

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 109 (1991)  
**Heft:** 23

**Artikel:** Wärmespeichervermögen des Gebäudes  
**Autor:** Frank, Thomas  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-85958>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.04.2025

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

wechselte aus diesem Grund das Domizil.

### Die Sanierungskosten

In der Vorbereitungsphase wurden anschliessend an die grobe Kostenschätzung die Details geplant und die Kosten mittels einer detaillierten Ausschreibung ermittelt. Nur der Sanierungsaufwand für die Betonfassaden musste weiterhin geschätzt werden, weil diese Arbeiten aus *Qualitätsgründen als Arbeit im Zeitaufwand* ausgeschrieben wurden. Die Schätzung stützte sich auf Erfahrungswerte von bereits vollzogenen Sanierungen. Die Überlegung geht davon aus, dass gleichartige Bauweisen, zeitgleich ausgeführt, einander ähnlich sind und somit die Qualität der erstellten Betonteile sich in den massgebenden Details kaum voneinander unterscheiden. Bei Bauten, die im gleichen Zeitraum entstanden, ist demnach auch ein ähnlicher Sanierungsaufwand zu erwarten.

Die gesamten Sanierungskosten betragen rund 4,7 Mio Franken (Tabellen 2

und 3). Davon sind etwa 1,9 Mio Franken dem Unterhalt anzurechnen, die restlichen 2,8 Mio wurden für das Energiesparen und die Wertvermehrung investiert. Somit ergeben sich bei 70 Wohnungen Kosten von 40 000 Franken pro Wohnung, was bei einem Bruttorendite-Zinssatz von 8% eine Mehrmiete von 270 Franken pro Monat ergibt. Dieser Betrag reduziert sich um 50 Franken, wenn die Einsparungen an Heizöl (50 Fr./100 kg) berücksichtigt werden. Der *Aufschlagsaldo* betrug im Mittel somit etwa 220 Franken.

### Schlussbemerkung

Die hier dargestellte Sanierung bildet ein mögliches Beispiel, wie an einer bestehenden Bausubstanz durch Ergänzungen und Verbesserungen der Gebäudewert gesteigert werden konnte.

Die Lösung berücksichtigt die Aspekte der *Architektur* (Form, Funktion), der *Gebäudetechnik* (Wärmeschutz, Schallschutz, Bauphysik), der *Haustechnik* (Heizung, Lüftung) und des *Betriebs* (Wirtschaftlichkeit, Vermietbarkeit,

Mietermix, heutige Wohnbedürfnisse). Die Aufgabe tangierte somit eine grosse Anzahl Disziplinen, die es zu verknüpfen galt. Es wird künftig vermehrt zu den Aufgaben der Architekten gehören, die zu einem grossen Teil bestehende Bausubstanz zu bewerten und neben Abbruch und Neubau auch die Ergänzung und Verbesserung von bestehenden Bauten (Altbau-Recycling) zusammen mit den Bauherren in die Tat umzusetzen. Bedenkt man nur schon die zunehmenden Kosten von Abbruch und Entsorgung, dann ist ein behutsamer Umgang mit *bestehenden und brauchbaren Bauten* ein sinnvolles Verhalten.

Die Durchführung der Gesamtanierung durch einen Generalisten mit den entsprechenden Kompetenzen, der im Gesamtinteresse der Bauherrschaft handelt, führte hier zu einem überzeugenden Schlussresultat.

Adresse des Verfassers: Roland Vogel, Architekt HTL, c/o Schaer Rhiner Thalman AG, Architekten SIA, Zürichbergstrasse 98, 8044 Zürich.

## Wärmespeichervermögen des Gebäudes

**Im Rahmen der Überabreitung der SIA-Kühllastregel, welche als Empfehlung V 382/2 erscheinen wird, gelangt eine verfeinerte Rechenmethode zur Bestimmung der speicherwirksamen Masse der Bauteile zur Anwendung. Das Verfahren stützt sich auf den Lösungsansatz der Wärmeleitungsgleichung für periodische Randbedingungen ab. Hieraus werden Kennwerte abgeleitet, welche sich für eine Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes eignen.**

### Mathematischer Ansatz

Nach Heindl [1] kann für den Fall, dass die Randbedingungen in Form von konstanten Grössen oder harmoni-

VON THOMAS FRANK,  
DÜBENDORF

schsen Funktionen vorliegen, eine allgemeine Lösung der Fourierschen Differentialgleichung der Wärmeleitung gefunden werden. Die Temperatur- und Wärmeflussamplituden auf der Innen- und Aussenseite einer Wandkonstruktion lassen sich folgendermassen darstellen (vgl. Bild 1):

$$\Delta \vartheta_a = W_{11} \cdot \Delta \vartheta_i + W_{12} \cdot \Delta q_i$$

$$\Delta q_a = W_{21} \cdot \Delta \vartheta_i + W_{22} \cdot \Delta q_i$$

In Matrizendarstellung ergibt dies folgende Form:

$$\begin{pmatrix} \Delta \vartheta_a \\ \Delta q_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta \vartheta_i \\ \Delta q_i \end{pmatrix}$$

Die Matricelemente  $W$  stellen dabei komplexe Zahlen dar:  $W = a + i \cdot b$

Die Matricelemente werden mit Hyperbolischen Funktionen bestimmt; das Rechenverfahren ist in Lit [1], [2], [4] beschrieben. Die Elemente sind nur von den Stoffgrössen  $\lambda$ ,  $\rho$ ,  $c$ , der Schichtendicke  $d$  sowie der Kreisfrequenz  $\omega$  abhängig ( $\omega = 2\pi/T$ ).

Diese Matrizenform eignet sich für die Definition von Kennwerten zum instationären Verhalten eines Bauteiles. Für den sommerlichen Wärmeschutz werden 4 verschiedene Randbedingungen gemäss Tabelle 1 betrachtet. Für jeden Fall werden Kennwerte zum instationären Wärmedurchgang definiert.

### Definitionen

Das sommerliche Temperaturverhalten eines Raumes wird durch externe Lasten (Aussenlufttemperatur und Sonneneinstrahlung, zusammengefasst in der sog. Strahlungslufttemperatur) und durch interne Lasten (im Raum freigesetzte Wärme durch Personen, Geräte und in den Raum eindringende Sonnenstrahlung durch Fensterflächen) beeinflusst. Der sommerliche Wärmeschutz eines Bauteiles muss beiden Lastsituationen gerecht werden. Hierzu werden folgende Kenngrössen zur Beurteilung des Wärmespeicherverhaltens definiert:

- Wärmelasten aussen:
- Abminderungsfaktor  $f$
- Temperaturamplitudendämpfung  $\vartheta_H$
- Phasenverschiebung  $\eta_H$



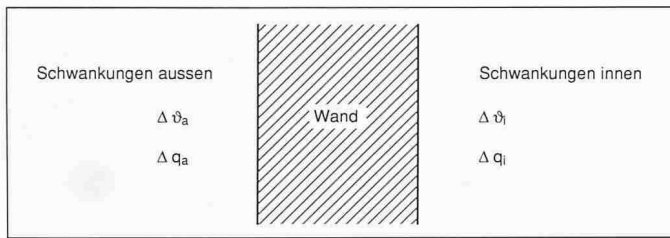


Bild 1. Randbedingungen zum periodischen Wärmedurchgang bei Wandkonstruktionen

- Wärmelasten innen:
- Wärmespeichervermögen Y
- speicherwirksame Masse M

Abminderungsfaktor f [-] (Decrement factor nach CIBSE-Guide [7])

Der Abminderungsfaktor f ist das Verhältnis der Wärmestromdichte an der Innenoberfläche eines Bauteiles für eine periodische Temperaturschwung aussen (dynamischer k-Wert) zur stationären Wärmestromdichte innen

bei einem konstanten Temperaturgefälle (stationärer k-Wert). Für Bauteile mit geringer Masse liegt der Wert von f bei 1; er sinkt mit steigender Masse.

Temperaturamplitudendämpfung  $v_H$  [-] (Randbedingung gemäss SIA 180 (1988) [3])

Verhältnis der Temperaturamplitude an der Aussenoberfläche eines Bauteiles zu derjenigen an der Innenoberfläche bei einer periodischen Temperatur

Literaturhinweise

- [1] W. Heindl: Der Wärmeschutz einer ebenen Wand bei periodischen Wärmebelastungen. Ziegelindustrie Heft 18, 1966
- [2] H. Hauri: Praktische Berechnung des instationären Wärmefflusses durch ein- und mehrschichtige Wände. Inst. für Hochbautechnik ETHZ, 1977
- [3] SIA Norm 180: Wärmeschutz im Hochbau (1988)
- [4] R. Sagelsdorff, Th. Frank: Wärmeschutz und Energie im Hochbau, Element 29 Schweiz. Ziegelindustrie 1990
- [5] Daten- und Programmdiskette (MS-DOS) zu Element 29 Vertrieb: Schweiz. Ziegelindustrie, Obstgartenstr. 28, 8006 Zürich
- [6] OeNorm B 8110, Teil 3: Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse (1989)
- [7] CIBSE-Guide, Volume A: Design Data, London 1986

Randbedingung	Kennwerte	Bemerkungen
<b>I</b> aussen innen 	dynamischer Widerstand $R_T$ [ $m^2K/W$ ]: $R_T = \frac{\Delta \vartheta_a}{\Delta q_i} =  W_{12} $ dynamischer k-Wert [ $W/m^2K$ ]: $k_T = \frac{1}{R_T}$ Abminderungsfaktor f [-]: $f = \frac{k_T}{k}$	Wirkung einer Temperaturamplitude aussen auf die Wärmestromamplitude innen
<b>II</b> aussen innen 	Temperaturamplitudendämpfung $v_H$ [-]: $v_H = \frac{\Delta \vartheta_{0a}}{\Delta \vartheta_{0i}} =  W_{11} $ Phasenverschiebung $\eta_H$ [h]: $\eta_H = \frac{T}{2 \cdot \pi} \cdot \arctan \frac{b_{11}}{a_{11}}$	Kennwerte nach SIA 180 zur Beurteilung des Speicherhaltens (zu Vergleichszwecken)
<b>III</b> aussen innen 	Speichervermögen $Y$ [ $W/m^2K$ ]: $Y = \frac{\Delta q_{0i}}{\Delta \vartheta_{0i}} =  W_{11} $ speicherwirksame Masse $M$ [ $kg/m^2$ ]: $M = Y \cdot \frac{T}{2 \cdot \pi \cdot c_0}$	Wärmeaufnahmevermögen bei einer raumseitigen Temperaturamplitude. Die Definition einer speicherwirksamen Masse dient der anschaulichen Kennzeichnung der Wärmespeicherfähigkeit.
<b>IV</b> $\Delta \vartheta_a = \Delta \vartheta_i$ aussen innen 	Speichervermögen $Y$ [ $W/m^2K$ ]: $Y = \frac{\Delta q_{0i}}{\Delta \vartheta_{0i}} = \left  \frac{1 - W_{11}}{W_{12}} \right $ speicherwirksame Masse $M$ [ $kg/m^2$ ]: $M = Y \cdot \frac{T}{2 \cdot \pi \cdot c_0}$	Wärmeaufnahmevermögen bei Bauteilen, welche an gleichartige Räume angrenzen (gleiche Temperaturamplituden)

Normspeicherkapazität  $c_0 = 0.3 \text{ Wh / kg K}$   
 Periodenlänge  $T = 24 \text{ h}$

Tabelle 1. Kennwerte zum Wärmespeicherverhalten von Bauteilen.

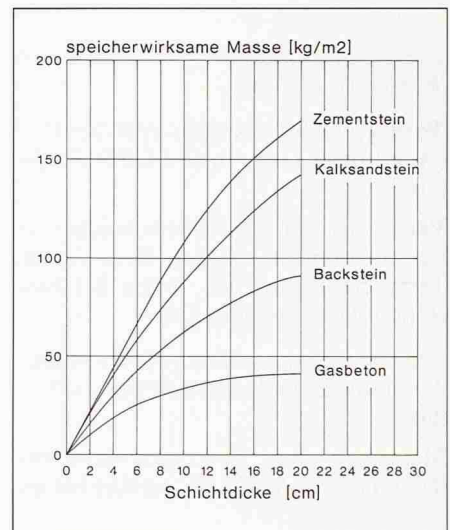


Bild 2. Speicherwirksame Masse von beidseitig verputztem Mauerwerk.

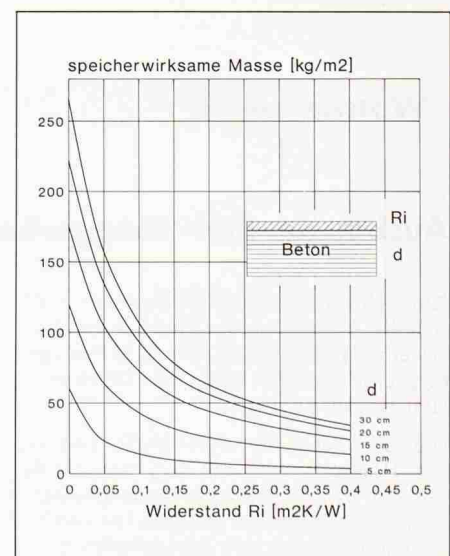


Bild 3. Speicherwirksame Masse von Massivbetonbauteilen, welche raumseitig mit einer Widerstandsschicht  $R_i$  abgedeckt sind.

Bauteil	k [W/m <sup>2</sup> K]	f [-]	v <sub>H</sub> [-]	η <sub>H</sub> [h]	Y [W/m <sup>2</sup> K]	M [kg/m <sup>2</sup> ]
Aussenwand Sichtmauerwerk 12 cm Luftspalt 2 cm Wärmedämmung 8 cm Beton 20 cm	0,37	0,09	148	13,0	20,4	260
Dach Kies 6 cm Wärmedämmung 12 cm Beton 20 cm	0,24	0,09	237	11,9	19,4	247
Boden Beton 25 cm Unterlagsboden 8 cm Text. Bodenbel. 0,5 cm	1,84	0,12	5,2	9,1	7,7	98
Innenwand Verputz 1,5 cm Backstein 12 cm Beton 20 cm	1,82	0,67	1,8	5,0	5,8	74

Tabelle 2. Thermische Kennwerte ausgewählter Konstruktionen

schwingung aussen und konstantem Wärmestrom innen.

Wärmespeichervermögen  $Y$  [W/m<sup>2</sup>K]  
(Admittance factor nach CIBSE-Guide [7])

Verhältnis der Wärmestromdichte an der Innenoberfläche eines Bauteiles zur Temperaturamplitude innen bei konstanter Aussentemperatur.

Speicherwirksame Masse  $M$  [kg/m<sup>2</sup>]  
(In Anlehnung an OeNorm B 8110, Teil 3 [6])

Masse mit einer Normspeicherkapazität von  $c = 0,3$  Wh/kg K, welche zur an-

schaulichen Kennzeichnung der Wärmespeicherfähigkeit von Bauteilen für eine Periode von 24 Stunden herangezogen wird.

Aus den Bildern 2 und 3 kann die speicherwirksame Masse für ein verputztes Mauerwerk und eine Massivbetonkonstruktion graphisch ermittelt werden. In der Praxis sind auch PC-Rechenprogramme erhältlich, welche diese Kennwerte nach der Methode des periodischen Wärmedurchganges bestimmen (z.B. [5]).

Bauteil	A [m <sup>2</sup> ]	M [kg/m <sup>2</sup> ]	A · M [kg]
Aussenwand	3,2	260	832
Dach	21,6	247	5 335
Boden	21,6	98	2 117
Innenwände	35,1	74	2 597
			Σ 10 881

Flächenbezogene Masse des Raumes:

$$m = \frac{\sum A_i \cdot M_i}{A_{\text{Boden}}} = \frac{10\,881}{21,6} = 504 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Tabelle 3. Berechnung der speicherwirksamen Masse eines Raumes.

### Rechenbeispiel

Für einen Raum mit den Abmessungen 3,6×6,0×2,4 m (Breite, Tiefe, Höhe) soll die speicherwirksame Masse bestimmt werden. Die thermischen Kennwerte der verwendeten Konstruktionen sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Der Berechnungsgang ist in Tabelle 3 dargestellt.

Adresse des Verfassers: Th. Frank, dipl. Bauing. ETH/SIA, EMPA Abteilung Bauphysik, 8600 Dübendorf.

## Wettbewerbe

### Ausbau der ETH-Hönggerberg in Zürich, Überarbeitung

Kürzlich wurde in der ETH-Zentrum in Zürich die Ausstellung der Projekte des Wettbewerbs für den Ausbau der ETH-Hönggerberg eröffnet. Wir haben das Ergebnis in Heft 21/1991 publiziert.

Die Geschichte der ETH-Erweiterung auf dem Hönggerberg ist seit dem Ideenwettbewerb im Jahre 1988 nicht widerspruchlos verlaufen. In teilweise heftigem Für und Wider manifestierten sich grundsätzlich divergierende Auffassungen zur Struktur des Hochschulbaues: zum einen die Auflösung und kräftige Durchgrünung unter Inkaufnahme hohen Flächenbedarfs eine Möglichkeit, die durch die Anordnung der von Prof.

A.H. Steiner geplanten bestehenden Bauten gleichsam vorgezeichnet ist; zum anderen die Verdichtung der Bauvolumen zugunsten eines sparsamen Umganges mit dem zur Verfügung stehenden Boden.

Dem bis zuletzt zur Glaubensfrage sich weitenden – und nicht immer mit Stil geführten – Disput wird nun also heute mit dem Entscheid des Preisgerichtes im Sinne einer Kompaktlösung ein zumindest vorläufiges Schlusszeichen gesetzt. Dass sich die Gemüter trotzdem so rasch nicht beruhigen dürften, ist nach dem Vorangegangenen anzunehmen... Fürs erste aber hat jedermann Gelegenheit, sich selbst ein Bild zu machen

vom Stand und der Qualität der Planungsarbeiten und die Argumente von Seite und Gegenseite aus eigener Anschauung kritisch zu überprüfen – Sachlichkeit, aber auch Starrsinn wird man unschwer finden... Ich bin persönlich der Meinung, dass eine Planung, die in den sechziger Jahren Sinn machte, das nicht auch heute noch vorbehaltlos tun muss. Inzwischen haben doch wohl einige Wandlungen der Denkweise und des Verständnisses in dieser Sparte stattgefunden! Wir zeigen die drei überarbeiteten Projekte: In einem weiteren ausführlichen Bericht werden wir auf diesen bedeutenden Wettbewerb zurückkommen. Die Ausstellung im Hauptgebäude in der Haupthalle sowie im Nord- und Südhof der ETH-Zentrum dauert noch bis zum 8. Juni; sie ist werktags von 7.30–21 Uhr, am Samstag bis 17 Uhr geöffnet. Vom 17. bis zum 28. Juni ist sie im Hörsaal HPH in der ETH-Hönggerberg zu den selben Öffnungszeiten (Samstag bis 12 Uhr) zu besichtigen.

B. Odermatt