgetragen. Des Weiteren ist mit λ_z die Wärmeleitfähigkeit gekennzeichnet, die sich aus Laborversuchen unter Hinzuziehung eines Zuschlages nach DIN 52612 /²/ ergibt.

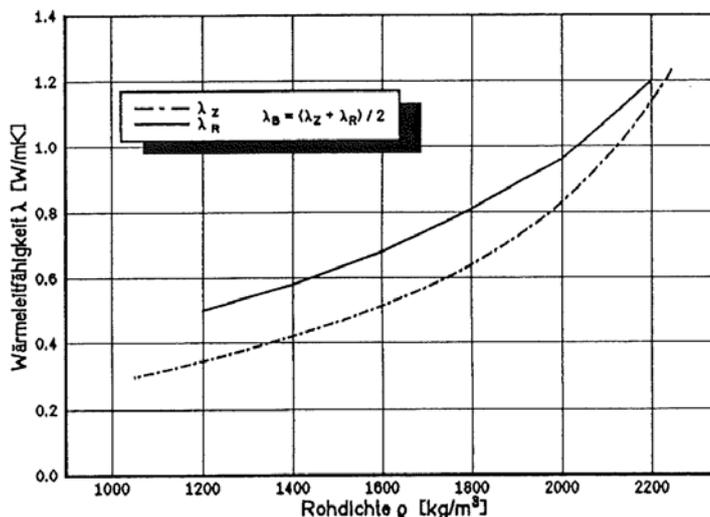


Bild 2 Abhängigkeit Rohdichte / Wärmeleitfähigkeit

Zerstörungsfrei kann eine direkte k-Wert-Ermittlung mittels Wärmeflussplatten vorgenommen werden. Hieraus können dann in ungefährer Annäherung die Kennwerte wie Wärmeleitfähigkeit sowie Rohdichte rückgerechnet werden. Es sollte jedoch bedacht werden, dass dieses aufgrund des Aufwandes ein teureres Verfahren ist.

Um das feuchtetechnische Verhalten des Baustoffes beschreiben zu können sind Aussagen über das Kapillar- sowie Diffusionsverhalten des Baustoffes notwendig. Diese können durch die Bestimmung der Wasseraufnahme und -abgabe der Proben ermittelt werden (s. Leimer /3/).

Beim Versuch zur Ermittlung der kapillaren Eigenschaften wird der ofengetrocknete Versuchskörper (24h bei 105 °C) in ein Wasserbad gegeben und die Zunahme der Stofffeuchte in Abhängigkeit der Zeit gravimetrisch bestimmt.

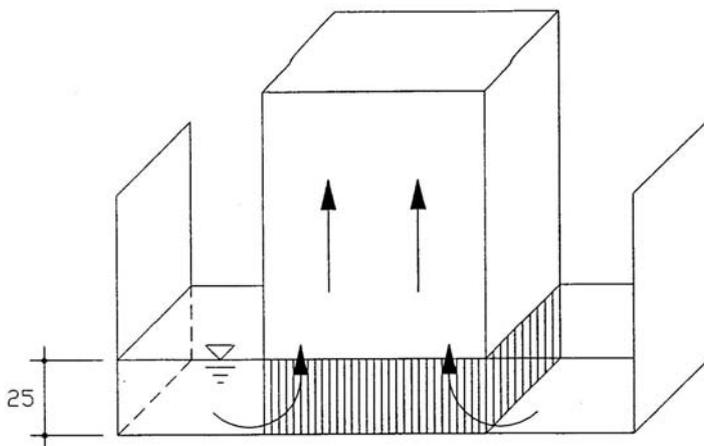


Bild 3 Versuchsaufbau zur Ermittlung der kapillaren Eigenschaften

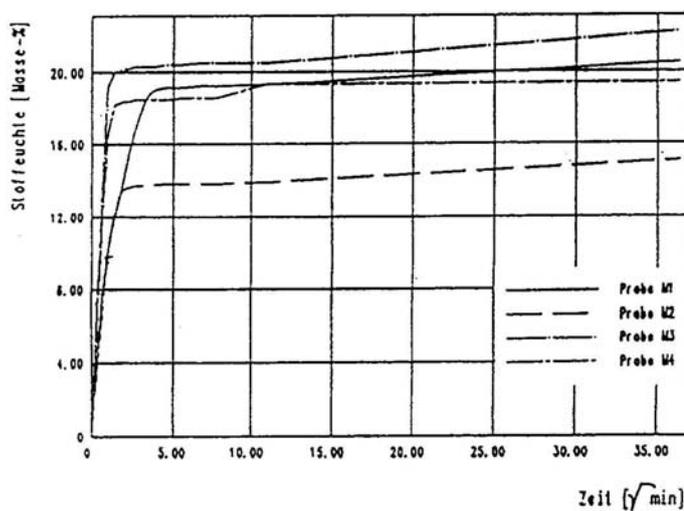


Bild 4 Wasseraufnahme der Proben Außenwand

Die Versuche werden analog der Normprüfungen (w-Wert nach DIN 52617 ^{4/}) durchgeführt und über

$$w' = \frac{\Delta u}{\Delta t} \cdot \zeta_d$$

ausgewertet. Mit dem w'-Wert wird die Sauggeschwindigkeit im Anfangsbereich gekennzeichnet. Als Anhaltswerte für eine Einstufung des kapillaren Saugverhaltens dient die nachstehende Tabelle.

w'	kapillares Saugvermögen
< 200	gering
200 - 400	mittel
400 - 800	stark
> 800	sehr stark

Weiteres Ergebnis des Versuchs ist der Wert u_{max}, der die maximal erreichbare Feuchte aus Kapillarität beschreibt.

Beim Rücktrocknungsversuch wird der wassergesättigte Versuchskörper einem konstanten Raumklima (i. d. R. ca. 20 °C / 50 % r.F.) ausgesetzt und sein Trocknungsverhalten bis etwa (Unterschiede in der De- und Adsorptionskurve!) zur Ausgleichsfeuchte u_a [M-%] bestimmt.

Auch hier wird die Feuchte gravimetrisch bestimmt. Die Auswertung des w''-Wertes, der in der Hauptsache die Diffusionsvorgänge beschreibt, ist analog der des w'-Wertes. Mit w'' wird die Verdunstungsgeschwindigkeit beschrieben.

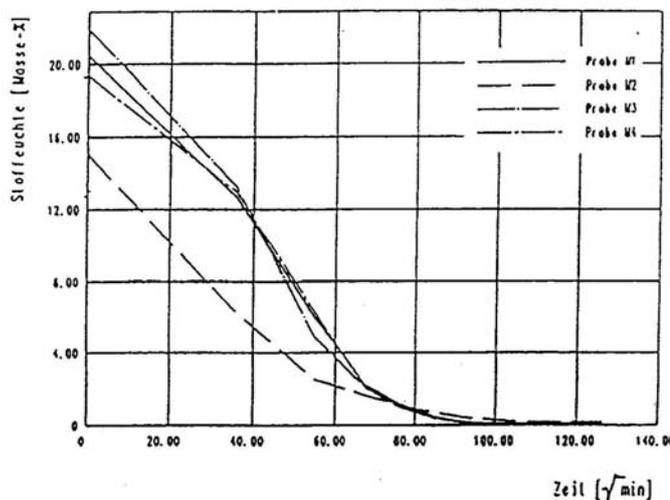


Bild 5 Wasserabgabe der Proben Außenwand

Die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ gibt an, um wievielfach größer der Diffusionsdurchlasswiderstand des Stoffes bezüglich einer gleich dicken Luftschicht ist. Die Bestimmung der Kennzahl erfolgt labormäßig nach DIN 52615 ^{5/}. In Anlehnung an die Norm kann dieser im Trockenbereich (Dry-Cup Methode: rel. Luftfeuchte innen-außen 0%-50%) bzw. im Feuchtbereich (Wet-Cup Methode: 50%-95%) bei konstanter Temperatur von 23 C durchgeführt werden.

2.3 Anforderungen und Berechnungen 'Wärme- und Feuchteschutz'

Für ein Sanierungskonzept unter wärme- und feuchtetechnischen Gesichtspunkten bilden in der Hauptsache die aktuellen Bestimmungen der DIN 4108 -Wärmeschutz im Hochbau- sowie mit Einschränkungen die Wärmeschutzverordnung (WSchVo) die Grundlage. Diese Einschränkungen beziehen sich auf die Konfrontation der gestellten Anforderungen mit den denkmalpflegerischen Belangen sowie auf die durch die erhöhte Dämmung hervorgerufenen bauphysikalischen Probleme (Stichwort Fachwerkkinnendämmung).

Die Berechnungen sehen in der Regel den Nachweis des erforderlichen Wärmeschutzes, ausgedrückt durch den Wärmedurchlasswiderstand $1/\kappa$ bzw. den k-Wert, vor. Nach DIN 4108 ist weiter der Nachweis der Tauwasserfreiheit im Bauteilquerschnitt zu führen. Dieser ist nach dem Glaser-Verfahren, das allerdings in der Literatur umstritten ist, vorzunehmen.

Nach DIN 4108, T2 gilt für den ebenen Außenwandbereich als Anforderung an den Mindestwärmeschutz ein Wert in Höhe von $1/R = 0.55 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Aus der WSchVo ergibt sich hierfür ein Wert von $1/R = 1.50 \text{ m}^2\text{K/W}$ (nach Tabelle 3, erstmaliger Einbau und Erneuerung von Bauteilen: $k = 0.60 \text{ m}^2\text{K/W}$).

Für den Fachwerkbau wurde von Leimer ^[5] ein erforderlicher Wert des Wärmedurchlasswiderstandes in Höhe von $1/R = 1.0 \text{ m}^2\text{K/W}$ zur Vermeidung von Tauwasser auf der raumseitigen Bauteiloberfläche ermittelt.

Eine Tauwasserfreiheit auf der Bauteiloberfläche regelt die DIN 4108, Teil 3 für den ebenen Bereich. Wärmebrückenbereiche sind hierbei nicht berücksichtigt.

Ein Tauwasserausfall auf der raumseitigen Bauteiloberfläche ist erreicht, wenn bei einem Innenraumklima $\vartheta_i = +20 \text{ °C}$ und $\phi = 50 \%$ (nach DIN 4108 „übliches Raumklima“) die Oberflächentemperatur an irgendeiner Stelle unterhalb der Taupunkttemperatur von $+9.3 \text{ °C}$ liegt.

Im nachfolgenden wird der Nachweis der Tauwasserfreiheit auf der Bauteiloberfläche im Bereich von Wärmebrücken dargestellt. Bei dem Beispiel eines Balkon-Anchlusses über Stahlprofile (Bild 6) ist der 'Wärmebrücken-Effekt' deutlich zu sehen.



Bild 6 Anschluss Balkon

Mit Hilfe der versuchstechnisch ermittelten Kennwerte ζ , λ_B konnte das Materialnetz für die Simulationsrechnung wie nachfolgend erstellt werden.

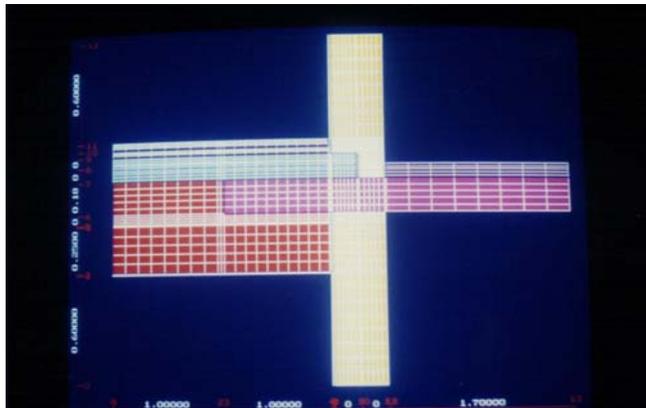


Bild 7 Materialnetz Anschluss Balkon

Anmerkung zu Bild 7:

Im Materialnetz kennzeichnen unterschiedliche Farben unterschiedliche Baustoffe.

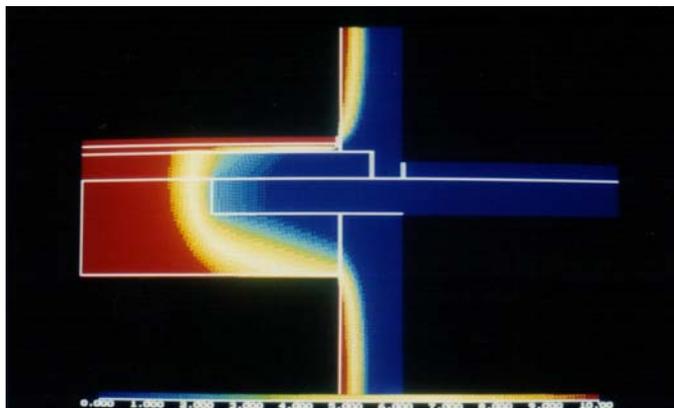


Bild 8 Temperaturbild Anschluss Balkon

Anmerkung zu Bild 8:

In den Temperaturbildern sind (Rein-) Blau bzw. Dunkel die Bereiche, in denen die Temperaturen bei bzw. unter 0°C liegen, d.h. dass dieses Bauteil im frostgefährdeten Bereich liegt. (Rein-) Rot bzw. Hell sind die Bereiche, die bei bzw. über der Taupunkttemperatur liegen.

Um Tauwasserfreiheit an der raumseitigen Bauteiloberfläche zu garantieren, muss die Bauteiloberfläche rot in allen Bereichen sein.

Der Wärmebrückeneinfluss zeigt sich wie zu erwarten. Die Oberflächentemperatur ergibt sich mit 7.2°C unterhalb der Taupunkttemperatur von $\vartheta_s = 9.3^\circ\text{C}$.

Unter Berücksichtigung einer erforderlichen raumseitigen Oberflächentemperatur von $+10^{\circ}\text{C}$ (Taupunkttemperatur bei „üblichem“ Innenraumklima zzgl. Sicherheitszuschlag) zeigt sich, dass hier zusätzliche Dämmmaßnahmen erforderlich sind. Hierfür stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung: Entkopplung der Träger, Umkleidung der Stahlprofile außen und/oder innen.

Es sei weiter angemerkt, dass für Fachwerkkonstruktionen mit Innendämmung nach ^{5/} mit den zuvor ermittelten Werten $1/R$ und μ (jeweils von Gefach und Dämmung) die maximale Holzfeuchte u in den Holzteilen sowie die Zeit, in der $u > 18\%$ ist, abgeschätzt werden kann.

3 Problembereich B: Energetisches / Klimatisches Verhalten des Gebäudes

Zu diesen Untersuchungen ergeben sich folgende Fragestellungen:

Beim energetischen Verhalten eines Gebäudes ist in der Hauptsache die Erfassung der Wärmeströme interessant. Dieses ist nicht nur zur Ermittlung der Heizlastberechnung gefordert, sondern in zunehmender Hinsicht auch in ökologischer Sicht bedeutend. Besonders in Bezug auf die Novellierung der WSchVo wird die energetische Betrachtungsweise in Zukunft bedeutender für die Planung von Baumaßnahmen.

Bei den klimatischen Betrachtungen interessieren neben den Wärme- auch die Feuchteströme. Aus Gründen der Behaglichkeitsverbesserung ist eine gemeinsame Betrachtungsweise (hierbei auch unter Berücksichtigung der Luftgeschwindigkeiten sowie dem Abstrahlungsverhalten der Umschließungsflächen) bedeutend.

Zum Beispiel ist es zudem in Kirchengebäuden interessant zu wissen, inwieweit sich eine Beheizung und/oder die Nutzung der Kirche auf die erhaltungswerten Einrichtungen (Skulpturen, Bilder, Möbel) auswirkt.

3.1 Ermittlung der vorhandenen Situation

Um Mangelstellen des Gebäudes aus energetischer Sicht betrachten zu können, werden die einzelnen Wärmeströme ermittelt. Hierbei sind die Transmissions- und die Lüftungswärmeverluste sowie eventuelle Wärmegewinne zu berücksichtigen.

Von der Baukonstruktion werden alle Bauteile, in denen ein signifikanter Wärmestrom zum beheizten Raum besteht, i.d.R. die Außenbauteile, untersucht. Anmerkungen zur Probenentnahme sind in A) gemacht worden.

3.2 Versuchstechnische Einstufung

Bei einer Neunutzung des Gebäudes ist es wichtig, die zukünftige Nutzung ausreichend zu beschreiben. Das künftige Innenklima sollte im Voraus möglichst genau abgeschätzt werden.

Neben den direkten klimatischen Daten sind für eine energetische bzw. klimatische Betrachtung auch die Personenbelegung, Lüftungsverhalten, Innenwärme-Komponenten (Beleuchtung, Maschinen, etc.) sowie das Feststellen von Feuchtpotentialen von Bedeutung.

Klimaaufzeichnungen (Temperatur, Feuchte) über einen längeren Zeitraum sind in der Hauptsache bei klimatischen Fragestellungen erforderlich. Dieses geschieht mittels Thermohydrographen oder elektronischer Klimaerfassungsgeräte (Bild 9). Die Messwerte können über einen Zeitraum von ca. 4 Wochen gespeichert und danach sofort graphisch wie rechnerisch umgesetzt werden.

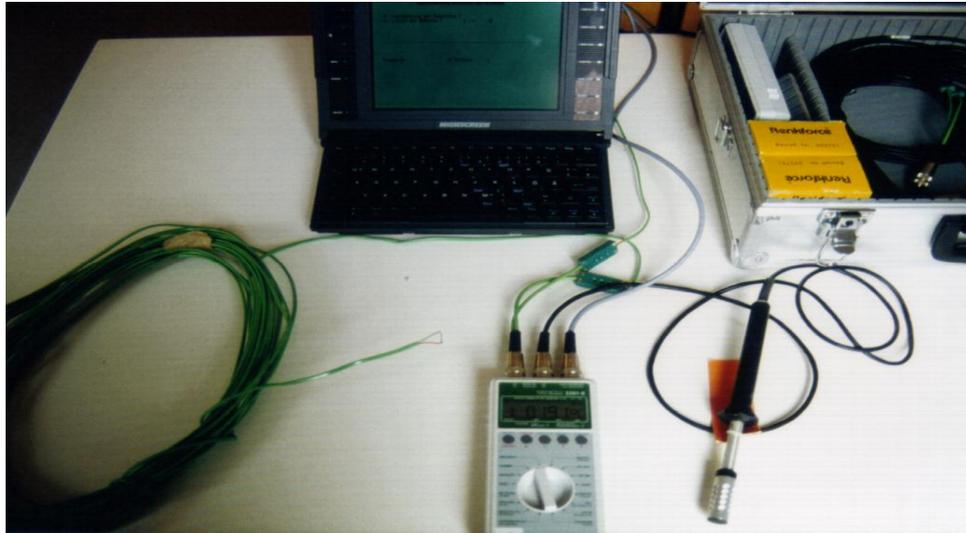


Bild 9 Geräte zur Erfassung der Klimawerte

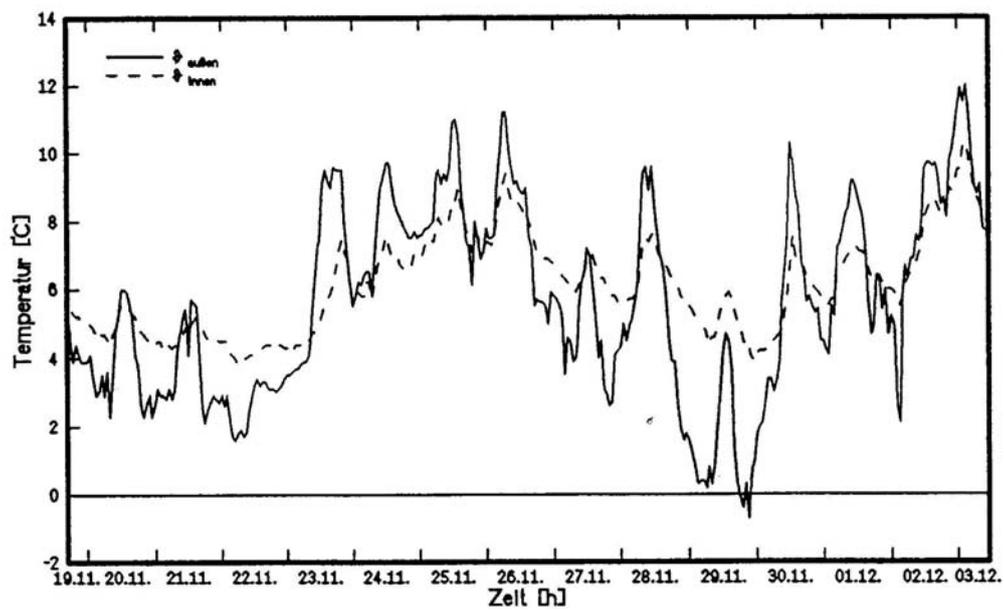


Bild 10 Gemessener Temperaturverlauf außen / innen

Die Ermittlung der Rohdichte der Außenbauteile dient neben einer dämmtechnischen Einschätzung (\square_B) auch der Beurteilung des Speichervermögens des Bauteils.

Mit dem Sorptionsverhalten wird die Feuchtaufnahme des Baustoffes in Abhängigkeit von der Umgebungsfeuchte beschrieben. Im hygroskopischen Bereich lässt sich die Sorption durch eine versuchstechnisch ermittelte Sorptionsisotherme beschreiben.

Weitere Kennwerte wie u.a. die Dichtigkeiten von Fenstern oder auch ganzer Fassaden sollten im Bedarfsfall festgestellt werden und in die Bewertung einfließen. Hierbei kann je nach Objekt und Fragestellung eine Rissbreiten-Ermittlung oder auch eine Messung von Durchwehrgeschwindigkeiten erforderlich sein.

3.3 Anforderungen und Berechnungen 'Energetisches / Klimatisches Verhalten des Gebäudes'

Die Berechnung der Wärmeverluste geschieht in Anlehnung an die DIN 4108 sowie DIN 4701 -Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden-. Mit Hilfe der Bauteilkennwerte (u-Wert) wird der Transmissionswärmestrom (TV) bestimmt.

Eine Erfassung der bestehenden Wärmeverluste der Außenbauteile (Bild 11) zeigt in welchen Bereichen Einsparmöglichkeiten vorhanden sind. Die Verluste sollten aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen reduziert werden. Hier zeigt sich z. B., dass das größte Potential in den Bereichen Außenwand und Fenster ist.

In Erweiterung können die Einsparungen des Heizwärmebedarfs für unterschiedliche Sanierungsvarianten ermittelt werden. Somit kann über die jeweiligen Reduzierungen sowie der dazugehörigen Kosten die Amortisationszeit für die Sanierungsmaßnahme berechnet werden (näheres siehe auch BBS-Bericht 6 ⁶).

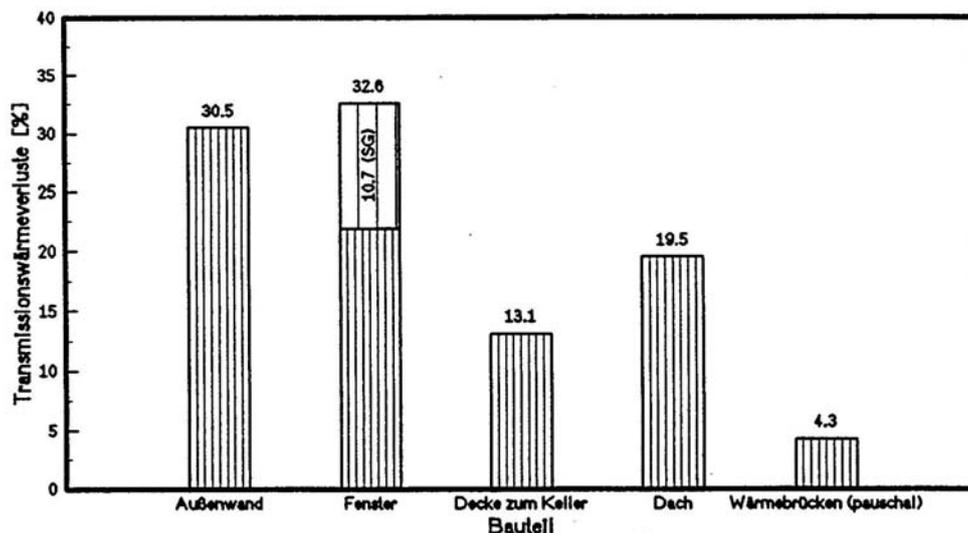


Bild 11 Transmissionswärmeverluste (Zustand historisch)

Die klimatischen Berechnungen sind, da komplizierte Abhängigkeiten der Kennwerte untereinander bestehen, häufig sehr komplex. Diese Berechnungen sind in der Regel lediglich mit sog. Klimasimulationsprogrammen, z. B. TRNSYS durchzuführen. Die umfangreichen Ergebnisse sind unbedingt auf Plausibilität zu überprüfen und zu hinterfragen.

4 Problembereich C: Feuchtebelastung im Kellergeschoß

4.1 Ermittlung der vorhandenen Situation

Es werden alle feuchtegefährdeten bzw. mit Feuchteerscheinungen behafteten Bauteile (Kellerwand, Sockel, Kellersohle) untersucht. Die Materialentnahme vor Ort entspricht den zu A) gemachten Ausführungen.

Bei einer angestrebten gravimetrischen Ermittlung des Wassergehaltes in situ sollte die Probe zwecks Reduzierung der Verfälschungen nach Möglichkeit mit Hammer und Meißel entnommen oder zumindest trocken gebohrt werden! Beim Transport der Proben ist darauf zu achten, dass die Materialtüten dicht verschlossen werden.

4.2 Versuchstechnische Einstufung der Baustoffe

Wie bereits zuvor beschrieben, werden auch hier die Untersuchungen der Rohdichte, Wasseraufnahme und -abgabe (w' - und w'' -Wert) sowie Sorptionsfeuchte vorgenommen.

Bei dieser Untersuchung sollte stets der Wassergehalt in situ der Kellerwand über ein Höhenprofil bestimmt werden. Der Wassergehalt kann gravimetrisch, aber auch z. B. in situ mit Neutronensonden (eleganter, aber auch teurer) ermittelt werden.

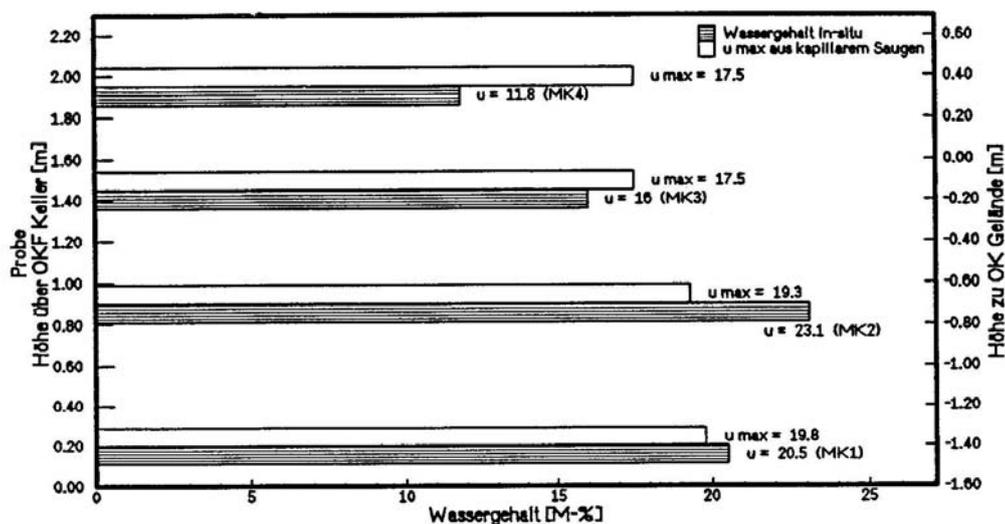


Bild 12 Feuchteprofil Keller

Eine Untersuchung auf pflanzliche Schädlinge ist aus Gründen der Gesundheitsgefährdung der Bewohner (asthmatische, allergische Reaktionen) durchzuführen. Da in Kellern im Allgemeinen eine erhöhte Feuchte und damit gute Bedingungen für ein Wachstum der Pilze anzutreffen sind, besteht eine vergrößerte Gefahr des Ausbreitens von pflanzlichen Schädlingen (Stichwort Hausschwamm u.a.). Eine visuelle - aber genaue - Kontrolle ist erforderlich.

Bei Vorliegen eines Befalls sollte unbedingt die Ermittlung der Schädlingsart und der Ausbreitung von einem autorisierten Büro bzw. Fachinstitut durchgeführt werden. Eine Sanierung sollte in Anlehnung an das WTA-Merkblatt ⁷ geschehen.

Bei einem Vorkommen von Schadstoffen (i. d. R. Salze) kann es zu optischen Beeinträchtigungen sowie zu einer Zerstörung der Substanz (Frostquellen etc.) kommen.

Bei der Schadstoffanalyse sollte z. B. auf Salzkristallbildungen auf der Bauteiloberfläche geachtet werden. Man muss jedoch berücksichtigen, dass Schadstoffbelastungen nicht in jedem Fall in Form von Kristallbildungen äußerlich sichtbar sind. Eine labortechnische Analyse ist daher generell vorzunehmen! Die Untersuchung wird über Analysen mittels Titrierlösungen oder elektrischer Leitfähigkeit an der eluierten Materialprobe nach DIN 38414 ⁸⁾ vorgenommen. Somit werden im Allgemeinen der Gehalt an Cl^- , SO_4^{2-} und NO_x^- - Ionen ermittelt.

Mittels Bohrungen oder Sondierungen (i. d. R. RKS evtl. auch Schürfen) wird festgestellt, um welchen Bodenaufbau es sich vor Ort handelt. Hierdurch kann gefolgert werden, ob durch das Vorhandensein von bindigen bzw. nicht bindigen Böden eine besondere Feuchtebelastung (so z. B. durch drückendes Wasser) für das Kellermauerwerk zu erwarten ist bzw. bereits in der Vergangenheit das Bauwerk belastet hat.

Im Rahmen eines Bodengutachtens ist es unbedingt erforderlich den maximalen und minimalen Grundwasserstand im Mehrjahresmittel zu bestimmen, um die Feuchtebelastung einzuschätzen. Die Höhe des Pegelstandes muss auf das Bauwerk übertragbar sein.

4.3 Anforderungen und Berechnungen 'Feuchtebelastung im KG'

Bei den Berechnungen kann u.U. das feuchtetechnische Verhalten des Gesamtsystems Bauwerk / Boden simuliert werden. Es muss in jedem Fall versucht werden eine Feuchtefreiheit und damit eine Benutzbarkeit des Bauwerks zu erreichen.

Bei der Sanierung feuchtebelasteter Keller kann die DIN 18195 -Bauwerksabdichtungen- als Teilgrundlage angesehen werden.

Bei einem Vergleich des Wassergehaltes mit der kapillar maximal aufnehmbaren Feuchtemenge u_{\max} kann der Durchfeuchtungsgrad ($D = u / u_{\max}$) bestimmt werden. Durch ein Steigen oder Fallen des Durchfeuchtungsgrades über die Höhe kann u.U. bereits im Vorfeld die eventuelle Ursache der aufgetretenen Feuchte eingegrenzt werden. Akute Vorsicht gilt beispielsweise bei Werten $D > 100\%$, da in diesem Fall nicht nur kapillare Prozesse aufgetreten sind.

Weiter kann der vorhandene Wassergehalt mit den Sorptionsfeuchten bei 80 % r.F. verglichen werden (Kießl /9/). Sind diese Werte in etwa gleich, so handelt es sich um hygroskopische Feuchte (Ausgleich mit Luftfeuchte, auch bei Salzgehalt). Ist der Feuchtegehalt in situ größer als der versuchstechnisch ermittelte, so liegt überhygroskopische Feuchte (aufsteigende Feuchte, Feuchte aus defekten Dachrinnen, etc.) vor.

Eine Beurteilung des feuchtetechnischen Zustandes eines Kellers kann nur im Gesamtzusammenhang aller Parameter vorgenommen werden. Eine Pauschallösung, wie sie leider auch von 'Fachleuten' nach einer Ortsbegehung angeboten wird, verliert jegliche seriöse Grundlage.

5 Problembereich D: Schlagregenschutz

Durch mangelnden Schlagregenschutz kann es zu einer Durchfeuchtung der Außenbauteile kommen, die insbesondere bei Fachwerkbauten zu Schäden im Holzbereich führen können. Aber auch bei massiven Konstruktionen kann es zu Schäden durch eindringendes Wasser (Frost- und Salzsprengungen oder z. B. bei Wärmedämmungen zur Minderung der Dämmeigenschaften) kommen.

5.1 Ermittlung der vorhandenen Situation

Für eine Beurteilung der Außenbauteile, in Hinsicht auf ihren Schlagregenschutz, müssen im Allgemeinen die Bauteile Außenwand sowie Fenster jeweils unter besonderer Berücksichtigung der Fugen, Anschlüsse und Rissbildungen untersucht werden. Die Versuche sind hier im Allgemeinen in situ durchzuführen.

5.2 Versuchstechnische Einstufung der Baustoffe

Mit Hilfe des Karsten'schen Prüfröhrchen (siehe Bild 13) kann das vorhandene Wassereindringvermögen in situ beurteilt werden. Bei dieser Untersuchung wird das Saugvermögen der Fassade durch die Belastung von 10 cm WS, was einer Simulation eines Winddrucks von etwa Orkanstärke entspricht, eingeschätzt.



Bild 13 Untersuchung mit dem Karsten'schen Prüfröhrchen im Labor

Für das Wassereindringvermögen können folgende Richtwerte angesetzt werden:

Ort	w_e [ml/min \cdot cm ²]
Verblendfassade (Rotziegel, Klinker)	< 0.40 (Einzelwerte)
	0.10 (Mittel)
Verblendfassade (Mörtelfugen) und regendichter Außenputz	< 0.40 (Einzelwerte)
	0.10 (Mittel)
Verblendfassade nach Hydrophobierung (Stein- und Fugenbereich)	0.00
Hydrophobierter Sperrmörtel lt. DIN 4117	0.02

Unterstützend hierzu ist die Bestimmung des w' - und w'' - Wertes (siehe Anmerkungen unter A)) in Einzelfällen erforderlich.

5.3 Anforderungen und Berechnungen 'Schlagregenschutz'

Als Richtwerte für die Einstufung des Hydrophobierungsgrades gelten die Werte der obigen Tabelle. Ganz wichtig ist es zu betonen, dass ein Einstellen des Grades auf einen bestimmten Wert unter Labor- und erst recht unter Baustellenbedingungen nicht möglich ist.

Anforderungen *wasserhemmende* Putze (hier aus Weber/10/) sind mit

$$w \leq 2.0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ h}^{0.5})$$

angegeben. Hiernach sind Putze *wasserabweisend*, wenn sie die Bedingungen

$$w \cdot s_d \leq 0.2 \text{ kg}/(\text{m h}^{0.5})$$

$$w \leq 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ h}^{0.5})$$

$$s_d \leq 2.0 \text{ m}$$

einhalten. Diese Kennwerte sind einerseits zwar allgemein anerkannt, andererseits jedoch nicht baustellengerecht einstellbar und überprüfbar.

Angaben in Bezug auf eine Zielvorgabe sind kaum zu geben, da Hydrophobierungsmaßnahmen beim jetzigen Forschungsstand unterschiedlich diskutiert werden (siehe auch 5.4).

5.4 Anmerkungen zur Erfordernis von Hydrophobierungen

Hydrophobierungen werden zum Teil bedenkenlos angewendet. Auf dem Bauphysik-Kongress 1991 in Berlin wurde dieses Vorgehen zur Diskussion gestellt ^{/11/}. Es wurde dabei auf häufige Schadensbilder durch erhöhte Frostsprengungen (behinderte Verdunstung) und Gipssprengungen (Gipsbildung durch Umwandlung von Kalkbestandteile durch 'sauren Regen') hingewiesen.

Aufgrund des Auftretens dieser Schäden nach durchgeführten Hydrophobierungen wird gefordert, dass diese nur vorzunehmen sind, wenn die Randbedingungen für das betreffende Gebäude durch begleitende Untersuchungen geklärt sind.

Eigene Untersuchungen ^{/12/} zeigen die Auswirkungen einer Hydrophobierung auf Ziegel im Fachwerkbau, bei dem konstruktionsbedingt spezielle Fragestellungen interessant sind. Auch hier zeigt sich die Problematik, dass die Feuchteaufnahme durch Schlagregen zwar reduziert werden kann, die Feuchte, die über die (bautechnisch nicht zu vermeidenden) Fugen eintritt, dagegen schlechter verdunsten kann. Besonders für Fachwerkbauten ist daher eine Hydrophobierungsmaßnahme nur nach besonderer Untersuchung zu formulieren.

6 Problembereich E: Schallschutz

6.1 Ermittlung der vorhandenen Situation

Für die Erstellung eines schallschutztechnischen Gutachtens ist es zunächst notwendig festzulegen, welche Bauteile zu untersuchen sind. Im Normalfall müssen bei Gebäuden mit verschiedenen Nutzungseinheiten (Wohnungstrenndecken, Wohnungstrennwände, Wände zum Treppenhaus bzw. Flur, Treppe, etc.) begutachtet werden.

Die Außenbauteile erfüllen bei Verwendung 'üblicher Materialien' die Anforderungen des Schallschutzes. In besonderen Fällen (Emissionsquelle innen = z. B. Discothek, Emissionsquelle außen = z. B. Hauptstraße, Flughafen) müssen jedoch auch diese genauer untersucht werden.

Bei schallschutztechnischen Untersuchungen ist es wichtig, den Bauteilaufbau genau und auch in Detailpunkten festzustellen und zu dokumentieren.

6.2 Versuchstechnische Einstufung der Baustoffe

Die Rohdichte ist für den Schallschutz eine entscheidende Größe. So ist bei biegesteifen Bauteilen das Schalldämmmaß größer, je schwerer das Bauteil ist. Mit Hilfe der Rohdichte kann die flächenbezogene Masse m' als Grundwert zur Festlegung des schalldämmenden Maßes bestimmt werden. Die Rohdichte ermittelt sich nach DIN 18125 (siehe 2.2).

Mittels bauakustischer Messungen nach DIN 52 210 /13/ ist der vorhandene Schallschutz zu ermitteln. Es wird hierbei mit Messfrequenzen von

$$100 / 125 / 160 / \dots / 2000 / 2500 / 3150 \text{ [Hz]}$$

gemessen. Aus der Schallpegelmessung im Sende- und Empfangsraum errechnet sich das vorhandene Schalldämmmaß R' . Durch Verschieben der Bezugskurve im Verhältnis zur Messkurve (Bild 14) kann das vorhandene Schalldämmmaß R'_w bestimmt werden.

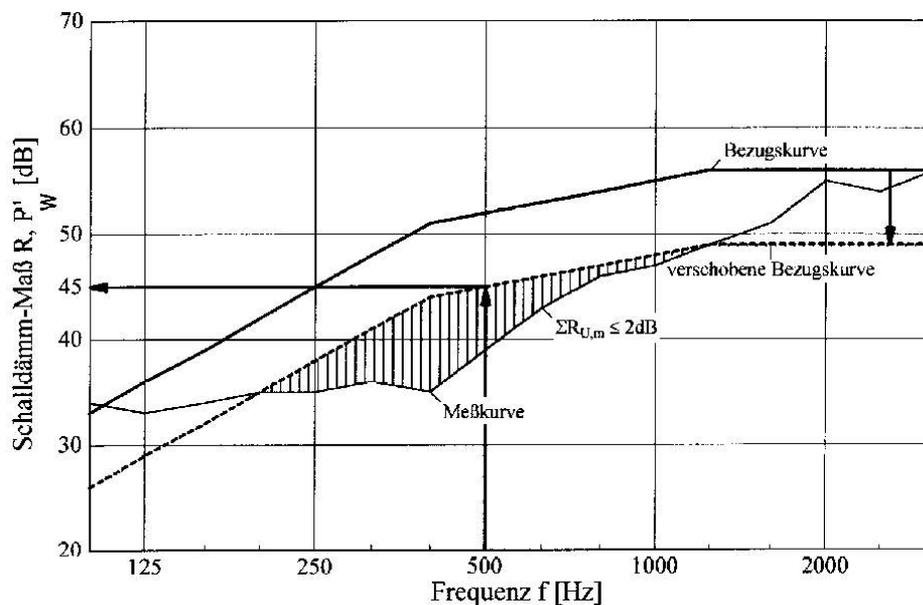


Bild 14 Gemessene Werte / Bezugskurve

Dieses Verfahren ist jedoch in der Praxis sehr aufwendig und daher teuer. Aus diesem Grunde sollte es nur bei sensiblen Gebäudesituationen durchgeführt werden.

Kurzmessverfahren nach Gösele ^{/14/} oder BBS sind dagegen schnell und günstig durchzuführen. Es kann so vor und/oder nach einer Sanierungsmaßnahme der vorhandene Schallschutz annähernd

bestimmt werden. Bei den Messungen des Luftschalldämmmaßes von Trennwänden, -decken wird ein Schallsender mit Rosa Rauschen (Sendeschallpegel in jeder Terz gleichgroß) gespeist.

Auch das Trittschallschutzmaß kann über Kurzmessverfahren ermittelt werden. Hierzu wird ein Hammerwerk auf der zu überprüfenden Decke betrieben. Im Empfangsraum wird der Körperschallpegel an der Deckenunterseite und an den Wänden gemessen, womit der Gesamt-Normtrittschallpegel $L'_{n,ges}$ bestimmt wird.

6.3 Anforderungen und Berechnungen 'Schallschutz'

Die DIN 4109 -Schallschutz im Hochbau- schreibt einzuhaltende Grenzwerte für den Luftschall- sowie Trittschallschutz vor. Als Bauteile, die am häufigsten zu untersuchen sind, gelten die Wohnungstrenndecke und -wände in Wohngebäuden. Gefordert sind hierfür Werte in Höhe von:

Decke: $R'_w \geq 54$ dB $L'_{n,w} \leq 53$ dB.

Wand: $R'_w \geq 53$ dB

Für die Ermittlung der vorhandenen Werte kann teilweise auf Regelaufbauten aus der DIN 4109 sowie zu weiten Teilen auch aus Herstellerangaben zurückgegriffen werden. Genaue Angaben für historische Bauteile sind nur in geringem Umfang zu erhalten. Einen Ausweg bietet für Holzbalkendecken z. B. das EGH-Heft 'Schallschutz mit Holzbalkendecken' ¹⁵. Zu weiten Teilen muss aber bei historischen Bauteilen - auch wenn es bei einigen Bauordnungsämtern nicht beliebt ist- auf einen Erfahrungsschatz zurückgegriffen werden.

Berechnungen von einschaligen, biegesteifen Bauteilen können über die flächenbezogene Masse m' [kg/m²] durchgeführt werden. Hiermit sind die Schalldämmwerte aus vorgegebenen Tabellenwerten zu bestimmen. In allen Fällen ist der Einfluss flankierender Bauteile zu berücksichtigen.

Das Schalldämmmaß R'_w nach dem Kurzmessverfahren wird direkt über

$R'_w \approx L_S - L_E + 10 \lg(S/A_E) + 2$ dB ermittelt.

7 Problembereich F: Brandschutz

7.1 Ermittlung der vorhandenen Situation

Um die brandschutztechnisch erforderlichen Zusatzmaßnahmen zu erfassen, ist es notwendig den vorhandenen Bauteil Aufbau in den signifikanten Bauteilen festzustellen. Dieses sind im Allgemeinen alle tragenden Bauteile, insbesondere

- Nutzungstrenndecken
- Nutzungstrennwände
- Bauteile des Treppenhauses
- Türen
- Brandwände.

Es ist auch auf Detailausführungen (Gefahr der Brandübertragung über flankierende Bauteile) zu achten.

7.2 Versuchstechnische Einstufung der Baustoffe

Weitestgehend kann die Materialanalyse visuell durchgeführt werden, um eine Klassifizierung der Baustoffe zu erhalten. In Ausnahmefällen muss diese Analyse labortechnisch durchgeführt werden.

Es wird nach DIN 4102, T1 unterschieden nach:

Nichtbrennbaren Baustoffen	→	Baustoffklasse A1, A2
Brennbaren Baustoffen	→	Baustoffklasse B1 – B3

Eine zusätzliche Unterscheidung wird nach deren Entflammbarkeit vorgenommen.

Im besonderen Fall kann es erforderlich sein, eine Schadstoffanalyse vorzunehmen, da einige Materialien im Brandfall toxische (Kohlenmonoxid CO) oder korrosive Gase (z. B. aus PVC entstehen Chlorgase, die zu Salzsäure kondensieren) freisetzen.

7.3 Anforderungen und Berechnungen 'Brandschutz'

Die gestellten Anforderungen sind zumeist in den Landesbauordnungen (hier: NBauO) oder je nach vorliegendem Bauvorhaben in speziellen Richtlinien (z. B. Schulbau-Richtlinie) definiert.

Für die Ermittlung des vorhandenen Brandschutzes dienen die DIN 4102 -Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen- sowie die Handbücher von Meyer-Ottens ^{16/} als Grundlage.

Eine Einstufung des Bauteils in eine Feuerwiderstandsklasse ist für historische Gebäude schwierig, da konkrete Aussagen nur für normgeprüfte (Neu-) Bauteile bestehen. Hier muss dann aus einem Erfahrungsschatz heraus das vorhandene Bauteil eingestuft werden (s. auch vergleichbare Probleme beim Schallschutz).

Wichtig scheint zu erwähnen, dass bei historischen Gebäuden (hier insbesondere bei Fachwerkbauten) der in den Bauordnungen geforderte Brandschutz (und damit vordringlich der Personenschutz) oftmals den Belangen des Denkmalschutzes gegenüber steht. In Absprache mit dem zuständigen Bauamt sowie der Denkmalpflege ist hier zunächst eine Bestands- und Risikoanalyse vorzunehmen.

Daraus abgeleitet können dann die Maßnahmen zum Brandschutz je nach örtlichen Gegebenheiten (Bauwerksgeometrie, Nutzung, Löschmöglichkeiten, ...) geplant werden (s. auch ^{17/}).

-
1. DIN 18125, T1; Bestimmung der Dichte des Bodens; 05/86
 2. DIN 52612, Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät; 09/79-06/84
 3. H.-P. Leimer; Beitrag zur Bestimmung des wärme- und feuchtetechnischen Verhaltens von Bauteilen bei der Sanierung historischer Fachwerkgebäude; Dissertation Weimar 1991
 4. DIN 52617; Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten von Baustoffen; 05/87
 5. DIN 52615; Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen; 11/87
 6. BBS INGENIEURBÜRO; Beurteilung des energetischen Verhaltens von Fachwerkgebäuden bei unterschiedlichen Wärmedämmmaßnahmen; Bericht 6
 7. WTA-Merkblatt 1-2-91; Der Echte Hausschwamm - Erkennung, Lebensbedingungen, vorbeugende und bekämpfende Maßnahmen, Leistungsverzeichnis
 8. DIN 38414, T4; Schlamm und Sedimente - Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser /DEV-S4; 10/84
 9. K. Kießl; Feuchtetechnische Untersuchungsbeiträge im Bereich der Bauwerkserhaltung. Neue Ansätze, Beispiele, Ergebnisse. WTA-Berichte 1992
 10. H. Weber; Fassadenschutz und Bausanierung; expert verlag 1983
 11. L. Franke, H. Bentrup; Schädigung von Mauerwerksbauten durch Umwelteinflüsse. Beurteilung und Instandsetzung; Bauphysik-Kongress 1991, Berlin
 12. H.-P. Leimer, F. Eßmann; Ziegelausfachung im Fachwerkbau. Hydrophobieren oder nicht? bausubstanz 3/93
 13. DIN 52210; Luft- und Trittschalldämmung; 08/84 - 02/87
 14. K. Gösele; u.a. Bestimmung der Luftschalldämmung von Bauteilen nach einem Kurzverfahren; Berichte aus der Bauforschung, Heft 68
 15. Informationsdienst Holz; Schallschutz mit Holzbalkendecken; 1984
 16. C. Meyer- Ottens; diverse Handbücher für die Bereiche Stahl, Beton, Holz
 17. J. Wesche; Brandschutzkonzepte bei der Sanierung von Gebäuden unter Denkmalschutz; Fachbeitrag Promat 1992