

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 75 (1957)  
**Heft:** 47

**Artikel:** Wärme- und Feuchtigkeitswanderung durch Aussenwände: Ergebnisse der Messungen an Versuchshäuschen auf dem EMPA-Areal in Schlieren in den Jahren 1953 bis 1957  
**Autor:** Haller, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-63448>

### **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:** 05.04.2026

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

## Wärme- und Feuchtigkeitswanderung durch Aussenwände

DK 699.8:624.022.31

Ergebnisse der Messungen an Versuchshäuschen auf dem EMPA-Areal in Schlieren in den Jahren 1953 bis 1957

Von Dipl. Ing. P. Haller, Sektionschef der EMPA, Zürich

Jedes Gebäude unterliegt der Wechselwirkung der auf beiden Seiten herrschenden, dauernd sich ändernden Klimata. *Aussenscitig* schwanken nicht nur die Temperatur und der Feuchtigkeitsgehalt der Luft, sondern das Sonnenlicht liefert Wärme, und der Schlagregen beeinflusst ebenfalls den Wärmehaushalt der Bauelemente durch Aenderung der Oberflächentemperatur infolge Benetzung und Verdunstung und durch Aenderung des Wärmeleitvermögens der Baustoffschichten. *Raumseitig* beeinflussen ebenfalls die Temperatur und der Feuchtigkeitsgehalt der Luft, auch die Heizleistung sowie der Strahlungseffekt der Heizkörper und die Art und der Ertrag der Feuchtigkeitsquellen den Zustand der Aussenmauern. Weder der Ablauf der verursachenden Faktoren noch derjenige der daraus resultierenden Wirkungen lassen sich gesamthaft in einfachen, mathematisch durchsichtigen Ausdrücken fassen, weshalb auch auf diesem wie auf andern Gebieten der Technik versucht wird, durch Vereinfachungen zu Bemessungsregeln zu gelangen, die wohl das Wesentliche der Vorgänge erfassen, die aber auch vom Konstruierenden leicht angewendet werden können. Einerseits werden sicher mit Recht einfache Bemessungsregeln verlangt, die eine gute Ausnützung der Materialien zur Senkung der Kosten der Bauten ermöglichen, aber andererseits ist es unmöglich, von solchen vereinfachten Regeln einen umfassenden Geltungsbereich zu erwarten. So können die mathematischen Ausdrücke für den Wärmefluss durch eine Wand usw. einfach gehalten werden, wenn dieser zeitlich gleichartig, also stationär fließend vorausgesetzt wird. Auch dann können nur mit dem Rekursionsverfahren die verwickelten thermischen Vorgänge vor allem an den Oberflächen berücksichtigt werden. Unter dieser Voraussetzung bleibt der wärmespeichernde Effekt unberücksichtigt und dieser muss bei der Lösung von speziellen Problemen gesondert in Rechnung gestellt werden.

Auch im Laboratorium der EMPA können an Wänden und Mauern für eine einfache Berechnungsart die notwendigen Kennzahlen getrennt nur dann ermittelt werden, wenn diese von einem stationären, also zeitlich gleichbleibenden Wärme-

strom durchflutet werden. Diese durch Versuche mit erheblichem Aufwand ermittelten Stoffwerte erfahren in Baufachkreisen dann und wann eine Kritik, die aber nie mit sachlichen Argumenten untermauert wird und die nur als Unsicherheit in der Urteilsbildung über die in rauen Mengen auf den Tisch flatternden Prospekte von Baustoffen gedeutet werden kann.

Um diesen immer wieder auftauchenden Einwendungen die Spitze zu brechen, haben sich auf Initiative der Durisol AG. in Dietikon die wichtigsten Baustoffindustrien entschlossen, durch grossangelegte Untersuchungen an Versuchshäuschen, die, im Gegensatz zu den Laboratoriumsversuchen, ständig wechselnden Klimabedingungen ausgesetzt worden sind und somit auch eine umfassendere wärmetechnische Prüfung der verschiedenen Baustoffe erlauben, einen Beitrag zur Klärung der verschiedenen Probleme zu leisten.

### Die Vorgänge in den Aussenwänden von Gebäuden

Ein von Mensch oder Tier bewohntes Haus, in bestimmte klimatische Gegebenheiten hineingestellt, unterliegt verschiedenen Kraftfeldern, die auch den Wärmefluss durch Wände, Decken und Dächer sowie auch den hygienischen Zustand in den anliegenden Räumen entscheidend beeinflussen.

Der sich ändernde *Luftdruck* gleicht sich innert kürzester Zeit vor allem durch die Undichtigkeiten der Oeffnungen aus: Fenster, Türen, Ventilationslöcher usw. Nur wenn lang andauernder Wind auf ein Gebäude einwirkt, kann sich ein wirksames Druckgefälle einstellen, das auch auf die Vorgänge in den luftdurchlässigen Bauteilen einen wesentlichen Einfluss ausüben wird.

Wenn die Lufttemperatur auf der einen Seite der Wand längere Zeit höher ist, besteht auch gleichzeitig ein Dampfteildruckgefälle in der Regel nach der kälteren Seite hin, und *Wasserdampf* beginnt in einem von Kapillaren durchsetzten Baustoff ebenfalls nach dieser Seite hinzuwandern. Der Mensch und das Tier geben durch Lunge und Haut Wasser an die Raumluft ab; auch die Pflanzen verdunsten Wasser, weshalb im Raum sich ein entsprechender Feuchtigkeitspiegel ein-

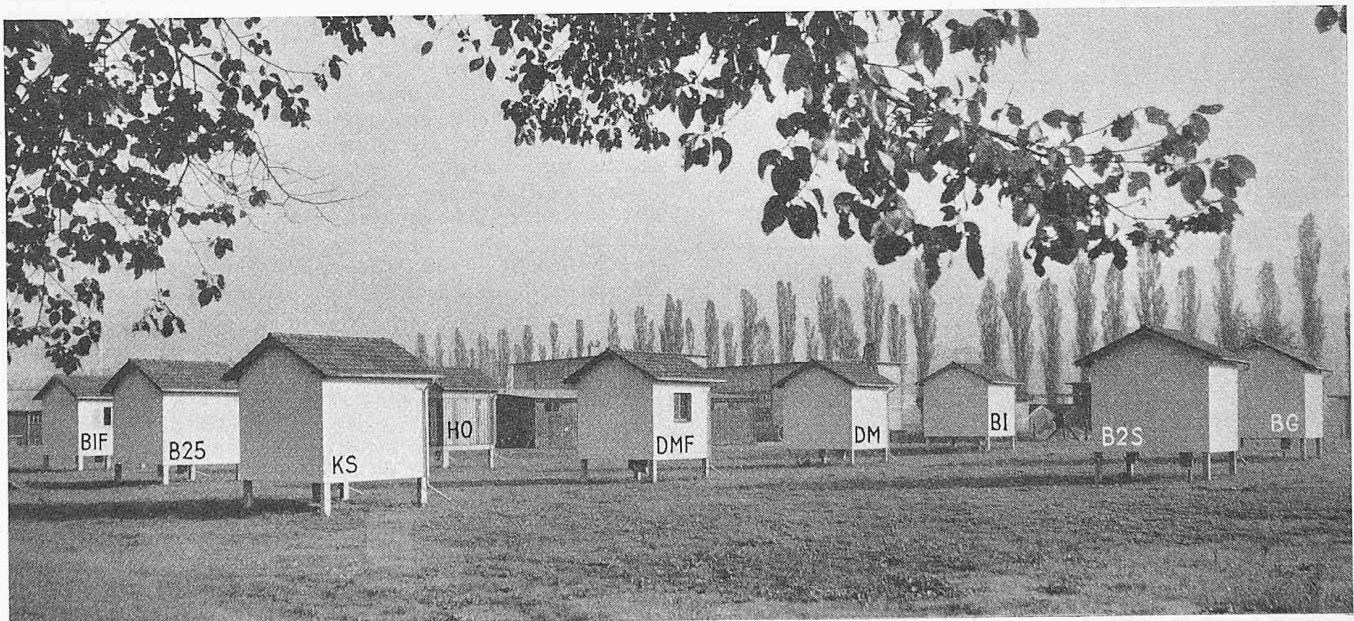


Bild 1. Zustand der neun Versuchshäuschen (aus NW gesehen, im Hintergrund die EMPA-Aussenstation) auf dem EMPA-Areal in Schlieren bei Zürich, im Oktober 1957. Ausbildung der Wände: BIF Isolierbackstein mit Fenster, B25 Backstein-Grossformat, KS Kalksandstein mit Silisolschicht, HO Holz, DMF Durisol mit Fenster, DM Durisol ohne Fenster, BI Isolierbackstein ohne Fenster, B2S Zweischalenhaus aus Backstein mit Sillansicht von Venosta und Baviera, BG Backstein-Gittergrossformat

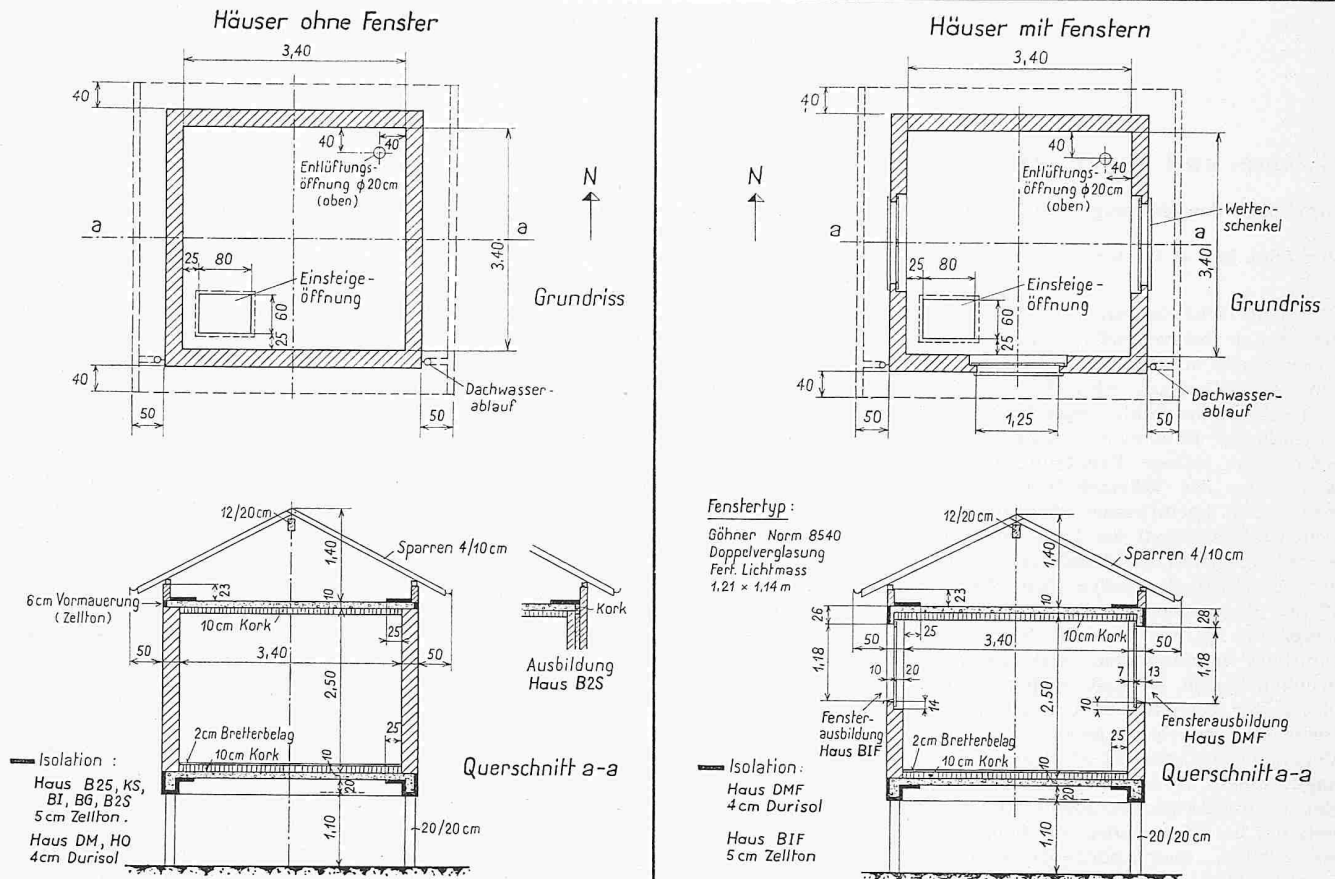


Bild 2. Vertikal- und Horizontalschnitte der Versuchshäuschen, ohne und mit Fenstern

stellt, der selbstverständlich auch von der Dampfdurchlässigkeit der Bauteile abhängig ist. In Gebäuden oder Räumen, in denen mit einem höheren Wasseranfall gerechnet werden muss, wie in Badeanstalten, Wäschereien, Gerbereien, Badezimmer, Waschküchen, ist den erschwerenden Bedingungen voll Rechnung zu tragen.

Wenn auf der Aussenseite die Temperatur höher gemessen wird als auf der Innenseite, oder wenn die Sonne die äussere

Oberfläche erwärmt, stellt sich ein Dampfdruckgefälle von aussen nach innen ein; ein Zustand, der zwar, über das Jahr gesehen, nicht oft eintritt. Im Winter, Frühjahr und Herbst, auch nachts im Sommer fliesst die Wärme von innen nach aussen, und so wandert auch in der Regel der Wasserdampf nach aussen.

Wird der Regen an die Aussenseite angewandt, so kann das Wasser durch Kapillarkräfte in den Bauteil hineingesogen werden, wenn nicht wasserabweisende Anstriche ein Benetzen der Oberfläche verhindern. Gleichzeitig wird auch die kapillare Saugfähigkeit solange aufgehoben, als der Wassertropfen nicht unter dem Druck des Windes in die Kapillare hineingepresst wird bis in eine Tiefe, wo das verwendete abweisende Mittel nicht hingelangen konnte, d. h. wo die Kapillarität also noch voll wirksam ist.

Was geht im Innern eines Bauteiles, der von aussen den klimatischen Bedingungen und von innen bestimmten Luftzuständen unterworfen ist, vor? Während die klimatischen Faktoren als unabhängige Veränderliche zu erkennen sind, kann dies von den Raumzuständen nicht mehr gesagt werden, da z. B. mit sinkender Aussentemperatur die Heizleistung gesteigert und damit in hohem Masse die relative Luftfeuchtigkeit und durch Strahlungseffekte die Oberflächentemperatur beeinflusst werden.

Der mit Kapillaren, d. h. zusammenhängenden Hohlräumen durchsetzte Baustoff besitzt in der Regel eine grössere Oberflächenspannung als das Wasser, weshalb auch an der inneren Oberfläche Wasserteilchen festgehalten werden. Die äussere und innere Oberfläche vermag dann Wasser zu adsorbieren, d. h. sie benetzen sich. Ist diese Wasserhaut stark gekrümmt wie in den feinsten Kapillaren, so werden dort mehr Wasserteilchen festgehalten, als aus der Oberfläche herausgeschleudert werden, und die Kapillaren füllen sich langsam unter diesem als *Kapillar-Kondensation* bekannten Effekt. Je nach dem herrschenden Dampfdruck werden Kapillaren von bestimmten Radien aufgefüllt oder entleert. Die Gleichgewichtsfeuchtigkeit eines Baustoffes ist bei gleichem Dampfdruck nur vom Gehalt an feinen und feinsten Kapillaren abhängig.

Ein benetzbarer Baustoff saugt einen Wassertropfen auf und zwar um so gieriger, je grösser die Kapillarradien sind.

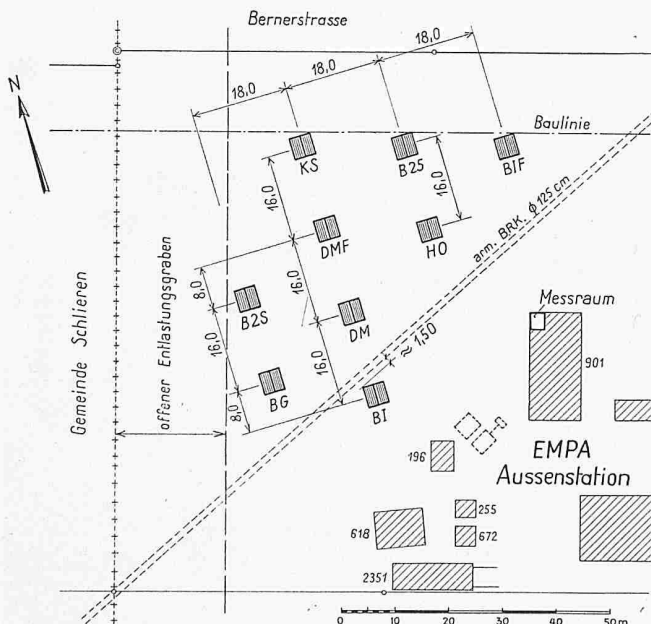


Bild 3. Situation der Versuchshäuschen auf dem EMPA-Areal in Schlieren bei Zürich. DMF Durisol mit Fenster, B25 Backstein-Grossformat, BIF Backstein-Isoliersteine mit Fenster, DM Durisol, HO Holz mit Glasseidematte, KS Kalksandstein mit Silisolschicht, BI Backstein-Isoliersteine, BG Backstein-Gittergrossformat, B2S Backstein-Zweischalen mit Sillanisolierrschicht

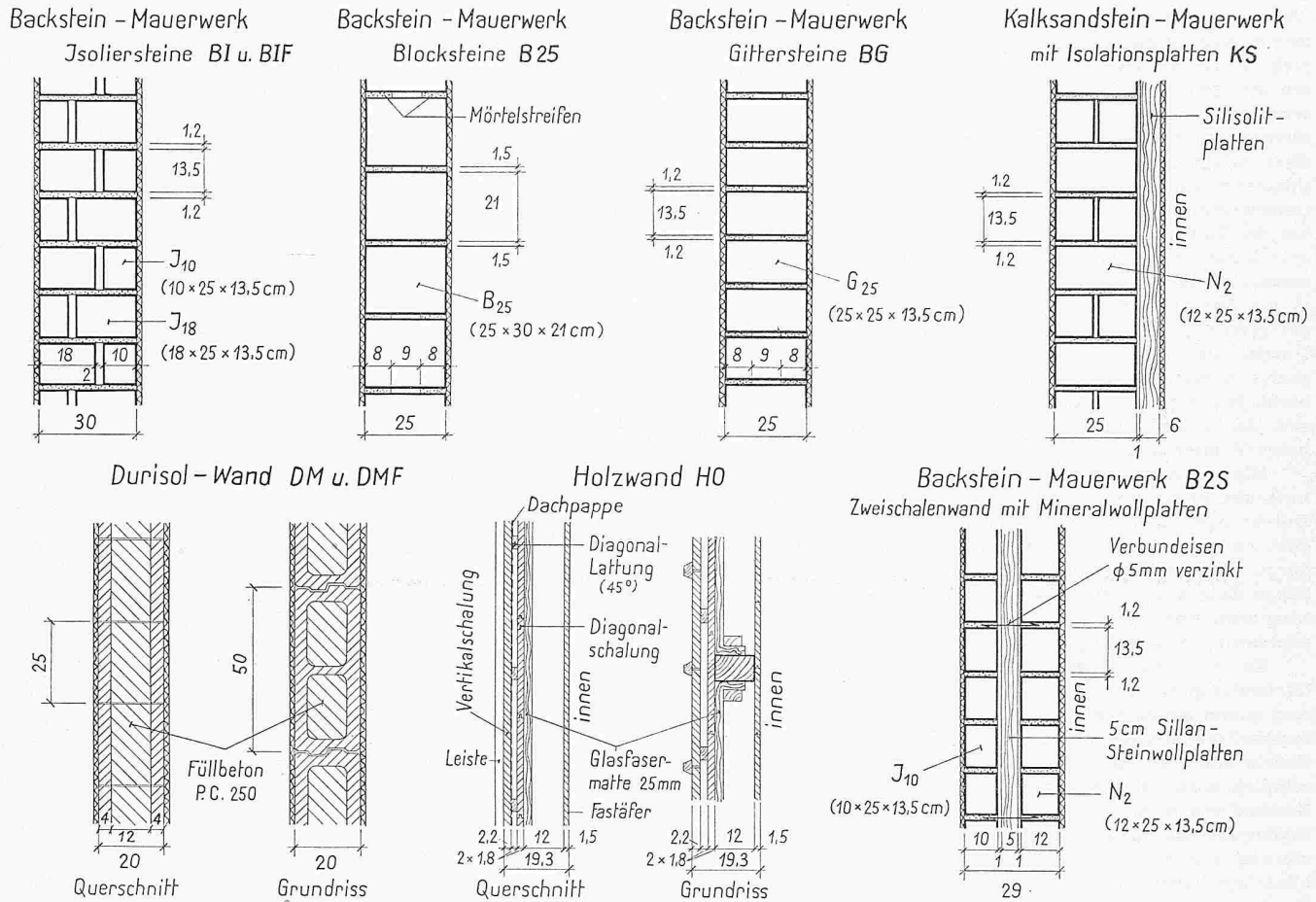


Bild 4. Wandschnitte der neun Versuchshäuschen

Tabelle I: Übersicht der Wandkonstruktionen

Art der Wandkonstruktion mit Kurzbezeichnung	Auftraggeber	Gesamtstärke Rohmasse	Tragkonstruktion	Isoliermaterial	Bemerkungen
Isolierbaustein BI und BIF	Verband Schweizerischer Ziegel- und Steinfabrikanten (VSZS), Zürich	35 30	30 cm Mauerwerk (18 + 10 cm Isolierbacksteine)	30 cm Mauerwerk + Verputze	ohne und mit Fenstern
Grossformat B 25 B 25	VSZS, Zürich	30 25	25 cm Mauerwerk (Einsteinmauerwerk)	25 cm Mauerwerk + Verputze	ohne Fenster
Grossformat-Gitterstein BG	Hunziker AG., Zürich und VSZS, Zürich	30 25	25 cm Mauerwerk (Einsteinmauerwerk)	25 cm Mauerwerk + Verputze	ohne Fenster
Kalksandstein KS	Hunziker AG., Zürich und VSZS, Zürich	37 32	25 cm Mauerwerk aus Kalksandstein	25 cm Mauerwerk + 6 cm Silisolitplatten + Verputze	ohne Fenster
Zweischalen aus Isolierstein B2S	Architekten Venosta und Baviera, Zürich	34 29	12 cm Mauerwerk	12 + 10 cm Mauerwerk + 5 cm Sillanmatte + Verputze	ohne Fenster
Durisol-Baustein DM und DMF	Durisol AG., Dietikon	25 20	4 Betonsäulen 12 x 20 cm je Meter	2 x 4 cm Durisolmaterial + Stege aus Durisolmaterial + Verputze	ohne und mit Fenstern
Holzkonstruktion HO	Lignum, Zürich	19½	Holzbalken 8/12 cm, Abstand ca. 90 cm	3 Holzschichten + 2,5 cm Glasfasermatte + Luftschicht	ohne Fenster

Da aber die Saugkraft der feineren Kapillaren grösser ist als diejenige der grösseren Kapillaren, wird das Wasser durch die erstern aus den letztern abgesogen, sobald der Nachschub in die grösseren Kapillaren ausbleibt, so dass schliesslich das Wasser nur in den feineren Kapillaren sitzen bleibt. Doch

dringt der Wasserfaden in den feineren Kapillaren langsamer ein. Die verdrängte Luft wird dabei durch die Grobkapillaren hinausgepresst.

Besteht in einem plattenartigen Bauteil ein Temperatur- und ein Dampfdruckgefälle, so wandern Wasserdampfteil-

chen in die Mauer und zwar gelangen sie in immer kühlere Zonen, so dass die anfangs ungesättigte Luft in den Kapillaren sich relativ aufweicht. Hinter der sog. Tauebene, d. h. dort, wo die Temperatur der Kapillarluft den Taupunkt erreicht, wird der nicht mehr tragbare Wasserdampf zu Wasser verdichtet. Mit zunehmendem Abstand von der Tauebene kondensiert immer mehr Wasserdampf und vor allem die feineren Kapillaren füllen sich mit Wasser, das nun den Kapillarkräften unterworfen ist und von diesen im Baustoff sogar in die Zone vor der Tauebene verlagert werden kann.

Selbstverständlich kann auch das hereingesogene Regenwasser im Bauteil verteilt werden. Da das Wasser schliesslich in die feineren Kapillaren hereingesogen wird, wo es wegen der grösseren innern Reibung weniger mobil ist, wird sich die Durchdringung sehr langsam vollziehen, und zwar um so langsamer, je mehr der Gehalt an Feinkapillaren ansteigt. In quellbaren Baustoffen (Holz, hydraulische Bindemittel usw.) kann sich durch Verdichten sogar eine Sperrschicht gegen tropfbares Wasser bilden.

Ein nasser Baustoff trocknet in feuchter, leicht bewegter Luft um so schneller aus, je mehr Kapillaren von grösserem Durchmesser dieser enthält. Die Feuchtigkeit im Baustoff erhöht nicht nur den Wärmefluss, sondern es können Flecken durch das Zurückbleiben von aus dem Baustoff gelaugten löslichen Salzen entstehen. In jedem Fall muss bei der Bearbeitung einer wärmetechnischen Aufgabe auch der Feuchtigkeitswanderung grösste Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Es ist bekannt, dass in Aussenecken die innere Oberflächentemperatur gegen die Ecke hin absinkt und deshalb dort zuerst bei sinkender Aussentemperatur der Taupunkt unterschritten werden kann, so dass sich dann Pilzsporen ansiedeln und entwickeln können, und dadurch die Mauer unansehnlich wird. Diesen aus hygienischen Gründen unhaltbaren Zustand gilt es zu vermeiden, weshalb in unserem Land diese Bedingung als Grundlage für die Berechnung und Dimensionierung von Aussenbauteilen dient. Die Einraum-Versuchshäuschen haben vier Aussenecken und sind oben und unten durch mit der Aussenluft in Kontakt stehenden Platten begrenzt. In einstöckigen Einfamilienhäusern, aber vielmehr noch in Mehrfamilien-Wohnhäusern herrschen günstigere Verhältnisse, weshalb bei der Beurteilung der Versuchsergebnisse diesem Umstand Rechnung zu tragen ist.

#### Die Versuchshäuschen

Mit den sehr kostspieligen Untersuchungen an den Versuchshäuschen (Bild 1) wird das Ziel verfolgt, möglichst alle den Wärmestrom durch die Wandkonstruktionen beeinflussenden Faktoren zu erfassen und zwar schon unmittelbar nach der Erstellung der Häuschen. Dies ist auch der Grund, weshalb die Versuchshäuschen erst im Spätherbst erstellt wurden. Alle Versuchshäuschen haben folgendes gemeinsam:

1. Die *Innenmasse* des rohen Mauerwerks bzw. der Wandkonstruktion betragen  $3,40 \times 3,40 \times 2,28$  m (Bild 2).
2. Die Wände stehen auf einer *Eisenbetonplatte*, die an den Rändern durch Eisenbetonbalken verstärkt ist.
3. Um die Wände nicht mit das Messergebnis beeinflussenden Türen durchbrechen zu müssen, wurden die Versuchshäuschen auf leicht bewehrte *Betonsäulen* gestellt und die Zugangsöffnung in die untere Eisenbetonplatte verlegt.
4. Alle Versuchshäuschen, also auch das Holzhaus, sind mit einer *Eisenbetondecke* von 10 cm Stärke abgedeckt.
5. Die *Dachkonstruktion* und die *Dachhaut* sind bei allen Versuchshäuschen gleich. Ihre Grundrissfläche ändert sich mit der Mauerstärke.

6. Sowohl der Boden als auch die Decke ist mit 10 cm starken *Korkplatten* isoliert, damit der Wärmeverlust durch diese beiden Flächen möglichst klein wird.

7. Die im Anschluss an den Boden und an die Decke entstehenden *Wärmebrücken* wurden durch Vorsetzen von Wärmedämmplatten wenigstens teilweise unterbunden.

8. Alle Versuchshäuschen sind mit dem First *Nord-Süd* orientiert und haben durch eine Staffelung einen grösstmöglichen Abstand. Richtungsgebend war das Ziel, bei der Bereinigung des Lageplans den *Windanfall* möglichst gleichartig zu erhalten und die gegenseitige *Sonnenbeschattung* auch im Winter zu vermeiden (Bild 3). Der Standort der verschiedenen Häuschen wurde ausgelost.

9. Damit der Einfluss der *Fenster* auf den Wärmeverlust erfasst werden kann, wurden zwei Versuchshäuschen aus Isolierbackstein und Durisol-Baustein auch mit Fenstern auf der Ost-, Süd- und Westseite ausgerüstet.

Der Aufbau der Wandkonstruktion jeder teilnehmenden Organisation ist aus Tabelle I und Bild 4 ersichtlich. Mit Ausnahme des Holzhauses haben alle Versuchshäuschen einen Aussenputz mit folgendem Aufbau erhalten:

1. *Anwurf* von Zementmörtel P 600, 3÷5 mm stark.
2. *Grundputz* aus verlängertem hydraulischem Kalkmörtel HK 300 + P 60, rd. 15 mm stark.

3. *Deckputz* aus sog. Edelputz, geliefert und erstellt erst im Herbst 1956 durch die Firma Bernasconi in Bern.

Der Innenputz besteht lediglich aus den beiden ersten Schichten.

#### Die Versuchseinrichtung

Die *Heizeinrichtung* in der Mitte des Raumes besteht aus einem runden elektrischen Ofen, der mittels Ventilator Raumluft ansaugt, an den Heizdrähten vorbeipresst und wieder in den Raum einbläst, wodurch die Luft im Raum leicht in Bewegung gesetzt wird (Bild 5).

Die Atmosphärien: Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windstärke und Niederschläge, werden in einer Wetterstation in der Nähe der Versuchshäuschen täglich gemessen. In den Versuchshäuschen wird die Temperatur laufend und die Raumfeuchtigkeit mit Psychrometer wöchentlich gemessen. Mittels Thermoelementen wird auch auf allen vier Wänden die Oberflächentemperatur jede Woche gemessen.

Ueber den *Verlauf des Feuchtigkeitsgehaltes* vermitteln Sonden in den Wänden (ohne Holzhaus), die den Ohmschen Widerstand des Wandmaterials feststellen lassen, einen Einblick. Als *Feuchtigkeitsquellen* dienen Schalen, in welche wöchentlich die zu verdunstende Wassermenge eingefüllt wurde.

Die *Raumtemperatur* wird mittels gegen Strahlung geschützter Thermostaten mit einer Genauigkeit von  $\pm 1^\circ \text{C}$  auf  $20^\circ \text{C}$  gehalten. Um allfällige Unregelmässigkeiten im Temperaturverlauf feststellen zu können, wurde durch Temperaturschreiber, die wöchentlich ausgewechselt wurden, die Raumtemperatur registriert.

#### Die Auswertung der Messergebnisse

Die Messergebnisse der Versuchshäuschen aus dem Zeitabschnitt Ende 1953 bis Anfang 1957 erlauben, folgende für die Praxis bedeutsame Schlussfolgerungen zu ziehen:

##### I.

Aus dem Aufwand an elektrischer Energie wird der Wärmeverlust der Versuchshäuschen errechnet und nach Abzug des Wärmeverlustes durch Decke und Boden der Wärme-

Tabelle II: Wärmedurchgangszahlen  $k$  in  $\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$  Messzeit: November bis Februar

Haus	Backsteinmauerwerk				Kalksandstein KS	Durisol DM	Holz HO
	BI	B25	BG	B2S			
1954/1955	0,983	1,020	1,098	0,528	1,125	0,945	0,413
1955/1956	1,054	1,045	1,176	0,547	1,119	0,925	0,422
1956/1957	1,012	1,018	1,149	0,525	1,138	0,933	0,415
Mittelwert	1,016	1,028	1,141	0,533	1,127	0,934	0,417
Maximale Abweichung vom Mittelwert in Prozent	3,7	1,6	— 3,8	2,6	1,0	1,2	1,2
Relativwerte in Prozent	100	101,2	112,3	52,5	110,9	91,9	41,0

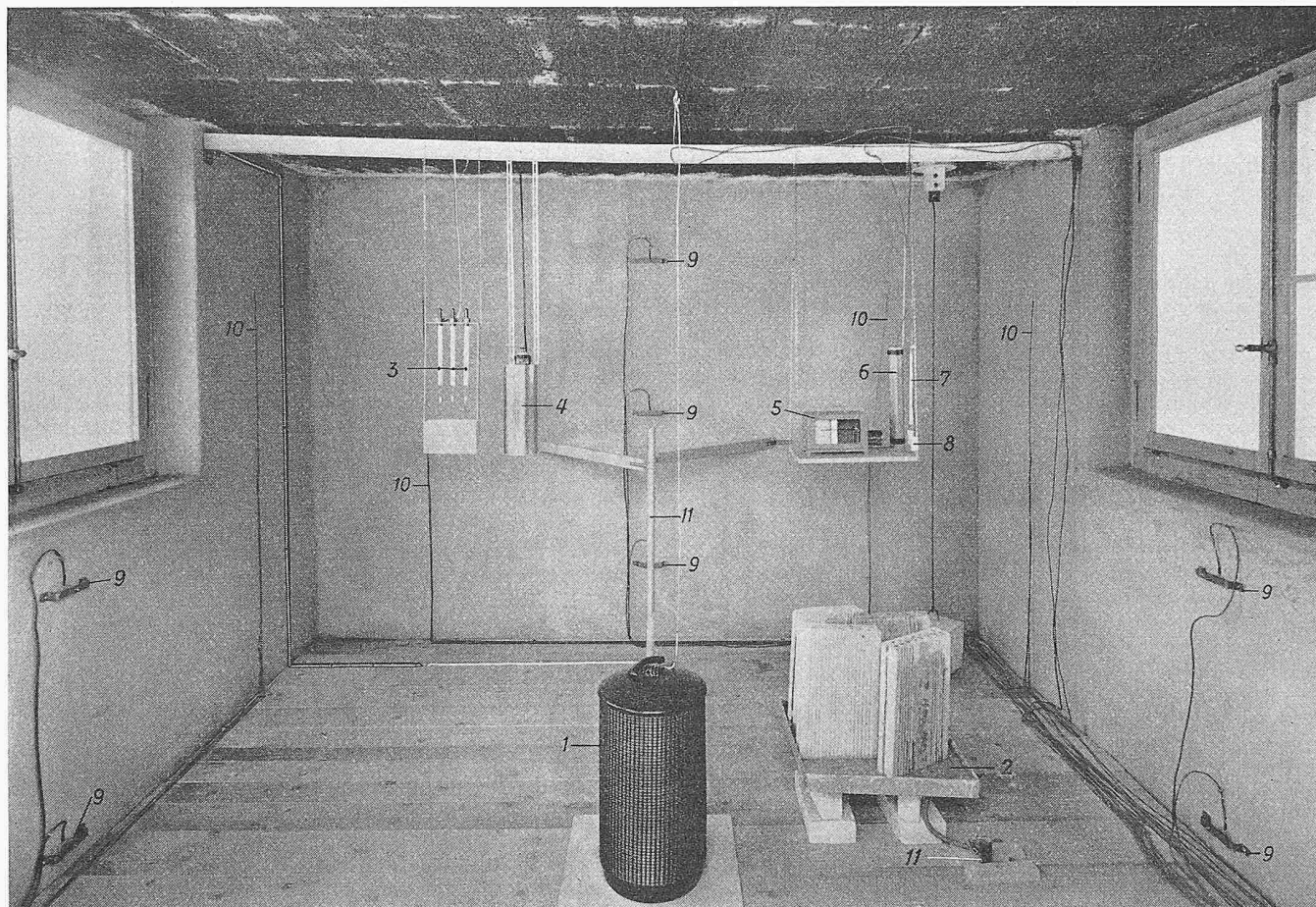


Bild 5. Inneres eines Fenster-Versuchshauses, Blick auf die Nordwand. 1 elektrischer Ofen mit Ventilator, 2 Schale mit Wasser und Verdunstungskörper, 3 Thermostaten für die drei Heizstufen 800, 1000 und 1200 W, 4 Sicherheitsthermostat, 5 Temperaturschreiber, 6 Thermoelement in Al-Rohr, 7 Thermometer, 8 Thermoelement mit leichtem Strahlungsschutz, 9 Thermolemente zur Messung der Oberflächentemperaturen, 10 Sonden zur Messung des Ohmschen Widerstandes in den Nichtholzhäusern, 11 Rohr für die Luftentnahme und Wiedereinführung zur Messung der Luftfeuchtigkeit mittels Psychrometer

verlust durch die Wände ausgeschieden. Die Wärmedurchgangszahl  $k$ , d. h. der stündliche Wärmeverlust je  $m^2$  Wandfläche und bei einem Temperaturgefälle von innen nach aussen von  $1^\circ C$ , wurde aus den Messergebnissen der Monate November bis Februar der drei Winter 1954/1955, 1955/1956 und 1956/57 bestimmt, Tabelle II. Die Messergebnisse von Oktober und März bleiben unberücksichtigt, weil der Einfluss der eingestrahnten Sonnenwärme zu gross ist. Selbstverständlich ist in den Messergebnissen der vier Messmonate November bis Februar die Einstrahlungswärme, die auch bei bedecktem Himmel, wenn auch vermindert, wirksam ist, eingeschlossen. Ebenso ist im Ergebnis der Einfluss der Mauerfeuchtigkeit, die bekanntlich den Wärmefluss begünstigt, berücksichtigt. Beide an sich unbekanntes Faktoren: der positive Beitrag der Sonnenwärmeeinstrahlung und die verschlechternde Wirkung der Mauerfeuchtigkeit, kompensieren sich wenigstens teilweise.

a) Die drei Jahresmittel, darunter das Jahr 1956 mit dem nur Frosttemperaturen aufweisenden Februar, weichen vom Mittelwert der drei Jahre nur 1,0—3,8 % ab.

b) Der grösste Wärmeverlust wurde bei den Backsteinhäuschen im extrem kalten Winter 1955/1956 gemessen.

c) Der Wärmeverlust der Holzwände HO ist  $2\frac{1}{2}$ mal kleiner als derjenige des 30 cm starken Isolier-Backsteinmauerwerks BI.

Das Zweischalenhaus B2S isoliert etwa doppelt so stark wie das Vergleichsmauerwerk (30-cm-Isolier-Backsteinmauerwerk). Die übrigen Versuchswände besitzen eine um  $k = 1,0$  liegende Wärmedurchgangszahl. Gegenüber dem Vergleichsmauerwerk (30-cm-Isolier-Backsteinmauerwerk) hat die Durisolwand DM eine 8,1 % bessere Isolierwirkung, während das 25 cm starke Mauerwerk aus B 25 praktisch gleich gut und dasjenige aus grossformatigen Gittersteinen BG 12,3 % weniger dämmend gefunden wurde. Auch das Kalksandsteinmauerwerk KS mit einer 6 cm starken porösen Silisolitplatte hat

sich über eine 10,9 % höhere Wärmedurchlässigkeit ausgewiesen.

d) Im Laboratorium wurde die Durisolwand schon einige Male untersucht und die Wärmedurchgangszahlen  $k$  bei den gleichen Wärmeübergangszahlen  $\alpha$  wie bei den Versuchshäuschen zu  $k = 0,88 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ C$  gefunden. Trotzdem die Werte im stationären Wärmefluss, diejenigen der Versuchshäuschen aber bei schwankenden Aussentemperaturen, unter Sonnenwärmeeinstrahlung und bei der Durchfeuchtung der Wände von innen und aussen ermittelt wurden, sind nur geringe Unterschiede von 6 % aufgetreten. Die wärmetechnischen Versuche mit Backsteinmauerwerk im Laboratorium liefern ebenfalls ähnliche Ergebnisse wie die Versuchshäuschen. Die Behauptung, die Laboratoriumszahlen entbehrten des praktischen Wertes, kann nunmehr nicht mehr als Ausrede für ungenügende Wandstärken und andere konstruktive Mängel gebraucht werden.

e) Der Einfluss des Feuchtigkeitsgehaltes der Wände wird meist überschätzt aus dem einfachen Grund, weil beim Heizen unter dem Dampfteildruckgefälle eine Verlagerung des Wassers in die äusseren Schichten eintritt. Darüber geben die Ergebnisse der Messungen des Ohmschen Widerstandes ein anschauliches Bild:

ea) Auffallend sind zunächst der starke Anstieg des Ohmschen Widerstandes während der Heizperiode und die Abnahme desselben während der Monate April, Mai und Juni.

Tabelle III: Ohmsche Widerstände, bezogen auf den Anfangswert 1. 12. 53. Stand Ende Juni der Jahre 1954—1956.

Haus	BI	B25	BG	KS	DM
1954	1,5	1,0	1,4	1,3	1,6
1955	1,7	1,4	1,2	— 0,1	2,6
1956	3,0	4,0	1,4	2,0	4,6

Diese Schwankungen beweisen eindeutig nicht nur, dass die Feuchtigkeit sich innerhalb der Mauer verlagert, sondern dass sie auch teilweise austrocknet. Je stärker die Heizleistung, je grösser das mittlere Dampfdruckgefälle, desto energischer sind die Verlagerung und die Austrocknung.

eb) Vergleicht man den Feuchtigkeitszustand in den aufeinanderfolgenden Sommern, so kann ein deutlicher Fortschritt in der Austrocknung festgestellt werden, Tabelle III.

ec) Der Unterschied der einzelnen Wandkonstruktionen ist beträchtlich. Bei der Beurteilung der Messergebnisse ist aber zu beachten, dass zwischen dem Feuchtigkeitsgehalt der Wände und dem Ohmschen Widerstand keine proportionale, sondern eher eine logarithmische Beziehung besteht. Das seltsame Verhalten der Wandtypen *KS* und *BG* ist vermutlich auf eine Veränderung des Elektrolyts infolge Verlagerung der löslichen Salze zurückzuführen. Erst wenn einmal die Ergebnisse der Feuchtigkeitsbestimmung an herausgebohrten Proben vorliegen, kann ein tieferer Einblick in die Feuchtigkeitsverhältnisse gewonnen werden. Jedenfalls kann aber festgehalten werden, dass die strukturell verschieden aufgebauten Baustoffe *Durisol DM* und *Isolierbackstein BI* ein sehr ähnliches Verhalten aufweisen: starkes Trocknen im Winter und ein Wiederdurchfeuchten im Frühjahr. Ähnlich verhält sich auch das *B25-Mauerverk.*

ed) Einen beachtenswerten Einblick in die Vorgänge bieten die Ergebnisse des *Zweischalenhauses B2S*. Im ersten Winter wurde die Feuchtigkeit aus der inneren Schale durch die Sillanwolle in die äussere Schale abgedrängt, da Sillanwolle nur dampfförmiges Wasser passieren lässt und so als Ventil wirkt. Dieser Vorgang konnte auch von Auge deutlich erkannt werden, bildeten sich doch auf dem Aussenputz intensive Feuchtigkeitsflecken. Die Ohmschen Widerstände der inneren Schale sind am Ende der Heizperiode der vier Winter 1953/54, 1954/55, 1955/56 und 1956/57 28-, 10-, 2,2- und 3,8mal grösser als diejenigen der äusseren Schale, woraus folgt, dass die äussere Schale verhältnismässig rasch trocknete und im dritten Winter den Gleichgewichtszustand erreichte; doch blieb die äussere Schale immer feuchter als die innere. Verglichen mit dem 30-cm-Backsteinhaus *BI*, aufgemauert mit Steinen aus der gleichen Ziegelei, hat die äussere Schale nach dem vierten Winter praktisch den gleichen Ohmschen Widerstand, also ähnliche Feuchtigkeitsverhältnisse.

ee) Im Sommer 1956 waren die Mauern der beiden *Fensterhäuser BIF* und *DMF*, offenbar dank der höhern Raumtemperatur, trockener als die fensterlosen Versuchshäuschen. Im darauffolgenden Winter 1956/1957 erreichen aber die fensterlosen Versuchshäuschen den gleichen Trockenheitsgrad wie die Fensterhäuschen.

Aufschluss über den Einfluss des Feuchtigkeitsgehaltes der Wand auf den Wärmedurchgangswert  $k$  vermitteln die Messungen aus dem Winter 1954/1955. Vom 4. Oktober bis zum 20. Dezember wurden in den Versuchshäuschen jede Woche sieben Liter Wasser zum Verdunsten eingesetzt. Nur während der ersten 14 Tage (Holzhaus drei Wochen) ist alles Wasser verdampft; nachher sind im Durchschnitt nur die in Tabelle V zusammengestellten Wassermengen verdunstet. Vom 20. Dezember bis 31. Januar sind noch  $3\frac{1}{2}$  Liter in der Woche verdunstet und in die Wände diffundiert bzw. kapillar aufgesogen worden. Ab 1. Februar ist die Wassermenge auf  $1\frac{1}{4}$  Liter in der Woche reduziert und über die restliche Messzeit beibehalten worden. Vergleicht man den mittleren  $k$ -Wert mit dem maximalen  $k$ -Wert des Winters, so ergeben sich Erhöhungen des  $k$ -Wertes um 4 bis 6 %. Wenn man beachtet, dass beim Verdampfen der grössten Wassermenge in den Ecken dermassen Wasser kondensiert wurde, dass die innere Oberfläche sich glänzend nass präsentierte, also ein Zustand sich einstellte, der nur unter ungünstigsten Bedingungen in einer Wohnung auftreten kann, dann muss die Erhöhung des  $k$ -Wertes infolge Nässung der Wand als geringfügig bezeichnet werden.

f) Die günstige Auswirkung der *Sonnenstrahlen* auf den Wärmeverlust vermitteln folgende Messergebnisse:

fa) Die von der Sonne eingestrahlte Wärmemenge in den Monaten Oktober und März war zeitweise so gross, dass die  $k$ -Werte über 30 % kleiner gefunden und deshalb bei der Mittelziehung ausser acht gelassen wurden.

fb) Den grossen Einfluss der Sonneneinstrahlung dokumentiert der Vergleich der Heizaufwendungen der Fensterhäuser mit den fensterlosen Häusern. Trotz der grösseren

Wärmedurchlässigkeit der Fenster ist der Wärmeverlust der Fensterhäuser mit 13,5 % Fensterfläche über die sechs Wintermonate gemittelt ungefähr gleich demjenigen der fensterlosen Häuser. Der grössere Verlust während der Monate November bis Februar wird durch die stärkere Sonnenwärmeeinstrahlung in den beiden Monaten Oktober und März wettgemacht. Diese Feststellung konnte in jedem Winter gemacht werden.

fc) Ueber den Einfluss der Sonnenstrahlen orientiert auch der Vergleich der stündlich in der Zeit von 8 bis 16 Uhr aufgewendeten Heizenergien mit dem Tagesdurchschnitt (Tabelle IV).

Da die Sonnenwärme sich erst in den Nachtstunden bemerkbar macht, also in der Nacht weniger Energie verbraucht wird, muss das Verhältnis dann grösser als 1 gefunden werden, wenn in der Nacht die Aussentemperatur stärker als normal absinkt. Die Werte scheinen sehr klein, doch sind diese Zahlen über die Regentage ausgemittelt, und im Nenner wird der 24stündige Durchschnittswert eingesetzt, obwohl die Sonneneinstrahlung im Winter nur während weniger Stunden erfolgt. Die ebenfalls angegebenen Extremwerte erlauben, die erheblichen zugestrahlten Wärmemengen in den Monaten Oktober und März zu erkennen. Die Reihenfolge der Ergebnisse der Versuchshäuser ist ebenfalls aufschlussreich. Neben der Dicke der Wand sind auch hier das Wärmeleitvermögen und die Wärmespeicherfähigkeit der Baustoffschichten entscheidend.

## II.

Im Sommer werden die Wände bei der Sonnenbestrahlung besonders stark erwärmt. Die Wärme wandert zur Innenfläche und wird von dieser nach einer gewissen Zeit an die Raumluft abgegeben. Die Aussenmauern sollen die Wärme nicht nur möglichst fernhalten, sondern das Wärmemaximum soll erst in einem Zeitpunkt auftreten, wenn die in die Raumluft übertretende Wärme mit der kühlen Nachtluft bereits wieder abgeführt werden kann.

Die *Temperaturerhöhung* und die *Phasenverschiebung* der Wärmewelle sind abhängig von der Dicke der Wand und der Temperaturleitzahl  $\alpha = \lambda/cr$  ( $\lambda$  = Wärmeleitzahl,  $c$  = spezifische Wärme und  $r$  = Raumbgewicht) der einzelnen Baustoffschichten. Je kleiner die Wärmeleitzahl und je grösser das Speicherungsvermögen der Wand, desto weniger erwärmt sich die Raumluft und desto später tritt das Temperaturmaximum im Hausinneren auf.

a) Mit guter Annäherung kann die *maximale Raumtemperatur*  $\vartheta_{\text{imax}}$  an einem Sonntag für die meisten Wandkonstruktionen mit folgendem Ausdruck berechnet werden:

$$\vartheta_{\text{imax}} = \vartheta_a + 3,2 k$$

$\vartheta_a$  = mittlere Tagestemperatur (während mehrerer Tage herrschend)

Genauigkeit  $\pm \frac{1}{2}^\circ \text{C}$ .

In Räumen mit ein oder zwei Aussenwänden ist die Ueberhöhung der Temperatur entsprechend kleiner.

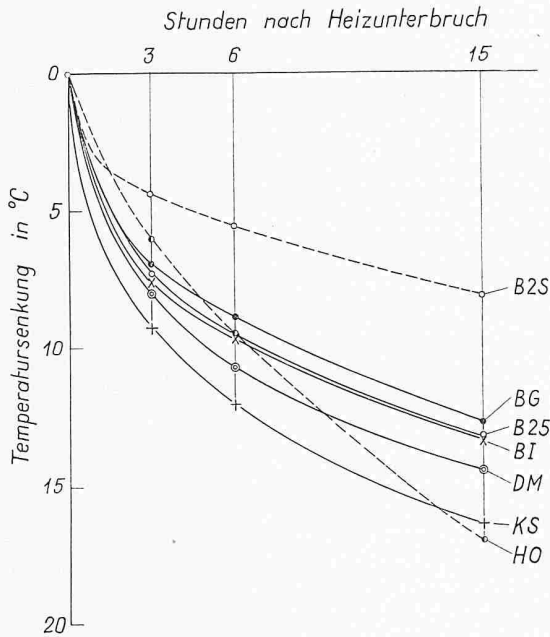
b) Im Holzhaus HO erreicht die Raumtemperatur  $5\frac{1}{2}$  Stunden nach dem *Temperaturmaximum* der Aussenluft ihren Höchstwert.

Die *Phasenverschiebungsdauer* der übrigen Versuchshäuser liegt zwischen 9 und  $11\frac{1}{2}$  Stunden, so dass normalerweise das Temperaturmaximum der Raumluft erst nach Mitternacht bis in die frühen Morgenstunden auftritt.

c) Wird während der Nacht von 20 bis  $6\frac{1}{2}$  Uhr mittels Ventilator die kühle Nachtluft durch das Versuchshaus gedrückt, so kühlen sich die Wände aus, so dass während der Morgenstunden in den fensterlosen Versuchshäuschen die Tem-

Tabelle IV: Verhältnis des stündlichen Energieaufwandes für Heizung in den Zeitabschnitten 8—16 und 8—8 Uhr in den Monaten November bis Februar. Werte der Winter 1954/55, 1955/56, 1956/57.

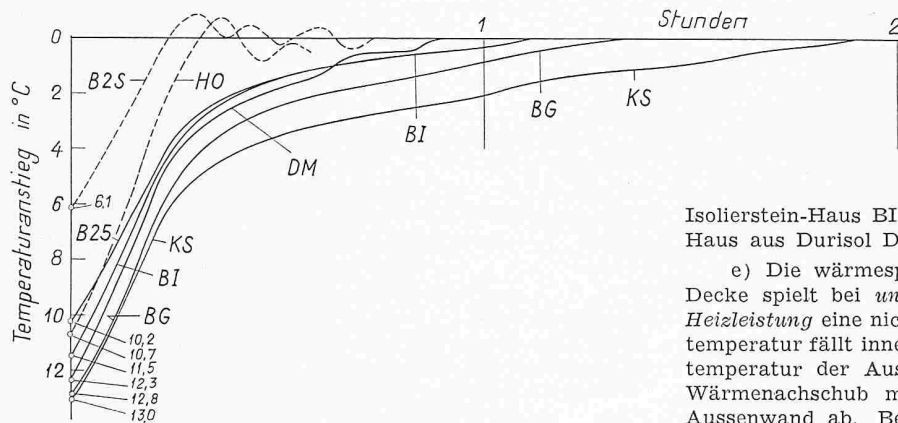
Haus	$p = \frac{L_{8-16}}{L_{8-8}}$						
	BI	B25	BG	B2S	KS	DM	HO
Mittelwert	1,011	1,015	1,016	1,006	1,006	1,013	0,999
Extremwert (Oktober)	1,23	1,28	1,35	1,19	1,16	1,32	1,08



peratur unter dem Tagesmittel gehalten werden kann. Einen interessanten Einblick vermitteln die *Tagesschwankungen* (Maximum-Minimum) der Raumluft. Bildet man das Verhältnis *m* der Tagesschwankungen «gelüftet» zu «ungelüftet», so ergeben sich folgende Zahlenwerte:

Haus	BI	B25	BG	B2S	KS	DM	HO
<i>m</i>	1,45	1,42	1,45	1,75	1,25	1,27	1,19
	1,44				1,26		

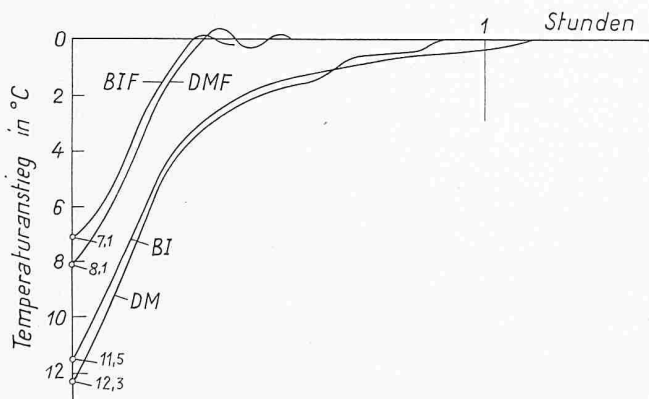
Die Backsteinwände werden dermassen ausgekühlt, dass die Differenz der maximalen und minimalen Raumtemperatur eines Sonnentages bei der Nachtlüftung 44 % grösser ist als ohne Nachtlüftung. Die beiden innenseitig mit einer Isolierschicht mit geringerem Speichervermögen bekleideten Versuchshäuser aus Durisol und Kalksandstein zeigen dank der Verputzschicht noch eine Verbesserung von 26 %. Das Holzhaus mit seinem kleinen Speichervermögen liefert einen noch kleineren Gewinn. Den günstigsten Wert von 75 % zeigt das Zweischalenhaus, weil die innere Schale intensiver entwärmt wird. Daraus ist auch zu schliessen, dass die wärmespeichernde Wirkung in den Wohnräumen vor allem den Innenwänden und den Decken zukommt, wobei die Dicke der Elemente nicht ohne Bedeutung ist.



d) Die *Höchsttemperatur in den Fensterhäuschen* wurde 5° C höher gemessen als in den fensterlosen. Auch ist praktisch keine Phasenverschiebung zwischen dem Temperaturverlauf der Aussen- und Innenluft festzustellen. Das Verhältnis *m* — «gelüftet» : «ungelüftet» — liegt sogar unter demjenigen des Holzhauses.

Auch bei den Fensterhäusern zeigt das Isolierstein-Haus BIF (14 %) einen günstigeren Wert als das Haus aus Durisol DMF (2 %).

e) Die wärmespeichernde Eigenschaft einer Wand oder Decke spielt bei *unterbrochener oder zeitweise reduzierter Heizleistung* eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Die Raumtemperatur fällt innert kurzer Zeit auf die innere Oberflächentemperatur der Aussenwand ab. Im Augenblick, da kein Wärmenachschub mehr erfolgt, fliesst die Wärme aus der Aussenwand ab. Bei grösserer Wärmespeicherfähigkeit der Aussenwand und besonders aber der Zwischenwände und der Decken kann das Absinken der Raumlufttemperatur verlangsamt werden. Bild 6 gibt einen Begriff von der Temperatur-senkung in einem Raum ohne Zwischenwände und Decken.



Während die massiven Baustoffe sich nach 1 bis 2 Stunden auffangen, fällt die Raumtemperatur im Holzhaus HO infolge des hohen Wärmewiderstandes und des geringeren Wärmespeichervermögens (geringes Gewicht) am Anfang wohl langsamer, nach 8 Stunden aber erheblich schneller als in den übrigen Versuchshäuschen. Nach 15 Stunden ist die Temperatur im Holzhaus HO am tiefsten. Nicht nur die geringe Wärmespeicherfähigkeit, sondern auch der Luftaustausch durch die Holzwand ist am starken Temperaturfall beteiligt.

Im Zweischalenhaus B2S wirkt die innere Schale als «Kachelofen». Nach 8 Stunden ist die Temperatur 4½° C höher als im Holzhaus HO und 5½° C höher als im Isoliersteinhaus BI. Nach 15 Stunden sind die Unterschiede 10° C und 5½° C.

Die drei Backsteinhäuschen (BI, B25 und BG) verhalten sich ähnlich. Etwas grössere Temperaturabnahmen zeigt das Durisolhäuschen DM. Nach 8 Stunden sinkt die Temperatur auch im Kalksandsteinhaus KS stärker, weil die innen ange-

Bild 6. Mittelwerte der vier grössten Temperatursenkungen im Monat März 1956, aus Thermoschreiber. Anheizkurven nach 8 Stunden Heizunterbruch; Raumtemperatur gemessen mit Thermolement am 3. März 1955. DMF Durisol mit Fenster, B25 Backstein-Grossformat, BIF Backstein-Isolierstein mit Fenster, DM Durisol, HO Holz mit Glas-seidematte, KS Kalksandstein mit Silisolitplatte, BI Backstein-Isolierstein, BG Backstein-Gittergrossformat, B2S Backstein-Zweischalen mit Silianisolierschicht

Tabelle V: Feuchtigkeitszustand der Räume. Raumtemperatur: 20° C Versuchsdauer: 11 Wochen (Okt.—Dez. 1954)

Haus	BI	B25	BG	B2S	KS	DM	HO
<i>k</i> -Werte	1,016	1,028	1,141	0,533	1,127	0,934	0,417
maximal verdunstete Wassermenge in g/hm <sup>2</sup>	0,75	0,75	0,83	0,71	0,97	0,88	1,11
relative Luftfeuchtigkeit in %							
Mittelwerte	59,8	62,0	59,7	63,8	57,8	59,1	46,8
Maximalwerte	73	74½	72	77	73	74½	62
Minimalwerte	47	48	47	48	44½	44	30
mittlere Oberflächentemperatur in ° C	16,78	16,36	16,11	18,20	15,98	16,31	18,61

brachte Isolierschicht nicht über ein grösseres Speichervermögen verfügt.

Beim Einschalten der leistungsfähigen Heizung steigt die Lufttemperatur dank ihrer geringen Speicherfähigkeit in relativ kurzer Zeit auf die gewünschte Höhe (Bild 6), nämlich:

Haus	BI	B25	BG	B2S	KS	DM	HO
Zeit in Min.	66	66	80	14	114	54	18½

Die *Aufheizzeit* ist in erster Linie von der Ausgangstemperatur nach 15stündigem Heizunterbruch, vom Wärmespeichervermögen und von der Wärmeleitfähigkeit der Baustoffe abhängig. Eine kurze Anheizzeit haben das Zweischalenhaus und das Holzhaus. Bei stärkerer Auskühlung wird die Anheizzeit empfindlich verlängert (Vergleiche das Zweischalenhaus mit den drei andern Backsteinhäusern).

Die *Fensterflächen* besitzen einen kleineren Wärmewiderstand, weshalb beim Heizunterbruch sich die Häuschen mit Fenstern rascher auskühlen als die fensterlosen Häuschen. Bei stärkerem Windanfall sind die Unterschiede noch grösser.

### III.

Um die *Abmessungen der Aussenwände* berechnen zu können, wird für das schweizerische Mittelland bis zu einer Meereshöhe von 600 m der Wärmedurchgangswert  $k = 1,0 \div 1,1 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$  als Sollwert betrachtet. Gebäude, deren Aussenwände sich über diesen Isolierwert ausweisen können, zeigen bei zweckmässiger Lüftung keine schädliche Kondenswasserbildung, d. h. keinen so starken Kondenswasserniederschlag, dass Pilze gedeihen und sich vermehren können. In grösseren Meereshöhen sind höhere Isolierwerte der Aussenwände usw. zur Vermeidung der übermässigen Kondenswasserbildung notwendig.

*Kondenswasser* bildet sich auf einer Wandoberfläche, sobald die Temperatur der innern Wandoberfläche an bestimmten Stellen den Taupunkt unterschreitet. Solange das Kondenswasser von der Oberfläche kapillar aufgesogen wird und durch die Wand hindurchwandert und schliesslich in die Aussenluft verdunstet, können sich keine Pilzkolonien ansiedeln. Es stellt sich also sofort die Frage: Welche Wassermenge kann eine Wandkonstruktion maximal aufnehmen? Die Antwort ist aus Tabelle V zu entnehmen. Die stündlich auf 1 m<sup>2</sup> Oberfläche kondensierende Wassermenge schwankt innerhalb enger Grenzen: 0,71 und 1,11 g/m<sup>2</sup>h. Je besser der Isolierwert der Wand, desto höher liegt die innere Oberflächentemperatur und um so weniger Wasser wird kondensiert und desto höher stellt sich auch die Luftfeuchtigkeit im Raum ein. Bei den angegebenen Verdunstungsmengen war die Kondenswasserbildung an den kältesten Stellen so intensiv, dass sich sichtbare Feuchtigkeitszonen gebildet haben. Empirisch konnten folgende angenäherte Zusammenhänge festgestellt werden:

Mittlere innere Oberflächentemperatur:  $\vartheta_{oi} = 20 - 3,5 k$   
(in Mittelaxe der Wände)  $(\alpha_{im} = 5,7)$

Die aus den Kondenswassermengen errechneten Diffusionsübergangszahlen  $\alpha_d$  liegen zwischen 0,11 und 0,21 kcal/m<sup>2</sup>h<sup>2</sup>°C.

Berechnet man mit den aus Laboratoriumsversuchen bestimmten Diffusionswerten die durch die Wand diffundierende Wasserdampfmenge und vergleicht sie mit den festgestellten Verdunstungsmengen, so erkennt man, dass die letzteren das Vielfache der ersteren betragen. Diese Tatsache ist nur mit einem zusätzlichen kapillaren Aufsaugen des auf der inneren Oberfläche der Wände kondensierten Wasserdampfes zu erklären. Die Raumfeuchtigkeit wandert also nicht nur als Dampf in die durchlässige Oberflächenschicht eines Verputzes hinein, sondern ein Grossteil wird kapillar als tropfbares Wasser in die Mauer hineingesogen (*Backstein*). Sie kann auch streckenweise kapillar und dann wieder als Dampf in einem Material mit erheblich geringerem Diffusionswiderstand (*Durisol*) zur Kaltseite bewegt werden. Möglicherweise bringen die vorgesehenen Bohrversuche in dieser Hinsicht Licht in die in der Wand sich abspielenden Vorgänge.

Alle Versuchshäuschen mit Ausnahme des Holzhauses lassen sich nach physikalisch begründeten Grundsätzen einreihen. Das *Zweischalenhaus B2S* mit dem hohen Isoliervermögen weist die kleinste Kondenswassermenge, die höchste mittlere Raumfeuchtigkeit und die grösste Oberflächentemperatur auf.

Andererseits ist beim *Kalksandsteinhaus KS* die grösste Kondenswassermenge, die niedrigste relative Raumfeuchtigkeit und die niedrigste Oberflächentemperatur festgestellt worden. Die Verschiebungen in der Reihenfolge sind auf örtliche Unregelmässigkeiten, auf eine Luftschichtenbildung und auf Wärmebrücken sowie die verschiedenen Ausseneckentemperaturen zurückzuführen. Die Unterschiede der einzelnen Eigenschaften aller praktisch luftdichten Nichtholz Häuser sind nicht gross.

Ganz anders verhält sich nun das *Holzhaus HO*, welches das beste Wärmeisoliervermögen besitzt und die höchste Oberflächentemperatur messen lässt, in welchem aber die grösste Wassermenge verdunstet und trotzdem die mit Abstand kleinste Raumfeuchtigkeit nachweisen lässt. Dieses vollkommen abweichende Verhalten kann nur mit einem beträchtlichen *Luftaustausch* durch die Wandkonstruktion erklärt werden.

### Schlusswort

Das vorliegende Tatsachenmaterial will einen Einblick geben in die wichtigsten wärmetechnischen Eigenschaften der hauptsächlichsten auf dem Markte erhältlichen Baustoffe. Es ist nach Abschluss der Versuche einem ausführlichen Bericht vorbehalten, die Versuchsergebnisse eingehender zu dokumentieren und mit tieferen Erkenntnissen zu vervollständigen. Nachdem nun die Isolierwerte der verschiedenen Bauweisen durch Messungen während dreier Winter mit der notwendigen Genauigkeit ermittelt worden sind, wird im kommenden Winter das Herausbohren von Wandmaterial über die Verlagerung der Feuchtigkeit und vor allem auch über ihre Grösse Auskunft geben.

Zum Schluss sollen die Ergebnisse nochmals kurz zusammengefasst werden:

1. Die aus den Versuchshäuschen ermittelten Wärmedurchgangszahlen  $k$  bestätigen die im Laboratorium an 4 m<sup>2</sup> grossen Versuchsstücken im stationären Zustand ermittelten Werte.

2. Der als Richtlinie den wärmetechnischen Berechnungen zugrunde gelegte  $k_{\max}$ -Wert von 1,0 bis 1,1 kcal/m<sup>2</sup>h<sup>2</sup>°C, gültig für das schweizerische Mittelland ( $h < 600 \text{ m}$ ), genügt zur Verhinderung der Bildung von schädlichem Kondenswasser, wenn zweckmässig, d. h. kurzfristig intensiv, gelüftet wird.

3. Da beim Heizen des Hauses in der Wand eine Verlagerung der Feuchtigkeit gegen die Kaltseite eintritt, ist der Einfluss der Feuchtigkeit auf das Isoliervermögen der Aussenwände gering, wenn die Feuchtigkeit während der kältesten Zeit im Baustoff in den Aussenschichten gespeichert werden und jederzeit voll und ganz durch den Verputz verdunstet kann. Bei allen wärmetechnischen Berechnungen hat man sich Rechenschaft über die Verlagerung der Feuchtigkeit zu geben. Besondere Aufmerksamkeit ist bei stark feuchtigkeitsdrosselnden Schichten und bei der Verwendung von nicht fäulnisbeständigen Materialien geboten. Der die Wärmewandlung begünstigende Effekt der Feuchtigkeit wird nur teilweise kompensiert durch die zugestrahlte Sonnenwärme. Es empfiehlt sich, die im Laboratorium ermittelten Wärmeleitfähigkeiten mit 5 bis 10 % Zuschlag in die Rechnung einzuführen.

4. Werden sämtliche Räume eines Gebäudes im ersten Winter dauernd auf 20° C geheizt, so trocknen die Wände bis auf einen Rest aus. Sobald nicht mehr geheizt wird, kann durch den Aussenputz wieder Regenwasser eindringen, und dieses feuchtet die Wand auf. Im Winter verlagert sich die Feuchtigkeit in die Aussenschichten der Wand und verdunstet auch zu einem grossen Teil in die Aussenluft. In den darauffolgenden Jahren trocknet die Aussenwand jeweils im Winter aus. Die in den meisten Bauverordnungen verlangte dreimonatige Austrocknungsfrist kann mit einer wirksamen Heizung des ganzen Hauses herabgesetzt werden, weil diese Massnahme besonders bei den heute erheblich dünneren Aussenwänden — ein 38-cm-Mauerwerk wird nur noch selten erstellt (Hochhäuser!) — eine gründlichere Austrocknung verbürgt als die bisherige Vorschrift. Bei starker Durchnässung der Mauern durch Regenwasser empfiehlt es sich, den Anwurf des Aussenputzes vorläufig nur auf den Wetterseiten anzubringen.

5. Bei der Bewertung der Versuchsergebnisse muss beachtet werden, dass bei den Versuchshäuschen nur Aussenwände am Wärmeaustausch beteiligt sind. Der Boden und die Decke können sich infolge der starken Isolierung mit einem wenig

speichernden Material an diesen Vorgängen praktisch nicht beteiligen. Bei der Auskühlung und Erwärmung, auch bei der Temperaturerhöhung im Sommer, bei zeitweiser Lüftung, immer spielt das Wärmespeichervermögen vor allem der Zwischenwände und Decken sowie der Ausstattungsgegenstände oder Lagergüter neben dem Wärmewiderstand der Aussenwände und Fenster eine nicht zu unterschätzende Rolle.

6. Die *Backsteinhäuser* aus Isoliersteinen, aus B25-Blöcken, grossformatigen Gittersteinen und das Zweischalenhaus mit einer Mittelschicht von 5 cm starken Sillanwollmatten verhalten sich in verschiedener Hinsicht ähnlich. Das 25 cm starke B25-Mauerwerk (Steinhöhe 21 cm) hat praktisch die gleiche Isolierfähigkeit wie das 30 cm starke Mauerwerk aus Isoliersteinen. Das Mauerwerk aus den grossformatigen Gittersteinen (Steinhöhe 13,5 cm), die ein dichtes Gefüge aufweisen, erreicht die Isolierfähigkeit der beiden vorgenannten nicht; sie überschreitet jedoch den Grenzwert  $k_{max} = 1,1$  nicht wesentlich.

Die beiden Haustypen aus 25 cm starkem *Kalksandsteinmauerwerk* KS und aus 20 cm starkem *Durisolkörpern* DM besitzen eine innenseitige, die letztere ausserdem noch eine äussere Isolierschicht, die mit Stegen aus dem gleichen Material mit der äusseren verbunden ist. Die Kalksandsteinmauer mit der 6 cm starken Silisolitplatte überschreitet den Grenzwert  $k_{max} = 1,1$  nur unerheblich. Die Durisolwand ist etwa 8 % wärmeisolierender als das 30 cm starke Isoliersteinmauerwerk.

Das Zweischalenhaus B2S aus Backsteinmauerwerk verdankt zu einem wesentlichen Teil der eingelegten Mineralwollschicht seine doppelt so starke Isolierfähigkeit gegenüber dem Isoliersteinhaus BI.

Das beste Wärmeisoliervermögen hat das Holzhaus; seine Isolierfähigkeit ist etwa 2½ mal höher als diejenige des Isoliersteinmauerwerkes, weshalb auch im Sommer die Raumluft in diesem Haus kühler bleibt.

7. Das *Holzhaus* zeigt gegenüber den massiven Versuchshäuschen ein stark abweichendes Verhalten. Im Gegensatz zu allen andern Bauweisen ist schon im ersten Winter die Wärmedurchgangszahl praktisch unverändert geblieben. Der Holzbau ist also eine Trockenbauweise. Entsprechend dem hohen Isolierwert liegt die Oberflächentemperatur ebenfalls hoch, weshalb auch eine kleine Verdunstungsmenge erwartet wird. Die Untersuchungen haben aber gerade das Gegenteil erkennen lassen. Die Abweichung von der Grundlinie, die von allen andern Bauweisen eingehalten wird, kann nur auf einen beträchtlichen Luftaustausch durch die Wände zurückgeführt werden. Da die mittlere relative Luftfeuchtigkeit im Winter — wie auch im Sommer — 11 bis 17 % kleiner gefunden wird als bei den andern Haustypen, erfährt diese Vermutung eine Bestätigung. Auch die kleinere Phasenverschiebung von 5½ Stunden der Temperaturmaxima aussen und innen kann endlich nur mit Luftbewegungen durch die Wand erklärt werden, wenn auch das kleinere Wärmespeichervermögen dabei ebenfalls seinen Anteil hat. Die beiden für das Holzhaus typischen Eigenschaften, kleines Speichervermögen und Luftdurchlässigkeit, geben neben der guten Isolierfähigkeit dem Verhalten beim Auskühlen infolge Heizunterbruchs, beim Wiederaufheizen, beim nächtlichen Auskühlen und bei der Sonneneinstrahlung dem Holzhaus das Gepräge: Zunächst langsamstes, dann aber steilstes und tiefstes Absinken der Raumtemperatur bei Heizunterbruch; kurzfristiges Wiedererreichen der angestrebten Raumtemperatur; geringster Effekt der nächtlichen Auskühlung; auch ist die Sonneneinstrahlung im Holzhaus am wenigsten spürbar.

8. Das bestisolierende Massivhaus, das *Zweischalenhaus*, zeichnet sich nicht nur durch einen hohen Wärmewiderstand, sondern auch durch eine hohe innere Oberflächentemperatur (Behaglichkeit), durch eine sehr langsame Auskühlung (nach acht Stunden nur 6 ° C oder ungefähr die Hälfte der andern Häuser), durch die kürzeste Anheizzeit und durch die geringste Temperaturzunahme nach der Nachtauskühlung aus; auch ist das *m*-Verhältnis mit Abstand das günstigste. Trotz der geringsten Verdunstungsmenge wird die höchste Raumfeuchtigkeit gemessen. Durch die Trennung der beiden Schalen werden nicht nur Wärmebrücken vermieden, sondern auch das Zurücksaugen der in die äussere Schale abgedrängten Feuchtigkeit unterbunden, weil die Mineralwolleinlage eine kapillare Rückleitung verunmöglicht.

9. Die fünf praktisch *luftdichten Versuchshäuser* (drei aus Backstein, aus Durisolmaterial und aus Kalksandstein) zeigen in allen zusätzlichen Prüfungen ein ähnliches Verhalten, so dass diese gesamthaft behandelt werden. Im ersten Winter hat sich der Isolierwert *k* im Mittel um 15 % verbessert. Die Zunahme des Ohmschen Widerstandes bei den Versuchshäuschen BI, B25 und DM im Verlaufe der verschiedenen Versuchsabschnitte lässt eine weitere Austrocknung erkennen. Die beiden mit Isolierschichten bekleideten Wandtypen, die auch tragende Funktion haben (Durisol und Kalksandsteinmauerwerk), weichen gegenüber den andern drei Wandkonstruktionen in folgender Hinsicht ab: etwas höhere verdunstete Wassermengen, etwas kleinere relative Raumfeuchtigkeit, etwas raschere Auskühlung bei Heizunterbruch, nicht ganz halb so hoher Koeffizient *m*, der ja über die Wirkung der Nachtlüftung auf die Raumtemperatur orientiert. Alle andern Eigenschaften zeigen keine gravierenden Unterschiede. Die dickeren Mauern (Isolierstein- und Kalksandsteinmauerwerk) haben eine grössere Phasenverschiebung und einen geringeren Gewinn an Sonnenwärme.

10. Der Vergleich der beiden *Fensterhäuser* aus Durisolwänden und Isoliersteinmauerwerk liefert einen auch für die Praxis aufschlussreichen Beitrag und wirkt in mancher Hinsicht klärend und ergänzend. Die wichtigste Feststellung ist wohl die, dass das Fensterhaus mit 13,5 % doppelt verglasten Fensterflächen, auf der Ost-, Süd- und Westseite verteilt, trotz des geringeren Wärmewiderstandes der Fensterfläche nur eine kleine Mehrleistung an Wärme im Winterhalbjahr beansprucht. Der Wärmeverlust des Fensterhauses ist schätzungsweise 20 % grösser als derjenige des fensterlosen Versuchshauses. Dieser Verlust wird bei der vorliegenden Fensterfläche über das Winterhalbjahr nahezu vollständig gedeckt, wobei die in den vier Monaten November bis Februar geringere Sonneneinstrahlung durch die wesentlich intensivere Sonneneinstrahlung in den beiden Monaten Oktober und März wettgemacht wird. Das gilt natürlich nur für die Fensterfläche von 13,5 % der Wandfläche, für den Standort bzw. die geographische Breite von Zürich und bei ungehindertem Sonnenzutritt auch im Winter. Die Versuchshäuschen mit Fenstern aus den beiden Baustoffen Durisol und Isolierbackstein verhalten sich praktisch gleich. Die Höchsttemperatur der Raumluft im Sommer ist im Fensterhaus etwa 5 ° C höher; auch ist natürlich keine Phasenverschiebung festzustellen. Die mittlere Raumfeuchtigkeit ist im Fensterhaus sowohl im Sommer wie im Winter niedriger, weil durch die eingestrahelte Temperatur im Sommer und durch den Luftaustausch im Winter die Luft relativ trockener wird. Dass die Nachtkühlung in den Fensterhäusern weniger wirksam ist als in den fensterlosen Häuschen, war zu erwarten.

Adresse des Verfassers: Leonhardstrasse 27 Zürich 6/L.

## 75 Jahre R. & E. Huber AG., Pfäffikon

DK 061.5:678

Aus kleinsten Anfängen sind die heute auf ihrem Gebiet führenden Schweizerischen Kabel- und Gummiwerke in Pfäffikon-Zürich hervorgegangen. Der 1839 geborene Gründer, *Rudolf Huber*, aus Zürich, verlor früh seine Eltern, kam mit sieben Jahren ins Zürcher Waisenhaus, begann dann mit 17 Jahren seine Ausbildung als Mechaniker in den Werkstätten der Seidenspinnerei seines Oheims *Heinrich Ryffel-Huber* in der Nähe von Wetzikon, arbeitete später als Werkmeister in einer mechanischen Werkstätte in Arth am Zugersee, beteiligte sich dann 1872 an einer Baumwollspinnerei in Dürnten, wo er sich den Ruf eines kompetenten Fachmannes in Baumwollgarnen erwarb und ausgedehnte Handelsbeziehungen pflegte, um schliesslich 1880 in Pfäffikon ein eigenes Fabrikgebäude zu erwerben, in dem er 1882 den Betrieb einer Baumwollzwirnerei eröffnete.

Von grosser Bedeutung war die Bekanntschaft mit Oberst *Peter Emil Huber-Werdmüller*, dem Gründer der Maschinenfabrik Oerlikon. Die junge Elektroindustrie brauchte damals dringend isolierten Kupferdraht. Die Baumwollzwirnerei wurde bereits 1885 aufgegeben und die Maschinen zum Umspinnen von Kupferdraht mit Baumwolle und Seide eingerichtet. Wichtige Auftraggeber waren die Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik in Winterthur und die Maschinenfabrik Oerlikon. Gegen Ende der 80er Jahre wurde eine eigene Draht-