

# Messungen an der Gebäudehülle des Laborbaus

Autor(en): **Arbenz, Benno**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **99 (1981)**

Heft 50

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74623>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Der Projekt 1973 basierte auf dem in den sechziger und anfangs siebziger Jahren üblichen Baustandard von möglichst grossflächig verglasten Fassaden, genereller Klimatisierung der Laborräume usw.

## Gesamtenergiebilanz

### Projekt 1973 – Prognose 1976 – Realität 1980 (Bild 2)

Das Projekt 1973 basierte auf dem in den sechziger und anfangs siebziger Jahren üblichen Baustandard von möglichst grossflächig verglasten Fassaden, genereller Klimatisierung der Laborräume usw.

Die Prognose (1976) des von der Arbeitsgruppe Plenar überarbeiteten Projekts sieht eine Verminderung des Wärmebedarfs um 55% von 636 MWh auf 286 MWh vor. Dieses Ziel sollte mit einer verbesserten Gebäudeisolation, reduzierter Fensterfläche und vereinfachter Lüftungsanlage mit konsequenter Wärmerückgewinnung erreicht werden.

Der 1980 tatsächlich gemessene Wärmebedarf betrug nur noch 190 MWh, wovon mehr als die Hälfte aus erneuerbaren Energiequellen stammt. Der gesamte Wärmebedarf hat sich somit gegenüber dem ursprünglichen Projekt aus dem Jahr 1973 um 70% reduziert.

Tabelle 1. Jahreszeitlicher Energieverbrauch und Verwendungsmöglichkeiten alternativer Energiequellen

	Jan./Febr. Nov./Dez.	März – Oktober	Jahres- mittel
Deckung mit Sonnenenergie und Abwärmenutzung aus Abwasser	43%	65%	51%
Defizitdeckung mit Fernwärme und Elektrizität	57%	35%	49%
Verbrauch total	93,8 MWh	96,2 MWh	190 MWh

Die Erwartungen wurden zum grössten Teil übertroffen.

### Elektrizität für Laborzwecke

Sowohl in der Schätzung 1973 wie auch in der Prognose 1976 wurde der Elektrizitätsbedarf für Laborzwecke massiv unterschätzt. Dies rührt davon her, dass der seinerzeitige Kubikmeter-Verbrauch des Altbaus entsprechend auf den Neubau extrapoliert wurde. Die gesetzlich vorgeschriebene Übernahme neuer Aufgaben, die Anschaffung zusätzlicher Laboruntersuchungsgeräte, die verbesserte Infrastruktur der Haustechnik und nicht zuletzt die Aufstockung des Personalbestandes durch die Übernahme des städtischen Labors sind für die Verbrauchszunahme von 130 auf 265 MWh verantwortlich zu machen. Dieser Geräte-Energieverbrauch lässt sich nur unwesentlich beeinflussen. Der spezifische Energieverbrauch wird sich langfristig durch den Einsatz

der elektronischen Komponenten verringern.

### Monatlicher Wärme-Energieverbrauch

Das Monatsdiagramm (Bild 3) und die Jahresmittel (Tabelle 1) geben anschaulich Auskunft über den Energieverbrauch in Abhängigkeit von der Ausserentemperatur bzw. über die Verwendungsmöglichkeiten und Wirksamkeit alternativer Energiequellen. Das Energieflussschema (Bild 4) zeigt die Verwendung der einzelnen Energieträger für die verschiedenen Wärmeverbraucher und die komplizierte Vermaschung des Wärmekollektivs mit den verschiedenen Arten der Wärmerückgewinnung.

Adresse des Verfassers: B. Brechbühl, Projektleiter Abt. technische Gebäudeausrüstung, Amt für technische Anlagen und Luftthygiene des Kantons Zürich, 8090 Zürich.

## Messungen an der Gebäudehülle des Laborbaus

Von Benno Arbenz

Das Gebäude des Kantonalen Chemischen Laboratoriums wurde zur Überwachung und Steuerung der komplexen Wärmeversorgungsanlage mit einem kleinen Prozessrechner ausgerüstet. Mit diesem werden neben anderem Messdaten gesammelt und gespeichert. Damit ergab sich eine günstige Gelegenheit, auch einige Werte an der Gebäudehülle zu messen und auf Magnetband zu übertragen. Von besonderem Interesse ist dabei das thermische Verhalten von Wänden und Fenstern bei verschiedenen Klimalagen. Da nur eine beschränkte Anzahl Messstellen mit dem verfügbaren Kredit realisiert werden konnte, legte man sich auf die Messung von Oberflächentemperaturen an verschiede-

nen Bauteilen und auf die Messung der Sonneneinstrahlung fest. Diese Messungen geben einige Anhaltspunkte über das Verhalten bezüglich Wärmeaufnahme und -abgabe der untersuchten Teile. Anfänglich bestand auch die Hoffnung, aufgrund der Temperaturmessungen Aussagen über die Wärmedurchgangszahlen machen zu können. Werden nämlich Mittelwerte der Temperaturen über längere Zeiträume betrachtet, so kann die Wärmespeicherung als untergeordnete Grösse behandelt und vernachlässigt werden. Inzwischen durchgeführte Abklärungen zeigten jedoch, dass die Messgenauigkeit von Messfühler und Messumformer hiezu nicht ausreichen. Die Messfühler haben eine

Genauigkeit von  $\pm 0,8^\circ\text{C}$  und die Messumformer eine Genauigkeit von  $\pm 0,5\%$  auf ein  $\Delta T = 100^\circ\text{C}$ . Die erforderliche Messgenauigkeit müsste aber mindestens  $\pm 0,05^\circ\text{C}$  betragen, um einen  $k$ -Wert von  $0,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  mit einer Genauigkeit von rund  $\pm 0,05 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  zu bestimmen. Man kann aufgrund dieser Zahlen einen Eindruck bekommen, wie schwierig es ist,  $k$ -Werte an bestehenden Bauten zu messen. (Die uns bekannten  $k$ -Wert-Messeinrichtungen messen zwar neben den Temperaturen auch den Wärmestrom. Dieser kann aber auch nur über eine Temperaturdifferenzmessung an einer kalibrierten Messsonde bestimmt werden.)

Der Neubau des Kantonalen Chemischen Laboratoriums ist eine Konstruktion in Ortbeton, die in den Untergeschossen tragende Aussenwandscheiben und zwei Reihen Mittelpfeiler sowie in den eigentlichen Laborgeschossen tragende Fassadenpfeiler (Achsab-

stand 1,20 m), verbunden mit vorfabrizierten «Betonkämpfern», und zwei Reihen Mittelpfeiler aufweist. Die ganze Aussenseite der Konstruktion ist mit 6-cm-Steinwollplatten eingekleidet (geklebt und mechanisch gesichert). Der Kopfbau des Gebäudes weist eine hinterlüftete Fassadenvormauerung in Röben-Klinker von 11,5 cm Stärke auf. Der eigentliche Labortrakt dagegen besitzt eine hinterlüftete Fassadenverkleidung aus 3 mm dickem thermolackiertem Leichtmetallblech. Als Fenster wurden vollisolierte, thermolackierte Leichtmetallfenster mit dem Spezialglas Thermoplus 1,6 verwendet.

Die Aussenwand mit 20 cm Beton, 6 cm Steinwolle, 4 cm Luft und der Alu-Fassade weist einen berechneten  $k$ -Wert von  $0,57 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  auf. Die Aussenwand am Kopfbau mit 20 cm Beton, 6 cm Steinwolle, 3,5 cm Luft und 11,5 cm Röben-Klinker-Vormauerung dagegen erreicht einen  $k$ -Wert von  $0,48 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

Der Altbau, mit dem der Neubau verbunden ist, stammt aus dem Anfang dieses Jahrhunderts und weist 50 cm dicke, beidseitig verputzte Backsteinwände auf. Die Fenster sind als Doppelfenster mit Holzrahmen ausgeführt. Der Scheibenabstand beträgt etwa 4 cm. Die Aussenwand mit 2 cm Innenputz, 50 cm Backstein und 2 cm Aussenputz weist einen  $k$ -Wert von  $0,64 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  auf. Sie ist damit sehr massiv und entspricht ganz und gar nicht der in neuerer Zeit üblichen Bauweise.

Das Spezialglas Thermoplus im Neubau besteht aus zwei Glasscheiben, von denen die raumseitige Scheibe auf der

Tabelle 1. Daten der Gebäudehülle

	A	k	$b \cdot A \cdot k$ bzw. $s \cdot A \cdot k$ ***
Gebäudevolumen V	13 800 m <sup>3</sup>		
Alu-Fassade	940,45 m <sup>2</sup>	0,57 W/m <sup>2</sup> K	536 W/K
Klinker-Fassade	528,8 m <sup>2</sup>	0,48 W/m <sup>2</sup> K	254 W/K
Dach	606,04 m <sup>2</sup>	0,45 W/m <sup>2</sup> K	273 W/K
* Fenster SW/SO (s = 0,7)	150,34 m <sup>2</sup>	2,02 W/m <sup>2</sup> K	212 W/K
* Fenster NO/NW (s = 1)	163,31 m <sup>2</sup>	2,02 W/m <sup>2</sup> K	330 W/K
Aussenwand-Erdreich (b = 0,5)	825,64 m <sup>2</sup>	0,64 W/m <sup>2</sup> K	264 W/K
** Boden-Erdreich (b = 0,5)	606,04 m <sup>2</sup>	1,56 W/m <sup>2</sup> K	473 W/K
Grundwert $\rightarrow C_0 = 0,75$			
$\frac{\sum A}{V} = 0,28 \rightarrow C_1 = 1,23$			
H = 450 m.ü.M. $\rightarrow C_2 = 1,01$			
T <sub>R</sub> = 20 °C $\rightarrow C_3 = 1,0$			
	$\bar{k}_{\text{Zul}} = 0,83 \text{ W/m}^2 \text{ K}$		$\bar{k} = \frac{\sum b \cdot A \cdot k}{\sum A} = 0,61 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

\* Fenster: Anteil Rahmen an totaler Fensterfläche 38,15%  
Scheibe  $k = 1,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , Rahmen  $k = 2,69 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  – Fenster:  $k = 2,02 \text{ W/m}^2 \text{ K}$   
\*\* Das unterste Stockwerk wurde in die  $k$ -Berechnung miteinbezogen, obwohl es nicht eigentlich beheizt, sondern nur durch Verlustwärme der technischen Installationen erwärmt wird.  
\*\*\* Gemäss SIA 180/1 Ausgabe 1980  
 $b$  = Koeffizient für Bauteile (Dach, Wände, Boden),  $s$  = Besonnungskoeffizient für Fenster

zum Scheibenzwischenraum weisenden Seite mit einer hauchdünnen Wärmeschutzgoldbeschichtung ausgerüstet ist. Die beiden Scheiben sind gasdicht zusammengeschlossen und der Zwischenraum mit einem Luft-Gas-Gemisch gefüllt. Dabei hat die Luft-Gas-Füllung die Aufgabe, die Wärmeleitung zwischen den beiden Scheiben zu reduzieren; die Goldbeschichtung hat die Aufgabe, den Durchgang der Wärmestrahlung zu vermindern. Die Fensterrahmen bestehen aus einem thermolackierten, wärmegeprägten Aluminiumprofil mit einem Rahmenanteil von rund 38% an der gesamten Fensterfläche.

Weitere Daten der Gebäudehülle des Neubaus sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Daraus kann entnommen werden, dass der Laborbau die Anforderungen an den mittleren  $k$ -Wert der

1980 erschienenen Empfehlung SIA 180/1 erfüllt, obwohl er gebaut wurde, bevor der Kanton Vorschriften über die Wärmedämmung erlassen hat und bevor die revidierte Empfehlung SIA 180/1 erschienen ist. Dieses Resultat wird vor allem dank der kleinen Fensterfläche erreicht.

An der Südwestfassade werden an mehreren Stellen die Temperaturen gemessen und laufend registriert, um das thermische Verhalten verschiedener Bauteile festzustellen. Für Vergleichszwecke werden die gleichen Messungen auch an einer Stelle der Nordostfassade vorgenommen. Ausserdem wird auch die Sonneneinstrahlung auf der Südwestfassade gemessen und registriert. Das Solarimeter hierfür ist etwa in Fasadennitte angebracht, so dass es ange-

Bild 1. Messungen Südwestseite: Temperaturen und Einstrahlung am 21. Aug. 1980

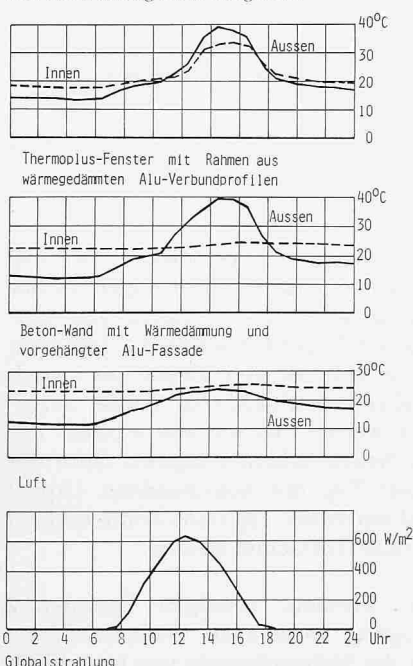


Bild 2. Messungen Südwestseite: Temperaturen und Einstrahlung am 21. Aug. 1980

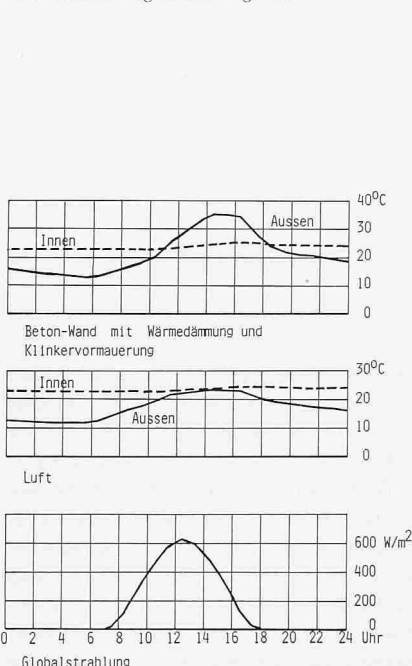
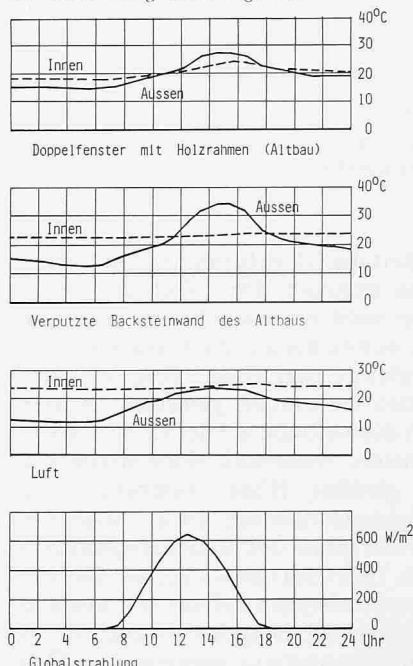


Bild 3. Messungen Südwestseite: Temperaturen und Einstrahlung am 21. Aug. 1980



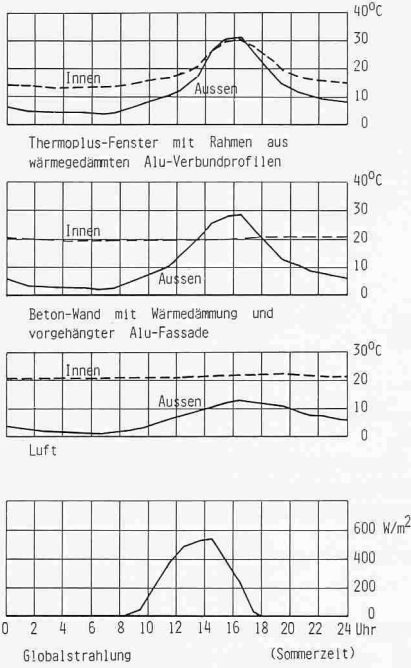


Bild 4. Messungen Südwestseite: Temperaturen und Einstrahlung am 24. April 1981

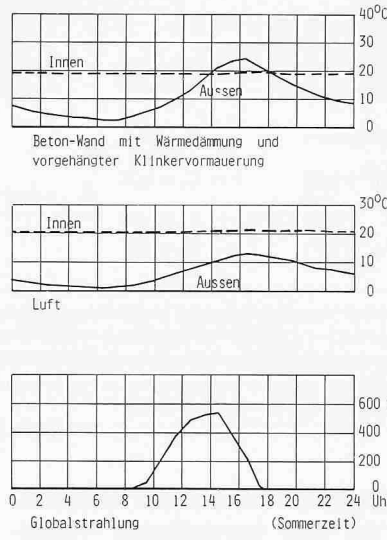


Bild 5. Messungen Südwestseite: Temperaturen und Einstrahlung am 24. April 1981

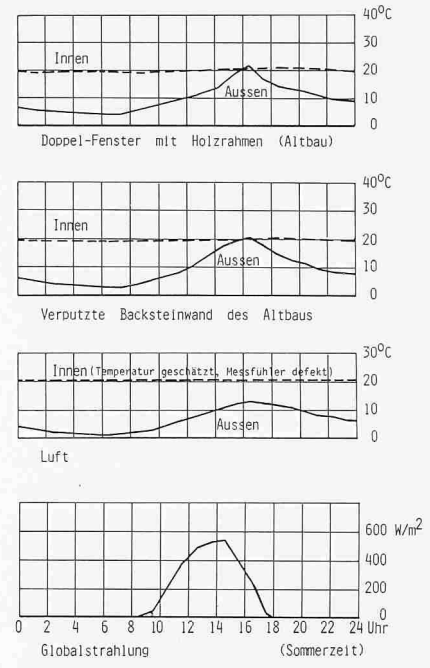


Bild 6. Messungen Südwestseite: Temperaturen und Einstrahlung am 24. April 1981

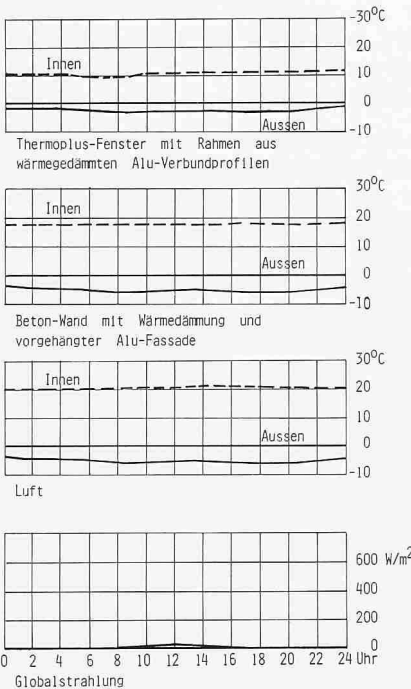


Bild 7. Messungen Südwestseite: Temperaturen und Einstrahlung am 17. Jan. 1980

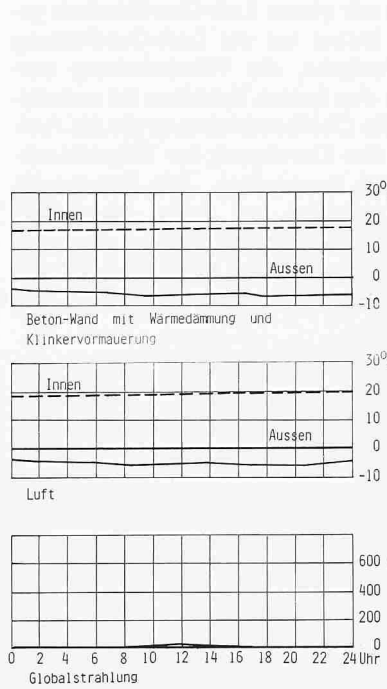


Bild 8. Messungen Südwestseite: Temperaturen und Einstrahlung am 17. Jan. 1980

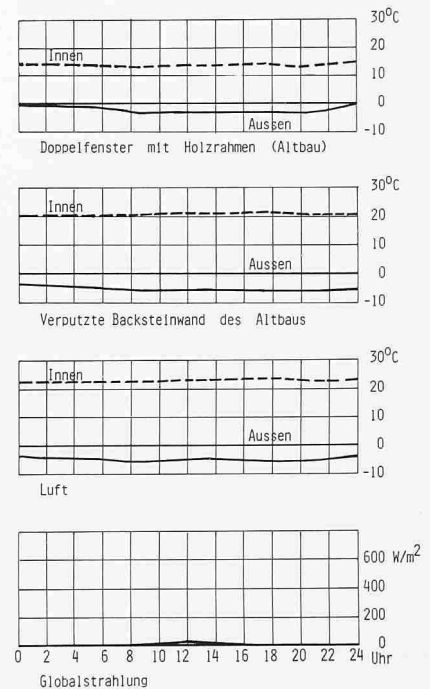


Bild 9. Messungen Südwestseite: Temperaturen und Einstrahlung am 17. Jan. 1980

nähert die Globalstrahlung auf die Fassade ermittelt. Dem Gebäude gegenüber steht südwestlich eine Häuserreihe, welche die auf die Fassade fallende Strahlung beeinflusst. Folgende Temperaturen wurden gemessen: Aussenluft Südwestseite auf der Höhe des Solarmeters, Aussenluft Nordostseite etwa in gleicher Höhe, Temperatur der Leichtmetallfassade (Alu), Wandtemperatur innen und Raumtemperatur innen. Dies wird sowohl auf der Südwestfassade wie auch auf der Nordostfassade gemessen. Dasselbe gilt auch für die Fenstertemperatur, gemessen am Ther-

moplasglas aussen und innen im Abstand von einigen cm vom Rahmen. Da das Gebäude benutzt wird, konnten keine Messfühler weiter gegen die Scheibenmitte angebracht werden. Nur an der Südwestseite werden die Temperaturen der Klinker-Vormauerung auf der Aussenseite sowie die dazugehörigen Wand- und Raumtemperaturen auf der Innenseite gemessen. Zu Vergleichszwecken wurden am Altbau in etwa gleicher Höhe Wandaussen- und Wandinnentemperatur sowie die Temperaturen der Aussen- und der Innenseiten des Doppelfensters und die

Raumtemperatur gemessen. Hier soll jedoch nur auf die Messungen an der Südwestseite näher eingegangen werden. Im folgenden sollen die Temperaturverläufe an drei Tagen mit grundsätzlich verschiedenem Klima analysiert werden. Es soll ein warmer Tag mit Sonnenschein (August), dann ein kalter Tag mit Sonnenschein (April) und ein kalter Tag ohne Sonnenschein (Januar) betrachtet werden.

Am warmen, sonnigen Sommertag (August), an dem die Globalstrahlung auf die Südwestfassade von etwa 07.00

bis 18.00 Uhr messbare Werte annimmt und das Maximum um 12.30 Uhr den Wert von 620 Watt pro m<sup>2</sup> erreicht, kann der Einfluss der Sonnenstrahlung auf die Temperaturen der untersuchten Bauteile sehr deutlich gesehen werden (Bilder 1 bis 3). Die Temperaturen der Alu-Fassade, der Klinker-Vormauerung und der Altbaufassade folgen zunächst alle dem Temperaturverlauf der Aussenluft. Mit einer Verzögerung von 2 bis 3 Std. gegenüber dem Einsetzen der Globalstrahlung beginnen deren Temperaturen stärker anzusteigen und übernehmen in mehr oder weniger ausgeprägter Form den Verlauf der Globalstrahlung mit der erwähnten Zeitdifferenz. Der Knick im Temperaturverlauf der Aussenbauteile gegen 10.30 Uhr wird durch das Einsetzen der direkten Sonnenstrahlung auf die Fassade hervorgerufen (der genaue Zeitpunkt der direkten Sonnenbestrahlung wurde vom EIR berechnet).

Dasselbe Verhalten wird auch beim Thermoplas-Fenster festgestellt. Beim Doppelscheibenfenster des Altbaus dagegen kann dieses Verhalten nur noch sehr schwach bei der Temperatur der Aussenscheibe und kaum mehr bei der Innenscheibe festgestellt werden. Demgegenüber weisen die Wandtemperaturen innen und die Raumtemperaturen nur sehr geringe Veränderungen auf. Interessant ist, dass sich nicht nur die Alu-Fassade, sondern auch die Aussenscheibe des Thermoplas-Fensters bis auf 39 °C erwärmt hat und die Innenscheibe immerhin noch 33 °C erreicht. (Die starke Erwärmung der Innenscheibe wurde auch bei Messungen der EPFL festgestellt, mündliche Mitteilung von Dr. J. B. Gay, EPFL.) Im Gegensatz hierzu beträgt die maximale Temperatur der Aussenscheibe am Doppelfenster des Altbaus nur 27 °C und die Innenscheibe erreicht nur 24 °C. (Die Messfühler an den Glasscheiben sind in Araldit eingebettet und weisen eine matte, rohe Aluminiumabdeckung auf. Es ist daher möglich, dass die Fühler an den Aussenscheiben bei direkter Bestrahlung eine etwas zu hohe Temperatur messen. Für weitere Messungen soll die Abdeckung weiss gestrichen werden. Der Unterschied

zwischen den beiden Fenstertypen ist jedoch markant.) Die Altbau-Fassade erreicht aussen eine Temperatur von 34 °C und die Klinker-Vormauerung am Neubau eine solche von 35 °C, während die Aussenslufttemperatur im Maximum 24 °C beträgt und die Innentemperaturen auf maximal 25 °C steigen. (Diese Messfühler sind ebenfalls in Araldit eingebettet, weisen aber eine Kunststoffabdeckung auf.)

Die Messungen am kalten, sonnigen Frühlingstag (April) zeigen ein sehr ähnliches Bild, mit dem Unterschied, dass die Temperaturen aussen tiefer liegen und die Strahlung auf die Fassade im Maximum den Wert 530 Watt pro m<sup>2</sup> erreicht (Bilder 4 bis 6). Aber auch hier erwärmt sich die Alu-Fassade noch auf eine Temperatur von 28 °C, die Klinker-Vormauerung auf 24 °C, die Altbauwand dagegen nur auf 20 °C. Die Aussenscheibe des Thermoplas-Fensters erreicht gar eine Temperatur von 31 °C und die Innenscheibe 30 °C. Im Gegensatz hierzu weisen die Scheiben des Doppelfensters am Altbau nur eine Temperatur von 22 °C bzw. 21 °C als Maximum auf. Die Aussenluft erwärmt sich nur auf 13 °C.

Die Messungen am kalten, sonnenlosen Wintertag (Januar) ergeben folgende Daten (Bild 7 bis 9): Die Alu-Fassade nimmt nahezu die Temperatur der Aussenluft an. Dasselbe gilt aber auch für die Temperatur aussen an der Klinker-Fassade und der Altbau-Fassade. Die Wandtemperaturen innen liegen in allen drei Fällen etwa 2 bis 3 °C unter der Raumlufttemperatur. Dabei ist im Altbau die Raumtemperatur rund 2 bis 3 °C höher, da die Heizung auf eine höhere Temperatur eingestellt ist. Die Aussenscheibe des Thermoplas-Fensters zeigt eine Temperatur von etwa -2 bis -3 °C und liegt damit nur rund 4 bis 5 °C über der Aussentemperatur. Die beschichtete Innenscheibe dagegen hat eine Temperatur von rund 10 °C und liegt damit rund 10 °C unter der Raumlufttemperatur. Die Aussenscheibe des Doppelfensters im Altbau zeigt eine Temperatur von 0 bis -3 °C und liegt somit 5 bis 6 °C über der Aussenslufttemperatur. Die Innenscheibe des Doppelfensters hat eine Temperatur

von 13 bis 15 °C und liegt damit nur 8 bis 9 °C tiefer als die Innenraumtemperatur.

Die Messungen zeigen deutlich, wie stark sich leichte Bauteile, welche die Sonnenstrahlung absorbieren, aufheizen. Dies bringt für diese Bauteile eine grössere Wärmedehnung und damit eine höhere mechanische Beanspruchung der Konstruktion. Massive Bauteile, wie die Klinker-Vormauerung und die verputzte Backsteinwand des Altbaus, wärmen sich weniger stark auf und verhalten sich einander viel ähnlicher. Bei den Fenstern fällt der grosse Unterschied zwischen den beschichteten und den unbeschichteten Fensterscheiben auf. Fenster mit beschichteten Scheiben wärmen sich stärker auf und haben demzufolge merklich höhere Wärmedehnungen aufzunehmen. Aufgrund der gemessenen Fenstertemperaturen kann festgestellt werden, dass die Thermoplas-Fenster mit ihrer Beschichtung im Vergleich zu den gewöhnlichen Doppelfenstern nicht nur Vorteile, sondern auch Nachteile aufweisen, wie z. B. die starke Erwärmung im Sommer.

Für weitergehende Untersuchungen, die genauen Aufschluss über den dynamischen Vorgang der Wärmespeicherung in Wänden geben können, sind auch Temperaturmessungen im Wandinnern erforderlich. Solche Untersuchungen könnten besseren Aufschluss geben über die Sonnenenergienutzung durch Wände und die theoretischen Untersuchungen über Wärme-Speicherung ergänzen. Genauere Kenntnisse über diese Vorgänge unter praktischen Verhältnissen wären von Nutzen sowohl für die Entwicklung optimaler Bauweisen allgemein wie auch für den Bau sogenannter «Trombe-Wände» für die passive Sonnenenergiespeicherung. Es wäre wünschenswert, dass sich bei irgendeinem anderen hiezu geeigneten Bauvorhaben die Möglichkeit für die Durchführung solcher Messungen ergeben würde.

Adresse des Verfassers: Dr. sc. techn. B. Arbenz, Leiter der Abteilung Energietechnik, Amt für technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich, 8090 Zürich.