

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 96 (1978)  
**Heft:** 10

**Artikel:** Einfluss des Wärmespeichervermögens von Wandkonstruktionen auf den Heizenergiebedarf und Behaglichkeit: Bericht über Untersuchungen an der EMPA  
**Autor:** Stähli, Urs  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-73644>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 03.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

- 67 Aussenhandel II. Einfuhr im Jahre 1968  
 68 Aussenhandel III. Einfuhr im Jahre 1968  
 69 Aussenhandel IV. Einfuhr im Jahre 1968

#### Verkehr: Bahn- und Schiffsverkehr, Strassenverkehr, Luftverkehr, Nachrichtenwesen

- 70 Verkehrsnetze  
 71 Eisenbahnverkehr  
 72 Strassenverkehr  
 73 Luftverkehr  
 74 Post- und Nachrichtenwesen

#### Schulwesen

- 75 Volksschule und Berufsschulen

- 76 Mittelschulen  
 77 Hochschulen

#### Naturräumliche Gliederung / Einzelne Landschaften

- 78 Naturräumliche Gliederung  
 79 Wallis  
 80 Walliser und Berner Alpen  
 81 Berner Oberland, St. Gotthard und Luganersee  
 82 Zentralschweiz  
 83 Nordostschweiz und Graubünden  
 84 Genfer Becken und westliches Mittelland  
 85 Mittleres und östliches Mittelland  
 86 Der Jura

Transparente Ortsnamenkarten (Folien)

## Einfluss des Wärmespeichervermögens von Wandkonstruktionen auf Heizenergiebedarf und Behaglichkeit

### Bericht über Untersuchungen an der EMPA

Von Urs Stähli, Heerbrugg\*)

*Umweltbewusstes Energiesparen sowie gestiegene Komfortansprüche haben bei der bauphysikalischen Bemessung von Wohn- und Geschäftsbauten zum Einschlagen neuer Wege geführt. Die wärmetechnische Bemessung von Aussenbauteilen mittels des stationären Wärmedurchgangskoeffizienten ( $k$ -Wert) genügt den heutigen Anforderungen nicht mehr. Die Erfahrung zeigt: Ein noch so guter  $k$ -Wert allein bürgt noch nicht für ein behagliches Raumklima.*

*Das effektive Verhalten einer Gebäudehülle wird besser erfasst, wenn auch die instationären Vorgänge, die sich im 24-Stunden-Rhythmus an der Aussenwand abspielen, mit berücksichtigt werden. Die Grundlagen für die Berechnung des instationären Wärmedurchgangs sind heute vorhanden. Diese Berechnungen sind leider äusserst komplex und zeitraubend. Für die Praxis kommen sie damit kaum in Frage.*

*Im folgenden soll versucht werden, dem Praktiker die Erkenntnisse, die sich aufgrund der neuen Betrachtungsweise ergeben, näherzubringen und zu zeigen, welche grundsätzlichen Konsequenzen sich daraus für die Projektierung von Bauten ergeben.*

#### Einfluss der Masse

Der grundlegende Unterschied zwischen der stationären und instationären Betrachtung des Wärmedurchgangs durch Bauteile besteht darin, im instationären Fall den Einfluss der Wärmespeicherung nicht mehr zu vernachlässigen. Speichereffekte sind aber nur bei Vorhandensein von Masse möglich. Mit dem Begriff «Masse» taucht eine neue Grösse bei der Betrachtung des Wärmedurchgangs auf.

Masse ist träge. Dies gilt auch für wärmetechnische Anwendungen. Eine Temperaturerhöhung an der Aussenseite einer Wand macht sich nicht sofort im Innern bemerkbar. Die «Temperaturwelle» wird beim Durchgang durch die Wand zuerst die Masse der Wand aufheizen. Erst später gibt die Wand die aufgenommene Wärmeenergie allmählich an die Raumluft weiter. Die Wandmasse wirkt als Puffer; sie glättet die Extremwerte der Aussentemperatur und lässt sie nur verzögert im Raum wirksam werden (siehe Bild 1).

Welche Auswirkungen ergeben sich aus diesem Verhalten für die Praxis? Allgemein verspricht man sich vom trägen Verhalten einer massiven Wand:

- *Grössere Behaglichkeit.* Äussere Klimaschwankungen wirken sich im Raum weniger aus. Das kann sich beispielsweise darin äussern, dass die Raumlufttemperatur nur wenig schwankt (also kein «Barackenklima») oder dass sich die innere Oberflächentemperatur nur geringfügig ändert (also kein «Backofen»)
- *Heizenergieeinsparungen.* Die von der Gebäudehülle im Laufe des Tages aufgenommene Sonnenenergie trägt nachts zur Heizung bei.

Woher kommen diese Heizenergieeinsparungen bei massiven Konstruktionen, wie z.B. Kalksandstein- oder noch besser Betonwänden? Die Erklärung ist einfach.

Die Sonnenstrahlung wird einmal durch Absorption von der Gebäudehülle «eingefangen», während ein anderer Teil direkt durch die Fenster in den Raum gelangt. Diese zugestrahlte «Sonnenenergie» erwärmt die Raumumschliessungsflächen und die Raumluft. Bei fehlenden Speichermassen (Leichtbauten) wird die Sonnenenergie ausschliesslich der Raumluft zugeführt, die sich sehr stark erwärmt. Weil die Sonneneinstrahlung zu einer Zeit auftritt, in der es ohnehin relativ warm ist, führt die Raumluft erwärmung zu einer Überheizung. Gegen Abend kühlen sich die leichten Bauteile

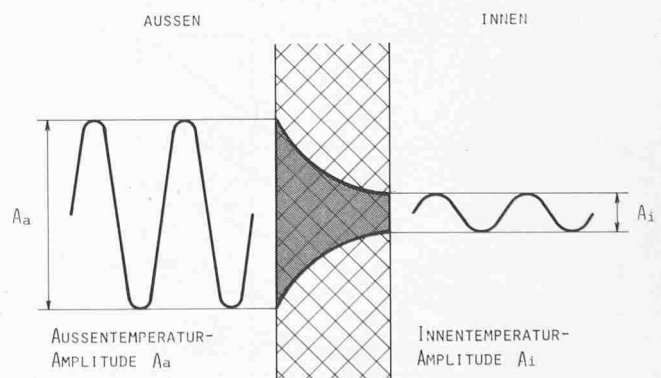


BILD 1 TEMPERATURDURCHGANG DURCH EINE WAND

Bild 1. Temperaturdurchgang durch eine Wand

\*) Vortrag, gehalten am Seminar «Aktuelle Beiträge zur Bauphysik und Gestaltung im Betonbau», veranstaltet vom «Verein Schweiz. Zement-, Kalk- und Gipsfabrikanten» am 18. Okt. 1977 an der ETH Zürich.

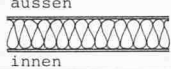
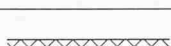
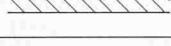
| Nr. | WANDAUFBAU                                                                                                                                                                                                                                                                  | $\nu$<br>(VERSUCH) | $\nu$<br>(RECHNUNG) | MASSE<br>(KG/M <sup>2</sup> ) | K-WERT<br>(W/MK) |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------|------------------|
| 1   | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="margin-left: 10px;"> 1,5 Aluminium<br/>97 Styropor<br/>1,5 Aluminium </div> </div> | 1.3                | 1.2                 | 11.3                          | 0.44             |
| 2   | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="margin-left: 10px;"> 60 Styropor<br/>150 Beton </div> </div>                       | 40.8               | 42.8                | 384                           | 0.51             |
| 3   | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="margin-left: 10px;"> 60 Styropor<br/>150 Backstein </div> </div>                   | 23.1               | 23.0                | 232                           | 0.45             |
| 4   | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="margin-left: 10px;"> 150 Beton </div> </div>                                       | 1.4                | 1.3                 | 372                           | 3.9              |
| 5   | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="margin-left: 10px;"> 60 Styropor<br/>150 Kalksandstein </div> </div>               | 35.8               | 35.1                | 318                           | 0.49             |
| 6   | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="margin-left: 10px;"> 150 Beton<br/>60 Styropor </div> </div>                       | 2.2                | 2.4                 | 384                           | 0.51             |
| 7   | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="margin-left: 10px;"> 350 Lecabeton </div> </div>                                   | 11.4               | 10.4                | 325                           | 0.82             |

Bild 2. Temperaturamplitudendämpfung aus Versuch und Rechnung

und die Raumluft sehr schnell wieder ab, sodass die Heizung nur während kurzer Zeit vermindert oder abgestellt werden kann. Der grösste Teil der zugestrahlten Sonnenenergie wird deshalb lediglich zu einer *Überheizung* verwendet.

Massive Gebäudehüllen aus Stein und Beton vermag die einfallende Strahlung nur geringfügig zu erwärmen. Zudem gelangt die Strahlungsenergie, die von den Aussenwänden absorbiert wird, erst mit grosser Verspätung in den Raum. Zu diesem Zeitpunkt lässt sich die Energie ganz für Heizzwecke nutzen. Die tagsüber mit Sonnenenergie aufgefüllten, massiven Speicher geben ihre Wärmeenergie erst in den kühleren Abend- und Nachtstunden wieder ab. Die Sonnenenergie ist somit für Heizzwecke nur dann zu nutzen, wenn sie bis in die Abendstunden gespeichert werden kann.

### Raumklima und thermische Behaglichkeit

Für die thermische Behaglichkeit eines Gebäudes sind geringe Temperaturunterschiede von grosser Bedeutung. Die Schwankungsbreite der Innentemperatur ( $A_i$ ) kann für eine bestimmte Bauweise in Funktion der Aussentemperaturschwankung berechnet werden. Üblicherweise wird das Verhältnis der Aussentemperaturamplitude zur Innentemperatur-

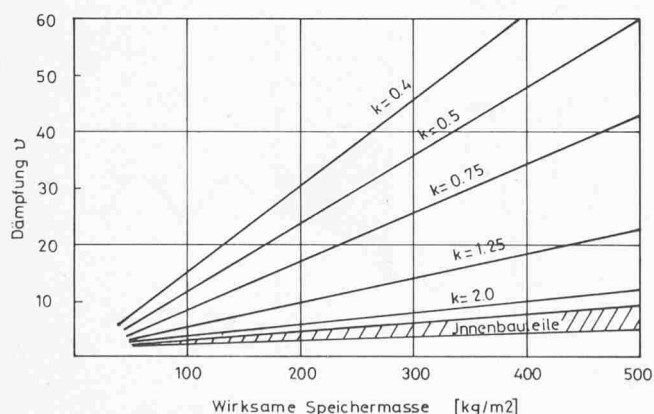


Bild 3. Dämpfung in Funktion von Speichermasse und  $k$ -Wert ( $W/mK$ ), Mittelwerte

amplitude bestimmt. Es kann als *Dämpfung* eines Bauteils verstanden werden und ist definiert durch

$$\nu = \frac{A_a}{A_i}$$

Ausgehend von der Differentialgleichung der instationären Wärmeleitung wurden verschiedene Rechenverfahren entwickelt, die sich aber durch die Randbedingungen unterscheiden. Entsprechend unterschiedlich sind auch die Resultate der einzelnen Rechenverfahren. Um das effektive Verhalten eines Aussenbauteils unter instationären Verhältnissen kennenzulernen, wurden an der EMPA in Dübendorf Versuche an sieben verschiedenen Wandkonstruktionen durchgeführt.

Die Versuchswände mit den Abmessungen  $1,50 \times 2,00$  m wurden in der  $k$ -Wert-Kammer periodisch veränderlichen Temperaturen ausgesetzt (*Simulation der Aussenklimaschwankungen*). Auf der anderen Wandseite wurde mit Thermoelementen der Temperaturverlauf der Wandoberfläche und der angrenzenden Luft gemessen. Die ersten Versuchsergebnisse zeigten eine starke Beeinflussung der Ergebnisse durch die Masse der Prüfkammer, was durch Wärmeflussmesser auch nachgewiesen werden konnte. Wenn man nämlich die Speichermasse der Prüfkammer durch wärmedämmende Platten von der Raumluft trennt, wird der Wärmefluss zu diesen Speichern gedämmt. Die Wärmeenergie, die durch die Prüfwand tritt, macht sich in einer viel stärkeren Temperaturänderung der Raumluft bemerkbar, weil nun die massiven Speicher der Prüfkammer nicht mitaufgeheizt bzw. abgekühlt werden müssen.

Die Vorversuche haben zweierlei gezeigt: 1. Die *Temperaturamplitude* ist von der Wand abhängig; 2. Sie hängt jedoch auch von der *Speichermasse der Innenbauteile* ab. Dieses Erkenntnis ist äusserst bedeutsam: Es müssen also auch Innenbauteile wie Zwischenwände, Decken und Böden in eine Berechnung miteinbezogen werden.

In Bild 2 sind die Dämpfungen  $\nu$ , die aus den Versuchen ermittelt wurden, jenen gegenübergestellt, die nach der *Methode von Heindl* (ohne Berücksichtigung der Innenspeicher) berechnet wurden. Für den Vergleich verschiedener Baukonstruktionen ist nur jene Dämpfung interessant, die vom Bauteil selbst herrührt.

Die untersuchten Wände unterscheiden sich stark hinsichtlich Masse und k-Wert. In allen Fällen ist die Übereinstimmung zwischen Versuch und Berechnung gut. Vergleicht man die Dämpfung der Versuchswände mit anderen charakteristischen Eigenschaften wie Flächenmasse oder k-Wert, so stellt man keinen allgemeingültigen Zusammenhang fest. Fehlende Wandmasse kann grundsätzlich nicht durch eine Verbesserung der Wärmedämmung ersetzt werden; ebenso wenig wie eine massive Betonwand ohne Wärmedämmung eine wesentliche Dämpfung erbringt. Die Masse der Baukonstruktion wirkt nur dann als Wärmespeicher, wenn sie gegen den Raum frei liegt und gegen aussen gut isoliert ist.

Frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass die Temperaturamplitudendämpfung  $\nu$  praktisch proportional zur wirkenden Speichermasse ist und der Proportionalitätsfaktor nur vom k-Wert der Wärmedämmung abhängt. Die wirksame Speichermasse wird definiert als jene Masse, die (vom Raum her gesehen) nicht durch eine Wärmedämmschicht abgedeckt wird. Dieser Zusammenhang geht aus Bild 3 hervor.

Das Verhalten eines ganzen Raumes setzt sich in grober Näherung aus dem Verhalten der einzelnen Bauteile zusammen. Die Temperaturamplitudendämpfung eines ganzen Raumes  $\nu_R$  ist dann die mittlere Dämpfung der einzelnen Raumabschlüsse und kann analog zum mittleren k-Wert bestimmt werden. Wird der Einfluss der Phasenverschiebung ausser acht gelassen, so gilt:

$$\nu_R = \frac{\sum_{i=1}^n \nu_i \cdot F_i}{F_{\text{tot}}}$$

wobei:  $\nu$  = Dämpfung nach Heindl (Bild 4)  
 $F$  = Fläche  
 $i$  = Laufindex  
 $R$  = Index für Raum

#### Beispiel:

Zum besseren Verständnis werden nachfolgend für einen Eckraum zwei verschiedene Aussenwandkonstruktionen miteinander verglichen.

Die Dämpfung der Aussentemperaturamplitude erhöht sich für den betrachteten Raum von 2,8 auf 12,0, wenn man eine Beton-Aussenfassade und eine schwere Innenwand vorsieht.

Die Grössenordnung der maximalen Innentemperaturschwankung lässt sich mit den erhaltenen Dämpfungen bei Kenntnis der Aussentemperaturschwankungen (inkl. Sonnenstrahlung) grob abschätzen. Im allgemeinen wird das Innenklima jedoch noch von anderen Faktoren beeinflusst. So vermindert ein grosser Luftwechsel die ausgewiesenen Dämpfungen erheblich, während durch wirkungsvolle Beschattung die Innentemperaturschwankungen kleiner gehalten werden. Diese Einflüsse sind jedoch bei beiden untersuchten Varianten dieselben. Das gezeigte Verfahren eignet sich somit sehr gut zum Vergleich verschiedener Wand- und Deckenkonstruktionen, weil hier nur der Einfluss der Bauteile selbst berücksichtigt wird. Die Erfahrung wird zeigen, ob dieser einfache Kennwert  $\nu_R$  für die Praxis genügende Genauigkeit aufweist, um in jedem Fall richtige Entscheidungsgrundlagen zu liefern.

#### Heizenergiebedarf

Der Heizenergieverbrauch eines Gebäudes hängt u.a. von folgenden Faktoren ab:

- Aussenklima (Temperatur, Sonnenstrahlung, Wind),
- Lage und Orientierung (Nachbargebäude, Beschattung),
- Fensterfläche (Verglasung),
- Gebäudehülle (k-Wert, Masse, Aufbau),
- Luftwechsel (natürlich, mechanisch).

Im weiteren haben auch die Bewohner wesentlichen Einfluss auf den Heizenergieverbrauch (Fenster öffnen, Kochen, Wärmeabgabe der Personen sowie Beleuchtung

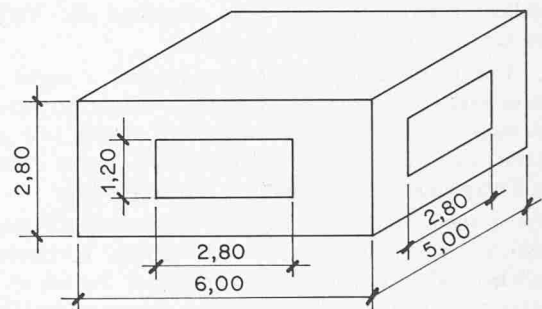
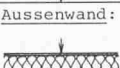


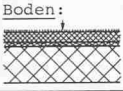
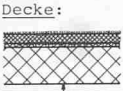
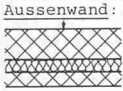
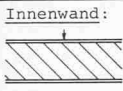
Bild 4. Abmessungen des untersuchten Raumes

Bild 5. Variante I

| BAUTEIL                                                                                                                                                                    | SPEICHERMASSE<br>(KG/M <sup>2</sup> ) | k-WERT<br>(W/MK) | $\nu$<br>(-) | FLÄCHE F<br>(M <sup>2</sup> ) | $\nu \cdot F$<br>(M <sup>2</sup> ) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------|--------------|-------------------------------|------------------------------------|
| <b>Boden:</b><br> 1,0 Spannteppich<br>5,0 Unterlagsboden<br>2,0 Isolation<br>18,0 Beton | ∞ 0<br>(Abdeckung)                    |                  | 1.0          | 30                            | 30                                 |
| <b>Decke:</b><br> 1,0 Spannteppich<br>5,0 Unterlagsboden<br>2,0 Isolation<br>18,0 Beton | 450                                   |                  | 6.0          | 30                            | 180                                |
| <b>Aussenwand:</b><br> 0,15 Stahlblech<br>8,0 Mineralwolle<br>0,15 Stahlblech           | 12                                    | 0.4              | 1.5          | 24.1                          | 36.1                               |
| <b>Innenwand:</b><br> 1,5 Putz<br>12,0 Backstein<br>1,5 Putz                            | 150                                   |                  | 3.0          | 30.8                          | 92.4                               |
| Fenster                                                                                                                                                                    | 0                                     |                  | 1.0          | 6.7                           | 6.7                                |
| Total                                                                                                                                                                      |                                       |                  |              | 121.6                         | 345.3                              |

$$\nu_R = \frac{345.3 \text{ m}^2}{121.6 \text{ m}^2} = 2.8$$

Bild 6. Variante II

| BAUTEIL                                                                                                                                                                  | SPEICHERMASSE<br>(KG/M <sup>2</sup> ) | K-WERT<br>(W/MK) | U<br>(-) | FLÄCHE F<br>(M <sup>2</sup> ) | U · F<br>(M <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------|----------|-------------------------------|----------------------------|
| <b>Boden:</b><br> 1,0 Spannteppich<br>5,0 Unterlagsboden<br>2,0 Isolation<br>18,0 Beton | ∞ 0<br>(Abdeckung)                    |                  | 1.0      | 30                            | 30                         |
| <b>Decke:</b><br> 1,0 Spannteppich<br>5,0 Unterlagsboden<br>2,0 Isolation<br>18,0 Beton | 450                                   |                  | 6.0      | 30                            | 180                        |
| <b>Aussenwand:</b><br> 15,0 Beton<br>6,0 Hartschaum<br>7,0 Beton                        | 375                                   | 0.5              | 45.0     | 24.1                          | 1084.5                     |
| <b>Innenwand:</b><br> 1,5 Putz<br>18,0 Kalksandstein<br>1,5 Putz                        | 350                                   |                  | 5.0      | 30.8                          | 154                        |
| Fenster                                                                                                                                                                  | 0                                     |                  | 1.0      | 6.7                           | 6.7                        |
| Total                                                                                                                                                                    |                                       |                  |          | 121.6                         | 1455.2                     |

$$u_R = \frac{1455.2 \text{ m}^2}{121.6 \text{ m}^2} = 12.0$$

usw.). Die grosse Zahl von Einflussgrössen macht die versuchstechnische Erfassung des Heizenergieverbrauchs sowie den Vergleich verschiedener Messungen praktisch unmöglich. Aus den gleichen Gründen bleibt den Näherungsberechnungen, wie z.B. vorher gezeigt, meist der Erfolg versagt. Die exakte Ermittlung des Heizenergiebedarfs ist mit numerischen Rechenverfahren möglich, was allerdings die Verwendung von Grossrechenanlagen voraussetzt.

Die Ergebnisse jeder Rechnung sind a priori von den getroffenen Annahmen abhängig. Es würde an dieser Stelle zu weit führen, alle Annahmen mit denen wir gerechnet haben, aufzuführen und zu diskutieren. Unser Konzept für die Energiebedarfsberechnungen war folgendes:

- Es werden zwei relativ extreme Bauweisen, die aber in der Baupraxis durchaus ausgeführt werden, miteinander verglichen. Alle übrigen Randbedingungen werden so gewählt, dass sie einem durchschnittlichen Wohn- oder Geschäftshaus entsprechen.
- Was das Wetter betrifft, werden nur die effektiv zu erwartenden Klimabedingungen in Rechnung gestellt. Man stützt sich also nur auf die Werte, die durch jahrelange Messungen belegt sind.

Die letzte Bedingung scheint besonders wichtig. Um sie möglichst einhalten zu können, musste eine sogenannte *typische Woche* definiert werden. Sie musste in folgenden Punkten mit den gemessenen Werten für die betrachtete Periode übereinstimmen:

- Mittlere Temperatur sowie Schwankungsbreite der Temperatur,
- Strahlungsintensität und Summe der Strahlung,
- Ablauf von Schön- und Schlechtwettertagen,

Die Rechenergebnisse gelten nicht für Räume, die nach Norden liegen. Der Aufbau der untersuchten leichten und schweren Konstruktion geht aus den folgenden Skizzen hervor.

Der Einfluss verschiedener Parameter auf den Heizenergieverbrauch wird anhand der Rechenergebnisse diskutiert.

#### Lüftung

Bei den Ergebnissen für die «typische Woche» der Übergangszeit (März—April, Okt.—Nov.) fallen zuerst die grossen Differenzen im Energieverbrauch der einzelnen

Varianten auf. Wie erwartet, steigt der Heizenergiebedarf mit zunehmendem Luftwechsel stark an. Dieser Effekt ist bei der massiven Konstruktion viel ausgeprägter: ein grosser Luftwechsel vermindert die Speicherwirkung der Betonteile, da sie nun schneller abkühlen.

#### Masse

Der Einfluss der Masse kann nur zusammen mit dem Fensterflächenanteil betrachtet werden (siehe Tab. 1). Bei grossen Glasflächen benötigt die massive Ausführung bedeutend weniger Energie (50 Prozent), während bei kleinem Fensteranteil die leichte Bauweise etwas günstiger (5 Prozent) ist. Hier zeigt sich deutlich: Die Sonnenenergie kann nur zur Einsparung von Heizenergie genutzt werden, falls:

- die Sonnenstrahlung in den Raum eindringen kann: Fensterflächen,

Tabelle 1. Energieverbrauch in kWh während der «typ. Woche» in der Übergangszeit

| Luftwechsel<br>(h <sup>-1</sup> ) | Fensterfläche | Konstruktion       |                          |
|-----------------------------------|---------------|--------------------|--------------------------|
|                                   |               | leicht (abgedeckt) | schwer (nicht abgedeckt) |
| 0,75                              | 80 %          | 15,0 (205 %)       | 7,3 (100 %)              |
|                                   | 30 %          | 26,8 (367 %)       | 28,0 (384 %)             |
| 1,50                              | 80 %          | 38,1 (522 %)       | 33,7 (462 %)             |
|                                   | 30 %          | 60,7 (832 %)       | 74,3 (1018 %)            |

Tabelle 2. Energieverbrauch in kWh während Januarwoche (80% Fenster, 0,75 Luftwechsel)

| Konstruktion  | Bemerkungen        |                                               |
|---------------|--------------------|-----------------------------------------------|
|               | leicht (abgedeckt) | schwer (nicht abgedeckt)                      |
| 157,1 (100 %) | 164,2 (105 %)      | mit Nachtabsenkung<br>mit Sonneneinstrahlung  |
| 221,4 (141 %) | 192,0 (122 %)      | ohne Nachtabsenkung<br>mit Sonneneinstrahlung |
| 253,8 (162 %) | 278,8 (177 %)      | mit Nachtabsenkung<br>ohne Sonneneinstrahlung |

Tabelle 3. Energieverbrauch in kWh während Übergangswoche (Luftwechsel 0,75)

| Konstruktion             | Fensterflächenanteil |      |      |
|--------------------------|----------------------|------|------|
|                          | 30 %                 | 50 % | 80 % |
| Schwer (nicht abgedeckt) | 28,0                 | 14,1 | 7,3  |

– die Sonnenenergie im Raum gespeichert werden kann: massive Bauweise.

Leichte Bauweisen brauchen weniger Heizenergie, wenn keine oder nur wenig Sonnenstrahlung in den Raum gelangt. Sie kühlen sich nämlich bei einem nächtlichen Heizunterbruch schneller ab, erreichen eine tiefere Durchschnittstemperatur und damit auch geringere Wärmeverluste. Diese Tatsache wird durch die Berechnungen für eine kalte, neblige Januarwoche bestätigt.

Im Normalfall benötigen beide Bauweisen praktisch gleiche Heizenergiemengen. Die beiden weiteren Varianten zeigen, wie dieses Resultat durch Überlagerung der Einflüsse von Sonneneinstrahlung und Nachtabenkung zustande kommt.

An dieser Stelle soll die Bedeutung des Energielieferanten Sonne verdeutlicht werden. Auch in der nebligen Januarwoche liefert die Sonne etwa 40 Prozent der Heizenergie, die theoretisch ohne Sonnenstrahlung benötigt würde.

### Fenster

Fenster sind die Voraussetzung für eine Nutzung der Sonnenenergie zu Heizzwecken. Wie Tab. 3 zeigt, stellen sie während der Übergangszeit regelrechte Sonnenkollektoren dar. Im Winter jedoch geht durch die Schwachstelle ( $k$ -Wert) Fenster viel Heizenergie verloren. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass auch im Winter ein fensterloser Raum (ausser Nordfassade) mehr Heizenergie braucht als ein Raum mit Fenstern. Die aufgenommene Sonnenstrahlung vermag (je nach Lage und Konstruktion des Raumes) die nächtlichen Wärmeverluste durch die Fenster zu kompensieren. Die Bilanz ist zum Beispiel für nach Süden orientierte Fenster bei vernünftigem Fensterflächenanteil und bei Vorhandensein von Wärmespeichern sogar positiv. Der optimale Fensterflächenanteil – in Sachen Heizenergieverbrauch – hängt vor allem vom  $k$ -Wert der Fenster und vom Raumaufbau ab. Er liegt höher bei gut wärmegedämmten Fenstern und bei grosser Speichermasse im Rauminnern. Für das schweizerische Mittelland dürften Fensterflächenanteile von ca. 40–60% vernünftig sein. Nur Nordfassaden sollten nach Möglichkeit fensterlos bleiben.

Eine exakte Ermittlung der möglichen Heizenergieeinsparungen infolge einer massiven Konstruktion (gegenüber Leichtbauten) während einer ganzen Heizperiode ist nur durch entsprechende Berechnungen mit einer Rechenanlage möglich. Eine erste Abschätzung anhand der Heizgradtage zeigt, dass die untersuchte Betonkonstruktion bei günstigen Randbedingungen (kleiner Luftwechsel = Neubauten, Fensterflächenanteil ca. 50 Prozent) während eines ganzen Winters etwa 15 Prozent weniger Heizenergie benötigt als die Leichtkonstruktion.

### Zusammenfassung

Versuche an sieben verschiedenen Wänden zeigten, dass instationäre äussere Klimabedingungen beim Durchgang durch die Aussenbauteile zeitlich verzögert und gedämpft werden. Die gemessenen Dämpfungen und Verzögerungen stimmen gut mit den berechneten Werten überein. Für ein *behagliches Raumklima im Sommer* können allgemein folgende Massnahmen empfohlen werden:

- hellen, reflektierenden Sonnenschutz anbringen (möglichst aussen),
- Wärmedämmung aussen anordnen (evtl. hinterlüftete Fassade),
- Wärmespeicher im Inneren vorsehen,
- Fenster und Fassade durch natürliche oder künstliche Hindernisse beschatten (Bäume, Balkone usw.),
- während der Nacht vermehrt lüften.

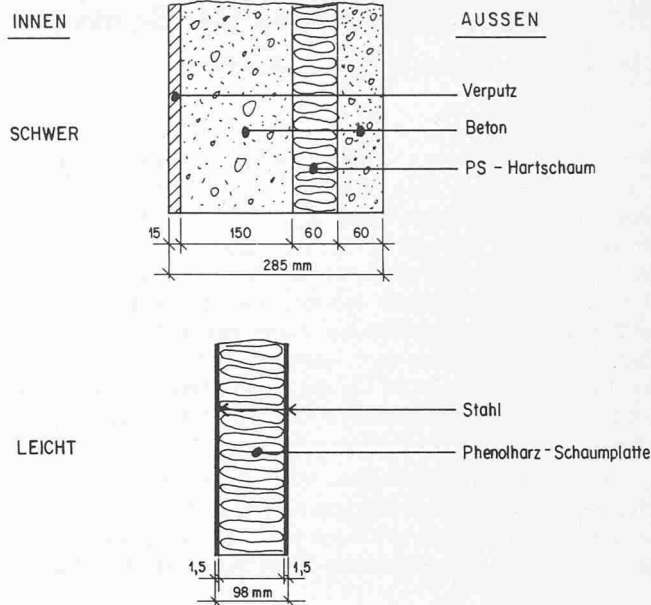


Bild 7. Aufbau der Aussenwandkonstruktion

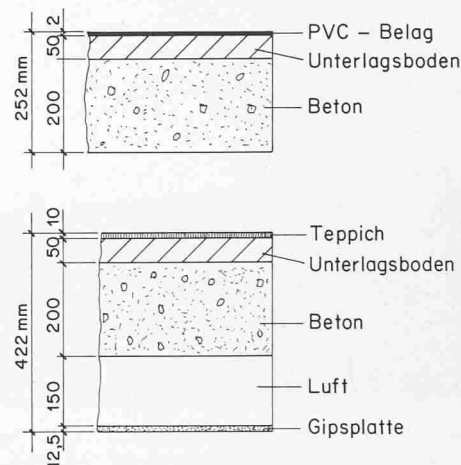


Bild 8. Aufbau der Decken- bzw. der Bodenkonstruktion (von oben nach unten)

Energiebedarfsberechnungen für eine «typische Woche» der Übergangszeit und für eine Januarwoche belegen, dass beträchtlich Heizenergie eingespart werden kann, wenn:

- die einfallende Sonnenstrahlung durch Wärmespeicher bis in die Nacht gespeichert wird,
- der Luftwechsel klein gehalten wird (keine unkontrollierte Lüftung (= kurz und kräftig lüften),
- der Fensterflächenanteil vernünftig gewählt wird (Nordfassade möglichst fensterlos).

Eine massive Ausführung der Gebäudehülle wirkt sich im Sommer wie im Winter günstig aus. Betonkonstruktionen führen nicht nur zu einem behaglicheren sommerlichen Raumklima; sie ermöglichen auch erhebliche Einsparungen an Heizenergie. Je mehr Fensterfläche ein Raum aufweist, desto wichtiger ist die Schaffung von massiven Wärmespeichern im Rauminnern. (Ein ausführlicher Untersuchungsbericht erscheint demnächst in der Publikationsreihe der Technischen Forschungs- und Beratungsstelle der Schweizerischen Zementindustrie in Holderbank.)

Adresse des Verfassers: U. Stähli, dipl. Ing. ETH, Büro Wälli AG, Auerstrasse, 9435 Heerbrugg.