

Bestimmung des wärme- und feuchtetechnischen Verhaltens von Bauteilen bei der Sanierung historischer Fachwerkgebäude

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer

1 Kurzfassung

Die bestehenden Normen, Gesetze und Verordnungen sind bei Sanierungen von historischen Fachwerkhäusern oftmals nicht einzuhalten, da deren Gültigkeitsbereiche sich im Wesentlichen auf einzuhaltende Grenzwerte von Neubauten beziehen.

Ziel einer Untersuchung [1] war die Erarbeitung von fehlenden Detailangaben für die Bewertung historischer Fachwerkgebäude unter Berücksichtigung denkmalpflegerischer Belange.

Mittels Modellrechnungen wurden die Temperaturfelder in Fachwerkaußenbauteilen sowie die Oberflächentemperaturen bestimmt. Auf dieser Basis konnte der erforderliche Mindestwärmeschutz zur Vermeidung von Tauwasser an der raumseitigen Wandoberfläche festgelegt werden. Um eine originäre Situation zu untersuchen, wurde unter Laborbedingungen die Temperatur- und Feuchteverteilung in mehrdimensionalen Außenbauteilen bestimmt. Diese Untersuchung diente als Grundlage für Modellrechnungen, um unterschiedlichste Sanierungsvarianten beurteilen zu können.

Mittels dieser Modellrechnungen konnte für unterschiedliche Ausfachungsmaterialien in Kombination mit verschiedenen Wärmedämmstoffen die Veränderung der Stofffeuchten im Holzbereich berechnet werden. Die Zulässigkeit dieser Feuchte bzw. Feuchteänderungen konnte über die Bestimmung feuchtetechnischer Grenzwerte für Baustoffe festgelegt werden.

2 Einleitung

Mit der geschichtlichen Entwicklung ändern sich nicht nur gesellschaftspolitische Strukturen, sondern auch das Wohnempfinden und die Bedürfnisse der Menschen. Hierdurch ändert sich die Architektur und die Baukonstruktion der Gebäude.

Die Ansprüche auf dem Gebiet der Behaglichkeit im Innern der Gebäude sind mit den vergangenen Jahren stark angestiegen. Waren Anfang dieses Jahrhunderts nur einige Räume mit Heizquellen ausgestattet, die wiederum auch nur eine zeitlich begrenzte Dauer am Tag in Betrieb waren, so sind die Wohnbedürfnisse heute nur mit einer gleichmäßig erwärmten Wohnung zu erfüllen.

Heute wird bei Sanierungsmaßnahmen bedingt durch wärmegeämmte, dichte Fenster und Türen sowie Zentralheizungsanlagen die Luftwechselrate reduziert. Die Innenlufttemperatur und rel. Luftfeuchte steigen somit an. Das Innenklima wird im Vergleich zu früher ungünstiger. Lag damals der 'natürliche', sichtbare Tauwasserausfall im Bereich der schlecht wärmedämmenden, einscheibenverglasten Fenster, so fällt heute das Tauwasser an den unzureichend gedämmten Außenbauteilen im Bereich von Wärmebrücken aus. 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 jedoch nicht oder nur unzureichend abdecken.

3 Modellrechnungen zur Bestimmung des Temperaturverhaltens von Fachwerkaußenbauteilen

Bei der rechen-technischen Überprüfung des Bauteils sind die Anforderungen nach DIN 4108 einzuhalten. Hierbei sind stoffbedingte Wärmebrücken für das Bauteil in Abhängigkeit des Wärmedurchlasswiderstandes des Gefachmaterials nicht eindeutig zu bestimmen. Diese Stellen können im Fachwerkbau, einerseits im Bereich des ebenen Gefaches und andererseits im Bereich des Holzstieles, liegen. Für den Bereich des Fachwerkbauwes treten neben stoffbedingten auch geometriebedingte Wärmebrücken bzw. auch Kombinationen auf. Mit einem Finiten Elemente Programmsystem wurde mittels Modellrechnungen der Temperaturverlauf im Bereich von Fachwerkaußenbauteilen untersucht.

Mit den Berechnungen sollten folgende Zusammenhänge untersucht werden:

- Einfluss des Ausfachungsmaterials auf das Holzfachwerk
- Einfluss der Oberflächentemperaturen durch die unterschiedlichen Konstruktionen und Detailpunkte
- Bestimmung der raumseitigen Oberflächentemperaturen für Fachwerkaußenbauteile zur Ermittlung eines Mindestwärmedurchlasswiderstandes.

Unter Ansatz der stationären Klimabedingungen $\vartheta_{Li} = 20^\circ C, \varphi_i = 50\%$ (in der Literatur allg. als 'übliches Raumklima' für Wohnräume bezeichnet) ermittelt sich die Taupunkttemperatur zu $9,3^\circ C$. Legt man einen gewissen Sicherheitsfaktor, resultierend aus einem beginnenden Pilzwachstum ab $\sim 80\%$ rel. Luftfeuchte aufgrund von Kapillarkondensationsvorgängen sowie der großen Bandbreite eines möglichen Raumklimas zugrunde, sollte die Mindesttemperatur der Bauteilwandoberfläche innen, auch im Bereich von Wärmebrücken, $\vartheta_{oi} = 10^\circ C$ nicht unterschreiten.

In der örtlichen Situation sind eine Vielzahl unterschiedlicher Bauteile und Baustoffe anzutreffen. Aus diesem Grund wurden die geometrischen Verhältnisse auf grundlegende, allgemeingültige Systeme für die Berechnungen zurückgeführt, die durch Variation einzelner Parameter eine Aussage über die Temperaturverteilung nahezu aller Außenbauteile im Fachwerkbau ergeben, die im Weiteren jedoch nur auszugsweise dargestellt werden können.

3.1 Berechnung der Temperaturfelder

3.1.1 Berechnung der Oberflächentemperatur der Fachwerkaußenwand

Um den Vergleich zu einer zweidimensionalen Modellrechnung zu ermöglichen, werden eindimensionale Berechnungen der raumseitigen Oberflächentemperatur vorangestellt - hier nach der 'naiven' Methode [Bild 1] entsprechend der Norm.

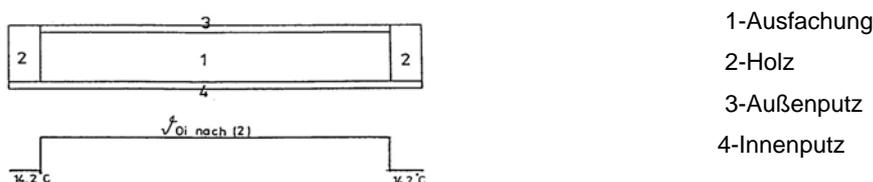


Bild 1 Schnitt Außenwandbauteil/Oberflächentemperaturverlauf "naiv"

Bei der zweidimensionalen Berechnung [Bild 2] wird im Unterschied zur eindimensionalen Berechnung der Temperaturen die gegenseitige Beeinflussung infolge der Geometrie (Querleitfähigkeit) der Baustoffe berücksichtigt.

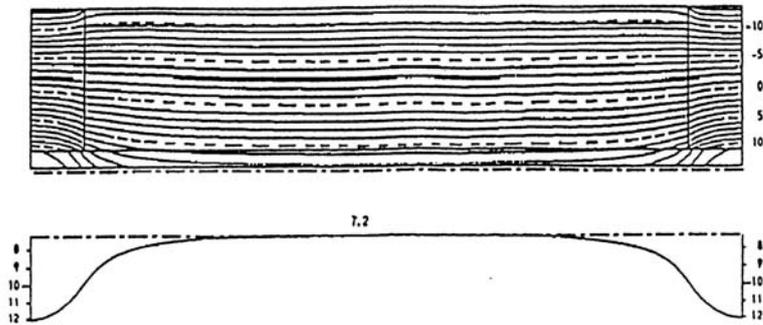


Bild 2 Temperaturfeld Außenwandbauteil/Oberflächentemperaturverlauf

Im Unterschied zeigt sich, dass der Temperatursprung im Verlauf der Oberflächentemperatur infolge der Beeinflussung der Bauglieder ausgeglichen wird.

Die Abhängigkeit des Wärmedurchlasswiderstandes unterschiedlicher Gefachmaterialien auf die Oberflächentemperaturen ϑ_{oi} Gefach sowie ϑ_{oi} im Holz sind in [Bild 3] dargestellt. Der Temperaturverlauf im Bereich des Gefaches entspricht der Oberflächentemperatur des ungestörten Falles. Die Temperatur im Bereich des Holzbauteiles wird von der Wärmeleitfähigkeit des Gefachmaterials beeinflusst.

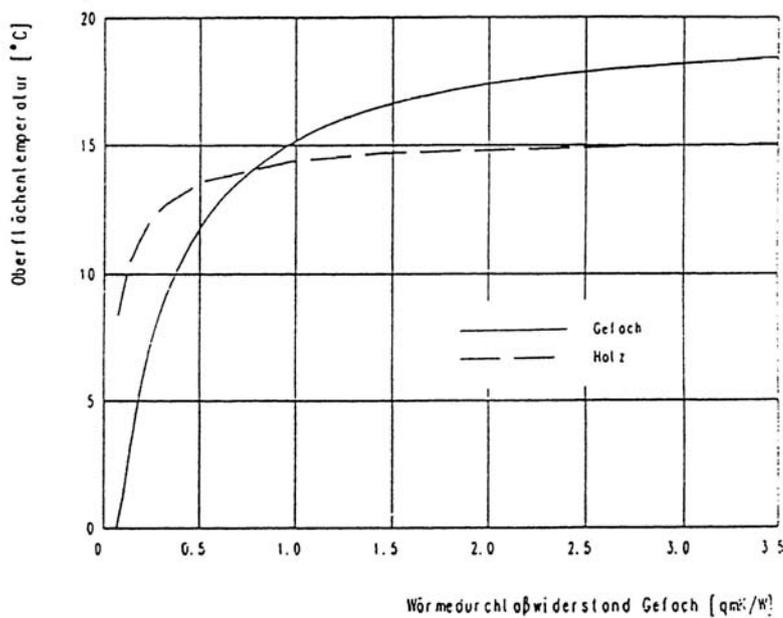


Bild 3 Oberflächentemperatur im Bereich Gefach und Holzbauteil

3.1.2. Berechnung der Oberflächentemperatur im Bereich der Fachwerkaußenkante

Bei den Untersuchungen im Bereich der Fachwerkaußenkante wurde zweidimensional die Beeinflussung der Oberflächentemperatur im Bereich Eckstiel/Außenbauteil in Abhängigkeit des Gefachmaterials sowie der Lage und Dicke der Wärmedämmschicht untersucht.

Die Einflussgrößen sind hier, neben der geometrischen, die stoffbedingten Wärmebrücken.

Dargestellt sind in [Bild 4] beispielhaft

- Gefach homogen/massiv [GH] (entsprechend eines historischen Bauteiles)
- Gefach mit Wärmedämmschicht innen ["WDi] (entsprechend eines sanierten Bauteiles)

Die Temperaturfelder der Bauteile sind in [Bild 5] dargestellt.

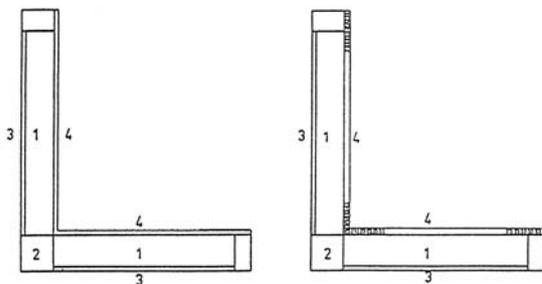


Bild 4 Schnitt Außenkante Gefach homogen und Wärmedämmschicht innen

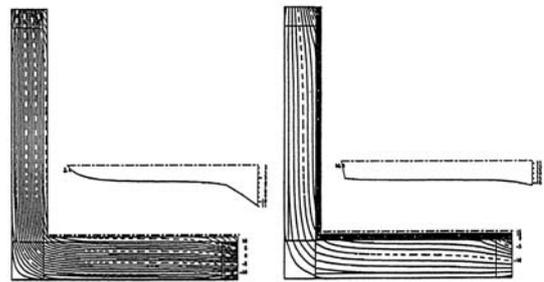


Bild 5 Fachwerkaußenkante Temperaturfeld/Oberflächentemperatur

Die Abhängigkeit der Oberflächentemperatur in Ergänzung auch für die Varianten

- Gefach mit Wärmedämmschicht außen [WDa]
- Gefach mit Wärmedämmschicht innen und außen [WDai]

zeigt das Diagramm in [Bild 6].

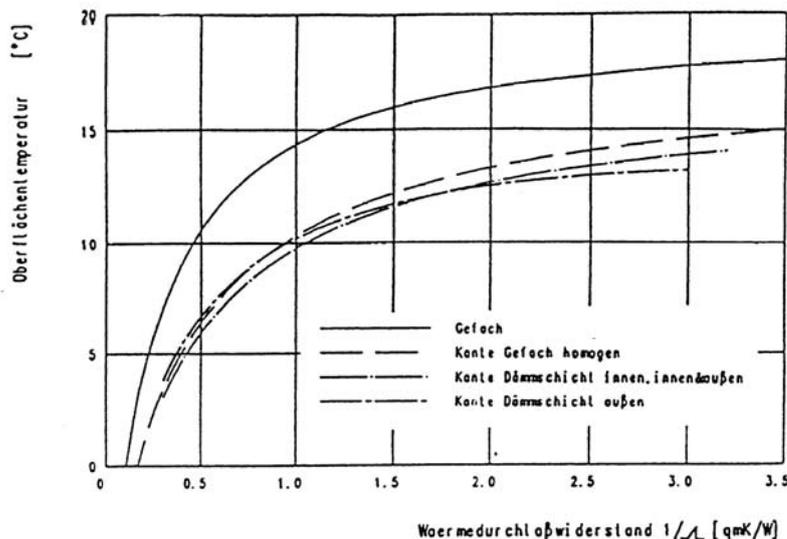


Bild 6 Oberflächentemperatur im Bereich Kante und ungestörtes Gefach in Abhängigkeit der Art und Lage der Wärmedämmschicht

Mit Hilfe der Ergebnisse kann der Einfluss der geometrisch und stoffbedingten Wärmebrücke für die Oberflächentemperatur im Bereich der Kante beschrieben werden. Führt man in die Grundgleichung für die Bestimmung der Oberflächentemperatur im ungestörten Gefachbereich

$$\vartheta_{oi} = 20 - \left[(35/\alpha_i) / (1/\Lambda + 1/\alpha_i + 1/\alpha_a) \right]$$

in Abhängigkeit von der Lage der Dämmschicht sowie des Wärmedurchlasswiderstandes des Gefaches ($1/\Lambda_G$) einen Korrekturwert L_{Ki} ein, kann die Oberflächentemperatur im Bereich der Kante ($\vartheta_{oi,K}$) mit der Gleichung bestimmt werden.

$$\vartheta_{oi,K} = 20 - \left[(35/\alpha_i) / (1/\Lambda_G + 1/\alpha_i + 1/\alpha_a - L_{Ki}) \right]$$

Die zugehörigen Korrekturwerte berechnen sich mit Hilfe von Regressionsgleichungen.

$$L_{K,GH} = 0,52(1/\Lambda_G)^{1,2}$$

$$L_{K,WDi} = 0,56(1/\Lambda_G)^{1,2}$$

$$L_{K,WDa} = 0,53(1/\Lambda_G)^{1,3}$$

$$L_{K,WDi} = 0,56(1/\Lambda_G)^{1,2}$$

Betrachtet man den ermittelten Temperaturbereich, unabhängig von der Lage der Wärmedämmschicht, bestimmt sich nach Lösung der Regression ein allgemeiner Korrekturwert L_K zu:

$$L_K = 0,55(1/\Lambda_G)^{1,2}$$

In [1] wurden neben den Berechnungen des ebenen Bauteils sowie der Fachwerkaußenkante analog die geometrischen Wärmebrücken der Fachwerkaußenwand im Anschluss

- Sockel
- Geschossdecke zwischen zwei Wohngeschossen mit/ohne Auskrägung
- Geschossdecke zum nicht ausgebauten Dachraum
- mit unterschiedlichsten Konstruktionen und Sanierungsvarianten untersucht.

3.2 Zusammenfassung

Die Auswertung der Temperaturfelder der unterschiedlichen Detailpunkte im Bereich der Fachwerkaußenwandkonstruktionen führt zu folgenden Grenzwerten für die Bestimmung eines Mindestwärmeschutzes für Fachwerkaußenbauteile:

Ein Wärmedurchlasswiderstand

$$1/\Lambda \geq 1,0 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

für alle Außenbauteile im ungestörten Bereich ist anzustreben.

Im Einzelnen gilt:

- Das ebene Gefach mit seinen Einzelbauteilen (Holz, Ausfachung) ist auf der Grundlage der DIN 4108 zu bewerten.
- Im Bereich der Fachwerkaußenkante beeinflusst die Lage der Wärmedämmschicht, sowie das Material des Innenputzes die Kantentemperatur.
- Für den Sockelbereich wurde erkennbar, dass für die Kantentemperaturen keine signifikanten Abhängigkeiten der unterschiedlichen Detailausbildungen erkennbar waren. Hier beeinflusst die Ausbildung eines schwimmenden Estrichs sowie das Material und die Höhe des Sockels (an Außenluft) die Oberflächentemperaturen im Bereich der Kante.
- Nicht auskragende Geschossdecken zwischen zwei Wohnräumen sind nicht tauwassergefährdet. Die Auskragungslänge bei auskragenden Geschossen beeinflusst die Temperatur.
- Decken zum nicht ausgebauten Dachraum sind im Allgemeinen tauwassergefährdet. Nur durch zusätzliche Wärmedämmmaßnahmen im Bereich der Wand zwischen den Deckenbalken kann eine Tauwasserfreiheit der Konstruktion erreicht werden.

4 Bestimmung feuchtetechnischer Grenzwerte für Baustoffe

Gebäude werden, durch ein sich im Jahreszyklus wechselndes Außenklima im Zusammenwirken mit einem nutzerspezifischen Innenklima, feuchtetechnisch belastet. Diese Feuchten belasten Gebäude, Bauteile und Baustoffe. Sie können die Gebrauchstauglichkeit entscheidend beeinflussen. Die Bestimmung von Grenzkriterien der zulässigen Feuchteänderung eines Baustoffes ist eine Möglichkeit, die Eignung der Baustoffe und die Zulässigkeit von Bauteilen beurteilen zu können.

Betrachtet und bewertet wurden:

- Holzbauteile
- Ausfachungsmaterialien
- Wärmedämmstoffe.

Ihre umfangreichen Abhängigkeiten sind in [1] dargestellt.

5 Labortechnische Bestimmung der Temperatur- und Feuchteverteilung

Um die Beeinflussung der Bauteile infolge Dampfdiffusion beurteilen zu können, wurde auf ein Fachwerkaußenbauteil unter Laborbedingungen ein stationäres Innen- und Außenklima nach DIN 4108, Teil 3 aufgebracht und die Temperatur- sowie Feuchteentwicklung messtechnisch aufgezeichnet.

Bei dem Bauteil handelt es sich um die Nachbildung einer historischen Fachwerkaußenwand, die wärmetechnisch durch eine raumseitige Wärmedämmung (hier Wärmedämmputz) saniert wurde.

5.1 Messwertaufnahme

Die Temperatur-Messwertaufnahme erfolgte durch Kupfer-Konstantan Thermoelemente.

Die Feuchtemessung der Holzbauteile Eiche/Fichte erfolgte durch gravimetrische Bestimmung der Feuchtezunahme von Stellvertreterkernen senkrecht zum Bauteil [Bild 7].

Für die gravimetrische Bestimmung der Feuchte der Ausfachung sowie der Wärmedämmung wurden aus dem Gefach Bohrkernproben entnommen.



Bild 7 Holz - Stellvertreter bei Ein- und Ausbau

5.2 Feuchteverlauf und Messergebnis im Riegel/Eiche

Die Feuchteentwicklung des Eichen-/Fichtenholzes zeigen in ihrem zeitlichen Verlauf einheitliche Tendenzen auf. Die Feuchteverläufe im Holz während der Winter- und Sommerperiode zeigen Bild 8 und 9.

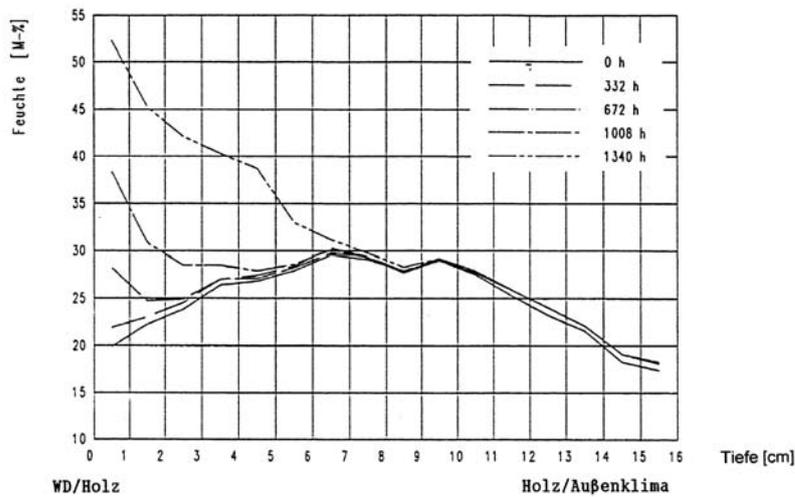


Bild 8 Feuchteverlauf im Holz/Eiche über den Querschnitt während der Winterperiode

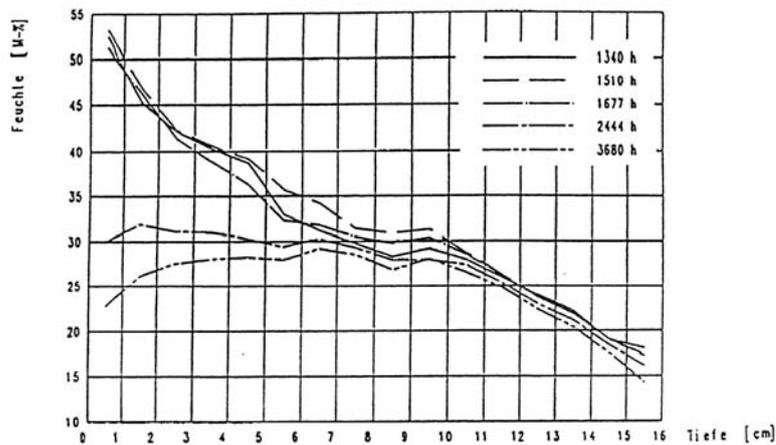


Bild 9 Feuchteverlauf im Holz/Eiche über den Querschnitt während der Sommerperiode

Im Einzelnen stellen sich die Ergebnisse wie folgt dar:

- Die Feuchtezunahme steigt bis zu einem Wert, der etwa der Fasersättigung entspricht, durch Diffusion kontinuierlich an.
- Nach Erreichen der Fasersättigung steigt, bedingt durch die Kapillarleitfähigkeit, die Feuchte beschleunigt auf die maximalen Werte.
- Die außenliegenden Elemente sind ab Frostgrenze, 7. bis 16. cm von der Feuchteentwicklung unbeeinflusst.
- Die innenliegenden Elemente im Bereich der Kontaktfläche Wärmedämmung/Holz unterliegen einem Feuchtwechsel.
- Für die Entwicklung von tierischen und pflanzlichen Holzschädlingen sind zu Beginn der Sommerperiode optimale Lebensbedingungen gegeben. Eine kontinuierliche Zerstörung der Holzsubstanz ist möglich.

5.3 Feuchteverlauf und Messergebnisse im Gefach

Die Feuchteentwicklungen im Bereich des Gefaches [Bild 10] sind in Abhängigkeit der Materialien unterschiedlich zu bewerten. Im Einzelnen stellt sich der Feuchteverlauf wie folgt dar:

Wärmedämmputz

- Die Feuchte steigt bis zu seinem maximalen Wert kontinuierlich an.
- Die maximal erreichte Feuchte liegt außerhalb der maximal möglichen Feuchte aus Sorption.
- Die Gebrauchstauglichkeit des Baustoffes ist nicht gefährdet.

Lehm

- Die Feuchte steigt im Rahmen der Sorption des Baustoffes kontinuierlich an.
- Feuchtwerte oberhalb möglicher Feuchten aus Sorption werden nicht erreicht.
- Die Gebrauchstauglichkeit des Baustoffes ist nicht gefährdet.

Allgemein

- In den Kontaktflächen mit dem Wärmedämmputz tritt ein Feuchteaustausch ein.
- Zu Beginn der Sommerperiode entzieht der Wärmedämmputz dem Holz sowie dem Lehm Feuchte.
- Alle Baustoffe erreichen nach Abschluss der Sommerperiode ihre Ausgangs-/Ausgleichsfeuchte.
- Die Trocknung der Baustoffe erfolgt vergleichbar der Feuchtezunahme.

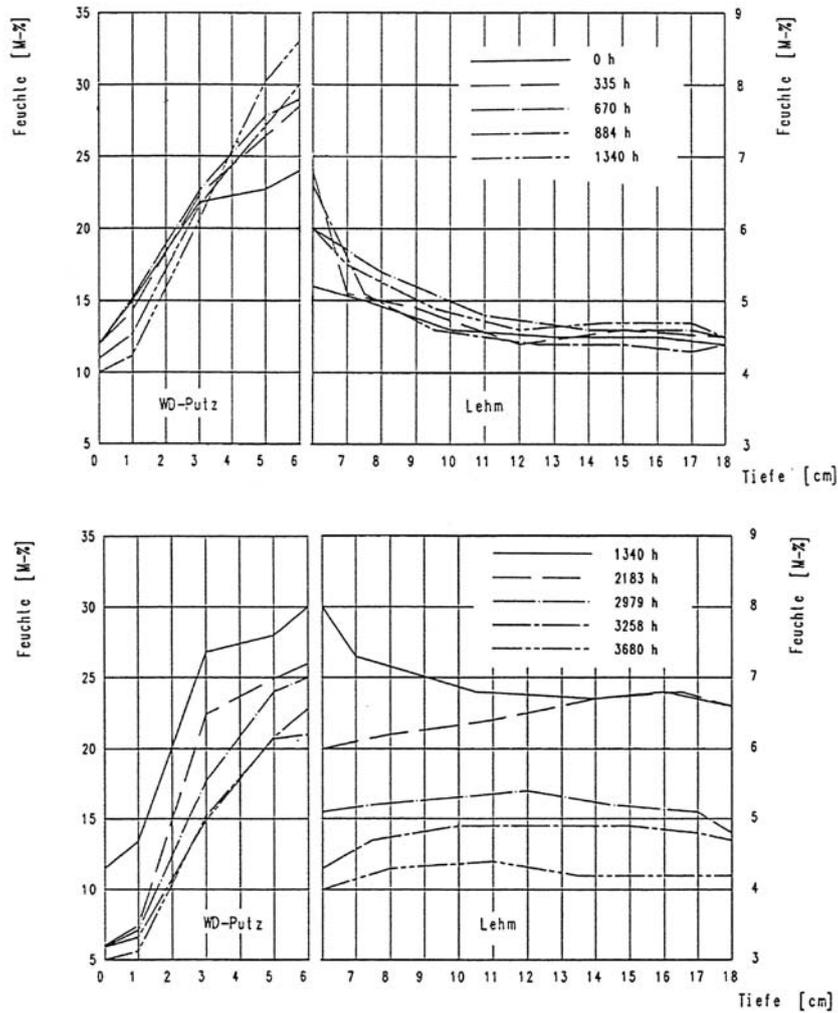


Bild 10 Feuchteverlauf im Gefach über den Querschnitt während Winter- und Sommerperiode

6 Modellrechnungen zur Bestimmung des Feuchteverhaltens von Fachwerkaußenbauteilen

6.1 Allgemeines

Die Grenzen der Feuchteentwicklung in einem Bauteil, bedingt durch ein auf das Bauteil wirkendes Innen- und Außenklima, können nach DIN 4108, Teil 3 wie folgt beschrieben werden.

Eine Tauwasserbildung in Bauteilen ist unschädlich, wenn durch Erhöhung des Feuchtegehaltes der Bau- und Dämmstoffe der Wärmeschutz und die Standsicherheit der Bauteile nicht gefährdet werden. Für die Abschätzung dieser Feuchteentwicklung steht das in DIN 4108, Teil 5 dargestellte und von Glaser entwickelte Verfahren zur Bestimmung eines Tauwasserausfalles in mehrschichtigen Außenbauteilen zur Verfügung. In letzter Zeit wurde dieses Verfahren umfangreich diskutiert, da hygroskopische Baustoffe, die unterschiedlichen Verhaltensweisen, gerade bei Holz und Holzwerkstoffen sowie die Sorptionseigenschaften und der kapillare Feuchtetransport der Baustoffe, nicht exakt berücksichtigt werden können. [2,3,4]

Mit einem von Greubel [5] entwickelten Programmsystem, basierend auf dem Differenzenverfahren, wurde unter zweidimensionalen, instationären Bedingungen der Wärme- und Feuchtetransport in Bauteilen berechnet. Das Ergebnis der Modellrechnungen soll hier ein Entscheidungskriterium für die richtige Wahl der Baustoffe und deren Schichtenfolge liefern.

6.2 Vergleich der Modellrechnungen mit den Laborversuchen

Durchgeführte Vergleichsrechnungen zu den zuvor dargestellten Laborversuchen zeigten in Hinblick auf Zu- und Abnahme der Feuchte im Bereich der reinen Sorption gute Abhängigkeiten. Für die Feuchtebereiche, die durch die Kapillarität der Baustoffe beeinflusst werden, konnten Messergebnisse wiedergespiegelt werden. Im Allgemeinen liegen aber die berechneten sowie die messtechnisch ermittelten Feuchten weit oberhalb der Grenzkriterien der Baustoffe. Diese Feuchtegehalte, die durch Kapillarität beeinflusst werden, dürfen nicht erreicht werden.

Bei den Vergleichs- und im Weiteren auch bei den Modellrechnungen wurde ein mehrjähriger Zyklus vorgegeben. Unter Zugrundelegung dieses Klimas, Region Braunschweig, liegen die ermittelten Feuchten weit unterhalb der kritischen Feuchten.

6.3 Erläuterungen zu den Modellrechnungen

Für die Modellrechnung wurden übliche Sanierungsvarianten mit innenliegender Wärmedämmung untersucht [Bild 11].

Die Konstruktion entspricht den im Fachwerkbau üblichen Abmessungen.

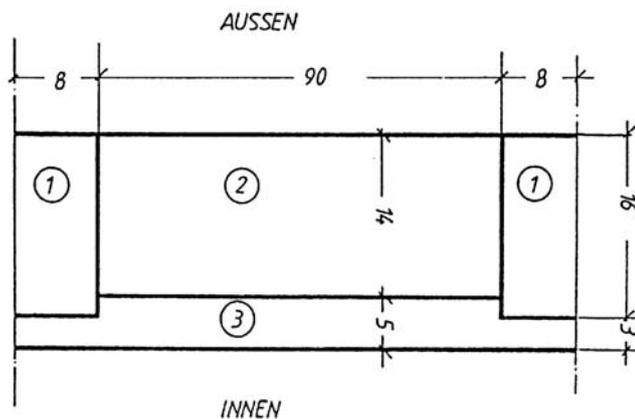


Bild 11 Fachwerkaußenbauteil

1 Holz, 2 Ausfachung, 3 Wärmedämmung

Bei der Auswahl der Baustoffe wurden im Fachwerkbau bzw. bei deren Sanierung übliche Baustoffe eingesetzt. Kennwerte von untersuchten aber auch von unbekanntem Baustoffen in situ und ihre umfangreichen Abhängigkeiten von Temperatur und Feuchte konnten auf der Grundlage eines entwickelten Baustoffkataloges [1] ermittelt und in die Berechnungen übertragen werden.

Mit den Berechnungen sollten folgende Zusammenhänge untersucht werden:

- Abhängigkeit zwischen Wahl der Baustoffe und dem Feuchteverhalten des Bauteils.
- Überprüfung der sich einstellenden Feuchten mit den zulässigen Grenzwerten der Baustoffe.

6.4 Auswertung der Ergebnisse

Für die Auswertung wurden die Bauteilschichten der

- Ausfachung
- Wärmedämmung
- Holz

ausgewählt, die durch die Kombinationen der Baustoffe die höchste Stofffeuchte/Stofffeuchteänderung aufweisen. Die Auswertung der Ergebnisse für Ausfachung und Wärmedämmschicht werden an dieser Stelle nicht aufgezeigt, da die maximalen Feuchten dieser Baustoffe, wie schon auf der Grundlage der Laborversuche zu erkennen war, in unkritischen Bereichen liegen.

6.4.1 Feuchteentwicklung im Bereich der Holzbauteile

Die Laborversuche ließen eine Gefährdung der Holzbauteile erwarten. Der Zeitpunkt der größten Holzfeuchten der Bauteilschichten im Grenzbereich Holz/Wärmedämmung fällt im Vergleich zu den maximalen Feuchten der dem Außenklima zugeordneten Bauteilschichten nicht mit den tiefen Temperaturen im Winter, sondern mit den ansteigenden Frühlingstemperaturen im März zusammen. Die hierbei auftretende höhere Außentemperatur begünstigt die Entwicklung holzerstörender Pilze und Insekten. Somit wird dieser Bereich maßgebend für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit des Holzes. Aus der Berechnung der Stofffeuchte über die Zeit wurden die maximalen Materialfeuchten und die zeitliche Dauer des Auftretens von $u_{\text{Holz}} > 18$ [M-%] ermittelt.

Eine Abhängigkeit dieser Werte von den gewählten Kombinationen aus Ausfachung und Wärmedämmung besteht im Bereich des Gefaches [Bild 12] über

- Wärmedurchlasswiderstand ($1/\Lambda$)
- äquivalente Luftschichtdicke (s_d)

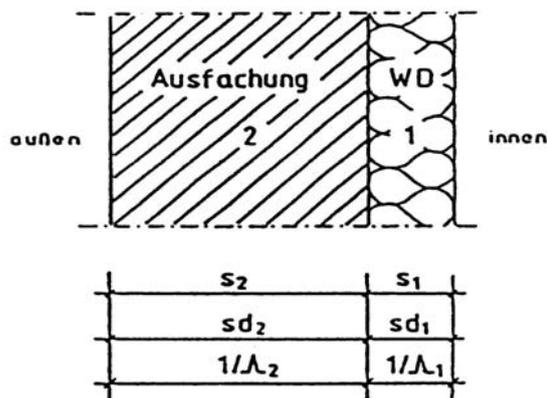


Bild 12 Schnitt Fachwerkaußenbauteil im Bereich Gefach

Die Auswertung zeigte, dass zwischen der maximal auftretenden Stofffeuchte und dem Wärmedurchlasswiderstand der Ausfachung eine Abhängigkeit besteht.

Die Funktion der Holzfeuchte kann mit der Gleichung

$$u_{\text{Holz}} = a(1/\Lambda_2)^b$$

für unterschiedlichste Baustoffkombinationen beschrieben werden.

6.4.2 Ergebnis

Für unterschiedliche Baustoffkombinationen besteht somit die Möglichkeit, Aussagen über die Gefährdung der Konstruktion durch zu hohen Stofffeuchteanfall und deren zeitliche Einwirkung Holz zu treffen. Mit den Eingangswerten

- Wärmedurchlasswiderstand und μ -Wert

der Ausfuchung und der Wärmedämmung kann die größte auftretende Holzfeuchte und die Dauer einer Holzfeuchte von $u > 18$ [M-%] bestimmt werden. In [Bild 13] ist beispielhaft eine geplante Sanierung einer Fachwerkaußenwand mit Dämmstoff Holzwoolleichtbauplatten (HWL) dargestellt.

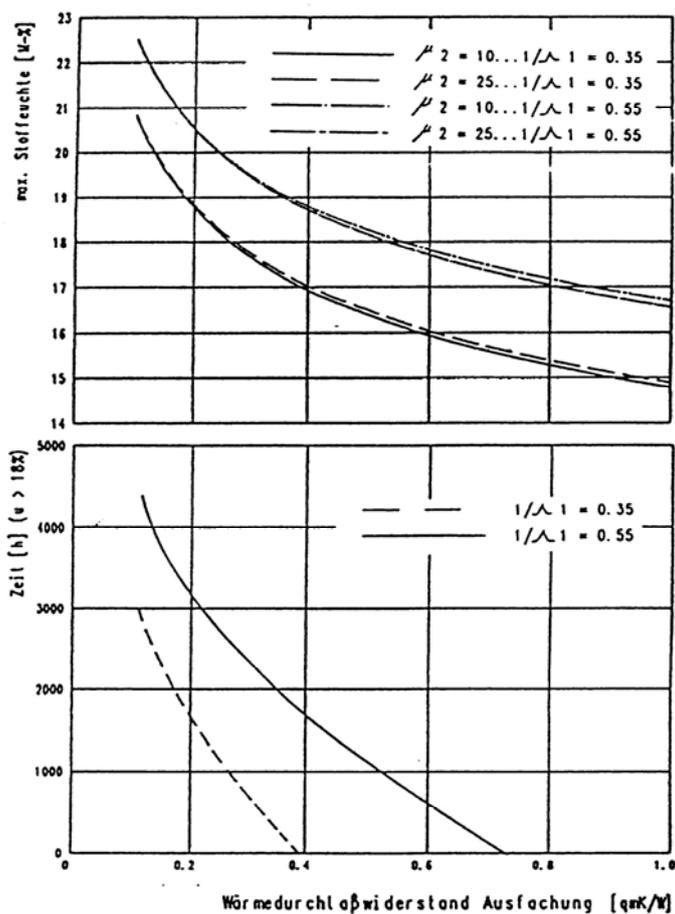


Bild 13 Maximale Stofffeuchte Holz und deren zeitliche Überschreitungsdauer von 18 M-%

6.5 Zusammenfassung

Für die Sanierung von Fachwerkaußenbauteilen können folgende Abhängigkeiten für eine Reduzierung der Holzfeuchte im Anschlussbereich Holz/Wärmedämmung bzw. Holz/Ausfuchung festgelegt werden:

- gute Dämmeigenschaften der Ausfuchung
- mäßige Dämmeigenschaften der Wärmedämmung
- dampfdichte Wärmedämmung, möglichst plastisch oder ohne Fugen (plattenartige Baustoffe)
- diffusionsoffene Gefachbaustoffe

7 Zusammenfassung der Untersuchungen

Die bestehenden Normen, Gesetze und Verordnungen sind für Sanierungsmaßnahmen von historischen Fachwerkhäusern oftmals nicht einzuhalten, da deren Gültigkeitsbereiche sich im Wesentlichen auf einzuhaltende Grenzwerte von Neubauten beziehen.

Mit den durchgenommenen Untersuchungen konnten folgende Erkenntnisse zum bautechnischen Wärme- und Feuchtigkeitsschutz historischer Bauten gewonnen werden:

- Der Grenzwert für die Bestimmung des Mindestwärmeschutzes für Fachwerkaußenbauteile wird am Wärmedurchlasswiderstand orientiert, der mit einer Größe von $1/\Lambda = 1,0 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ eine Tauwasserfreiheit der Konstruktionen gewährleisten kann.
- Bei historischen Bauteilen (Wärmedurchlasswiderstand $1/\Lambda \approx 0,4 \text{ m}^2 \text{ K/W}$) wird somit der Einbau zusätzlicher Wärmedämmschichten erforderlich.
- Dieser Einbau erfolgt, bedingt durch die Auflage, das optische Erscheinungsbild der Fachwerkfassade zu erhalten, oftmals raumseitig. Hierbei kann die raumseitige Lage der Dämmschicht in Abhängigkeit der verwendeten Baustoffe zu einem Tauwasserausfall im Bauteil führen.
- In diesem Fall sind besonders die Holzbauteile durch eine Erhöhung der Materialfeuchte oberhalb von 18 % gefährdet.
- Ein Tauwasserausfall kann durch den Einbau zusätzlicher Dampfsperren oder geeignete, dampfdichte Wärmedämmungen vermieden bzw. verringert werden. Der Einbau erforderlicher Dampfsperren bedingt eine sorgfältige, raumabschließende und dichte Verlegung mit einer Überlappung, besser noch Verklebung der Materialstöße und durchdringenden Installationen. Gerade durch diese Fehlstellen hindurch besteht die Gefahr einer Feuchtekonvektion in dem Bereich von Hohlräumen der oftmals mehrschaligen Außenwand.
- Werden historische Wände mit raumseitigen Wärmedämmschichten ohne Dampfsperren ausgeführt, kann über das Verhältnis der Wärmedurchlasswiderstände sowie der μ -Werte der Baustoffe die Feuchteentwicklung auch mehrdimensional beschrieben werden. Hierbei zeigten die Untersuchungen, dass Baustofffeuchten oberhalb baustoffspezifischer Grenzwerte, i. A. auch Bereiche, die durch die kapillaren Eigenschaften der Baustoffe beeinflusst werden, nicht zulässig sind.
- Aus den Berechnungen [siehe Bild 13] kann für unterschiedliche Ausfachungen in Kombination mit verschiedenen Wärmestoffen die Veränderung der Stofffeuchten abgeschätzt werden. Hierbei wird deutlich, dass der ungestörte Gefachbereich in den Grenzschichten Wärmedämmung/Ausfachung im Wesentlichen nicht gefährdet ist. Im Bereich des Anschlusses Ausfachung/Holz bzw. Wärmedämmung/Holz wird die Holzfeuchte entscheidend erhöht. Es zeigt sich, dass hier in den Winterperioden die kritischen Feuchten überschritten werden können.
- Durch eine geeignete Kombination der Baustoffe, sowie der Größe des aufgebrauchten Wärmedurchlasswiderstandes der Wärmedämmung kann die Erhöhung der Holzfeuchte sowie die zeitliche Dauer des kritischen Feuchtebereiches beeinflusst werden. Es zeigt sich, dass Ausfachungen und innenliegende Wärmedämmstoffe, die über gute Kapillareigenschaften verfügen und im direkten Kontakt miteinander erstellt sind, die kritischen Feuchtemassen auf dem Wege der Kapillarleitung aufnehmen und in unkritischere Bereiche weiterleiten.

8 Literaturverweis

- [1] H.-P. Leimer; Beitrag zur Bestimmung des wärme- und feuchtetechnischen Verhaltens von Bauteilen bei der Sanierung historischer Fachwerkgebäude
Dissertation, Weimar 1991
- [2] DIN 4108; Wärmeschutz im Hochbau
- [3] H. Glaser; Wasserdampfdiffusion durch hygroskopische Baustoffe im Hinblick auf die DIN 4108, Gesundheitsingenieur 1986
- [4] H. Glaser; Die Brauchbarkeit des graphischen Verfahrens nach DIN 4108 zur Untersuchung von Diffusionsvorgängen, WKSB - Sonderausgabe 1985
- [5] D. Greubel, Vergleich von Rechen- und Messergebnissen zum Feuchtehaushalt hölzerner Wandelemente unter instationären Klimarandbedingungen, Bauphysik 1986/87, Heft 6/1
- [6] G.-W. Mainka; H. Paschen; Wärmebrückenkatalog, Teubner 1986

9 Kurz- und Formelzeichen

s	Schichtdicke	[m]
ρ	Rohdichte	[kg/m ³]
ϑ	Temperatur	[°C]
λ	Wärmeleitfähigkeit	[W/m K]
$1/\Lambda$	Wärmedurchlasswiderstand	[m ² K/W]
$1/\alpha$	Wärmeübergangswiderstand	[m ² K/W]
L_{Kf}	Korrekturfaktor	[m ² K/W]
φ	Relative Luftfeuchte	[%]
μ	Wasserdampf- Diffusionswiderstandszahl	[-]
s_d	Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke	[m]
u	Massebezogener Feuchtegehalt	[M-%]
a,b	Parameter	[-]