

Bauphysikalische Aspekte in Fachwerkbauten

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer

1 Einleitung

Ein Bauwerk zu erhalten ist seit dem Entstehen der ersten, in massiver Form errichteten Siedlungen, wie Katal Hüyük und Jericho im 7. Jahrtausend v. Chr., eine notwendige Baumaßnahme, um eine uneingeschränkte Nutzung des Gebäudes zu ermöglichen und die bestehenden Werte eines Hauses zu wahren. Erst mit Beginn dieses Jahrhunderts steht nicht nur die Erhaltung von Bauwerken im Vordergrund, sondern denkmalpflegerische Gesichtspunkte kommen hinzu, wonach historische Bauwerke und Konstruktionen nicht nur zu sichern sind, sondern als Zeugnis unseres Kulturgutes in Material, Form und Ausführungstechnik dokumentiert werden sollen. Am Beginn der Sanierung historischer Bauten wurden vorrangig exponierte Bauwerke wie Kirchen, Klöster, Burgen und Schlösser sowie herrschaftliche Massivbauten restauriert. Erst mit Beginn der 70er Jahre wurden auch die einfacheren Bauwerke und Fachwerkbauten in das Gesamtkonzept der Denkmalpflege aufgenommen.

Mit der Änderung des Wohnempfindens der Menschen wird in den letzten Jahren ein Wohnen im ländlichen und innerstädtischen Bereich wieder attraktiv. Eine Vielzahl von oftmals günstig zu erwerbenden Fachwerkhäusern, die die von den Kriegereignissen unzerstörten Dörfer und Stadtkerne bilden, werden für diese Wohnform wieder entdeckt. Es entsteht hieraus eine, aus denkmalpflegerischer und stadtplanerischer Sicht gesehene und durch Stadt-, Land- und Regierungszuschüsse unterstützte wichtige Bauaufgabe. Bei der Sanierung ländlicher und innerstädtischer Bereiche sind die dem Mittelalter entsprechenden Wohnformen den modernen Bedürfnissen und Erfordernissen anzupassen. Die Ansprüche auf dem Gebiet der Behaglichkeit im Inneren der Gebäude sind in den vergangenen Jahren stark angestiegen. Waren zu Anfang dieses Jahrhunderts nur einige Räume mit Heizquellen ausgestattet, die wiederum auch nur eine zeitlich begrenzte Dauer am Tage in Betrieb waren, so sind die Wohnbedürfnisse heute nur mit einer gleichmäßig erwärmten Wohnung zu erfüllen. Dieser veränderten Situation trägt die DIN 4108, Wärmeschutz im Hochbau, Rechnung. Hier sind im Teil 2, Abschnitt 3, grundlegende Aussagen über die Bedeutung eines Wärmeschutzes für

- die Gesundheit der Bewohner durch ein hygienisches Raumklima
- Schutz der Baukonstruktion vor klimabedingten Feuchteeinwirkungen und deren Folgeschäden
- einen geringen Energieverbrauch der Heizung und Kühlung sowie für
- die Herstellung und entstehende Bewirtschaftungskosten

festgelegt. Bedingt durch steigende Energiepreise in den 80er Jahren wurde diese Norm durch die Wärmeschutzverordnung ergänzt, um einen zulässigen Gesamtwärmeverlust sowie einen Wärmeverlust infolge Undichtigkeiten bei Fenstern, Türen und sonstigen Fugen bei Wohngebäuden festzulegen.

Auf der Grundlage bestehender Normen, Gesetze und Verordnungen, werden Sanierungsmaßnahmen geplant und durchgeführt. Hierbei sind deren Gültigkeitsbereiche oftmals nicht einzuhalten, da sie für die Planung von Neubauten einzuhaltende Grenzwerte bilden, die das Gebiet der Altbausanierung nicht oder nur unzureichend abdecken und die Anforderungen der Denkmalpflege nicht berücksichtigen.

Aus diesem Grunde heraus scheint es sinnvoll, wissenschaftliche Untersuchungen über das wärmetechnische Verhalten von Fachwerk-Häusern durchzuführen, um hieraus für den Planenden, den Ausführenden und die behördlichen Stellen neue Randwerte für die Festlegung eines minimal, aber auch eines maximal erforderlichen Wärmeschutzes für Fachwerkhäuser zu geben.

2 Grundlegende Begriffe bei der Sanierung von historischen Fachwerkgebäuden

Im Weiteren ist es sinnvoll die im Sprachgebrauch benutzten Begriffe genauer zu unterscheiden.

Ausgehend vom Ursprung des Begriffes "sanare", lat. = "heilen, heil machen", kann folgende Definition verwendet werden: "Die **Altbausanierung** ist die Werterhaltung und Wertverbesserung alter Gebäude oder Bauteile durch Maßnahmen der Instandhaltung, Instandsetzung und Modernisierung". Sanierung ist somit nicht das Abreißen eines alten Gebäudes und dessen Ersatz durch einen Neubau. Ziel einer Sanierungsmaßnahme ist die Beseitigung von Schäden und deren Ursachen, nicht deren kosmetische Behandlung.

Die **Renovierung** oder **Instandhaltung** entspricht der Werterhaltung eines Gebäudes. Sie beinhaltet die Wartung haustechnischer Anlagen, den Ersatz von Verschleißteilen, Schönheitsreparaturen und die Beseitigung kleiner durch Alterung und Abnutzung entstandener Schäden. Das Wohnungsmodernisierungsgesetz definiert diesen Begriff folgendermaßen:

"Instandsetzung ... ist die Behebung von baulichen Mängeln, die infolge Nutzung, Alterung, Witterungseinflüsse oder Einwirkungen Dritter entstanden sind, durch Maßnahmen, die in den Wohnungen den zum bestimmungsmäßigen Gebrauch geeigneten Zustand wiederherstellen".

Die **Restaurierung** entspricht der Instandsetzung im Bereich der Denkmalpflege. Hier soll ein Zustand wiederhergestellt werden, der dem original gleicht oder zumindest entspricht. Hierzu werden Ergänzungen materialtreu vorgenommen, sowie Baumängel und Schäden so beseitigt, dass handwerklich und baustoffmäßig ein originärer Zustand entsteht.

Bei der **Konservierung** werden Maßnahmen durchgeführt, die den gegenwärtigen Zustand eines Gebäudes auf längere Zeit zu sichern vermögen.

Ziel einer **Modernisierung** ist es, die vorhandene Gebrauchsfähigkeit eines Gebäudes in seiner bestehen den Ausführung auf einen zeitgemäßen technischen, hygienischen und kulturellen Stand wertverbessernd zu stellen.

3 Darstellung der bauphysikalische Einflussgrößen des Klimas auf den erforderlichen Wärmeschutz eines Gebäudes /1/

3.1 Allgemeines

Klima bezeichnet unter Zugrundlegung eines längeren Beobachtungszeitraumes den allgemeinen Charakter des täglichen und jährlichen Verlaufs der meteorologischen Erscheinungen eines Ortes oder eines größeren Bereiches. Zur Beschreibung und Beurteilung eines Klimas dienen die Klimaelemente Strahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck und Wind sowie die Klimafaktoren geographische Breite, Höhenlage, Lage am Meer, Bodenbeschaffenheit und Vegetationsdecke.

Im Rahmen dieser Darstellung wird der Mensch in unseren Breiten mit seinen physiologischen Bedürfnissen betrachtet und in den Mittelpunkt der Untersuchungen gerückt. Aus diesen Untersuchungen resultieren Anforderungen an die Verhältnisse der Umwelt und der Räume, in denen der Mensch wohnt und die er benutzt. Es gibt gewisse optimale Klimaverhältnisse, unter denen sich der Mensch am wohlsten fühlt und unter denen er am leistungsfähigsten ist. Um ein solches als thermisch behaglich bezeichnetes Raumklima zu erzeugen, muss im Winter geheizt, im Sommer dagegen unter Umständen gekühlt werden. Dabei kommt der Gebäudehülle eine wesentliche Bedeutung als Schutzmedium zu.

Die Forderungen an Außenbauteile sind vielfältig. Neben der Standsicherheit sollen der Wärme- sowie der Feuchteschutz gewährleistet sein. Dadurch kommt es oft zu Konflikten, da Hersteller und Nutzer jeweils andere für sich günstige Kriterien zur Beurteilung der Baustoffe und dem Aufbau eines daraus gebildeten Bauteils heranziehen.

3.2 Innenklima

Die Wünsche und Bedürfnisse der Menschen an das Innenklima können durch mehrere, sich teilweise ergänzende Einflussgrößen erfüllt werden. Auf der einen Seite steht die "Erzeugung" eines behaglichen Raumklimas. Dabei können technische Anlagen wie zum Beispiel Heizungen oder Kühlvorrichtungen der Steuerung dienen. Andererseits ist der "Verbrauch" der für die Behaglichkeit maßgeblichen Wärme zu beachten. Dieser ist in erster Linie durch bauliche Maßnahmen beeinflussbar.

Um das Innenklima qualitativ beurteilen zu können, bedient man sich der Auswertung der Aussagen von Bewohnern und Nutzern. Die Klimaelemente lassen sich zwar messtechnisch erfassen, jedoch liefern sie noch kein genügend aussagekräftiges Material für qualifizierte Angaben. Durch die Vielzahl der Kombinationsmöglichkeiten von zum Beispiel Temperatur und Luftfeuchtigkeit lassen sich keine eindeutigen Aussagen über das Maß an Behaglichkeit treffen. Zudem lassen sich auch die physiologischen Einflussgrößen auf die jeweils befragten Personen nicht genau erfassen.

In Literaturstudien ist herausgearbeitet worden, wie die jeweiligen Parameter den Behaglichkeitszustand des Menschen beeinflussen können. Dabei werden die für das Temperaturempfinden des Menschen maßgeblichen Beziehungen aufgezeigt. Es sind im Einzelnen:

1. Lufttemperatur - Umschließungsoberflächentemperatur
2. Lufttemperatur - relative Feuchtigkeit der Luft
3. Lufttemperatur - Luftbewegung

Diese als klassisch bezeichneten Raumklimakomponenten beeinflussen unmittelbar den Wärmehaushalt des Menschen. Aus der paarweisen Darstellung der Einzelkomponenten ergeben sich Behaglichkeitsfelder, die im Folgenden dargestellt sind.

3.2.1 Lufttemperatur - Oberflächentemperatur

Der Energieaustausch zwischen den Bauteiloberflächen und dem Körper des Menschen findet in erster Linie durch Strahlung statt. Somit beeinflusst die Temperatur der Umschließungsflächen das Wärmeempfinden des Menschen in großem Maße. Die in diesem Zusammenhang betrachteten Baustoffe erlauben es, den Unterschied der Strahlungszahlen C zu vernachlässigen. Dadurch kann die mittlere Oberflächentemperatur

$$\vartheta_m = \frac{\sum(A_i \cdot \vartheta_i)}{\sum A_i}$$

in einen Zusammenhang mit der Lufttemperatur gebracht werden. In genügender Näherung kann bei Temperaturen von 15 bis 25 °C auf eine Berücksichtigung des Wärmeübergangskoeffizienten für den menschlichen Körper verzichtet werden.

Aus physiologischen Untersuchungen ist bekannt, dass die für das Temperaturempfinden entscheidende "empfundene Temperatur" durch das Mittel der Raumtemperatur und der Temperatur der Umschließungsflächen gebildet werden kann:

$$\vartheta_e = (\vartheta_m + \vartheta_i)/2$$

mit ϑ_e = empfundene Temperatur
 ϑ_i = Raumtemperatur
 ϑ_m = mittlere Oberflächentemperatur

Nach GRANDJEAN /2/ sollen die Abweichungen der Temperaturen voneinander nicht mehr als drei Grad nach oben beziehungsweise nach unten betragen. Nur unter diesen Bedingungen ist es möglich, eine als behaglich empfundene Temperatur zu erhalten.

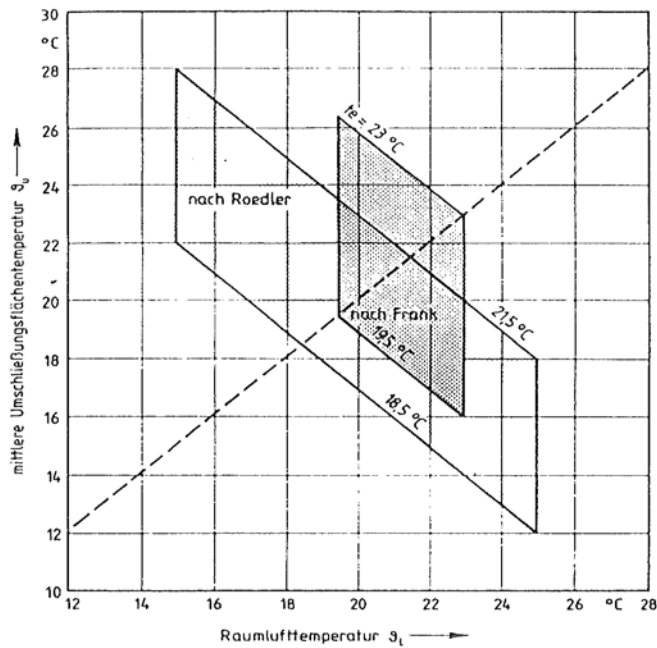


Bild 1 Behaglichkeitsfeld für das Wertepaar Raumlufttemperatur und mittlerer Umschließungs­flächen­temperatur (nach /3/)

3.2.2 Lufttemperatur - relative Luftfeuchte der Raumluft

Die Untersuchungen des Zusammenhanges Lufttemperatur relative Luftfeuchte der Raumluft sind von mehreren Autoren durchgeführt worden. Es stellte sich dabei im Verlaufe der Jahre heraus, dass eine Verschiebung der als behaglich geltenden Temperaturen nach oben stattgefunden hat. Im Bereich der optimalen Temperaturen (ca. 18 bis 24°C) können Schwankungen der Luftfeuchtigkeit hingenommen werden, ohne dass ein unbehagliches Temperaturempfinden entsteht.

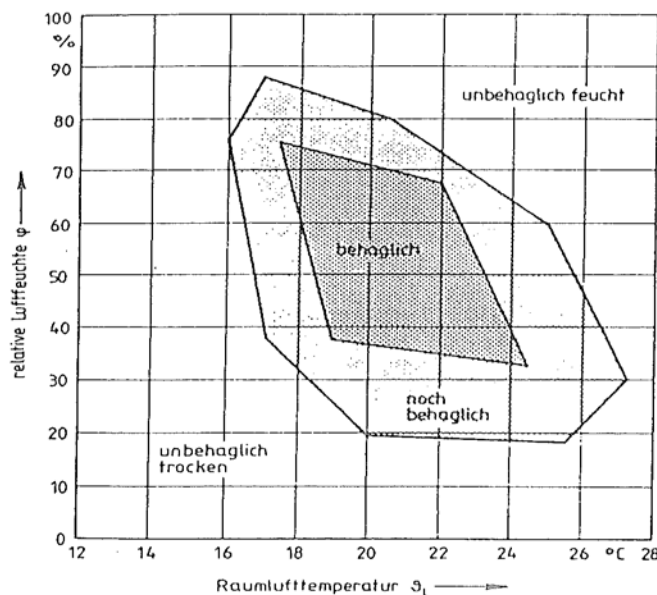


Bild 2 Behaglichkeitsfeld für das Wertepaar Raumlufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit (nach /3/)

Der Schwankungsbereich kann 35 bis 70 % relative Luftfeuchte betragen. Somit zeigt sich, dass der Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit im Bereich behaglicher Temperaturen sehr gering ist. Allerdings

kann eine Erniedrigung der relativen Luftfeuchtigkeit auf Werte unter 35 % schnell zu dem Empfinden führen, die Luft sei zu trocken. Solche Werte gelten als medizinisch unerwünscht, da die Schleimhäute der Atemwege austrocknen und sich so die Anfälligkeit gegenüber Erkältungskrankheiten erhöht.

3.2.3 Lufttemperatur - Luftbewegung

Bewegte Luft führt zu Abkühlung und Wärmeverlusten am menschlichen Körper. Daher ist es nach Möglichkeit in bewohnten Räumen zu vermeiden, dass stärkerer Luftzug entsteht. Schon Luftgeschwindigkeiten von mehr als 0,2 m/s werden von sitzenden Personen als unangenehm empfunden. Daher sollte dieser Wert einen Grenzwert in Bezug auf die Bewegung der Luft in geschlossenen Räumen darstellen. Bei Arbeiten mit vollständig unbewegtem Körper kann dieser Grenzwert auch weiter absinken, so dass Luftgeschwindigkeiten bis 0,1 m/s einzuhalten sind.

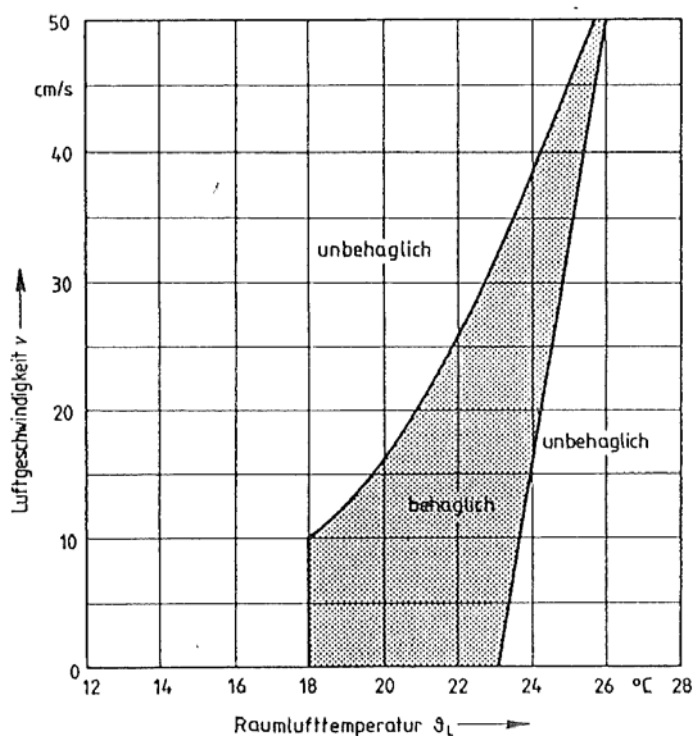


Bild 3 Behaglichkeitsfeld für das Wertepaar Raumlufttemperatur und Luftgeschwindigkeit (nach /3/)

Bild 3 zeigt für den Gültigkeitsbereich der relativen Luftfeuchte von 30 bis 70 % und der Raumumschließungsflächentemperatur von 19,5 bis 23°C (aus /3/) deutlich den Zusammenhang, wobei eine Vielzahl von möglichen Kombinationen von Temperatur der Luft und ihrer Geschwindigkeit zu behaglichen Verhältnissen führen können.

3.2.4 Beschreibung des Raumklimates

Zusammengefasst werden die durch Untersuchungen und Messungen entstandenen Behaglichkeitsfelder zu einer Hilfsgröße, die für die Bestimmung eines einheitlichen Innenklimas genutzt werden können. Dabei sind folgende Voraussetzungen zu beachten:

- Die Lufttemperatur sollte zwischen 19 und 23°C liegen
- Die Differenz zwischen Raumluft u. Oberflächentemperatur soll nicht mehr als 3 Kelvin betragen
- die relative Luftfeuchte kann zwischen 35 und 70 % liegen
- die Luftgeschwindigkeit sollte 0,2 m/s nicht überschreiben.

Die von DIN 4108 festgelegten Werte mit einer Temperatur von 20°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 % fügen sich gut in die gestellten Anforderungen ein.

Ein Norm-Innenklima kann nicht die gesamte Bandbreite der unterschiedlichen Nutzungsbedingungen der Bewohner beinhalten, diese stellt jedoch ein gutes Mittel dar. Es erfasst die Mehrzahl der vorkommenden Klimakombinationen und eignet sich gut als Annahme bei rechnerischen Untersuchungen.

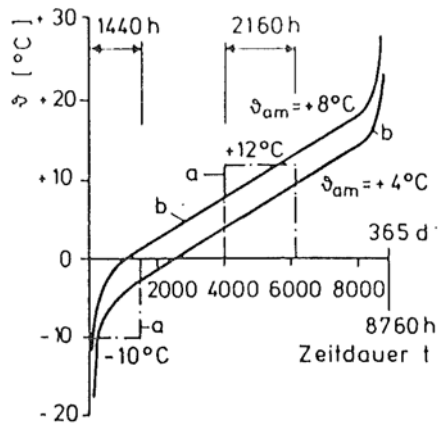
3.3 Außenklima

Gegen die Außenluft abgrenzende Konstruktionssteile beeinflussen in nicht unerheblichen Maßen die Klimafaktoren der Innenräume. Die dem täglichen Wechsel von Temperatur und Luftfeuchtigkeit unterworfenen Bauteile sind durch ihre Eigenschaften in der Lage, die Auswirkungen dieser Klimaschwankungen auszugleichen und zu dämpfen. Langfristige Klimaunterschiede, wie sie im Laufe eines Jahres durch Sommer und Winter zustande kommen, wirken sich schon eher auf das Klima der Innenräume aus. Daher ist es von entscheidender Bedeutung für die physikalische Gebrauchsfähigkeit, ob die Außenbauteile bauphysikalisch sinnvoll konstruiert sind. Sie sollen die Übertragung von Wärmeenergie in wirtschaftlichen Grenzen halten, einen klimabedingten Feuchtigkeitsschutz sicherzustellen und durch eine gute Luftdurchlässigkeit für einen geregelten Austausch verbrauchter Luft gegen Frischluft sorgen.

Die für eine funktionsgerechte Konstruktion erforderlichen Grundlagen in Bezug auf die Klimadaten liefert DIN 4108. In ihr sind Norm-Klimawerte festgelegt, um die verschiedensten Konstruktionstypen in Hinsicht auf den Wärme- und Feuchteschutz vergleichen und beurteilen zu können. Dabei sind Annahmen getroffen, um die Berechnung einfacher zu gestalten. Bei Beachtung der vorgegebenen Rechenregeln ist gewährleistet, dass sowohl die Bedürfnisse der Bewohner erfüllt werden als auch die physikalische Funktionsfähigkeit der Gebäude aufrechterhalten wird.

Das regionalen Schwankungen unterworfenen Außenklima ist auf die Werte -10°C als Lufttemperatur bei 80 % relativer Luftfeuchtigkeit reduziert worden. Die Frostperiode mit der Dauer von 1440 Stunden wurde nach Häufigkeitssummenkurven der mittleren Tages-/Außentemperaturen festgelegt.

Aus Bild 4 wird deutlich, dass die Intensität der Temperaturbeanspruchung bei gleichzeitiger Verkürzung des Winters relativ hoch gewählt wurde. Damit wird erreicht, dass die Untersuchung in Bezug auf Tauwasseranfall eine auf der sicheren Seite liegende Grundlage hat. Die Vereinfachung der tatsächlich auftretenden Temperaturverläufe im Winter auf eine derartige Form ist vertretbar, da die so festgelegte Normtemperatur nur selten unterschritten wird. Mit der Vereinheitlichung der rechnerischen Wintertemperaturen geht allerdings einher, dass leicht erhöhte Bauteilwerte gefordert werden.



- a) DIN 4108
- b) Häufigkeitssummenkurven der Tagesmittel der Außenlufttemperatur

Bild 4 Annahmen für den Temperaturverlauf in der Diffusionsberechnung (aus /3/)

Auch der Verlauf der Sommertemperaturen wurde entsprechend vereinfacht. Die oft starken Schwankungen der Temperaturen durch die Einflüsse der Sonneneinstrahlung sind für die angenommenen Mittelwerte im Wesentlichen vernachlässigt worden. Die in der Trocknungsperiode anzunehmende Temperatur von 12°C gilt für einen Zeitraum von 2160 Stunden. Der zugeordnete Wert für die relative Luftfeuchtigkeit beträgt 70 %. Der Zeitraum entspricht nur einem Teil des tatsächlichen Verdunstungszeitraumes. Auch hier ist eine Intensitätserhöhung bei gleichzeitiger Verkürzung der Einwirkungsdauer vorgenommen worden.

Die Annahme solcher stationärer Klimaverhältnisse trifft natürlich nicht den tatsächlichen Verlauf von Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Genauere Untersuchungen sind jedoch mit erheblichem Rechenaufwand verbunden, wobei selbst bei instationären Betrachtungen Annahmen über den Verlauf der Klimadaten zu treffen sind. Die Beschreibung kann inzwischen mit Hilfe aufwendiger Programme vorgenommen werden. Für den Nachweis der Tauwasserfreiheit ist zurzeit jedoch immer noch das Verfahren nach GLASER entsprechend der DIN 4108 anzuwenden.

4 Feuchteschäden im Fachwerkbau und deren Ursache

Bevor Lösungen für die Beseitigung von Bauschäden erarbeitet werden, muss die Vorbeugung dieser Schäden im Hinblick auf die nach Sanierungsmaßnahmen und wegen mangelnder Bauunterhaltung (Instandhaltung) auftretenden Bauschäden untersucht werden. Die beste Gewähr zur Vermeidung bzw. Vorbeugung von Schäden ist die regelmäßige Überprüfung der Bausubstanz sowie die routinemäßige Beseitigung von Schadensursachen.

In der folgenden Tabelle ist stichwortartig eine Übersicht über Bauschäden gegeben, die der umfangreichen Literatur entnommen wurde. Die Gebiete, die im Zusammenhang mit dieser Arbeit stehen, sind im Folgenden näher erläutert.

Übersicht über die Schadensursachen

infolge	- falsches Nutzerverhalten
Nutzung	- unzureichende Sanierung
	- äußere Defekte des Gebäudes: Regenrinne, Dach
	- mangelnder Feuchtigkeitsschutz: fehlende Dachdeckungen
	- Verputzung ohne Putzträger
	- ungenügende Überdeckung der Ausfachung durch Putz
	- Kassettenputz
infolge	- Ausfachungsmaterial ausladend
konstruktiver	- wasserdurchlässige Veränderung
Fehler	- dauerelastische, -plastische Verfugungen
	- Holzreparatur mit Mörtel, Vermörtelung der Schwellen
	- Restaurierung von Holzteilen mit Stahlverbindungsmiteln
	- Entfernen des historischen Schlagregenschutzes
	- Verfliesen / Verschindeln von Außenwänden
	- Verwendung ungeeigneter Anstrichsysteme oder Putze
	- ungeeignete Außenanstriche Chemischer Holzersatz im Außenbereich (dampfdichte Schichten)
	- Einsatz unverträglicher Materialien
	- Nichtbeachtung von spezifischen Holzeigenschaften
infolge	- Undichtigkeit von Dampfsperren (Innendämmung)
bauphysikalischer	- Vorsatzschale, zweischaliges Mauerwerk
Fehler	- raumseitige, von innen belüftete Vorsatzschalen
	- falsche Wärmedämmmaßnahmen
	- teilweise Verbesserung des Wärmeschutzes
	- Wärmebrücken

4.1 Feuchteschäden infolge falscher Nutzung

In früherer Zeit war in historischen Gebäuden durch die material- und konstruktionsbedingte Durchlässigkeit der Fachwerkaußenwände, Ofenheizungen und die hohe Fugendurchlässigkeit der Fenster ein ständiger Luftwechsel erzwungen. Diese Art der Zwangslüftung wird durch den Einbau wärme gedämmter Fenster mit guter Fugendichtung, neuer Heizsysteme und hochgradig isolierter und dichter (Dampfsperren) Außenwände verhindert. An das Nutzerverhalten der Bewohner werden in diesen Fällen besondere Anforderungen gestellt, indem durch einen ausreichenden Luftwechsel sowie eine ausreichende Beheizung ein "übliches Raumklima" geschaffen werden muss.

Dieses Raumklima unterliegt einer umfangreichen Diskussion (u. a. /4/). Auch umfassend verfasste Benutzeranleitungen für Wohnungen und Wohnräume (Bundesbauministerium) sind unbefriedigend,

wenn die Schadensvorsorge in die Hand von Bewohnern oder Mietern gelegt wird. Um diesem Rechnung zu tragen, muss der Ausfall von Tauwasser an raumseitigen Außenbauteiloberflächen durch einen ausreichenden Wärmeschutz der Bauteile vermieden werden und mittels geeigneter Berechnungsverfahren das Tauwasser im Innern von Bauteilen beurteilt werden.

4.2 Feuchteschäden infolge konstruktiver Fehler

Bei der Sanierung im Fachwerkbau werden häufig Außenwände eingesetzt, die mit Ausführungen eines zweischaligen Mauerwerks /5/ des Massivbaus vergleichbar sind. Hierbei wird raumseitig vor die historische Fachwerkwand eine massive Mauerwerksschale gestellt. Bei dieser Konstruktion treten neben gestalterischen Problemen (sehr tiefe Fensterlaibungen) baukonstruktive (Lastabtragung der Wandscheiben im Gebäude) und bauphysikalische (Schallübertragung über die Nebenwege, Tauwasser, Schlagregen) Fragestellungen auf.

Das Grundprinzip der zweischaligen Konstruktion mit einer schlagregendichten Wandscheibe vor der tragen den Konstruktion kann von einer Fachwerkkonstruktion nicht übernommen werden.

Es muss davon ausgegangen werden, dass durch die Fehlstellen der Holzanschlusskonstruktionen hierbei Feuchte in die Konstruktion eindringt und auf der Innenseite der äußeren Wandscheibe abläuft. Im Massivbau wird das ablaufende Wasser durch nach DIN geforderte Fußpunktausbildung (Belüftung, Einbau einer Z-Sperre) berücksichtigt. Diese Konstruktion ist in einer Fachwerkwand nicht oder nur schwer möglich. Das Wasser sammelt sich oftmals im Bereich der Schwellenhölzer, vorwiegend in den Zapflöchern und begünstigt somit aufgrund einer ausreichenden Holzfeuchte den Angriff durch holzerstörende Pilze. Zweischalige Wandkonstruktionen werden auch als zweischaliges Mauerwerk mit Schalenfuge (ohne Luftschicht) ausgeführt. Hierbei wird eine 'Schalenfuge' als Trennung zwischen Ausmauerung der Gefache und Innenschale mit wasserhemmendem Mörtel ausgeführt. Über die Feuchteverteilung in diesen, durch die entstehende Rissbildung im Bereich Holz / Ausfachung / Schalenfuge gestörten Wandbauteile, liegen z. Z. keine Untersuchungen vor.

4.3 Feuchteschäden infolge bauphysikalischer Fehler

Bei bauphysikalischen Fehlern treten die Folgeerscheinungen nicht unmittelbar nach Abschluss der Sanierungsmaßnahme auf, sondern erst nach längerer Zeit der Nutzung. Ein Teil der Schadensfälle basiert auf Unkenntnis oder Missachtung von physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Der zweite Anteil ergibt sich aus der Unmöglichkeit, gängige Konstruktionsmöglichkeiten des Massivbaus auf Fachwerkbauten zu übertragen. Aufgrund ihrer besonderen Konstruktionsweise, Holztragwerk mit nichttragenden Ausfachungen, müssen sie sehr detaillierter untersucht werden. Der Feuchteschutz der Holzbauteile muss aufgrund ihrer Schadensanfälligkeit gegen Feuchteeinwirkung im Vordergrund der Sanierungsplanung stehen.

4.3.1 Wärmedämmmaßnahmen

Eine Außendämmung erscheint als die bauphysikalisch richtige Konstruktionslösung. Im Bereich von historischen Außenwandbehängen aus Ziegel, Schiefer, Holz oder Blech kann der Einbau erforderlicher Wärmedämmschichten im Bereich der Lattung des Behangs erfolgen. Da unter den Auflagen der

Denkmalpflege und des örtlichen Erscheinungsbildes die Fachwerkgestalt von außen sichtbar bleiben soll, muss auf die Möglichkeit der Innendämmung zurückgegriffen werden.

Bei einer Ausführung einer raumseitigen Wärmedämmung muss die in das Bauteil eindiffundierende Tauwassermasse begrenzt werden. Dieses kann mit Hilfe geeigneter Materialien oder Dampfsperren (PE-, Aluminium - Folien), die raumseitig vor der Wärmedämmung angebracht werden, erfolgen. Da jedoch Stöße der Folien sowie eine Vielzahl von Anschlussdetails (z. B. Decke, Deckenbalken, Fußboden, Fenster) und nachträgliche Zerstörungen durch Installation (z. B. elt. Anschlussdosen, Wasserleitungen, Durchbrüche) beachtet werden müssen, ist diese Art der Konstruktion umfangreich diskutiert.

Bei einer Ausführung der Dämmung auf der Innenseite der Außenbauteile liegen oftmals Rohrleitungen im Frostbereich der Wand. Für Wasser führende Rohre besteht die Gefahr des Einfrierens.

Nur im Gefachbereich gedämmte Wände werden wegen der sehr schlanken Fachwerkkonstruktion und oftmals mangels geeigneter Materialien z. Z. noch selten ausgeführt.

4.3.2 Wärmebrücken

Die Feuchteschäden durch Tauwasser an der raumseitigen Bauteiloberfläche werden umfassend in /6/ dargestellt.

4.3.2.1 Tauwasser an der raumseitigen Wandoberfläche

Bei den erforderlichen Betrachtungen unter Zugrundelegung der in DIN 4108 festgelegten Mindestanforderungen müssen für die Tauwasserfreiheit an der raumseitigen Oberfläche nicht nur die unterschiedlichsten Nutzerbedingungen infolge Möblierung und Wohnverhalten, die Temperaturverteilung / -schichtung im Raum, sowie die Bauteile mit ihren geometrisch und stoffbedingten Wärmebrücken betrachtet werden.

Luft ist in der Lage Feuchtigkeit aufzunehmen. Wird Luft abgekühlt, steigt die relative Luftfeuchte bis auf ihren Sättigungspunkt $\varphi = 100 \%$ an. Bei weiterer Abkühlung (zum Beispiel an einer kalten Bauteiloberfläche) fällt Tauwasser aus.

Als Taupunkttemperatur der Luft bezeichnet man die Temperatur, bei der die Luft eine relative Feuchte von $\varphi = 100 \%$ bezüglich Wasserdampf erreicht.

Beispiel:

Bei vollständiger Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit $\varphi = 100 \%$ relativer Luftfeuchte ist die Luft bei 20°C in der Lage, $17,5 \text{ Gramm Wasser je m}^3$ aufzunehmen. Wird die Luft auf 0°C abgekühlt, ist sie in der Lage, nur $5 \text{ Gramm Wasser je m}^3$ Luft an Feuchtigkeit zu binden. Die Differenzmenge von $12,5 \text{ Gramm Wasser}$ fällt als Kondensat (Tauwasser) aus.

Durch den Tauwasseranfall an der Oberfläche, entsteht eine Durchfeuchtung, an der sich Staub der herumwirbelnden Raumluft absetzt. Dieses feucht-warme Milieu dient Schimmelpilzen als idealer Nährboden. Die Pilzsporen, die sich in unserer Luft befinden, lagern sich auf den feuchten Bereichen der Oberflächen der Wände ab und bilden dort ein weiches und flockiges Mycel aus, das nach wenigen Tagen neue Sporen bildet. Schimmelpilze sind im Allgemeinen Mischkulturen. Cladosporium (dunkelgrau), Alternaria (schwarz), Penicillium (türkisblau), Aspergillus (gelbgrün, grün, schwarz) sind die häufigst vorkommenden Pilzarten. Sie wirken im allgemeinen auf Menschen unverträglich, z.B. Aspergillus mit Allergien, Entzündungen der Atemwege, Ohr- und Hautentzündungen.

Es zeigt sich, dass sich im Raum unterschiedliche Temperaturen und Temperaturströmungen in Abhängigkeit der Lage und Art der Heizung ergeben. Diese unterschiedlichen Temperaturverteilungen und Strömungen führen auch durch eine Behinderung des Wärmeübergangs infolge z.B. Möblierung zu einem starken Abkühlen der Außenbauteile gerade im Bereich der Gebäudeaußenkanten und -ecken. In diesen Bereichen besteht die Gefahr eines Tauwasserausfalles an der raumseitigen Bauteiloberfläche.

Die Diagramme zeigen die Abhängigkeit der Taupunkttemperaturen von den Innenraumlufttemperaturen und der relativen Luftfeuchtigkeit wie auch die Einflüsse eines behinderten Wärmeüberganges oder auch unterschiedliche Raumlufttemperaturen.

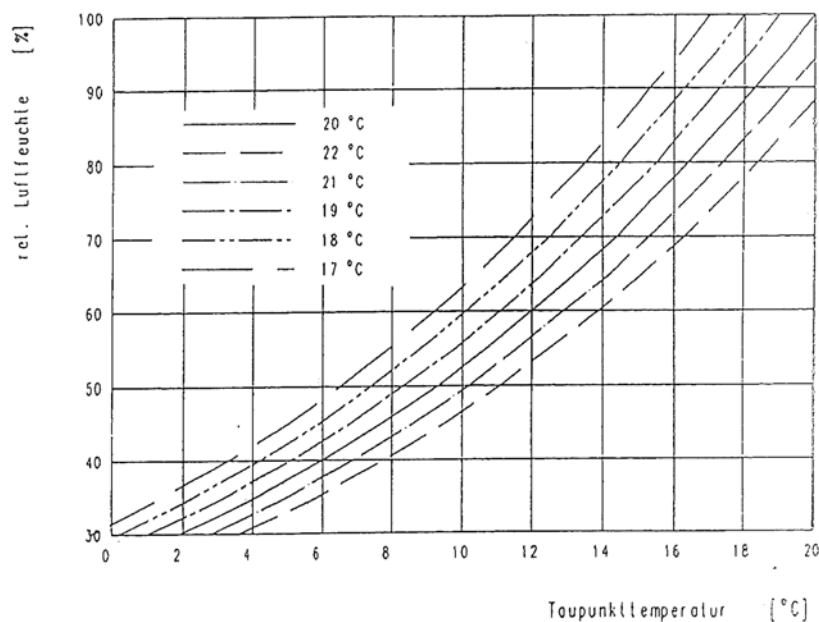


Bild 5 Taupunkttemperaturen der Luft

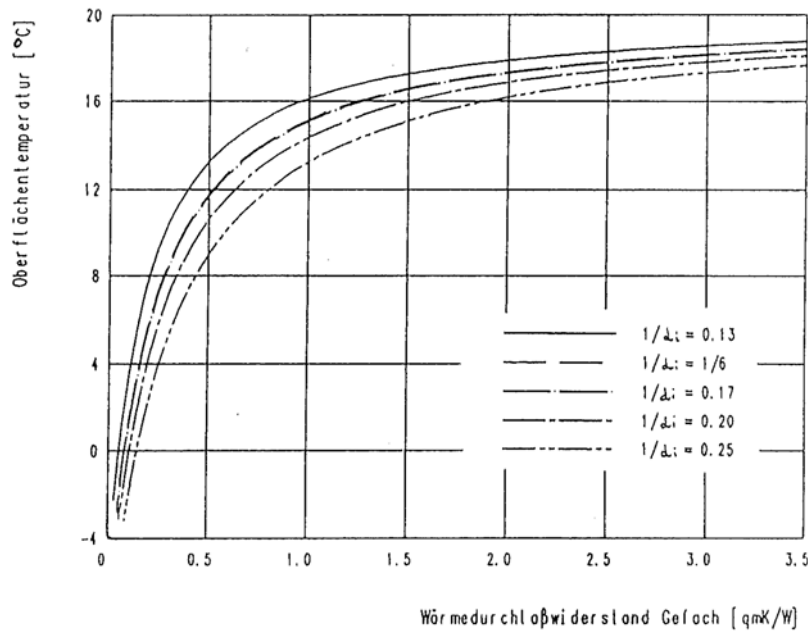


Bild 6 Einflüsse unterschiedlicher Wärmeübergangswiderstände

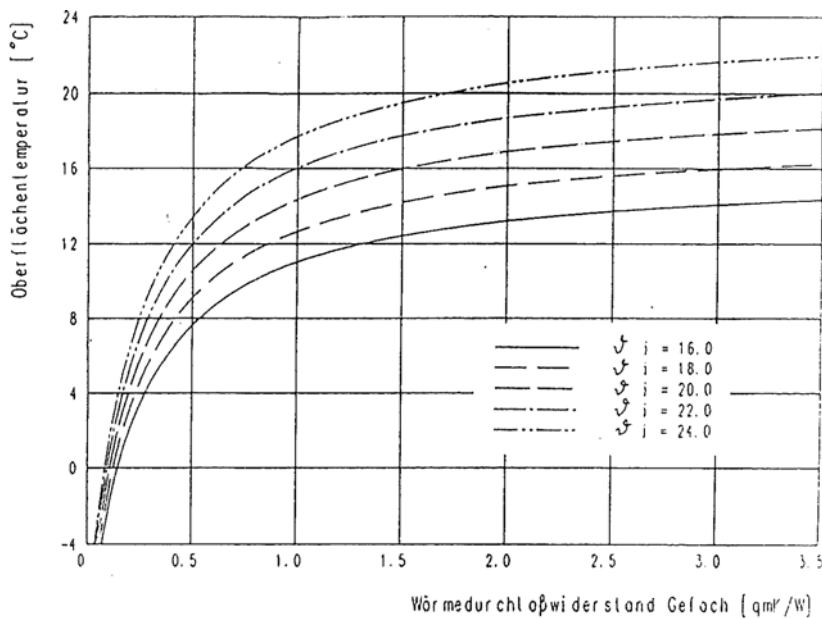


Bild 7 Oberflächentemperatur für unterschiedliche Raumlufttemperaturen

Bei einem Innenraumklima $\vartheta = 20^\circ\text{C}$ und $\phi = 50\%$, (nach DIN 4108 "übliches" Raumklima, siehe auch 3.2.4), liegt die Taupunkttemperatur bei $9,3^\circ\text{C}$. Bei den Untersuchungen über die Tauwasserfreiheit an der Bauteiloberfläche muss also durch den Wärmeschutz der Wand an jeder innenraumseitigen Wandoberfläche eine Mindesttemperatur von

$$\vartheta = 10^\circ\text{C}$$

erreicht werden.

4.3.2.2 Bestimmung der raumseitigen Oberflächentemperaturen von Außenbauteilen

Die DIN 4108 regelt in ihrem Teil 3 die Ermittlung der Tauwasserfreiheit im Bereich der Oberfläche nur für den ebenen Wandbereich, Wärmebrücken werden in der Norm nicht berücksichtigt.

Im Hinblick auf die wärmeschutztechnischen Anforderungen müssen, auch nach dem aktuellen Stand der Technik, die Temperaturfelder ϑ -verläufe auch/gerade im Bereich von Wärmebrücken bestimmt werden um hieraus genaue Aussagen über den Mindestwärmeschutz von Fachwerkbauten zu erhalten.

Solche Berechnungsverfahren können mittels geeigneter Finiteelement- bzw. Differenzrechnungen in zwei- und dreidimensionalen Außenbauteilen durchgeführt werden. Als Ergebnis sind neben den raumseitigen Oberflächentemperaturen auch die zusätzlichen Wärmeverluste des untersuchten Bauteiles zu erhalten.

Solchen Berechnungen können folgende allgemeingültige Randbedingungen zugrunde liegen:

Luft-Temperatur innen	$\vartheta_{Li} = 20^\circ \text{ C}$
relative Luftfeuchte innen	$\varphi_i = 50 \%$
Wärmeübergangskoeffizient von innen nach außen Wand	$\lambda_i = 5 \text{ (W/ m}^2 \text{ K)}$
verminderter Wärmeübergang	$\lambda_i = 6 \text{ (W/ m}^2 \text{ K)}$
Wärmeübergangskoeffizient von oben nach unten Decke	$\lambda_i = 4 \text{ (W/ m}^2 \text{ K)}$
Luft-Temperatur außen	$\vartheta_{La} = -15^\circ \text{ C}$

Ergebnisse solcher Untersuchungen sind in ergänzenden Veröffentlichungen dargestellt./6/

-
1. Th. Kranich; Wärme- und Feuchtetransport in Fachwerkaußenwandkonstruktionen.
Entwurf IBH, TU Braunschweig 1986
 2. Grandjean, E.: Voraussetzungen für ein behagliches Raumklima. Heizung-Lüftung-Haustechnik 18
(1967) Heft 7, S. 272-273
 3. Lehrbuch der Bauphysik: Schall, Wärme, Feuchte, Licht, Brand.
Verlag B.G. Teubner, Stuttgart 1986
 4. H. Künzel; Bestimmt der volumen- oder massebezogene Feuchtegehalt die Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen?
aus: Bauphysik, 1986, Heft 2, S. 33-39
 5. U. Wolfseher; Verfahren zur Berechnung zwei- oder dreidimensionaler Temperatur- und Wärmestromfelder in Bauteilen, die stationären bzw. instationären Randbedingungen ausgesetzt sind
aus: Bauphysik, 1980, Heft 3, S. 83-87
 6. H.-P. Leimer; Beitrag zur wärme- und feuchtetechnischen Bestimmung von Bauteilen bei der Sanierung von historischen Fachwerkgebäuden
Dissertation Weimar 1991