

## Rechentechnische Untersuchung des Innenklimas eines Bürogebäudes bei unterschiedlichen Verglasungen

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer

Dipl.-Ing. Frank Eßmann

### 1 Einleitung

Große Verglasungsflächen, als Ausdruck moderner Architektur bieten bedingt durch ihre Transparenz ein Verschmelzen des Gebäudes mit seiner Umgebung. Hiermit einhergehend sind Strahlungsgewinne im Winter für den Raum positiv zu beschreiben, da der Heizleistungsbedarf teilweise deutlich reduziert werden kann. Dieser Vorteil kann aber in den Übergangs- und besonders während der Sommerperiode zu einer Überhitzung des Raumes/Gebäudes führen und somit zu erheblichen Veränderungen des Raumklimas und zu Beeinträchtigungen der Nutzung des Gebäudes führen.

Da die Fragen zum sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108 oder der Wärmeschutzverordnung (WSchVo) [1, 2] nur unzureichend beantwortet werden können, sind ergänzende Bewertungsrichtlinien erforderlich, um zum einen die Auswahl eines geeigneten Sonnenschutzsystems, zum anderen die Beschreibung einer erforderlichen Glasart zu ermöglichen.

Bei der Auswahl des Glases wird es erforderlich aus mehr als 200 unterschiedlichen Verglasungen mit einer Vielzahl glasspezifischer Kenndaten nun das richtige, geeignete Glas auszuwählen.

Eine Vorausschau auf die Temperaturentwicklung in Räumen und Gebäuden war bislang nur bedingt möglich. Nun sind in letzter Zeit neben den Simulationsrechnungen der Bauteile, wie Wärmebrücken, Feuchteverteilungen im Bauteil infolge Kapillarleitung, Kondensationsberechnungen, auch die Möglichkeiten von Klimasimulationsrechnungen für Gebäude weiter entwickelt worden. Hierbei besteht nun die Möglichkeit, die Auswirkungen der Veränderung der Raumschale (Dach, Wand, Boden, Fenster) auf das Raumklima gerade im Vorfeld und in Abhängigkeit einer geplanten Nutzung zu bewerten.

Auf der Grundlage dieses Verfahrens wurde das wärmetechnische Verhalten eines Bürogebäudes grundsätzlich untersucht.



Bild 1 Untersuchtes Bürogebäude

Die Aufgabe bestand darin, unterschiedliche Ausbildungen einer vorgesetzten Fassade unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten genauer zu untersuchen. Hierbei galt es für einen typischen Büroraum ("Referenzraum") eine nachvollziehbare Bewertung unterschiedlicher Maßnahmen in Hinblick auf

- Art der Fassadengliederung
- Auswahl der Verglasung
- Auswahl besonderer außen- / innenliegender Sonnenschutzmaßnahmen

unter Beachtung des winter- und sommerlichen Wärmeschutzes darzustellen.

In der vorliegenden Untersuchung werden lediglich wärmetechnische Zusammenhänge in Bezug auf die sommerliche Temperaturentwicklung untersucht. Die feuchtetechnischen Aspekte werden hier nicht näher dargestellt.

## 2 Beschreibung der Grundzusammenhänge

### 2.1 Das Raumklima

Bei der klimatischen Betrachtung eines Gebäudes werden die vorhandenen Wärmeverluste (i. d. R. aus Transmission -TV- und aus Lüftung -LV-) sowie die Wärmegewinne (i. d. R. aus Solaren Gewinnen -SG- und aus sog. Innenwärmekomponenten, d.h. Personen und Geräte -IG-) berücksichtigt.

Die erforderliche Heiz- bzw. Kühlleistung (HZ) bzw. die frei einstellende Raumtemperatur  $\theta$  stellt sich somit allgemein wie folgt dar:

$$+HZ \text{ bzw. } \theta = TV + LV - SG - IG$$

Die sommerliche Temperaturentwicklung wird durch die Wärmeströme unter Hinzuziehung der Speicherfähigkeit der Baustoffe beeinflusst. Eine der entscheidenden Faktoren für die Temperaturentwicklung stellen hierbei die solaren Energiegewinne, i. A. beschrieben durch den Energiedurchlassgrad  $g$  der Verglasung, dar.

### 2.2 Der Begriff der Behaglichkeit

Das Raumklima wird im Wesentlichen von den vier Komponenten Raumlufttemperatur, relative Luftfeuchte, Raumluftgeschwindigkeit und Raumumschließungsflächentemperatur bestimmt. Den Einfluss auf die Behaglichkeit und die Abhängigkeiten von Raumklima und Parametern wie Aktivitätsgrad, Bekleidung und Aufenthaltsdauer in dem Raum zeigt Bild 2.

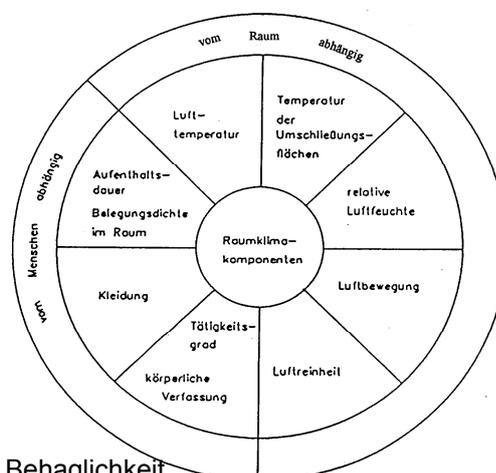


Bild 2 Einflussgrößen auf die Behaglichkeit

Die empfundene oder effektive Temperatur ist nicht identisch mit der Raumlufthtemperatur  $\theta_L$ . Vielmehr geht hier die mittlere Strahlungstemperatur der umschließenden Flächen  $\theta_m$  mit ein. Es zeigt sich die empfundene Temperatur  $\theta_e$  unter Berücksichtigung der am Körper geltenden Wärmeübergangskoeffizienten (K-Konvektion; S-Strahlung) zu:

$$\theta_e = \frac{\alpha_K \cdot \theta_L + \alpha_S \cdot \theta_m}{\alpha_K + \alpha_S}$$

Bei üblichen raumklimatischen Verhältnissen kann, da  $\alpha_K \cong \alpha_S \cong 5 \text{ W/m}^2\text{K}$ , vereinfacht

$$\theta_e = \frac{\theta_L + \theta_m}{2}$$

berechnet werden.

Die Behaglichkeit in einem Raum ist subjektiv. Um jedoch einen Beurteilungsmaßstab für dieses Empfinden zu erhalten, kann nach DIN ISO 7730 der Index PMV (Predicted mean vote  $\triangleq$  vorhergesagtes mittleres Votum) ermittelt werden. Der PMV errechnet sich aus den begleitenden Parametern wie Aktivitätsgrad, Bekleidung und Klima. Es ergeben sich für den PMV-Wert die Bandbreiten gemäß Tabelle I:

PMV		PPD
3	- zu warm	99 %
2	- warm	75 %
1	- etwas warm	25 %
0	- neutral	5 %
-1	- etwas kühl	25 %
-2	- kühl	75 %
-3	- kalt	99 %

Tabelle I Behaglichkeitswerte nach DIN ISO 7730

Als behaglich wird ein Bereich zwischen +0.5 und -0.5 angesehen. Hierbei wird auch berücksichtigt, dass die Behaglichkeit ein in weitem Maße subjektiver Wert ist. Diese Subjektivität wird durch die Darstellung des PPD-Wertes (Predicted percentage of dissatisfied  $\triangleq$  Prozentsatz der Unzufriedenen) verdeutlicht, in dem selbst bei einem 'neutralen' Wert die DIN von 5 % Unzufriedenen spricht!

### 2.3 Kennwerte von Verglasungen

Im nachfolgenden werden die für diese Betrachtung wichtigsten Kennwerte einer Verglasung dargestellt.

#### Der k-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient):

Der k-Wert [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ] nach DIN 52619 T2 beschreibt die Wärmemenge, die durch ein  $\text{m}^2$  des Bauteils bei einem Temperaturunterschied hindurchgeht. Hierbei gilt je kleiner dieser Wert, also je kleiner der Wärmeverlust ist, desto größer ist die Wärmedämmung.

Die Wärmeverluste eines gesamten Fensters resultieren hierbei aus den Verlusten über die Verglasung  $k_V$ , sowie die Verluste über den Rahmen  $k_R$ .

Bei der rechentechnischen Bewertung unterschiedlicher Verglasungen muss hinsichtlich der Angabe des  $k_V$  nach Bundesanzeiger bzw. nach Prüfzeugnis unterschieden werden. Für die Berechnungen zur WSchVo sind so die Werte nach dem Bundesanzeiger einzusetzen.

Tabelle II zeigt die zeitliche Entwicklung der Verglasungsqualität hinsichtlich der Energieeinsparpotentiale.

	$k_v$
Einfachverglasung	5,8
Herkömmliche Isolier-Verglasung	ca. 2.2-3.0
Neue Wärmeschutzgläser	ca. 0.7-1.4
akt. Entwicklungen	bis 0.4

Tabelle II Wärmedurchgangskoeffizienten von Verglasungen

Die wärmetechnische Qualität des Rahmens wird durch die Rahmenmaterialgruppe nach DIN 4108 beschrieben. Übliche Konstruktionen sind in der RMG 1, z.B. Holzrahmen bzw. 2.1 z.B. die meisten Aluminium-Fassadenprofile zu finden.

#### Der g-Wert (Energiedurchlassgrad der Verglasung):

Dieser Wert kennzeichnet den prozentualen Energiedurchlass der Verglasung über die gesamte Sonneneinstrahlung im Bereich der Wellenlängen von 300 nm bis 2500 nm. Hierbei wird nach DIN 67507 der direkte Strahlungsdurchgang sowie die langwellige Abstrahlung nach innen der bereits absorbierten Strahlung betrachtet (Bild 3).

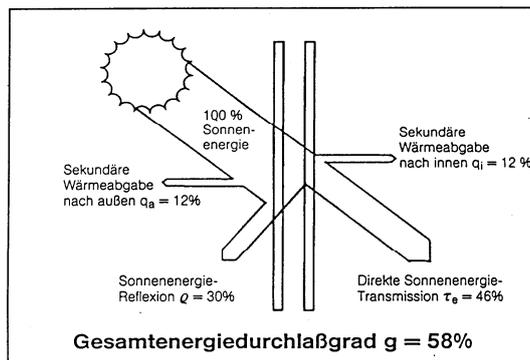


Bild 3 Darstellung des Gesamtenergiedurchlassgrades

In DIN 4108 T2, Tab. 4 sind hierfür Werte angegeben, die jedoch nicht mehr den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen. Vielmehr sind die Kennwerte der Materialhersteller nach Bundesanzeiger oder die Werte nach Bekanntmachung des BMBau [3] anzusetzen.

#### Der z-Wert (Abminderungsfaktor):

Der z-Wert beschreibt die Qualität einer möglichen Verschattungsmaßnahme.

Hierbei beschreibt der dimensionslose Wert

- $z = 1.0$  keine Sonnenschutzvorrichtung, also ohne Abminderung
- $z = 0.5$  z.B. innenliegende Jalousien
- $z = 0.3$  z.B. außenliegende Rolläden

Weitere Werte sind der DIN 4108 T 2, Tab. 5 zu entnehmen.

Der g<sub>F</sub>-Wert (Gesamtenergiedurchlassgrad des Fensters):

Nach DIN 4108 T2 beschreibt dieser Wert den Gesamtenergiedurchlass des gesamten Fensters.

$$g_F = g \cdot z$$

Dieser Wert wird nach DIN wie auch nach WSchVo als bewertender Maßstab für den sommerlichen Wärmeschutz herangezogen (s. auch Kap. 2.4).

Der k<sub>eq,F</sub>-Wert (äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters):

Nach der WSchVo können für Fenster entweder getrennt die Transmissionswärmeverluste (über den k<sub>F</sub>-Wert) und die solaren Gewinne (über den g<sub>F</sub>-Wert) oder gemeinsam über den k<sub>eq,F</sub>-Wert berechnet werden. Dieser Wert beschreibt den gemeinsamen Einfluss aus Wärmeverlust und -gewinn je nach Orientierung des Glases.

Die Berechnung erfolgt über

$$k_{eq,F} = k_F - g \cdot S_F \quad [W/m^2K]$$

mit S<sub>F</sub> = 2.40 bei Südorientierung

S<sub>F</sub> = 1.65 bei West-, Ostorientierung bzw. in bis zu 15° geneigten Dachflächen

S<sub>F</sub> = 0.95 bei Nordorientierung bzw. überwiegend verschattet

Der τ-Wert (Lichtdurchlässigkeit der Verglasung):

Dieser Wert nach DIN 67507 kennzeichnet den transmittierenden sichtbaren Strahlungsanteil im Wellenlängenbereich von 380 nm bis 780 nm. Hierdurch wird die Helligkeit im Raum beeinflusst, die den Anforderungen der DIN 5034 (Tageslicht in Innenräumen) und u. U. der Arbeitsstättenverordnung entsprechen muss.

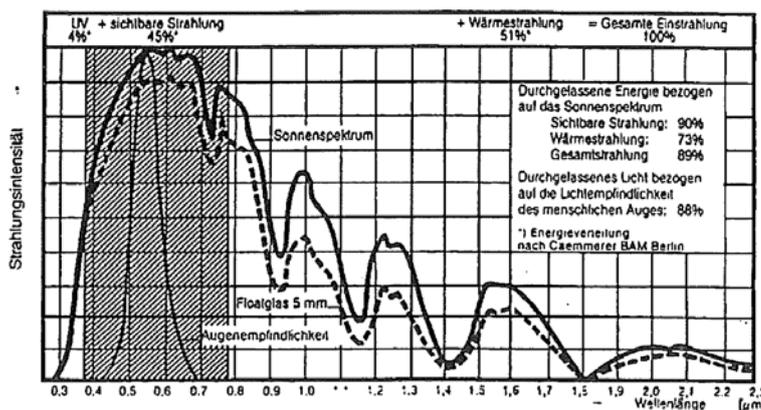


Bild 4 Strahlungsdurchlässigkeit einer Floatglas-Scheibe im Vergleich zum Sonnenspektrum (schraffierter Bereich = sichtbare Strahlung)

## 2.4 Stand der Normen und Verordnungen

### Winterlicher Wärmeschutz:

Zum winterlichen Wärmeschutz gibt die neue Wärmeschutzverordnung keinen  $k_F$ -Wert vor, da lediglich der Heizwärmebedarf des Gesamtgebäudes betrachtet wird.

Bei einem so genannten "Erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Außenbauteilen bestehender Gebäude" wird ein Wert  $k_F \leq 1.8$  sowie bei Ansatz für Gebäude geringer Größe ein  $k_{m,F \text{ eq}} \leq 0.7$  vorgegeben. Diese drei Ansätze ergeben für die Verglasung etwa einen maximalen Wärmedurchgangskoeffizienten  $k_V$  von  $2.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

### Sommerlicher Wärmeschutz:

Nach DIN 4108 T2, 4.3 sowie 7 werden Empfehlungen für den sommerlichen Wärmeschutz gegeben. Hierin werden je nach Bauart (leicht / schwer) und Lüftungsmöglichkeit (z.B. Schule oder Wohnung) Höchstwerte für den Faktor  $g_F \cdot f$  ( $f$ =Fensterflächenanteil) angegeben.

		Erhöhte natürliche Belüftung	
		nicht vorhanden	vorhanden
Bauart	leicht	0,12	0,17
	schwer	0,14	0,25

Tabelle III Empfohlene Höchstwerte ( $g_F \cdot f$ ) nach DIN 4108, T2

Die Wärmeschutzverordnung fordert für Verglasungen unter den Voraussetzungen

- Wand mit:  $f \geq 50 \%$
- nicht ganztägige Verschattung bzw. keine Nord-Ausrichtung

die Einhaltung von

$$g_F \cdot f \leq 0,25$$

Festzustellen ist, dass diese Forderung nicht so stark ist, wie die Empfehlung der DIN!

### Beispiele:

Für eine Verglasung ohne Verschattung ( $z=1$ ) bedeutet dieses bei

- $f = 50 \%$ :  $g \leq 0.50$
- $f = 75 \%$ :  $g \leq 0.33$
- $f = 100 \%$ :  $g \leq 0.25$

Es ist somit der jeweilige Glasstandard vorab bestimmt worden. Bei  $f = 75$  sowie  $100 \%$  ergibt sich die Erfordernis eines sog. Sonnenschutzglases. Nicht geklärt ist hiermit jedoch, welcher Typ verwendet werden sollte, zumal Werte wie die Lichtdurchlässigkeit stark unterschiedlich sind. Für den Fall  $f = 50 \%$  ist u. U. noch eine Wärmeschutz-Verglasung ausreichend. Aber auch hiermit ist aufgrund der vielen Abhängigkeiten und Parameter der Glastyp noch nicht näher bestimmt.



### 3.2 Baustoffe und Bauteile

Die Bauteile mit ihren baustoffspezifischen wärme- und feuchtetechnischen Kennwerten wurden auf der Grundlage der DIN 4108 sowie von Untersuchungen [5, 6] angesetzt.

Die Baustoffe werden hierbei in Hinblick auf

- ihrer Absorption (bei außen liegenden Bauteilen)
- ihrer Speicherfähigkeit
- ihrer Absorption, Reflexion und Durchlasswiderstandes bei Verglasungen berücksichtigt.

Folgende Bauteile wurden angesetzt:

- Geschossdecke - Stahlbetondecke mit abgehängter Decke
- Außenwand - Vorgehängte Fassade mit gedämmten Alu-Paneelen
- Trennwände - Leichtbauwände

#### Variation der Verglasungen / Sonnenschutz:

Um die Einflüsse unterschiedlicher Verglasungsqualitäten beurteilen zu können, wurde aus dem Hause INTERPANE eine typische Wärmeschutz-Verglasung (W-Vergl.) und die Sonnenschutz-Verglasung (S-Vergl.) 'natura' ausgewählt. Vergleichend hierzu wurde ein typisches neutrales Sonnenschutzglas hinzugezogen. Letzteres stellt ein mittleres Glas aller führenden Glashersteller dar. Farbige Gläser wurden hierbei nicht berücksichtigt.

Produkt	1,00	1,00	2,00	3,00
	W-Vergl. iplus neutral R 4/16/4	W-Vergl. iplus neutral R 4/16/4	S-Vergl. üblich - neutral 51/40	S-Vergl. ipanol natura 66/34
Sonnenschutz	nein	ja	nein	nein
$k_v$ [W/m <sup>2</sup> K]	1,1	1,1	1,3	1,1
g [-]	0,58	0,58	0,4	0,34
z [-]	0,76	0,76	0,51	0,66
z [-]	1,0	0,5 (für Schutz innen) 0,3 (für Schutz außen)	1,0	1,0

Tabelle IV Untersuchte Verglasungen

Tabelle IV zeigt, dass der energetische Strahlungsdurchgang mit zunehmender Qualität der Verglasung erheblich reduziert werden kann. Gleichzeitig reduziert sich aber auch die Lichtdurchlässigkeit  $\tau$ , womit das Raumempfinden sowie auch eine Veränderung der Materialansicht einhergeht.

### 3.3 Gebäudenutzung

Nutzer, Beleuchtung und Geräte erwärmen einen Raum zusätzlich. Dieses kann starken Einfluss nehmen, wenn es sich z.B. um eine Gruppe von Menschen handelt oder wenn sich Geräte mit großer Wärmeabgabe (z.B. Computer) im Raum befinden.

Durch Undichtigkeiten der Fensterfugen, die bei neuen Fensteranlagen heute annähernd zu null sind, sowie einer bewussten Fensterlüftung tritt ein Luftwechsel mit dem Außenklima auf.

Diese Aspekte wurden hier für eine übliche Büronutzung angesetzt. Eine Heizung und/oder Kühlung wird bei dem betrachteten Sommerfall nicht berücksichtigt.

### 3.4 Klimadaten

Für die rechentechnische Betrachtung wurde das vom BMFT zusammengestellte Test-Referenz-Jahr der Zone 2 -TRY 02-, entsprechend dem nord- und westdeutschen Tiefland, für die Vorgabe des Außenklimas zugrunde gelegt.

Hierbei wurden folgende Daten angesetzt (s. auch Bild 6):

- Lufttemperatur
- rel. Luftfeuchte
- diffuse Strahlung
- direkte Strahlung

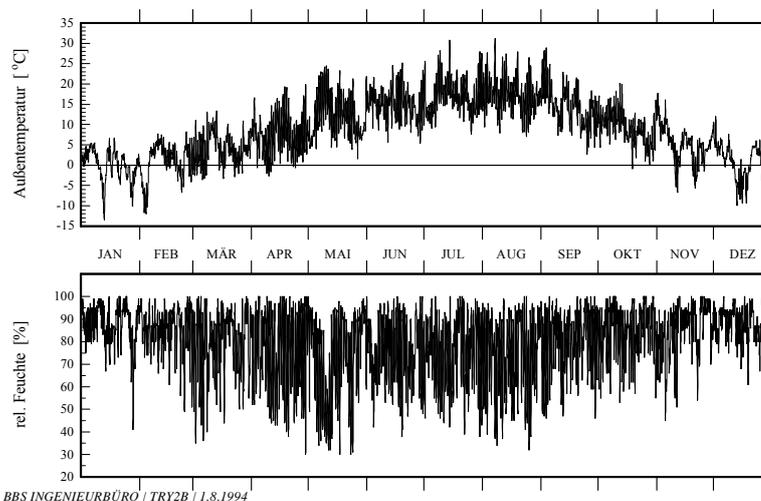


Bild 6 Temperatur und rel. Luftfeuchte im Jahresverlauf (TRY 02)

Bei der Simulationsberechnung wird eine stündliche Berechnung für den Sommerfall (hier: Juni-Juli-August = 2208 Stunden) vorgenommen.

Das auf der Grundlage der Auswertung von Wetterdaten vom Deutschen Wetterdienst festgelegte Klima stellt einen über mehrere Jahre gemittelten Zustand dar. Es entspricht somit einem 'üblichen' regionalem Klima, unter Auslassung extremer Phasen.

Die ermittelten Innentemperaturen berücksichtigen somit einen repräsentativen Sommer-Zustand. Höhere Temperaturen, die nun gerade in den Sommern 1994 und 1995 zu verzeichnen waren oder eben geringere bei einem 'verregneten Sommer' sind natürlich in der Praxis möglich.

### 3.5 Behaglichkeit / Grenzwerte

Um im Weiteren eine Beurteilung bzw. Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Varianten zu ermöglichen, wird das Behaglichkeitskriterium der DIN ISO 7730 (s. 2.2) zu Grunde gelegt.

Für die Betrachtung der Varianten - Rechnung wurde für einen Behaglichkeits-Index PMV = +0.5 die maximal zulässige Raumtemperatur  $\theta_G$  berechnet. Als weitere Grenztemperatur wurde die Temperatur für einem PMV = +1.0 entsprechend 'etwas warm' ermittelt. Als Randparameter wurden eine sitzende Tätigkeit mit Sommerbekleidung angesetzt.

Es ergeben sich somit mittlere Grenztemperaturen ...

$\theta_G$
... für 'behaglich': 27 °C
...für 'etwas warm': 29 °C

Voraussetzung für ein angenehmes Raumklima ist die Einhaltung der Grenztemperatur, bzw. bei deren Überschreitung während einer Hitzeperiode die Anzahl der 'kritischen Stunden' möglichst gering zu halten.

Aufbauend auf Erfahrungswerten sowie verschiedener Untersuchungen (z.B. [7]) wurde als Grenzstrahlung  $I_G$ , d.h. die Strahlung, die von den Nutzern aufgrund der Wärmegewinne sowie möglicher Blendung als unangenehm empfunden wird, ein Wert der Gesamtstrahlung 200 W/m<sup>2</sup> festgelegt. Bei Erreichen dieses Wertes wird in den Berechnungen die Verschattungsmaßnahme eingesetzt.

Die Grenzwerte sind, da sie auf subjektiven Empfindungen basieren, nicht als Festgröße zu sehen. Die Bewertung der Berechnungen wird daher auch relativ geführt.

## 4 Simulationsrechnungen

### 4.1 Untersuchte Varianten

Verschiedene Parameter beeinflussen das Innentemperatur-Niveau. Im nachfolgenden wird daher zunächst ein Vergleich aller Glasarten vorgenommen. Es werden in den weiteren Varianten die Einflüsse der Verglasungsorientierung sowie von Außen- und Innenverschattungen ermittelt.

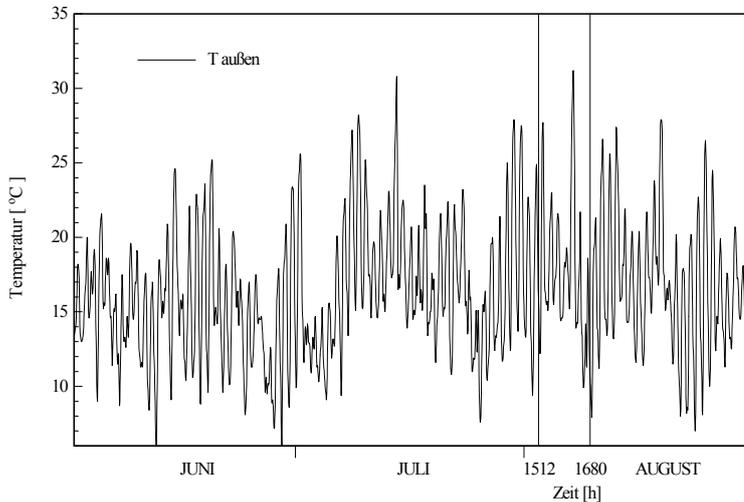
Im Einzelnen werden die folgenden Varianten untersucht (Tabelle V).

Variante	Ansatz der Parameter	Anmerkung
0	Variation der Verglasungsarten (s. Tabelle IV).	Vergleich der Gläser
1	wie Variante 0, jedoch additive Fensterlüftung von 2.0 h <sup>-1</sup> bei $\theta_G > 27$ °C.	Zu bewertende Grundvariante! (Menschlich nachvollziehbares, aber nicht immer richtiges Lüften)
2	wie Variante 1, jedoch zusätzlicher Einsatz von Verschattungsmaßnahmen <u>außen</u> bei $I_G > 200$ W/m <sup>2</sup> .	Relevant nur für die Wärmeschutz-Verglasung
3	wie Variante 1, jedoch zusätzlicher Einsatz von Verschattungs- bzw. Blendschutzmaßnahmen <u>innen</u> bei $I_G > 200$ W/m <sup>2</sup> .	Relevant nur für die Wärmeschutz-Verglasung

Tabelle V Untersuchte Varianten

### 4.2 Temperaturverhalten im Referenzraum

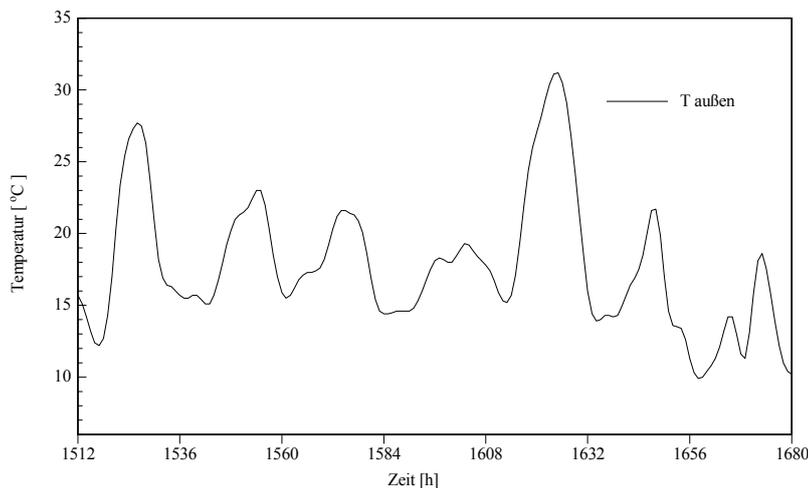
Das sommerliche Temperaturverhalten wurde, wie in 3.4 erwähnt, in den einzelnen Varianten für den Zeitraum Juni bis August (2208 Stunden) ermittelt. Das folgende Bild zeigt den Außentemperaturverlauf des zugrunde gelegten Test-Referenz-Jahres für diesen Zeitraum.



BBS INGENIEURBÜRO | 24801 | 9.5.1995

Bild 7 Außentemperaturverlauf – Simulationszeitraum

Zur verbesserten Lesbarkeit der Diagramme sind Wochendarstellungen für eine repräsentative 'heiße' August-Woche (von Stunde 1512 bis 1680 des Simulationszeitraumes) gewählt worden. Bild 8 zeigt die Außentemperatur für diese Woche.



BBS INGENIEURBÜRO | 248-01 | 8.5.1995

Bild 8 Außentemperaturverlauf - 1 Woche

Zu berücksichtigen ist, dass die Außenlufttemperatur die festgelegte Grenztemperatur von 27 °C in 40 h überschreitet. Dieses ist bei den Lüftungsberechnungen zu berücksichtigen, da hierbei nicht unter dieses Maß gekühlt werden kann!

Die folgenden Temperaturverläufe (Bild 9 bis Bild 16) sind vereinfacht in der '1-Wochen-Darstellung' zu sehen.

#### 4.2.1 Variante 0

In dieser Variante wird keine zusätzliche Fensterlüftung berücksichtigt. Hierdurch können die Einflüsse der unterschiedlichen Verglasungsarten (Bild 9) sowie der unterschiedlichen Strahlungsintensitäten nach der Orientierung (Bild 10) deutlich gemacht werden.

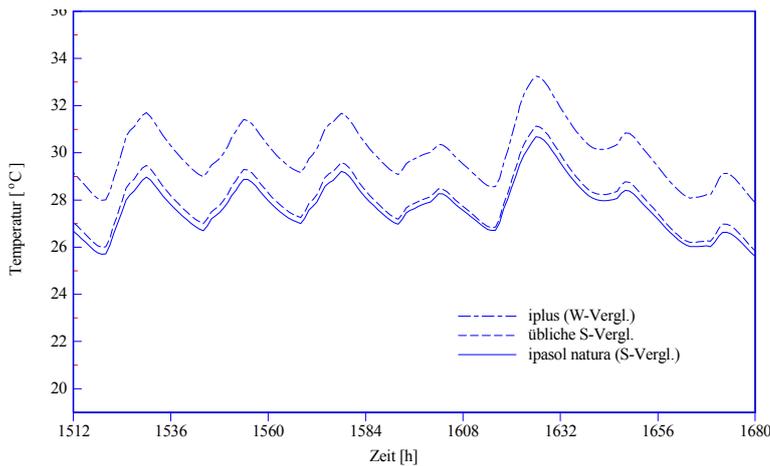


Bild 9 Temperaturverlauf / Unterschiedliche Verglasungsarten - Süd

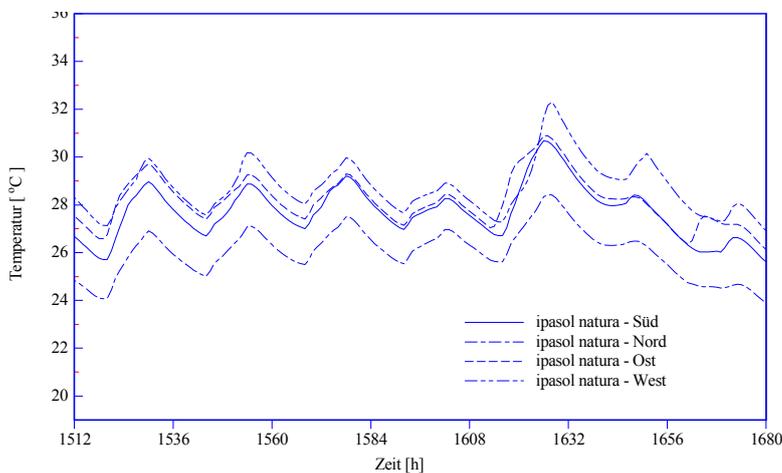


Bild 10 Temperaturverlauf / Unterschiedliche Raumorientierung - ipasol natura

Es zeigt sich in den obigen Bildern der tendenzielle Unterschied zwischen einer Wärme- und einer Sonnenschutz-Verglasung vordringlich verursacht durch den unterschiedlichen Energiedurchlassgrad. Weiterhin ist zu sehen, dass das ipasol natura-Glas eine verbesserte Situation darstellt als die üblichen Sonnenschutzgläser. In Bild 10 ist zudem der Einfluss der Orientierung (hier am Beispiel der ipasol natura-Verglasung) abzulesen.

In der Tabelle VI sind die Überschreitungsdauer der Raumtemperatur über die Grenztemperaturen zu den Kriterien 'Noch-Behaglich' sowie 'Etwas warm' sowie die Maximaltemperaturen beschrieben.

	1	2	3
	W-Vergl. iplus neutral R 4/16/4	S-Vergl. üblich - neutral 51/40	S-Vergl. ipaso natura 66/34
h > 27 °C			
Nord	704	196	158
Ost	1.744	1.121	1.021
West	1.612	1.037	955
Süd	1.397	782	683
h > 29 °C			
Nord	100	---	---
Ost	1.177	418	323
West	1.067	417	299
Süd	752	156	92
θ max [°C]			
Nord	30.4	28.8	28.6
Ost	36.7	33.6	32.9
West	35.4	32.9	32.3
Süd	33.3	31.1	30.6

Tabelle VI Überschreitungsdauer der Grenztemperatur und Maximaltemperatur / V0

Bei diesem Ansatz stellen sich durch Verwendung von Sonnenschutz-Verglasungen die Maximaltemperaturen um bis zu 4 K niedriger als bei Wärmeschutz-Verglasung ein. Diese starke Reduzierung ist auch in den kritischen Stunden abzulesen, die je nach Orientierung und Grenzkriterium um bis 40 - 90 % vermindert werden können.

Es ist auch zu sehen, dass die west- und ostorientierten Büros die höchsten Innentemperaturen aufzeigen. Diese Erscheinung erklärt sich durch die im Süden steiler auf das Fenster einfallende Strahlung und damit geringere Transmission. Dieser Effekt tritt so allerdings nur im Sommer auf (s. auch Strahlungswerte der VDI 2078 [8]). Die Differenz zwischen der Ost- und Westorientierung, die von den Strahlungsintensitäten eher gering ist, erklärt sich durch die Simulationsmöglichkeit dynamischer Prozesse, d.h. durch die Überlappung von Strahlungsaufheizung, Nutzung und Außentemperaturverlauf.

#### 4.2.2 Variante 1

Die Variante 1 entspricht näherungsweise dem realen Verhalten. Es wird hiermit das subjektive Bedürfnis bei großer Raumhitze nach frischer Luft, Abkühlung oder einfach nur dem Gefühl 'draußen zu sein' nachvollzogen. Ab Erreichen der Grenztemperatur ist so eine zusätzliche Fensterlüftung angesetzt worden. Dieses Verhalten ist jedoch aus bauphysikalischer Sicht häufig negativ zu bewerten, da so auch die heiße Außenluft nach innen gelangen kann.

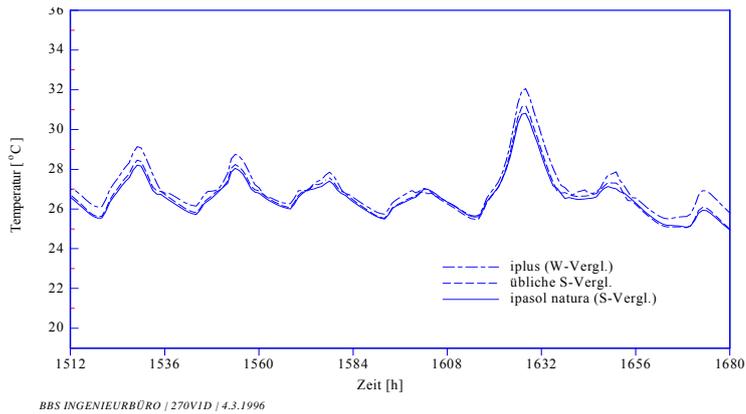


Bild 11 Temperaturverlauf / Unterschiedliche Verglasungsarten - West

In den Bildern 11 und 12 ist der Innentemperaturverlauf für ein West- und Nordbüro gezeigt. Es hat sich die Differenz zwischen der Sonnenschutz- und der Wärmeschutz-Verglasung bei der Nord-Ausrichtung mit ca. 0.5 K eher gering, bei der West-Ausrichtung bis zu 1.5 K groß ermittelt.

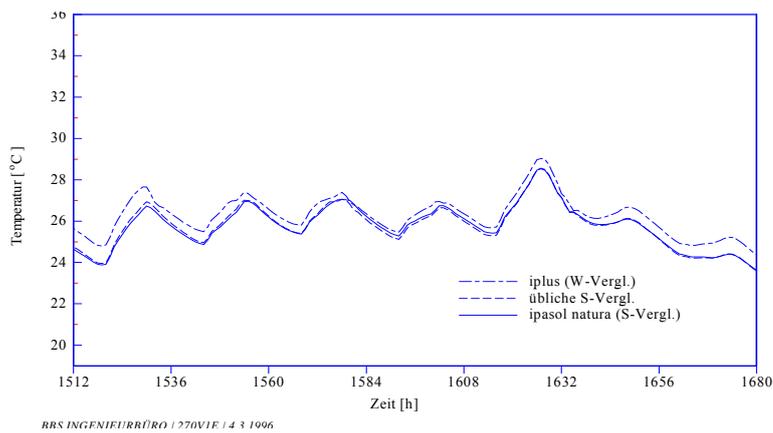


Bild 12 Temperaturverlauf / Unterschiedliche Verglasungsarten – Nord

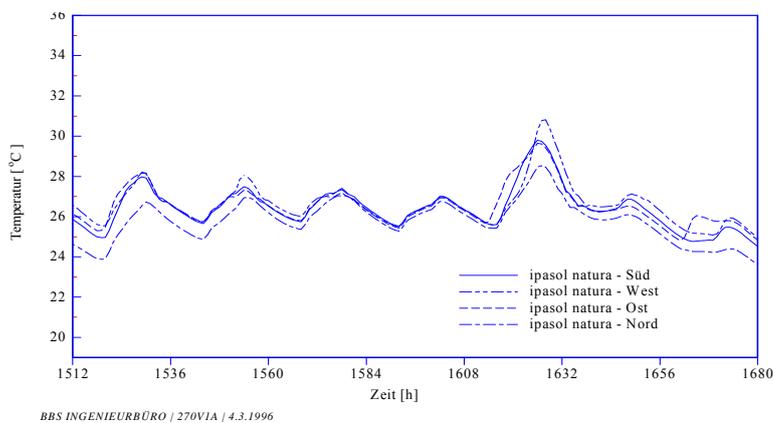


Bild 13 Temperaturverlauf / Unterschiedliche Raumorientierung - ipanol natura

Bild 13 beschreibt den Einfluss der Raumorientierung bei der Verwendung einer ipanol natura Sonnenschutz-Verglasung.

Die tendenziellen Aussagen von Variante 0 (Kap. 4.2.1) haben auch hier Gültigkeit, treten jedoch durch den vermehrten Einfluss der Lüftung schwächer in Erscheinung. So reduziert sich die Überschreitungsdauer gegenüber dieser Variante um ein Vielfaches.

In Tabelle VII sind die Überschreitungsdauer über den Grenztemperaturen und die Maximaltemperaturen für diese Variante abzulesen. Hierbei ist zu sehen, dass durch eine übliche Sonnenschutz-Verglasung die kritischen Stunden bei einer Grenztemperatur 27 °C um ca. 40 %, bei einer Grenztemperatur 29 °C um ca. 70 % reduziert werden. Bei Verwendung von ipasol natura reduzieren sich diese Werte um nochmals 10 Prozentpunkte, so dass bei Einsatz der ipasol natura - Verglasung bereits geringe Überschreitungzeiten erzielt werden können.

	1	2	3
	W-Vergl. iplus neutral R 4/16/4	S-Vergl. üblich - neutral 51/40	S-Vergl. ipasol natura 66/34
h > 27 °C			
Nord	175	68	57
Ost	491	292	270
West	442	272	231
Süd	375	218	188
h > 29 °C			
Nord	2	---	---
Ost	118	41	27
West	73	34	23
Süd	51	13	8
θ max [°C]			
Nord	29.1	28.6	28.4
Ost	31.2	30.3	30.0
West	32.1	31.1	30.8
Süd	30.6	30.0	29.8

Tabelle VII Überschreitungsdauer der Grenztemperatur und Maximaltemperatur / V1

#### 4.2.3 Variante 2

Die Variante 2 kennzeichnet die Möglichkeit einer Außenverschattung (im Weiteren häufig nur 'Verschattung' benannt) ab einer Grenzstrahlung von 200 W/m<sup>2</sup>. Hierdurch wird der Wunsch des Nutzers, bei einer hohen Strahlungsbelastung die Außenverschattung zu schließen, um hohe Temperaturen und/oder Blendung abzuschwächen, nachvollzogen. Für diesen Fall ist ein System mittlerer Güte mit einem Durchlassfaktor b nach VDI 2078 von 0.20 angesetzt worden.

Hier wird die wirtschaftlich interessante Variante untersucht, statt einer Wärmeschutz-Verglasung + Verschattung lediglich eine Sonnenschutz-Verglasung ohne Verschattung einzusetzen.

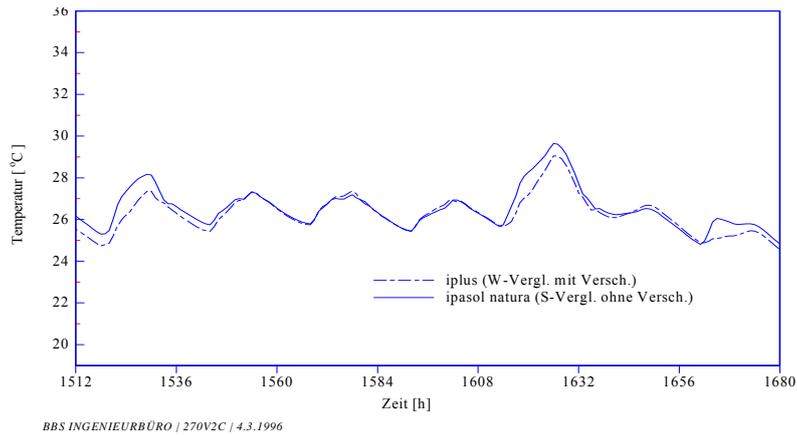


Bild 14 Temperaturverlauf - Ost / Vergleich ipascal natura (S-Vergl. ohne Außenverschattung) sowie iplus (W-Vergl.mit Außenverschattung)

Es zeigt sich in Bild 14, dass bei Einsatz von ipascal natura ohne Verschattung annähernd das gleiche Temperaturniveau eingehalten werden kann wie bei iplus + Verschattung.

Die Maximaltemperaturen für die Ausrichtungen Ost, West, Süd liegen bei den Berechnungen einer Sonnenschutz-Verglasung ohne Verschattung um bis zu 1 K höher. Für die Nord-Ausrichtung liegen sie sogar darunter (s. auch Tabelle VIII). Die absoluten Werte zeigen jedoch in beiden Varianten eine Innentemperatur, die als ausreichend eingestuft werden kann, wobei die Sonnenschutz-Verglasung bei der Untersuchung in Bezug zur Maßnahme mit Außenverschattung etwas schlechter zu bewerten ist.

	1	3
	W-Vergl. iplus neutral R 4/16/4	S-Vergl. ipascal natura 66/34
	mit Verschattung	ohne Verschattung
<b>h &gt; 27 °C</b>		
Nord	150	57
Ost	169	270
West	151	231
Süd	78	188
<b>h &gt; 29 °C</b>		
Nord	---	---
Ost	1	27
West	2	23
Süd	---	8
<b>θ max [°C]</b>		
Nord	29.0	28.4
Ost	29.1	30.0
West	29.4	30.8
Süd	28.8	29.8

Tabelle VIII Überschreitungsdauer der Grenztemperatur und Maximaltemperatur / V2

Wichtig anzumerken ist, dass die Berechnungen für die Außenverschattung ideale Verhältnisse voraussetzen, d.h. es wurde ein bauphysikalisch falsches, aber häufiges, Nutzerverhalten sowie ein Ausfall der Verschattung durch Windeinflüsse oder Reparaturen nicht berücksichtigt.

#### 4.2.4 Variante 3

Die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Innenverschattung wird in Variante 3 untersucht. Hier ist ein mittlerer Wert für b von 0.5 (helle Vorhänge nach VDI 2078) angesetzt. Der Einsatz der Verschattungsmaßnahme wurde ebenso ab Erreichen der Grenzstrahlung von 200 W/m<sup>2</sup> berücksichtigt.

Die folgenden Innentemperaturen konnten ermittelt werden:

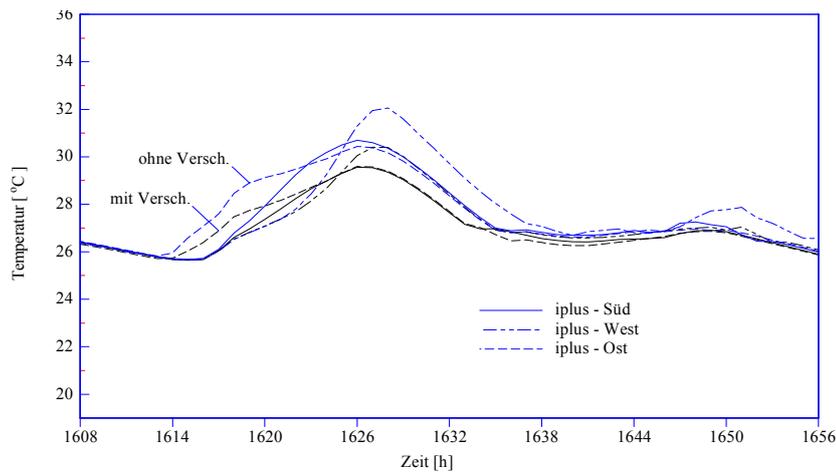
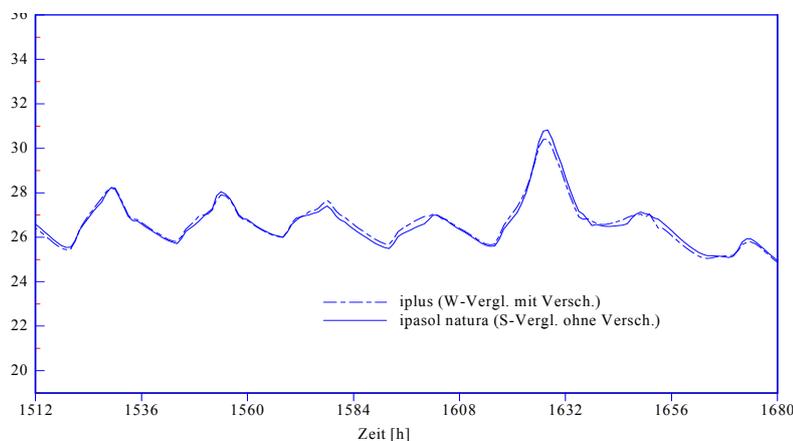


Bild 15 Temperaturverlauf - 2 Tage / Vergleich iplus (mit sowie ohne Innenverschattung) in Abhängigkeit von der Orientierung

In den Bildern 15 und 16 ist die Möglichkeit der Temperatursenkung durch eine Verschattung innen (Wärmeschutz-Verglasung iplus) sowie durch ein verbessertes Glas (ipasol natura in Bild 16) abzulesen. Es kann gesagt werden, dass mit einer Sonnenschutz-Verglasung die Werte der Variante mit Wärmeschutz-Verglasung + Verschattung erreicht werden können.



BBS INGENIEURBÜRO | 270V3A | 4.3.1996

Bild 16 Temperaturverlauf - West / Vergleich ipasol natura (S-Vergl. ohne Innenverschattung) sowie iplus (W-Vergl. mit Innenverschattung)

Es ist zu erkennen, dass eine Innenverschattung bei einer Wärmeschutz-Verglasung eine Verringerung der Raumtemperatur um fast 2 K erbringt (s. Tab. IX im Vergleich zu Tab. VII).

Die Vergleichsberechnungen (Tab. IX) zeigen weiter, dass sich für die Orientierungen Ost, West, Süd keine signifikanten Unterschiede in dem Temperaturniveau ergeben. Bei der Nord-Ausrichtung zeigt sich das Wärmeschutzglas sogar etwas schlechter.

	1,00	3,00
	W-Vergl. iplus neutral R 4/16/4	S-Vergl. ipasol natura 66/34
	mit Verschattung	ohne Verschattung
h > 27 °C		
Nord	161,00	57,00
Ost	294,00	270,00
West	249,00	231,00
Süd	191,00	188,00
h > 29 °C		
Nord	---	---
Ost	22,00	27,00
West	16,00	23,00
Süd	6,00	8,00
θ max [°C]		
Nord	29	28,4
Ost	29,9	30
West	30,4	30,8
Süd	29,6	29,8

Tabelle IX Überschreitungsdauer der Grenztemperatur und Maximaltemperatur / V3

#### 4.2.5 Zusammenfassung

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse kann festgestellt werden, dass es mit dieser Untersuchung möglich ist das sommerliche Temperaturverhalten in einem Referenzbüro vorab zu simulieren.

Es wurde der grundlegende Unterschied zwischen den verschiedenen Verglasungsarten festgestellt. Die teils starke Reduzierung der Innentemperatur bei der Verwendung von Sonnenschutz-Verglasungen gegenüber der Wärmeschutz-Verglasung konnte herausgearbeitet werden (Variante 0).

In Variante 1 ist die Temperaturentwicklung unter der Möglichkeit der zusätzlichen Fensteröffnung abgeschätzt worden. Es zeigte sich dabei ein doch größerer 'Gewinn' bei Einsatz einer üblichen Sonnenschutz-Verglasung. Die kritischen Stunden reduzieren sich um annähernd ca. 40-70 %. Zu erkennen waren ebenso die stets besseren Ergebnisse bei Verwendung des ipasol natura-Glases gegenüber der üblichen Sonnenschutz-Verglasung.

Für die Nord-Orientierung stellt die Sonnenschutz-Verglasung jedoch nicht unbedingt eine notwendige Maßnahme dar.

Temporäre außenliegende Sonnenschutzmaßnahmen bei Wärmeschutzgläsern bewirken eine Verbesserung der Raumklima - Situation. In Variante 2 wurde das System einer 'Wärmeschutz-Verglasung mit einer außenliegenden Verschattung' mit dem System einer 'Sonnenschutz-Verglasung' verglichen. Als Ergebnis der Simulation kann festgestellt werden, dass erhebliche Unterschiede zwischen diesen Systemen nicht bestehen. Eine etwas geringere Innentemperatur bei der Variante mit Außenverschattung (unter der Rechnerbedingung des idealen Einsatzes - ohne Nutzer- und Windeinflüsse!) konnte jedoch erreicht werden. Aufgrund des Wartungs- und Bedienungsaufwands und der annähernd gleichen Wirkung bei Einsatz einer verbesserten Glasart sollten diese temporären Systeme nur gezielt eingesetzt werden.

In der Variante 3 wurde die Verbesserung durch optionale Innenverschattungssysteme dargestellt. Durch diese Möglichkeit kann das Temperaturniveau noch spürbar positiv beeinflusst werden, zeigt aber bei der Ausführung 'Wärmeschutz-Verglasung mit Innenverschattung' keine Verbesserung gegenüber 'Sonnenschutz-Verglasung ohne Innenverschattung'.

Es zeigt sich, dass mit einer Sonnenschutz-Verglasung die sich frei einstellende Temperatur in einem Referenzraum teils erheblich reduziert werden kann. Auch im Vergleich zu einer Maßnahme mit Verschattungen ergeben sich Temperaturen, die gleich oder geringfügig oberhalb derer dieser Maßnahme liegen. Besonders mit dem speziellen Sonnenschutzglas 'ipasol natura' konnten positive Ergebnisse hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes erzielt werden.

## 5 Literatur

- [1] DIN 4108, T2 - Wärmeschutz im Hochbau, August 1981
  
- [2] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden, (Wärmeschutzverordnung) vom 16.08.1994
  
- [3] Bekanntmachung des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau vom 14.12.1994/05.01.1995 Bundesanzeiger 1994, Nr.246 Seite 12646; 1995, Nr.8, Seite 219
  
- [4] TRNSYS Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Wisconsin 1992
  
- [5] Leimer  
Beitrag zur Bestimmung des wärme- und feuchtetechnischen Erhaltens von Bauteilen bei der Sanierung historischer Fachwerkgebäude, Dissertation Weimar 1991
  
- [6] BBS INGENIEURBÜRO-Berichte Nr. 4, Bauphysikalische Untersuchungen zur Erstellung eines Sanierungskonzeptes, Bausubstanz 4/94-6/94
  
- [7] Erhorn, Reiß  
Unter Glas - Energieeinsparung im Schulbau durch glasüberdachte Atrien, db 10/95
  
- [8] VDI 2078, Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume, 10/94