

Bauobjektgerechter sommerlicher Wärmeschutz

P. Szabo

Professor für Bauphysik, Fachhochschule Dortmund

1. Einleitung.

Das Wärmeverhalten von einem Gebäude unter sommerlichen Wetterverhältnissen ergibt sich aus dem Wärmeverhalten seiner Einzelräume, die sich auch gegenseitig beeinflussen. Deshalb muss die Regelung (oder Normierung) des sommerlichen Wärmeschutzes Massnahmen beinhalten, die jeweils für einen Raum oder für einen gut abgrenzbaren Abschnitt (z. B. gleichorientierte Zimmerflucht einer Etage) des Bauobjektes gelten. Dabei sind nicht klimatisierte und klimatisierte Räume (oder Abschnitte) zu unterscheiden.

Der moderne sommerliche Wärmeschutz strebt auch die weitgehende Vermeidung der Gebäudeklimatisierung mit Rücksicht auf die Energieeinsparung an. Die Grundlagen für die Auslegung des Gebäudes für den sommerlichen Wärmeschutz müssen so konzipiert sein, dass sie auch eine Beurteilungsunterlage für die Entscheidung liefern, ob in einem Neubau für verschiedene Räume eine Klimatisierung für den Sommer aus thermischen Gründen notwendig ist. Das nachfolgend vorgestellte Wärmeschutzkonzept ist in diesem Sinne entworfen.

Das Wärmeverhalten eines nicht klimatisierten Raumes wird durch das Zusammenwirken mehrerer Einflussgrößen bestimmt:

- Gesamtenergiedurchlassgrad der transparenten Bauteile,
- Intensität der Belüftung,
- Innenbauart, d. h. die Wärmespeicherefähigkeit der inneren Bauteile und Einrichtung,
- Orientierung der transparenten Bauteile und
- instationäres Wärmeverhalten der Aussenbauteile

Die jeweilige Bedeutung der einzelnen Einflussgrößen wird durch die meteorologischen Verhältnisse, die raumklimatischen Anforderungen und die Nutzungsbedingungen des Gebäudes mitbestimmt.

Bei klimatisierten Räumen sind zwei Einflussgrößen massge-

bend:

- innere Wärmelast und
- Gesamtenergiedurchlassgrad der transparenten Bauteile.

Dabei sind sowohl für nicht klimatisierte als auch für klimatisierte Räume die meteorologischen und klimatologischen Randbedingungen zu beachten.

Bei nicht klimatisierten Räumen sind die Beurteilungskriterien des sommerlichen Raumklimas die maximale Raumlufttemperatur im eingeschwungenem sommerlichen Zustand und die maximalen raumseitigen Oberflächentemperaturen der Aussenbauteile.

Das Kriterium des Wärmeschutzes bei klimatisierten Räumen ist die Einschränkung der für die Erhaltung des klimatisierten zustandes notwendigen Energiemenge.

2. Meteorologische Randbedingungen.

Der Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes werden drei Klimabereiche zugrunde gelegt. Massgebend ist der maximale Sommertemperaturverlauf, d. h. der Verlauf der Aussenlufttemperatur im Sommer über den 24-Studentag, an welchem die maximale Kühllast auftritt. Für die charakterisierung der drei europäische Klimazonen werden drei für die Zonen typische Temperaturablaufkurven ausgewählt.

- Klimazone I. Mediterran und kontinental warm.
 $t_{\max} = 35^{\circ}\text{C}$, $\Delta t = 17\text{ K}$
- Klimazone II. Gemässigt atlantisch und kontinental
 $t_{\max} = 32^{\circ}\text{C}$, $\Delta t = 16\text{ K}$
- Klimazone III. Kühl atlantisch und kontinental.
 $t_{\max} = 26^{\circ}\text{C}$, $\Delta t = 13\text{ K}$

Für die nördliche Bereiche Europas müssen die meteorologischen Randbedingungen anderes bewertet werden, was in diesem Rahmen nicht behandelt werden kann. Die drei Klimazonen sind Bereiche mit einem ausgeprägtem Tagesrhythmus mit der entsprechenden Verteilung der Intensität der Sonneneinstrahlung.

Im Bild 1. sind die ausgewählten Temperaturablaufkurven und im Bild 2. die Klimazonen in Europa dargestellt. Die rechnerische Untersuchungen haben eine grössere Detailierung nicht als

Bild 1. Maximale Sommertemperaturkurven der Klimabereiche.

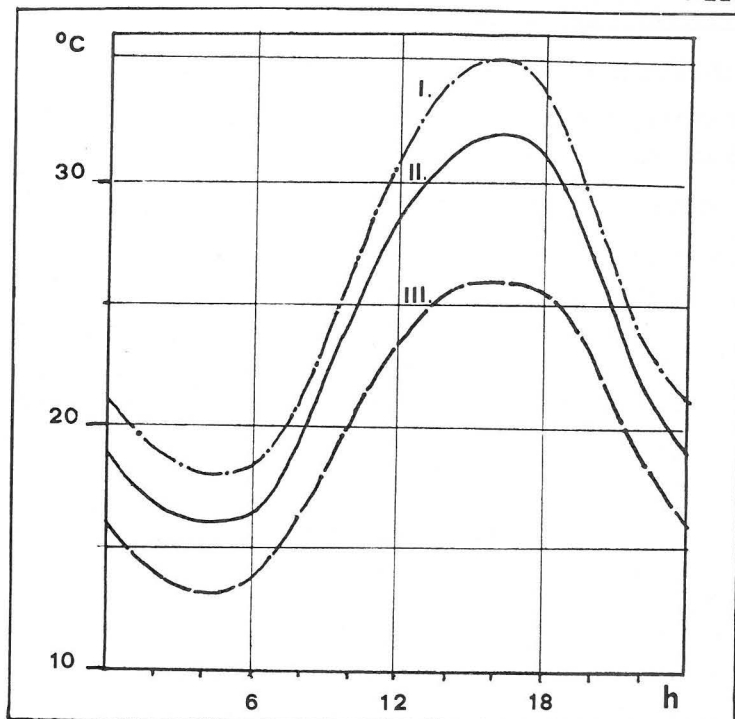
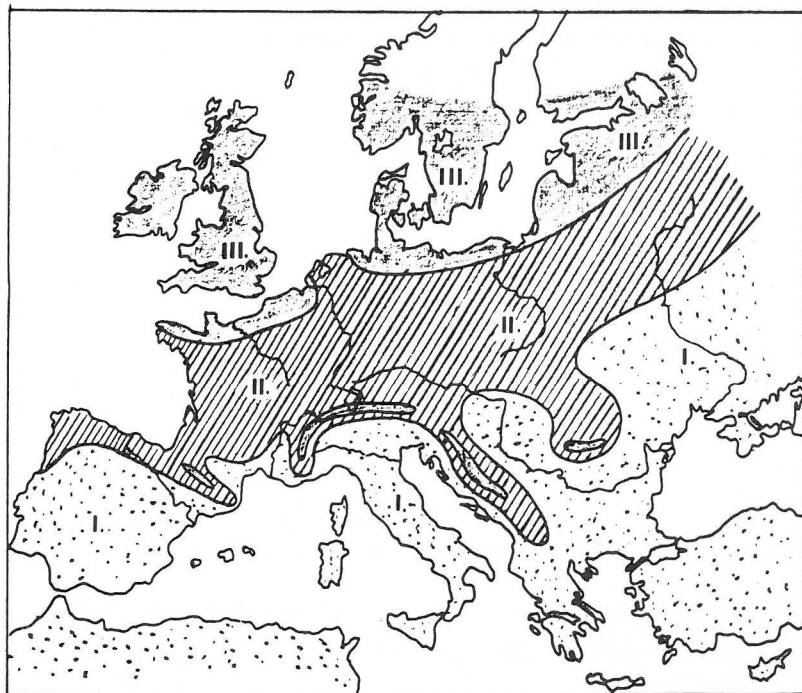


Bild 3. Klimazonen für sommerlichen Wärmeschutz.



3. Raumklimatische Konditionen.

3.1. Nicht klimatisierte Räume.

Die raumklimatische Konditionen werden für nicht klimatisierte Räume wie folgt festgelegt:

- maximale Raumlufthtemperatur $\bar{t}_{i \max} = + 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- mittlere raumseitige Oberflächen-
temperatur der Aussenbauteile $\bar{t}_{oi \text{ I.}} \leq + 27 \text{ }^{\circ}\text{C}$
(inkl. Fenster u. Sonnenschutz) $\bar{t}_{oi \text{ II.}} \leq + 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$

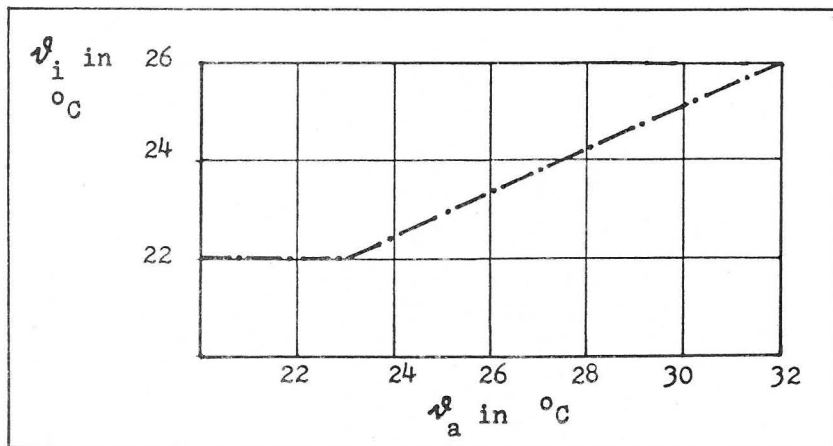
Die hier angegebenen mittleren raumseitigen Oberflächentemperaturen sind der maximalen Raumlufthtemperatur zugeordnete Höchstwerte.

Für die Klimazone III. hat die raumseitige Oberflächentemperatur keine Bedeutung.

3.2. Klimatisierte Räume.

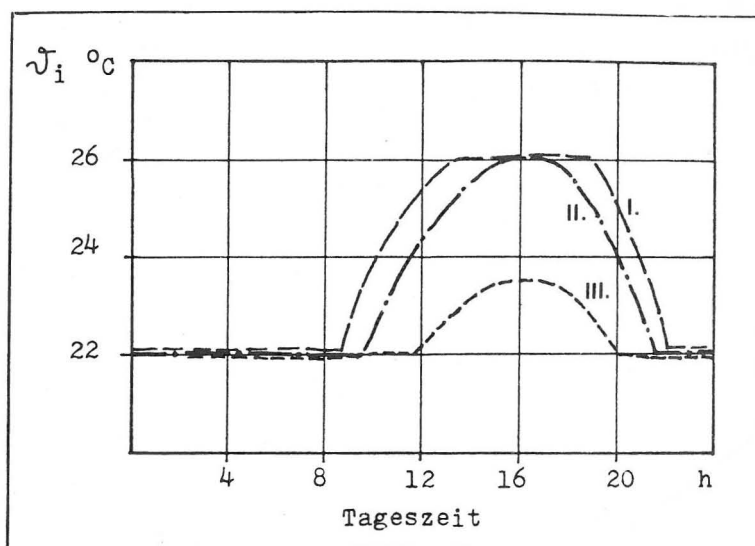
Die zugrunde gelegte raumklimatische Konditionen für klimatisierte Räume sind in den Bildern 3. und 4. dargestellt. Auch hier handelt es sich um die zulässigen maximalen Raumlufthtemperaturen.

Bild 3. Zusammenhang zwischen Aussenluft- und Raumlufthtemperaturen in klimatisierten Räumen.



Diese Abhängigkeit wird auch als Grenzwert für die Auslegung der Klimatisierung (Kühlleistungsberechnung) angenommen.

Bild 4. Verlauf der maximal zulässigen Raumlufthtemperatur in klimatisierten Räumen, bezogen auf die maximale Sommertemperaturverlauf.



4. Zulässiger mittlerer Gesamtenergiedurchlassgrad der Aussenbauteile eines Raumes.

4.1. Nicht klimatisierte Räume.

Der zulässige mittlere Gesamtenergiedurchlassgrad der Aussenbauteile eines Raumes wird festgelegt:

$$\bar{\epsilon}_{zul} = Z_0 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \cdot Z_3 \cdot Z_4$$

Z_0 0,08 Grundwert

Z_1 Luftwechselfaktor

Z_2 Faktor für Innenbauart

Z_3 Faktor für Orientierung

Z_4 Faktor für Klimabereich

Der Gesamtenergiedurchlassgrad ist der Quotient des durch die transparenten Bauteile durchgelassenen Wärmestromes (inkl. Primär- und Sekundärstrahlung) zur einfallenden Gesamtstrahlung. Der durchschnittliche Gesamtenergiedurchlassgrad aller

transparenten Bauteile eines Raumes ist annäherungsweise der effektive mittlere Gesamtenergiedurchlassgrad der Aussenhaut dieses Raumes.

4.2. Faktoren.

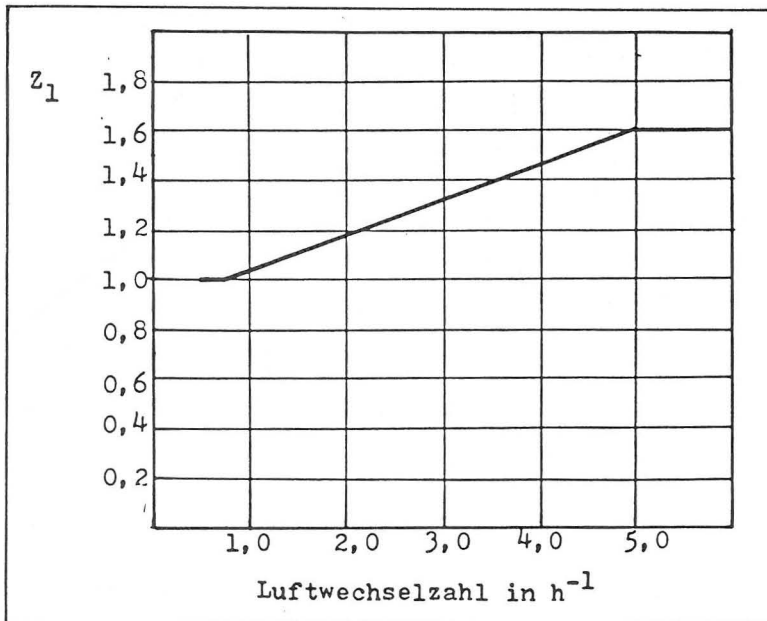
4.2.1. Luftwechselfaktor zur Berücksichtigung des Luftaustausches.

Für den Luftaustausch ist die Luftwechselzahl für natürliche Lüftung massgebend. Insbesondere ist die Nachtlüftung zu beachten.

Bei sommerlichen Temperaturen bedarf der Mensch einen Luftaustausch von $2-2,5 \text{ h}^{-1}$. Zur Auskühlung der Räume ist es vorteilhaft die Fenster nachts zu öffnen.

Zur Ermittlung des Luftwechselfaktors (Z_1) kann das folgende Diagramm verwendet werden.

Bild 5. Luftwechselfaktor in Abhängigkeit von Luftwechselzahlen.



4.2.2. Faktor für Innenbauart.

Für die Innenbauart werden die Massen der Bauteile berücksichtigt, die im thermischen Sinne für das Raumklima wirksam sind:

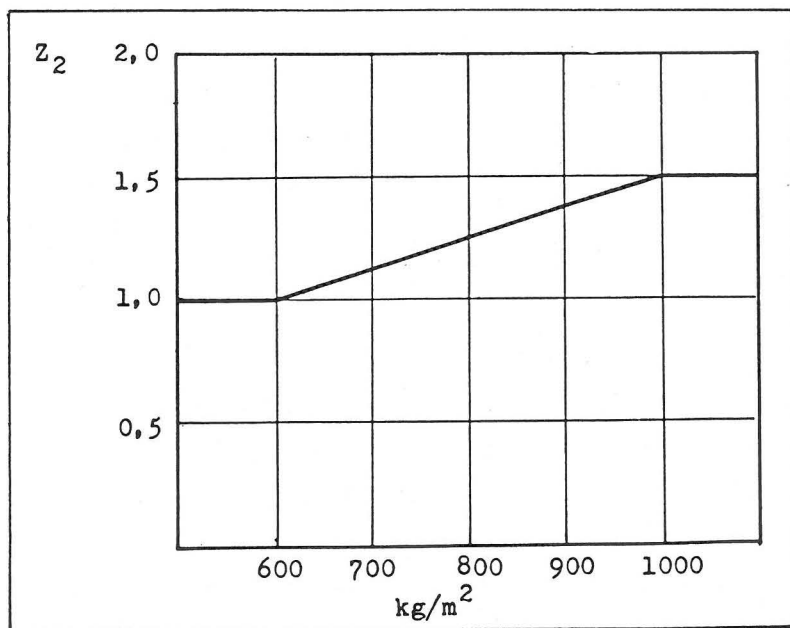
- Bauteile, welche voll im Raum liegen werden mitge-

rechnet, wenn sie nicht durch eine Dämmschicht mit $R \geq 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ allseitig abgedeckt sind.

- Innenliegende raumabgrenzende Bauteile werden zur Hälfte mitgerechnet, wenn sie raumseitig nicht durch eine Dämmschicht mit $R \geq 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ abgedeckt sind.
- Homogene (oder quasi homogene) Aussenbauteile werden zur Hälfte in Rechnung gesetzt.
- Bei mehrschichtigen Aussenbauteilen werden die raumzugewandten Schichten bis zu einer Dämmschicht mit einer $\lambda \leq 0,1 \text{ W/mK}$ mitgerechnet.
- Bauteile aus Holz und Holzwerkstoffen werden wegen ihrer hohen spezifischen Wärmekapazität mit dem zweifachen Wert gerechnet.

Die so ermittelte wirksame Masse wird auf die gesamte Fläche der Aussenbauteile (Aussenhaut) bezogen (kg/m^2), was den Koeffizienten für Innenbauart ergibt. Mit diesem Koeffizienten kann der Faktor für Innenbauart (Z_2) aus dem folgenden Diagramm ermittelt werden.

Bild 6. Faktor für Innenbauart in Abhängigkeit vom Koeffizienten für Innenbauart.



4.2.3. Faktor für Orientierung (Strahlungsintensität).

Die Orientierung der Aussenbauteile wird in der Ermittlung des zulässigen mittleren Gesamtenergiedurchlassgrades, wie folgt, berücksichtigt:

Orientierung (o. Beschattung)	Z_3
Zenith	0,9
S/W/E	1,0
NW/NE	1,5
N	1,8
Beschattet (mehr als 60 %)	1,8

4.2.4. Faktor für Klimabereich.

Die Klimabereiche werden mit folgenden Faktoren eingestzt:

Klimazonen (siehe Ziff. 2)	Z_4
Klimazone I.	0,8
Klimazone II.	1,0
Klimazone III.	1,4

4.3. Klimatisierte Räume.

Für klimatisierte Räume mit einer internen Wärmelast von $\leq 30 \text{ W/m}^2$ (bezogen auf die Fläche der Aussenbauteile) werden folgende zulässige mittlere Gesamtenergiedurchlassgrade festgelegt:

Klimazone I.	$\bar{\epsilon}'_{\text{zul}} \leq$	0,08
Klimazone II.	$\bar{\epsilon}_{\text{zul}} \leq$	0,1

Für Klimazone III sollte die Klimatisierung Ausnahme bilden.

Räume mit einer höheren Wärmelast sollten nach den Kühllastregeln im Sinne eines optimierten Energiehaushaltes ausgelegt werden.

5. Berechnung des effektiven mittleren Gesamtenergiedurchlassgrades eines Raumes (oder Gebäudeabschnittes).

Bei der Berechnung wird die Orientierung bzw. Beschattung der Fassadenteile oder Decken mit berücksichtigt.

Für die Ermittlung des Flächenanteiles der transparenten Bauteile (Fenster, Fenstertüren, Glasbausteine etc) sind die Aussenmasse des Gebäudes und die Rohmasse der Oeffnungen

massgebend.

$$\bar{g} = \frac{\sum g \cdot f \cdot A_f \cdot n}{\sum A_f}$$

g Gesamtenergiedurchlassgrad der transparenten Bauteile

f transparenter Flächenanteil im Gebäudeteil
 $A_f / (A_f + A_b)$

A_f transparente Flächen

n Faktor für Orientierung der transparenten Flächen

A_b Fläche des Gebäudeteiles ohne transparente Flächen

Der Faktor für die Orientierung wird wie folgt eingesetzt:

N/NW/NE $n = 0,5$

S/W/E $n = 1,0$

Zenith (60°) $n = 1,2$

Beschattet $n = 0,5$

Der Gesamtenergiedurchlassgrad der einzelnen transparenten Bauteile kann aus der Fachliteratur (z. B. DIN 4108 Teil 2) entnommen oder messtechnisch nachgewiesen werden.

6. Thermische Konditionen der Aussenbauteile.

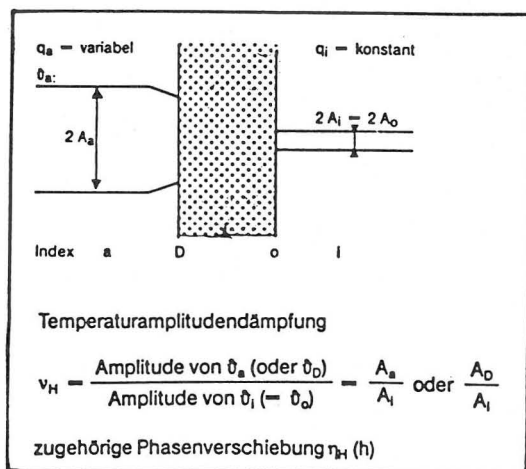
Um ein behagliches Raumklima zu sichern sind Aussenkonstruktionen mit einem grossen Wärmedurchlasswiderstand und mit einer starken Temperaturamplitudendämpfung anzustreben. Die instationären Kennwerte der Aussenbauteile müssen so dimensioniert sein, dass die mittlere raumseitige Oberflächentemperatur eingehalten werden kann.

Es werden Grenz- und Richtwerte für die Temperaturamplitudendämpfung und die dazu gehörende Phasenverschiebung festgelegt.

Für die Auslegung der Aussenbauteile gilt die Berechnung für den sog. nicht klimatisierten Fall nach Heindl.

Die Annahmen sind im Bild 7. nach Sagelsdorff dargestellt.

Bild 7. Temperaturamplitudendämpfung im nicht klimatisierten Fall.



Folgende Grenzwerte der Temperaturamplitudendämpfung und Richtwerte der Phasenverschiebung werden festgelegt:

Kennwerte	Klimazonen	Orientierung		
		N/NE/NW	S/E/W	Zenith
v_H	I	≥ 10	≥ 12	≥ 15
	II	≥ 8	≥ 10	≥ 12
η_H	I	8	9	10
	II	6	8	9

Für die Klimazone III ist eine solche Festschreibung der instationären Kenndaten der Aussenbauteile aus thermischen Gründen des sommerlichen Wärmeschutzes nicht zwingend.

Einzelbauteile der Gebäudehülle mit einer Innenisolation müssen ein k-Wert von $k \leq 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ aufweisen. Zu solchen Bauteilen werden auch Konstruktionen mit innenliegenden Vormauerungen und Vorsatzschalen gezählt.

7. Bewertung nach dem zulässigen Gesamtenergiedurchlassgrad und nach den instationären Kennwerten.

Grundsätzlich müssen nicht klimatisierte Räume den zulässigen

mittleren Gesamtenergiedurchlassgrad einhalten bzw. unterschreiten

$$\bar{g} \leq \bar{g}_{zul}$$

Das gleiche gilt für die Einhaltung der Grenzwerte der instationären Kenndaten.

Wenn die zulässigen Grenzwerte des Gesamtenergiedurchlassgrades und der instationären Kenndaten für nicht klimatisierten Räume erfüllt sind, kann aus thermischen Gründen auf eine Klimatisierung verzichtet werden.

8. Anwendungsbeispiel.

Objekt: Zimmerflucht eines biologischen Laboratoriums (wird im süddeutschen Raum realisiert) mit Orientierung nach Süden. Fensteranteil in der Fassade 45 %.

Variante in Klimazone I. $\bar{g}_{zul} = 0,125$

Luftwechselzahl $n = 2,5 \text{ h}^{-1}$
Innenbauart $= 1000 \text{ kg/m}^2$

Massive Zwischenwände (Mauerwerke) sind erforderlich. Schwere isolierte Aussenkonstruktionen (z. B. Sandwich oder zweisch. Mauerwerk).

Sonnenschutz: Jalousien aussenliegend.

Gesamtenergiedurchlassgrad $\bar{g} = 0,108$

Variante in Klimazone II. $\bar{g}_{zul} = 0,130$

Luftwechselzahl $n = 2,5 \text{ h}^{-1}$
Innenbauart $= 800 \text{ kg/m}^2$

Mobile leichte Trennwände können verwendet werden. Schwere bzw mittelschwere isolierte Aussenkonstruktion evt. auch Grossblockmauerwerk.

Sonnenschutz: Jalousien aussenliegend.

Gesamtenergiedurchlassgrad $\bar{g} = 0,108$

Variante in Klimazone III. $\bar{g}_{zul} = 0,146$

Luftwechselzahl $n = 2,5 \text{ h}^{-1}$
Innenbauart $= 600 \text{ kg/m}^2$

Leichte Bauweise möglich; leichte Trennwände und leichte (stark wärmegeämmte) Aussenwände. Vorteilhaft sind Holzwerkstoffe.

Sonnenschutz: Markisen (oben u. unten ventiliert)

Gesamtenergiedurchlassgrad $\bar{g} = 0,144$

9. Zusammenfassung.

Mit Berücksichtigung der thermischen Einflussgrössen gemäss ihrer Mitwirkung in der Sommerperiode unter den gegebenen klimatischen Konditionen werden für die Räume zulässige Energiedurchlassgrade ermittelt und für die raumklimatische Bedingungen instationäre Kenndaten der Aussenkonstruktionen festgesetzt. Sie liefern die Grundlagen für die Dimensionierung der notwendigen baulichen Massnahmen; z. B. Auslegung der Sonnenschutzanlagen, der Aussenwände, Bestimmung des Fensterflächenanteiles.

Die beschriebene Methode liefert auch für die Entscheidung eine Beurteilungsgrundlage, ob in einem Neubau für Räume eine Klimatisierung aus thermischen Gründen notwendig ist.

Eine richtige Anwendung kann nur unter Berücksichtigung des winterlichen Wärmeschutzes und des Schallschutzes erfolgen.

10. Literatur.

- Finger, G., Kneubühl, F., Thiébaud, F., Zürcher, Ch., Frank, Th. Verbesserung des Energiehaushaltes von Gebäuden durch Verminderung der Wärmeabstrahlung von Fenstern und Fassaden Schweizer Ing. und Architekt. 1979 Heft 17.
- Gass, J. Beeinflussung des Transmissionsverlustes von Mauerwerk durch absorbierte Sonneneinstrahlung. Bauwesen u. seine Materialien, 1980.
- Gertis, K., Hauser G. Der sommerliche Wärmeschutz von Gebäuden. Klima+Kälte-Ingenieur, 1980 Heft 2.
- Sagelsdorff, R. Fenster-Sonnenschutz. Schweizerische Blätter für Heizung und Lüftung. 1969 Heft 2.
- Sagelsdorf, R., Stähli, U. Grundlagen zur Beurteilung von Aussenwänden für den sommerlichen Wärmeschutz. Schweizerische Bauzeitung. 1977 Heft 10.
- Quenzel, KH. Meteorologische Daten. Forster Verlag 1969.
- Winkler, U. Sonnenschutzanlagen: Wirksamkeit-Erfahrungen Dimensionierung. Detail 1980 Heft 2.