

Beurteilung des energetischen Verhaltens von Fachwerkgebäuden bei unterschiedlichen Wärmedämmmaßnahmen

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer

Dipl.-Ing. Frank Eßmann

1 Einleitung

Die Erhaltung eines Bauwerkes in Verbindung mit der Verbesserung des oftmals unzureichenden Wärmeschutzes ist eine der vorrangigen Maßnahmen die bestehenden Werte eines Hauses zu wahren und eine den heutigen Wohnbedürfnissen entsprechende Nutzung zu ermöglichen.

Diese Vorgaben sind Bestandteil der DIN 4108 ^{1/}. Hier werden im Teil 2, Abschnitt 3, u.a. grundlegende Aussagen über die Bedeutung und die minimale Größe des Wärmeschutzes für den Erhalt der Gesundheit/Behaglichkeit der Bewohner und für die Reduzierung des Energieverbrauchs infolge Heizung und/oder Kühlung festgelegt.

Bedingt durch die steigenden Energiepreise in den 80er Jahren wurde diese Norm durch die Wärmeschutzverordnung^{2/} ergänzt, um einen zulässigen Gesamtwärmeverlust sowie einen Wärmeverlust infolge Undichtigkeiten bei Fenstern, Türen und sonstigen Fugen bei Wohngebäuden festzulegen.

Diese Anforderungen reichen aber nun bei weitem nicht aus, um die von der Bundesregierung zugesagten 25 % Einsparungen der CO₂-Emissionen bis 2005 entscheidend zu begrenzen^{3/}. Entscheidende Maßnahmen zur Novelle der WSchVo sind nötig, um dieses hohe Ziel zu erreichen.

Aus diesem Grunde muss die Vielzahl der Fachwerkhäuser, auch in den neuen Bundesländern, in diese Betrachtungsweise eingegliedert werden. Gerade hierbei ist es sinnvoll die möglichen Einsatzweisen von Wärmedämmmaßnahmen genauer zu untersuchen und zu bewerten sowie 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 Reduzierung des Wärmebedarfes von Gebäuden

In Ergänzung zur nachfolgenden Untersuchung wurde auch der Einbau von modernen Heizungsanlage betrachtet. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass bedingt durch ein gänzlich anderes Nutzerverhalten, die Raumlufttemperatur im **gesamten** Haus, besonders auch während der Nachtstunden, auf ein entscheidend höheres, über Tag und Nacht nahe zu gleichmäßiges Niveau angehoben wird und somit trotz effektiveren Heizungsanlagen eine Erhöhung des Wärmebedarfes eintritt. Der Gesamtenergiebedarf muss somit nicht günstiger ausfallen als im historischen Fall.

Bei einer wärmetechnischen Sanierung eines Gebäudes stehen folgende Bauteile für eine Reduzierung der Wärmeverluste zur Verfügung:

- Fenster und/oder Außentüren
- Dach oder Decke zum n.a. Dachraum
- Fußböden zum Erdreich oder Keller
- Außenwände

Mit geringen baukonstruktiven und bauphysikalischen Schwierigkeiten lassen sich Fenster (durch eine Isolierverglasung oder den Einbau eines zweiten Fensters), Fußböden (durch einen neuen Unter- oder Oberbau), Decken zum nicht ausgebauten Dachgeschoss sowie geneigte Dächer (durch Ein- oder Auflegen einer Dämmschicht) wärmetechnisch entscheidend verbessern.

Untersuchungen^{4/} zeigen, dass der Einsatz von überdimensionierten, raumseitigen Wärmedämmmaßnahmen im Bereich von **Fachwerkaußenwänden** zu erheblichen Schäden der vormals noch intakten Bausubstanz führen können; siehe auch ^{5/6/}.

Aus diesen Überlegungen heraus wurden die Maßnahmen zur Reduzierung der Wärmeverluste eines Fachwerkgebäudes in Abhängigkeit möglicher Einsatzgebiete der Dämmung genauer untersucht.

2.1 Wärmebedarf eines Fachwerkgebäudes

2.1.1 Berechnungsgrundlagen

Für die Berechnungen wurde ein übliches, unterkellertes Fachwerkgebäude als **eingeschossiges Einfamilienhaus und zweigeschossiges Zweifamilienhaus** mit ausgebautem Dachgeschoss nach Bild [1] ausgewählt.

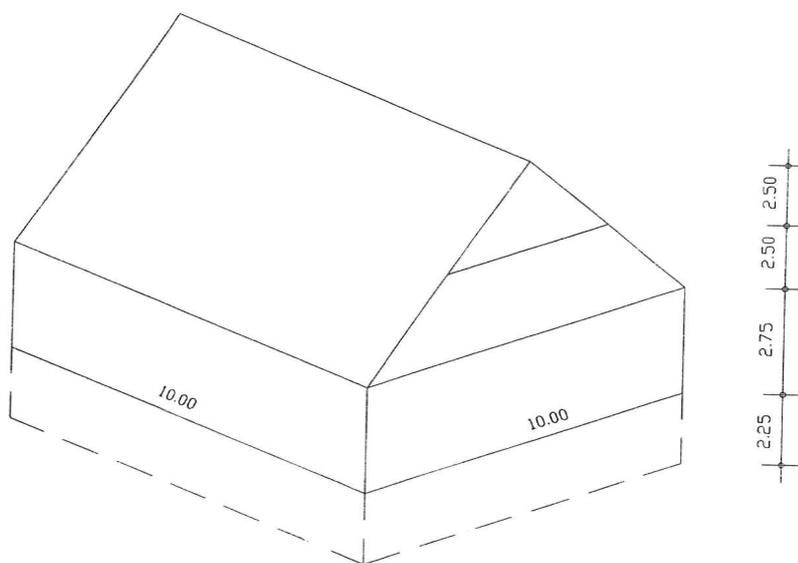


Bild 1 Untersuchtes Gebäude

Um allgemeingültige Aussagen für 'übliche' Fachwerkgebäude zu treffen, wurden unterschiedliche Geometrien der Außenwand zugrunde gelegt.

Untersucht wurden:

Fensterflächenanteil

$$A_{\text{Fenster}} / A_{\text{Wand}} = 0.2 / 0.3 / 0.4$$

Holz-/Gefachflächenanteil einer Fachwerkfassade

$$A_{\text{Holz}} / A_{\text{Wand}} = 0.5 / 0.4 / 0.3$$

$$A_{\text{Gefach}} / A_{\text{Wand}} = 0.5 / 0.6 / 0.7$$

Sanierungen der Innenwände und der Geschossdecken wurden, soweit sie vom Wärmebedarf des Gebäudes unbeeinflusst sind, nicht berücksichtigt.

Bei den Sanierungsvarianten 2 bis 5 wurden für die Bauteile die wärmeschutztechnischen Anforderungen nach WSchVO '82 zugrunde gelegt.

Bei der Sanierungsvariante 6 wurde der Referentenentwurf der WSchVO '95 zugrunde gelegt.

Die wärmetechnische Verbesserung der Wand erfolgte bei den Sanierungsvarianten 5 und 6 auf der Grundlage der Untersuchungen nach ⁷/.

Varianten der wärmetechnischen Sanierung

Die Varianten 2 bis 5 werden im Weiteren additiv durch wärmetechnische Maßnahmen ergänzt.

1 - Historisches Gebäude

$$k_{\text{Fenster}} = 5.2 \text{ (W/m}^2\text{K)} \quad g=0.85$$

$$k_{\text{Dach}} = 2.0 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

$$k_{\text{Boden}} = 2.0 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

$$k_{\text{Wand,Holz}} = 1.0 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

$$k_{\text{Wand,Gefach}} = 1.75 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

2 - Sanierung der Fenster

$$k_{\text{Fenster}} = 2.1 \text{ (W/m}^2\text{K)} \quad g=0.75$$

3 - Sanierung 2, zusätzlich Sanierung Dach

$$k_{\text{Dach}} = 0.3 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

4 - Sanierung 3, zusätzlich Sanierung Fußboden/Decke über KG

$$k_{\text{Boden}} = 0.55 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

5 - Sanierung 4, zusätzlich Sanierung Wand entsprechend WSchVO '82

$$k_{\text{Wand}} = 0.85 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

6 - Sanierung entsprechend WSchVO '95 (Referentenentwurf)

$$k_{\text{Fenster}} = 1.7 \text{ (W/m}^2\text{K)} \quad g=0.7$$

$$k_{\text{Dach}} = 0.2 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

$$k_{\text{Boden}} = 0.24 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

$$k_{\text{Wand}} = 0.85 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

2.1.2 Berechnung des Heizwärmebedarfes

Die durchgeführten Maßnahmen an einem historischen Gebäude beeinflussen den Heizwärmebedarf eines Ein- und Zweifamilienhauses entsprechend Bild [2] und [3]:

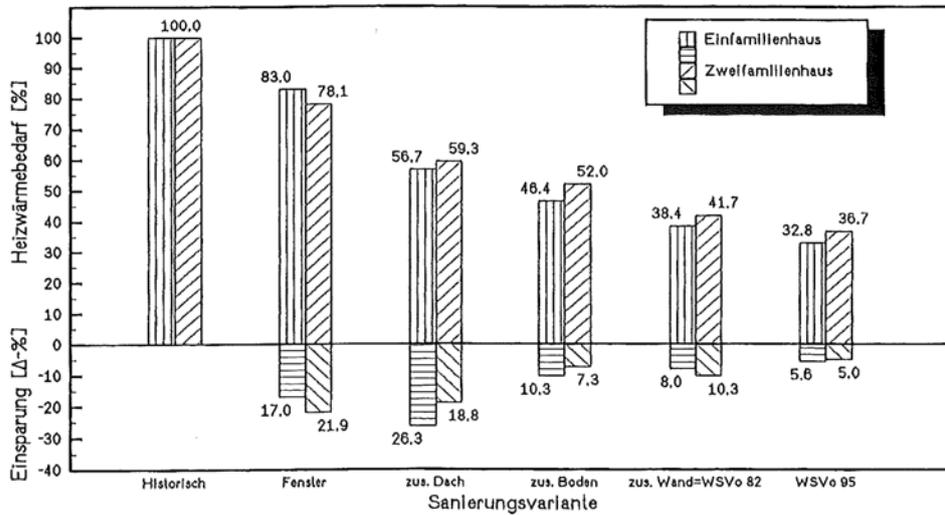


Bild 2 Heizwärmebedarf unterschiedlicher Sanierungsvarianten am Beispiel eines Ein- bzw. Zweifamilienhauses

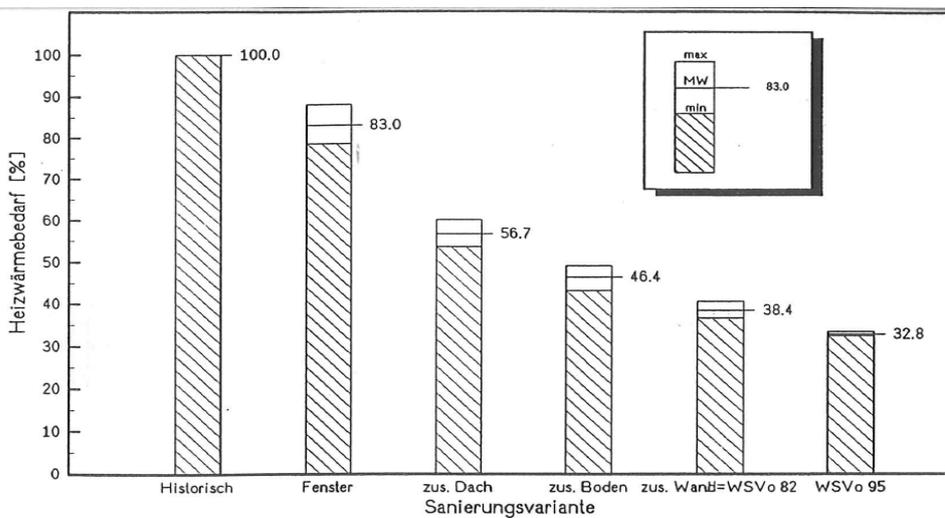


Bild 3 Heizwärmebedarf eines Einfamilienhauses bei unterschiedlichen Außenwandgeometrien

Aus den Berechnungen wird deutlich, dass es möglich wird eine Reduzierung des Heizwärmebedarfes von Fachwerkgebäuden durch geeignete Wärmedämmmaßnahmen auf der Grundlage des Entwurfes zur WSchVO '95 um

bis zu 70 %

zu erreichen. Die Einflüsse unterschiedlicher Außenwandgeometrien sind bei der Betrachtung nahezu vernachlässigbar.

Ergänzend sei nochmals deutlich betont, dass der Einsatz überdimensionierter Dämmmaßnahmen **im Wandbereich** nicht nur baukonstruktiv, sondern auch im Rahmen einer auf denkmalgeschützten Orientierung ausgelegten Sanierung nicht oder nur bedingt durchzuführen ist, da in diesen Bereichen der Tauwasserausfall im Inneren des Bauteiles (siehe ^A) entscheidend durch die Größe des Wärmeschutzes beeinflusst wird. Untersuchungen zeigen jedoch, dass eine wärmetechnische Sanierung auch unter Einhaltung der WSchVO '95 möglich wird, wenn auf der Grundlage der Ergebnisse nach ⁷ die Maßnahmen ausgeführt werden. In jedem Falle ist hier eine differenzierte Betrachtungsweise der Wandbereiche erforderlich.

Überdenkenswert wird die Tatsache, dass die mit der Novelle der WSchVO '82 angestrebte Reduzierung des Heizwärmebedarfes, in Verbindung mit einer Reduzierung der CO₂-Emissionen, nicht eintreten wird!

2.1.3 Darstellung der Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme

Um die Wirtschaftlichkeit der Sanierungsvarianten beurteilen zu können, wird i. A. die Amortisationszeit unter Zugrundelegung eines erwartenden Preisindexes für die kWh angesetzt. Da aber nun gerade diese Größe über Nutzungszeiten der Varianten zwischen 20 - 30 Jahren nicht prognostiziert werden können, wird im Weiteren der Freisetzungsaufwand der Maßnahmen betrachtet. Hierbei werden die Kosten von

einer eingesparten kWh

betrachtet.

Die Kosten der Maßnahme mit ihrer min. Nutzungszeit sind in der nachstehenden Tabelle für das Einfamilienhaus dargestellt.

Variante	geschätzte Kosten [DM]	Nutzungszeit [Jahre]
2,00	30000,--	20,00
3,00	10000,--	30,00
4,00	10000,--	30,00
5,00	25000,--	30,00
6,00	15000,--	30,00

Der Freisetzungsaufwand sowie die im Januar 1993 von einem Energieversorgungsunternehmen festgestellten Kosten für unterschiedlichste Energieträger der Heizenergie eines Einfamilienhauses sind in Bild [4] dargestellt.

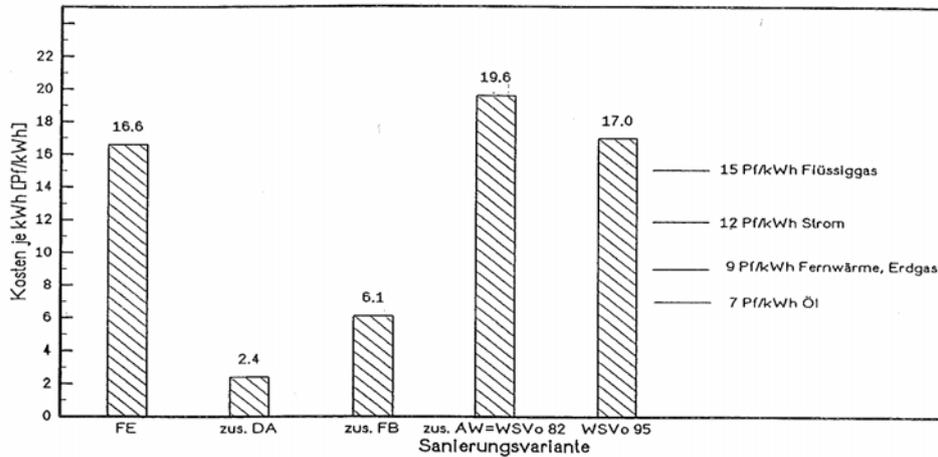


Bild 4 Freisetzungsaufwand/Energiekosten

Es zeigt sich, dass die Sanierungsmaßnahmen in Abhängigkeit der gewählten/vorhandenen Energieträger bewertet werden müssen.

Die dargestellten Kosten der eingesparten kWh können hierbei unabhängig von Prognosen der Energiepreissteigerung, auch in Zukunft, mit den dann jeweils gültigen Energiekosten direkt verglichen werden.

3 Untersuchung des energetischen Verhaltens unter instationären Bedingungen

3.1 Beschreibung des verwendeten Rechenverfahrens

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

Das von Dr.- Ing. F. Haferland, Dr. phil. W. Heindl und Dipl.-Ing. H. Fuchs erstellte Rechenprogramm berücksichtigt dynamische Effekte in einem eingeschwungenen Zustand basierend auf den gebäudespezifischen Grundlagen.

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

Anhand von Vergleichsrechnungen zur DIN 4701 und der VDI-Richtlinie 2078 ⁸⁾ konnte die Aussagefähigkeit des Verfahrens überprüft werden.

3.2 Untersuchungen des Einsatzes von Wärmedämmmaßnahmen im Dachbereich

Mit den Berechnungen soll untersucht werden, in wieweit der Einsatz von Dämmschichten in den unterschiedlichen Bereichen eines Daches (Dachdecke, Abseite, Kehlriegel, geneigtes Dach) das energetische Verhalten quantitativ verändert, um die Fragen hinsichtlich eines geplanten, **späteren** Dachgeschossausbaus dahingehend zu beantworten, ob die Dachdecke oder in diesem Zuge das geneigte Dach gedämmt werden soll.

3.2.1 Varianten des Einsatzes von Dämmmaßnahmen

Es wurde der Winterfall berechnet. Für die Berechnungen wurde das Simulationshaus nach **Sanierungsgrad 5** mit einer Firstlinie Ost/West zu Grunde gelegt.

Mit den Varianten V1-V3 werden drei unterschiedliche Ausbaustände des Dachbereiches beschrieben:

- V1** - Dachgeschoss ungedämmt
Geschossdecke gedämmt
- V2** - Dachgeschoss gedämmt (bis Kehlriegel einschließlich)
Spitzboden ungedämmt
- V3** - Dachgeschoss gedämmt (bis First)

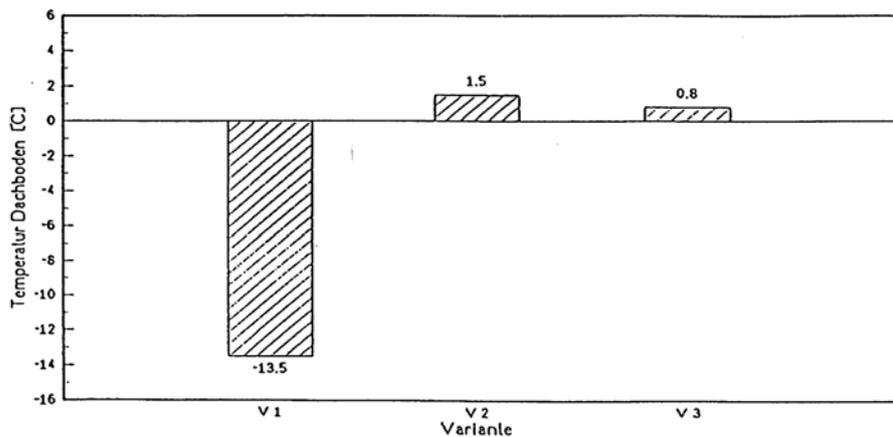


Bild 5 Lufttemperatur im Dachraum

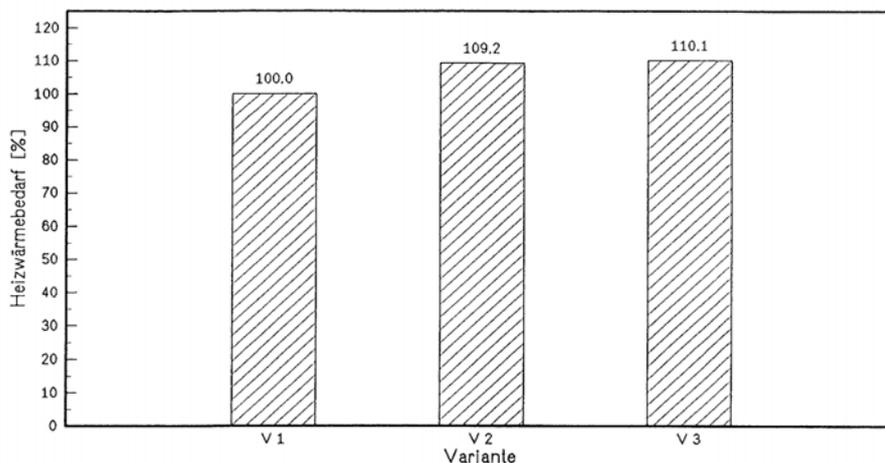


Bild 6 Heizwärmebedarf des Gesamtgebäudes

Es zeigt sich, dass der unproblematische Einbau der Wärmedämmschichten im geneigten Dach, z.B. auch als Sparrenvollämmung, zu einer Erhöhung des Heizwärmebedarfes (hier ca. 10%), für den Zeitraum des nicht genutzten Dachgeschosses führt; Bild [6].

Während dieses Zeitraumes liegen die Lufttemperaturen im Dach erheblich oberhalb der Temperaturen nach V1; Bild [5].

Unter diesen Umständen können die bauphysikalischen Belastungen, z.B. Tauwasserausfall im Bauteilquerschnitt und/oder auf der raumseitigen Bauteiloberfläche des darunterliegenden Geschosses i. A. vermieden werden; siehe auch /⁴/.

3.3 Sommerliches Temperaturverhalten von Fachwerkgebäuden

3.3.1 Berechnungsannahmen

Für die Berechnungen wird der Tagesgang der Außentemperatur auf der Grundlage der VDI-Richtlinie 2078 (Binnenlandklima Juli) angesetzt, und die Luftwechselzahlen für alle Räume mit 1,0 angenommen. Jalousien werden nicht berücksichtigt, da auf der Außenfläche von historischen Gebäuden Sonnenschutzmaßnahmen bedingt durch die Veränderung der Konstruktion nicht erwünscht sind.

3.3.1.1. Vergleich des sommerlichen Temperaturverhaltens unterschiedlicher Gebäudevariationen

Dieser Vergleich soll zeigen, wie stark die Abhängigkeit der Innentemperatur in Bezug auf die Außentemperatur von der Schwere der Bauart ist.

Historisches Gebäude

Für den Rechenansatz des historischen Gebäudes wurde eine Außenwandflächenbezogene Speichermasse von 555 kg/m² zugrunde gelegt.

Historische/schwere Sanierung

Bei einer historischen Sanierung wurde für den Rechenansatz das historische Gebäude mit einer Außenwandflächenbezogene Speichermasse von 555 kg/m² zugrunde gelegt.

Die Ausfachungen und die Geschossdecken des Gebäudes wurden beibehalten und durch Wärmedämmstoffe ergänzt (z.B. Leichtlehm, Blähton, Wärmedämmputz, Leichtputz) ergänzt.

Leichte Sanierung

Das leicht sanierte Haus hat eine außenflächenbezogene Speichermasse von 220 kg/m². Die Ausfachungen des historischen Gebäudes wurden durch leichte Baustoffe (z.B. Gasbeton, Mineralwolle, Gipskartonplatte) ersetzt.

Die Geschossdecken sind in leichter Bauart (Deckenbalken, Schalung, Schalldämmung, Schalung) erneuert.

Der Temperaturgang zeigt sich in Bild [7].

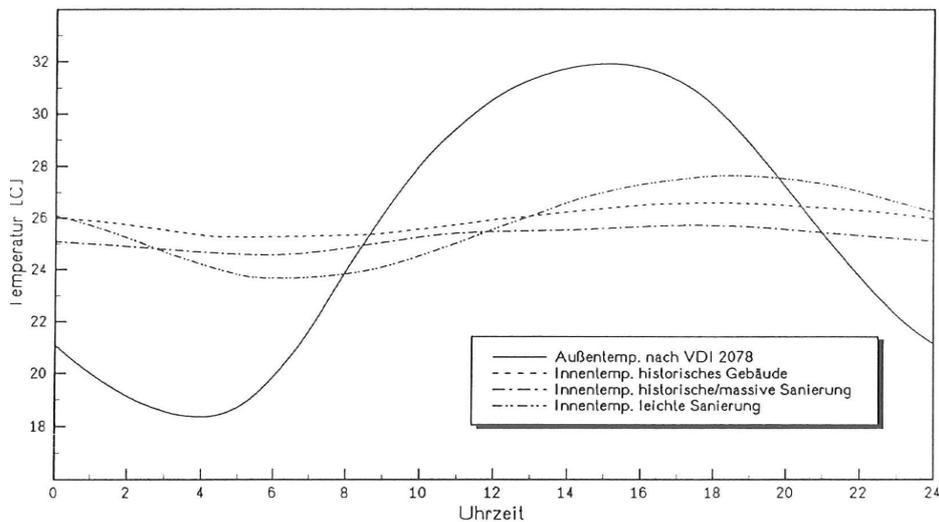


Bild 7 Ganglinien der Raumlufthemperatur unterschiedlicher Gebäudevariationen

Aus den Berechnungen wird deutlich, dass die Raumlufthemperaturen dem Tagesgang der Außentemperatur im eingeschwungenen Zustand mit einer Phasenverschiebung folgten.

Historisches Gebäude

Das historische Gebäude zeigt eine nahezu gleichmäßige Raumlufthemperatur über den Tagesgang. Es wird somit deutlich, dass das einem massiven Gebäude zugesprochene ausgeglichene Raumklima sich auch durch eine geringere Temperaturbandbreite darstellt.

Historische/schwere Sanierung

Eine historische Sanierung bei Beibehaltung der schweren Baumassen führt wie das historische Gebäude zu einem gleichmäßigen Raumklima. Hierbei liegen, bedingt durch die durchgeführten Wärmedämmmaßnahmen, die Raumtemperaturen unterhalb der Temperaturen des historischen Gebäudes.

Leichte Sanierung

Die Raumtemperaturschwingung folgt stärker der Außenluft. Die Amplitude schwingt zwischen 24°C und 28°C. Die max/min Lufttemperaturen liegen, bedingt durch die fehlenden Speichermassen spürbar ober-/unterhalb der des historischen bzw. historisch/schwer sanierten Gebäudes.

3.3.1.1 Einfluss eines nutzerspezifischen Lüftungsverhaltens

Im Weiteren sollen die Einflüsse eines nutzerspezifischen Lüftungsverhaltens auf die Raumlufthtemperatur untersucht werden.

Unterschiedliche Lüftungsmöglichkeiten Bild [8] werden betrachtet:

- ohne Zusatzlüftung
- Taglüftung
- Nachtlüftung

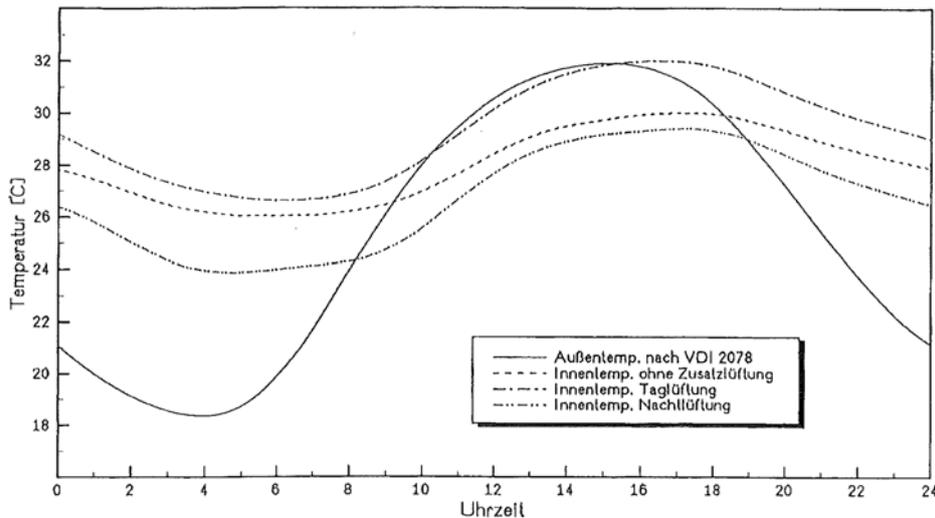


Bild 8 Temperaturganglinien infolge unterschiedlichen Lüftungsverhaltens

Aus den Berechnungen wird deutlich, dass durch ein angepasstes Lüftungsverhalten die Raumlufthtemperatur um bis zu 3 K gesenkt werden kann.

Bei Taglüftung erreichen die Raumlufthtemperaturen im Maximum die der Außenemp.

4 Literaturnachweis

¹ DIN 4108, Wärmeschutz im Hochbau, 1981, 1991

² Wärmeschutzverordnung vom 14.02.1981

³ Gertis, Verstärkter baulicher Wärmeschutz, Bauphysik-Kongress 1991

⁴ BBS INGENIEURBÜRO, Berichte Nr. 1 und 2, 1991-92

⁵ Achtziger

Praktische Untersuchung der Tauwasserbildung im Innern von Bauteilen mit Innendämmung; wksb-Sonderausgabe 1985

⁶ Kießl

Wärmeschutzmaßnahmen durch Innendämmung / Beurteilung und Anwendungsgrenzen aus feuchte-technischer Sicht; wksb Heft 31/1992

⁷ Leimer

Beitrag zur Bestimmung des wärme- und feuchte-technischen Verhaltens von Bauteilen bei der Sanierung historischer Fachwerkbauwerke; Dissertation Weimar 1991

⁸ VDI 2078, Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume, Entwurf 1990