

# **Bauforschung : Sonnenschutz und Raumklima : Ergebnisse wohnungsphysiologischer Untersuchungen**

Autor(en): **Grandjean, Etienne / Rhiner, Armin**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bauen + Wohnen = Construction + habitation = Building + home :  
internationale Zeitschrift**

Band (Jahr): **24 (1970)**

Heft 1: **Bürobauten = Bâtiments administratifs = Office buildings**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-347763>

## **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.

# Bauforschung

Etienne Grandjean und Armin Rhiner

## Sonnenschutz und Raumklima – Ergebnisse wohnungs-physiologischer Untersuchungen

Aus dem Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich

### I. Einleitung

In einer ersten Untersuchung haben wir Erhebungen über die raumklimatischen Bedingungen in 318 Büroräumen während der warmen Jahreszeit durchgeführt [1]. Dabei sind gleichzeitig 1191 Angestellte über ihre Empfindungen und Erfahrungen bezüglich des Raumklimas befragt worden. Die Ergebnisse zeigten unter anderem, daß in nichtklimatisierten Räumen 56,6% der Befragten sagten, «es sei häufig zu warm». Diese Aussage war viel häufiger (59,7% der Befragten) in Räumen, deren Fensterflächen mehr als 30% der Außenwand ausmachten, als in Räumen mit kleineren Fensterflächen (5,8% der Befragten). Analoge Resultate erhielt Langdon [2] in einer Untersuchung von 2734 Büros in London.

In unserer Erhebung wurden die Sonnenschutzsystemefolgendermaßen beurteilt: Lamellenstoren außerhalb der Fenster sind gut bezüglich Blendschutzes (95,8%), Wärmeschutzes (71,4%) und Tageslichtbeleuchtung im Sommer (86,3%) beziehungsweise Winter (62,7%). Ähnlich günstig seien in klimatisierten Räumen Reflexionsgläser mit innen angebrachten Lamellenstoren oder Vorhängen; einzig die Tageslichtbeleuchtung im Winter wurde von 27,5% als ungenügend bezeichnet. Ein ungünstiges Urteil über den Wärmeschutz wurde von 40,9% der Befragten bei der Kombination Lamellenstoren außen und Absorptionsgläser als Fenster abgegeben. In den Büroräumen wurden auf Kopfhöhe 1191 Messungen der Lufttemperatur ausgeführt. Diese Stichproben ergaben Werte zwischen 18 und 29°C. Auf die Frage «Ist Ihnen die Temperatur in diesem Raum jetzt angenehm, zu kalt oder zu warm?» antwortete die Mehrheit bei Temperaturen von 25°C und darüber, es sei «zu warm».

Dieser Befund bestätigte die allgemeine Erfahrung, wonach in Büroräumen im Sommer Lufttemperaturen über 24°C von vielen Personen als unbehaglich beurteilt werden. Diese Situation führte zur Frage, ob bei der heutigen Bauweise mit verhältnismäßig großen Fensterflächen die auf dem Markt angebotenen Sonnenschutzsysteme eine wirksame Reduktion der Raumtemperaturen zulassen und welche allfälligen Nebenwirkungen auf die Tageslichtbeleuchtung zu erwarten seien. Exakte Untersuchungen verschiedener Sonnenschutzsysteme bezüglich der Durchlässigkeit und der Wärmeeinstrahlung der Sonne sind häufig ausgeführt worden. Unter diesen seien hier besonders erwähnt die Arbeiten von Tonne [3], Caemmerer [4, 5], Wild [6], Brown [7] und Petherbridge und Loudon [8]. Die meisten dieser Autoren geben die Wärmetransmissionen in kcal an, wobei die tatsächlich zu erwartende Erwärmung der Räume und allfällige Auswirkungen auf die Tageslichtbeleuchtung wegen der zahlreichen möglichen Einflußfaktoren unberücksichtigt bleiben. Einzig Petherbridge und Loudon [8, 9] machen Angaben über rechnerisch zu erwartende Raumtemperaturerhöhungen in Abhängigkeit der Fenstergröße, der Lüftungsbedingungen und der Dimensionierung des Mauerwerkes.

Diese Ausgangslage und die Resultate unserer eigenen Erhebungen

veranlaßten uns, die Frage des Sonnenschutzes experimentell in Versuchsräumen erneut anzugehen. Dabei interessierten uns in erster Linie die für die Behaglichkeit wichtigen Fragen der Temperaturen der Luft und der Umschließungsflächen und in zweiter Linie die bereits erwähnten Nebenwirkungen auf das Tageslicht. Als Sonnenschutzsysteme schienen uns die heute meistens zur Diskussion stehenden Lamellenstoren und Sonnenschutzgläser (Reflexions- und Absorptionsgläser) der besonderen Prüfung wert. Ferner wählten wir für die Versuche Räume, die für die heutige Bauweise, mit Fensterflächenanteilen von 50% der Außenwand, typisch sind.

### II. Methode und Untersuchungsbedingungen

Es standen uns sechs identische, nebeneinanderliegende Räume mit je zwei Fenstern an einer und derselben Gebäudefassade im dritten Stock zur Verfügung. Jeder Raum hatte folgende Dimensionen:

Länge	412	cm
Breite	332	cm
Höhe	283	cm
Bodenfläche	13,5	m <sup>2</sup>
Rauminhalt	38,2	m <sup>3</sup>
Außenwand	9,45	m <sup>2</sup>
Fensterfläche, je	2,12	m <sup>2</sup>
Totale Fensterfläche	4,24	m <sup>2</sup>
Anteil Fensterfläche/Außenwand	50%	
Anteil Fensterfläche/Bodenfläche	31%	

Die Außenfassade war nach Südwesten orientiert. Alle Innenwände waren Holztrennwände, bestehend aus drei Holzplatten und zwei Isolierschichten. Die Außenwände, bestehend aus einer Betonplatte, einer Isolierschicht und einer äußeren reflektierenden Blauglasplatte, waren eine Leichtbaukonstruktion.

#### Die raumklimatischen Messungen betrafen

- die Lufttemperatur in Raummitte und Kopfhöhe,
- die Lufttemperatur in Raummitte und Fußhöhe (20 cm),
- die Außentemperatur am Schatten an der Nordwestfassade,
- die Temperatur der Fassadenluft (30 cm vor den Fenstern),
- die Oberflächentemperaturen der Fensterinnenflächen (Fenstertemperaturen),
- die Oberflächentemperaturen der Wände, Decken und Böden,
- die Beleuchtungsstärke in Raummitte, 20 cm über dem Boden.

Die Lufttemperaturen im Raum und die Temperaturen der Fassadenluft wurden mit strahlungsgeschützten Thermistoren, diejenigen der Außenluft am Schatten mit Quecksilberthermometern gemessen. Die Fenstertemperaturen wurden mit ebenfalls strahlungsgeschützten Thermistoren, die mit Klebefolien an den Fensterinnenflächen befestigt waren, erfaßt. Alle Erhebungen mit den Thermistoren geschahen außerhalb der sechs Räume in einer zentralen Meßstation mit einer Wheatstone'schen Meßbrücke und einem Mikrovoltmeter. Vorgängig wurden von jedem der achtzehn Thermistoren die Eichkurven im Bereich zwischen 15 und 45°C erstellt. Die Oberflächentemperaturen der Wände, Decken und Böden wurden mit einem Ardonox-Strahlungsmeßgerät (Strahlungs-pyrometer für Dunkelstrahlung, Siemens) an je acht Wand-

stellen und je vier Stellen am Boden und an der Decke gemessen. Dieses Gerät wurde periodisch mit einer schwarzen Glaswand eines Wasserbades geprüft. Mit dem gleichen Gerät erhoben wir zusätzlich die Wärmestrahlung der Fenster. Da das Gerät nahezu die Gesamtstrahlung mißt, wurde mit diesen Messungen auch ein wesentlicher Teil der von außen anfallenden Wärmeeinstrahlung erfaßt.

Dies hatte zur Folge, daß die Strahlungsmessungen mit dem Ardonoxgerät in der Regel höhere Werte ergaben als die Messung der Fenstertemperaturen mit den Thermistoren. Aus den Oberflächentemperaturen der Wände, Böden und Decken sowie aus den Meßwerten der Wärmestrahlung der Fenster (Ardonox) wurden die Durchschnittswerte der Temperaturen der Umschließungsflächen der Räume berechnet, mit entsprechender Berücksichtigung der Flächenanteile.

Alle raumklimatischen Messungen wurden jeweils zur Mittagszeit begonnen und in Intervallen von ungefähr 60 Minuten bis gegen 18 Uhr fortgesetzt. Die Räume waren leer, und die Türen wurden während des ganzen Nachmittags höchstens dreimal viermal kurz geöffnet. Die Untersuchungen erfolgten nur an Tagen mit schönem Wetter.

#### Untersuchte Sonnenschutzsysteme:

- Lamellenstoren aus Aluminium mit hellem Lacküberzug. Die Messungen erfolgten mit innen oder außen oder zwischen den Glasscheiben angebrachten Lamellenstoren.
- Stoffstoren von grau-grüner Farbe, 15 mm vor dem Fenster außen angebracht.
- Reflexionsgläser (Stop ray mit Reflexionsschicht an der Innenseite des äußeren Fensterglases).
- Absorptionsgläser (äußeres Fenster aus Grünglas).

Bei den Normalglasfenstern kamen Verbundgläser mit 12 mm Zwischenraum für Lamellenstoren und in einem Raum ein dreifach verglastes Fenster (außen Verbundglas und innen ein Normalglas) zur Anwendung. In jedem Fall wurden doppelverglaste Fenster eingesetzt. Alle Fenster waren Kippfenster mit Drehpunkt in der Mitte.

Im folgenden werden nachstehende Abkürzungen Verwendung finden:

N. Glas	Normalglasfenster
Stop ray	Reflexionsglas
G. Glas	grünes Absorptionsglas
3 × N. Glas	dreifach verglastes Fenster
L. St. a.	Lamellenstoren außen
L. St. zw.	Lamellenstoren zwischen den Fenstergläsern
L. St. i.	Lamellenstoren innen
Stoff-St. a.	Stoffstoren außen
K. St.	keine Storen (nicht heruntergezogen)

Wo nicht anders vermerkt, waren die Lamellenstoren immer mit einem Winkel von 45° eingestellt.

### III. Ergebnisse

Nachstehend sollen die wichtigsten Ergebnisse von insgesamt zehn Versuchen herausgegriffen werden.

#### Zweiter Versuch

Der Himmel war leicht verschleiert, und die Sonne schien schwach; maximale Außentemperatur am Schatten 26,4°C. Die Temperatur der Fassadenluft stieg von 27 auf

31 °C. Die Fenster blieben geschlossen. In Bild 1 sind die Temperaturen der Luft in Kopf- und Fußhöhe dargestellt. Die Lamellenstoren innen, das dreifachverglaste Fenster ohne Sonnenschutz und das Absorptionsglas ohne Sonnenschutz bewirkten Erhöhungen der Raumlufttemperaturen, die die Außentemperaturen wesentlich überschritten (Treibhauseffekt). Die Lufttemperaturen

über dem Fußboden lagen immer tiefer als diejenigen auf Kopfhöhe. Ihr Verlauf war nicht identisch mit demjenigen der Lufttemperatur auf Kopfhöhe. Auffallend waren die stärkeren Erhöhungen bei den Varianten ohne Lamellenstoren, was auf die Auswirkung der direkten Sonneneinstrahlung auf den Fußboden zurückgeführt werden muß. In Bild 2 ist der Verlauf der Fenstertemperaturen (Oberflächentemperaturen der Innenflächen) dargestellt.

Die Resultate lassen starke Unterschiede erkennen, wobei das Normalglasfenster mit Lamellenstoren außen und das Reflexionsglasfenster ohne Storenschutz die geringste Erwärmung verursachten. Am ungünstigsten waren die Lamellenstoren innen oder zwischen den Fenstern, wo die Oberflächentemperaturen 40 °C überstiegen. Bild 3 zeigt den Verlauf der Beleuchtungsstärke. Die Sonnenschutzsysteme mit Lamellenstoren bewirkten eine

- 1 Zweiter Versuch: Verlauf der Raumlufttemperatur bei verschiedenen Anordnungen von Lamellenstoren und bei Sonnenschutzgläsern.
- 2 Zweiter Versuch: Verlauf der Fenstertemperatur bei verschiedenen Anordnungen des Sonnenschutzes.
- 3 Zweiter Versuch: Verlauf der Beleuchtungsstärke.

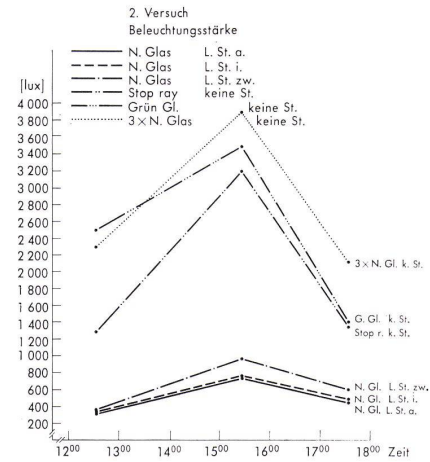
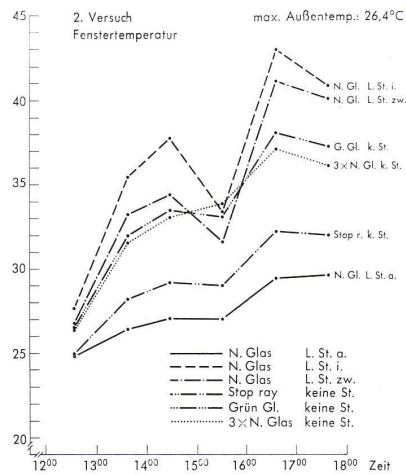
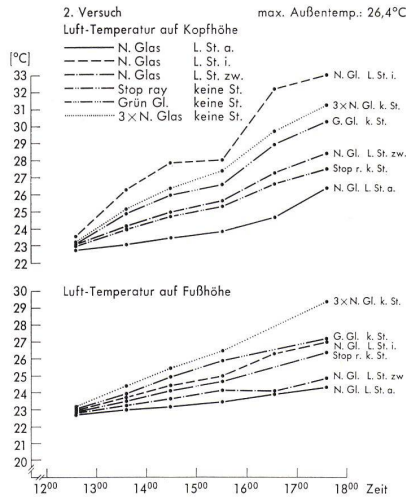


Tabelle 1. Erwärmung und Beleuchtung im zweiten Versuch.

	N.Glas L.St.a.	N.Glas L.St.i.	N.Glas L.St.zw.	Stopray k.St.	Grün Glas k.St.	3 × N.Glas k.St.
Erhöhung der Raumlufttemperatur – in Kopfhöhe (°C)	3,5	9,3	5,0	4,2	7,0	7,7
– in Fußhöhe (°C)	1,6	4,1	3,1	3,6	4,5	6,5
Erhöhung der Fenstertemperatur (°C)	4,7	15,5	14,9	7,5	11,8	10,8
Durchschnittliche Beleuchtungsstärke (lx)	500	510	630	1950	2470	2770

Tabelle 2. Erwärmung und Beleuchtung im vierten Versuch bei geöffneten Fenstern.

	N.Glas L.St.a.	N.Glas L.St.i.	N.Glas L.St.zw.	Stopray L.St.a.	Grün Glas k.St.	3 × N.Glas k.St.
Erhöhung der Raumlufttemperatur – in Kopfhöhe (°C)	6,3	8,4	8,1	5,7	8,7	10,9
– in Fußhöhe (°C)	5,2	6,6	7,4	4,1	6,5	7,1
Erhöhung der Fenstertemperatur (°C)	8,0	11,6	17,8	7,6	16,6	13,3
Temperatur der Umschließungsflächen, 15 bis 16.40 Uhr (°C)	27,3	28,5	27,6	23,6	26,6	30,1
Beleuchtungsstärke (lx)	1400	1450	3150	800	3150	4500

Tabelle 3. Erwärmung, Beleuchtung und empfundene Temperatur im sechsten Versuch bei verschiedenen Anordnungen des Sonnenschutzes. Die Winkelgrade geben die Lamellenstellung bezogen auf die Horizontale an.

	N.Glas L.St.a. 70°	N.Glas L.St.a. 45°	N.Glas L.St.a. horizontal	Stopray k.St.	Grün Glas k.St.	3 × N.Glas k.St.
Erhöhung der Raumlufttemperatur – in Kopfhöhe (°C)	1,6	2,2	5,9	5,0	8,6	11,8
Erhöhung der Fenstertemperatur (°C)	3,5	5,1	9,0	8,4	21,3	14,4
Temperatur der Umschließungsflächen (Durchschnitt 12 bis 15.30 Uhr) (°C)	23,5	24,3	26,1	26,5	29,0	30,4
Empfundene Temperatur $T_L + T_U/2$ (°C)	24,0	24,8	27,7	26,5	29,5	31,9
Beleuchtungsstärke um 15.45 Uhr (lx)	340	1050	2500	1900	3400	3800

Tabelle 4. Erwärmung und Beleuchtung im neunten Versuch bei außen angebrachten Stoffstoren und verschiedenen anderen Anordnungen des Sonnenschutzes. Wenig Sonne! Die Winkelgrade geben die Lamellenstellung bezogen auf die Horizontale an.

	N.Glas Stoff-St.a.	N.Glas L.St.a. 45°	N.Glas L.St.zw. 60°	Stopray L.St.a. 60°	Grün Glas L.St.i. 45°	3 × N.Glas L.St.zw. 60°
Erhöhung der Raumlufttemperatur in Kopfhöhe (°C)	2,5	2,0	3,7	1,3	5,7	4,7
Erhöhung der Fenstertemperatur (°C)	6,5	4,3	12,0	2,1	14,3	15,7
Temperatur der Umschließungsflächen um 16 Uhr (°C)	25,0	24,7	24,6	22,0	26,8	25,8
$\frac{T_L + T_U}{2}$ um 16 Uhr (°C)	24,8	24,4	25,5	22,9	28,2	26,4
Beleuchtungsstärke um 16 Uhr (lx)	340	470	460	125	380	560

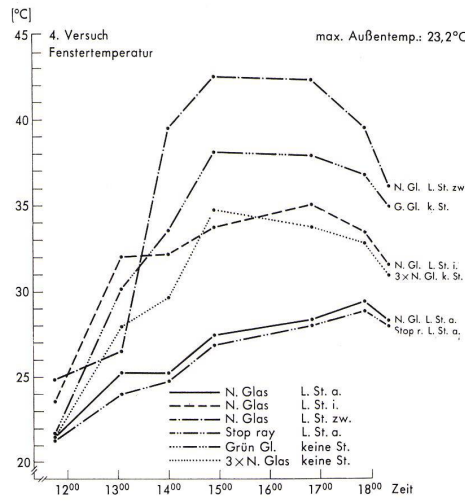
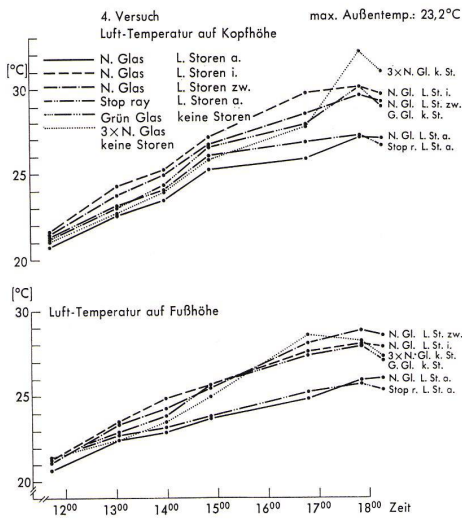
starke Reduktion der Beleuchtungsstärke, die sich jedoch noch zwischen 300 und 950 lx bewegte. In Tabelle 1 sind die Temperaturerhöhungen und die durchschnittlichen Beleuchtungsstärken zusammengestellt. Für die Temperaturerhöhungen wurden die Differenzen zwischen 13 und 17 Uhr berücksichtigt, die die maximalen Unterschiede ergaben.

#### Vierter Versuch

Der Himmel war bis 14 Uhr etwas bewölkt, hernach klar. Die Außentemperatur am Schatten stieg von 19 auf 23,2°C an, diejenige der Fassadenluft von 20,4 auf 26,6°C. Während des ganzen Versuchs blieben in jedem Raum die Fenster mit einem Anstellwinkel von 20° geöffnet. Von 15 bis 16.40 Uhr wurden

alle Oberflächentemperaturen gemessen und die Durchschnittswerte der Temperaturen der Umschließungsflächen berechnet. Die Temperaturen der Raumluft und der Fenster sind in den Bildern 4 und 5 dargestellt. Die Kurven der Raumtemperaturen liegen enger beieinander; die Unterschiede zwischen den Sonnenschutzsystemen sind geringer. Die

Öffnung der Fenster bewirkte ein Einströmen der aufsteigenden warmen Fassadenluft, was im allgemeinen zu hohen Raumlufttemperaturen und einer teilweisen Aufhebung des Sonnenschutzes Anlaß gab. Dagegen zeigten die Fenstertemperaturen erhebliche Unterschiede, wobei das Normalfenster oder das Reflexionsglas mit Lamellenstoren



Legende für sämtliche Bilder

- N. Glas, L. St. a. Normalglasfenster mit Lamellenstoren außen
- N. Glas, L. St. zw. Normalglasfenster mit Lamellenstoren zwischen den Fensterscheiben
- N. Glas, L. St. i. Normalglasfenster mit Lamellenstoren innen
- Stopray, k. St. außen ein Reflexionsglas, keine Storen
- G. Glas, k. St. außen ein grünes Absorptionsglas, keine Storen
- 3 × N. Glas, k. St. dreifach verglastes Klarglasfenster, keine Storen.

- 4. Vierter Versuch: Verlauf der Raumlufttemperaturen bei geöffneten Kippfenstern.
- 5. Vierter Versuch: Verlauf der Fenstertemperaturen bei geöffneten Kippfenstern.

Tabelle 5. Erhöhung der Raumlufttemperatur in Kopfhöhe (°C) bei verschiedenen Sonnenschutzanordnungen in allen Versuchen mit geschlossenen Fenstern.

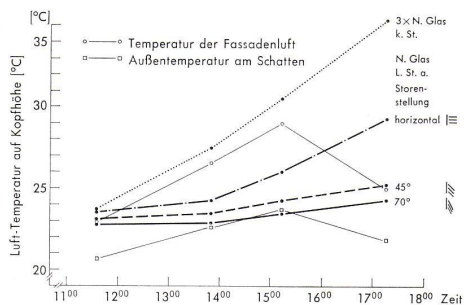
Sonnenschutzanordnung	Versuch Nr.							
	1	2	3	6	7	8	9	10
N. Glas L. St. a. 45°	2,4	3,5	1,2	2,2	2,2	-	2,0	-
N. Glas L. St. i. 45°	-	9,3	7,4	-	-	-	-	-
N. Glas L. St. zw. 45°	-	5,0	4,1	-	-	-	-	-
N. Glas k. St.	-	-	-	-	-	-	-	7,5
3 × N. Glas L. St. a. 45°	1,6	-	-	-	-	-	-	-
3 × N. Glas L. St. zw. 45°	-	-	-	-	-	-	-	6,3
3 × N. Glas k. St.	-	7,7	6,0	11,8	9,0	-	-	-
Stopray L. St. a. 45°	1,5	-	-	-	-	-	-	-
Stopray L. St. i. 45°	-	-	-	-	-	-	-	4,6
Stopray k. St.	-	4,2	2,3	5,0	-	4,0	-	-
Grünglas L. St. a. 45°	2,0	-	-	-	-	-	-	-
Grünglas L. St. i. 45°	-	-	-	-	-	-	5,7	-
Grünglas k. St.	-	7,0	5,3	8,6	-	6,5	-	6,4

Tabelle 6. Maximal erreichte Raumlufttemperatur in Kopfhöhe (°C) bei verschiedenen Sonnenschutzanordnungen in allen Versuchen mit geschlossenen Fenstern.

Sonnenschutzanordnung	Versuch Nr.							
	1	2	3	6	7	8	9	10
N. Glas L. St. a. 45°	24,5	26,2	24,7	24,4	24,2	-	24,6	-
N. Glas L. St. i. 45°	-	32,8	32,5	-	-	-	-	-
N. Glas L. St. zw. 45°	-	28,2	28,2	-	-	-	-	-
N. Glas k. St.	-	-	-	-	-	-	-	30,8
3 × N. Glas L. St. a. 45°	23,7	-	-	-	-	-	-	-
3 × N. Glas L. St. zw. 45°	-	-	-	-	-	-	-	28,3
3 × N. Glas k. St.	-	31,0	29,9	35,4	31,2	-	-	-
Stopray L. St. a. 45°	23,9	-	-	-	-	-	-	-
Stopray L. St. i. 45°	-	-	-	-	-	-	-	27,6
Stopray k. St.	-	27,3	26,3	28,4	-	26,4	-	-
Grünglas L. St. a. 45°	23,7	-	-	-	-	-	-	-
Grünglas L. St. i. 45°	-	-	-	-	-	-	29,6	-
Grünglas k. St.	-	30,1	29,3	32,0	-	28,7	-	29,5

Tabelle 7. Maximal erreichte Fenstertemperaturen (Oberflächentemperaturen der Innenflächen) (°C) bei verschiedenen Sonnenschutzanordnungen in allen Versuchen mit geschlossenen Fenstern.

Sonnenschutzanordnung	Versuch Nr.							
	1	2	3	6	7	8	9	10
N. Glas L. St. a. 45°	28,4	29,8	29,4	30,1	29,8	-	27,9	-
N. Glas L. St. i. 45°	-	43,2	43,2	-	-	-	-	-
N. Glas L. St. zw. 45°	-	41,7	42,8	-	-	-	-	36,6
N. Glas k. St.	-	-	-	-	-	-	-	44,0
3 × N. Glas L. St. a. 45°	26,7	-	-	-	-	-	-	-
3 × N. Glas L. St. zw. 45°	-	-	-	-	-	-	-	-
3 × N. Glas k. St.	-	37,3	35,8	39,6	37,2	-	-	-
Stopray L. St. a. 45°	26,6	-	-	-	-	-	-	-
Stopray L. St. i. 45°	-	-	-	-	-	-	-	34,9
Stopray k. St.	-	32,4	32,0	33,0	-	31,5	-	-
Grünglas L. St. a. 45°	27,7	-	-	-	-	-	-	-
Grünglas L. St. i. 45°	-	-	-	-	-	-	42,0	-
Grünglas k. St.	-	38,3	39,5	46,2	-	39,2	-	39,0



6 Sechster Versuch: Verlauf der Raumlufttemperatur in Kopfhöhe bei drei Lamellenstellungen (außen) im Vergleich zu den Außentemperaturen.

außen die geringsten Erhöhungen bewirkten.

Die Ergebnisse über die Erwärmung, die Beleuchtungsstärke und die Temperaturen der Umschließungsflächen sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die Temperaturdifferenzen beziehen sich auf Erhöhungen zwischen 12 und 16 bis 18 Uhr.

Auffallend ist die hohe Beleuchtungsstärke bei den Lamellenstoren zwischen den Fenstern. Dies muß auf das Kippen der Fenster, das den Öffnungswinkel der Lamellen von 45 auf 65° erhöhte, zurückgeführt werden. Bei den anderen Anordnungen wurden die Lamellenwinkel nur unwesentlich verändert.

#### Sechster Versuch

Der Himmel war klar und wolkenlos. Die Außentemperatur am Schatten stieg von 20,7 auf 23,5°C um 15 Uhr und sank hernach wieder auf 21,8°C. Die Temperatur der Fassadenluft stieg von 22,8 auf 29°C um 15 Uhr und sank hernach auf 25°C. Die Fenster blieben geschlossen. In diesem Versuch wurde in erster Linie der Einfluß der Lamellenstellung geprüft.

Bild 6 zeigt den Verlauf der Außenbeziehungsweise Innentemperaturen bei verschiedenen Lamellenstellungen. Den besten Schutz gegen Wärmeeinstrahlung boten «Lamellenstoren außen» bei Winkeln von 70 und 45°. Bei dieser Anordnung blieb die Temperatur der Raumluft wesentlich unter der Temperatur der Fassadenluft.

Die übrigen Resultate des sechsten Versuchs sind in Tabelle 3 wiedergegeben. Dabei beruhen die angegebenen Erwärmungen auf den Differenzen der Meßwerte zwischen 12 und 17 Uhr. Die Beleuchtungsstärke wurde einmal – um 15.45 Uhr – erhoben. Die Temperaturen der Umschließungsflächen wurden dreimal – um 12, 14 und 15.30 Uhr – gemessen; die Durchschnittswerte sind in Tabelle 3 aufgeführt. Schließlich berechneten wir für die Zeit von 15 bis 15.30 Uhr die Durchschnitte der Temperaturen der Raumluft auf Kopfhöhe ( $T_U$ ) und der Temperaturen der Umschließungsflächen ( $T_L$ ). Diese Durchschnitte sind für die Beurteilung der Temperaturempfindung in einem Raum von ausschlaggebender Bedeutung.

Bei Berücksichtigung aller Werte der Temperatur und der Beleuchtungsstärke von Tabelle 3 muß die Anordnung «Lamellenstoren außen» mit einem Winkel von 45° am besten beurteilt werden: Die empfundene Temperatur von 24,8°C blieb deutlich unter der Temperatur der Fassa-

denluft, und eine genügende Beleuchtungsstärke von 1000 lx war gewährt.

#### Neunter Versuch

In diesem Versuch sollte die Wirksamkeit eines außen heruntergezogenen Stoffstores mit andern Sonnenschutzmaßnahmen verglichen werden.

Der Himmel war verschleiert und die Sonne schwach. Die Außentemperatur stieg von 20,7 auf 23,2°C. Die Temperatur der Fassadenluft erreichte 27,5°C. Die Fenster blieben geschlossen.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 aufgeführt. Die Unterschiede zwischen den Räumen in bezug auf die Erwärmung waren in diesem Versuch verhältnismäßig gering. Stoffstoren sind bezüglich des Wärmeschutzes ungefähr gleich zu beurteilen wie das Normalglasfenster mit Lamellenstoren außen; dagegen bewirken sie wesentlich niedrigere Beleuchtungsstärken.

#### Zusammenstellung aller Versuchsergebnisse

Da die Sonneneinstrahlung und die Außentemperaturen von Versuchstag zu Versuchstag wechselten, können zuverlässige Vergleiche nur zwischen den an einem und demselben Versuchstag ausgeführten Messungen gemacht werden. In den Tabellen 5, 6 und 7 sind die wichtigsten Meßwerte aller Versuche mit geschlossenen Fenstern zusammengestellt. Sie geben die Möglichkeit, die Werte eines und desselben Versuchstages zu vergleichen; ferner können die Schwankungen von Versuch zu Versuch bei gleichen Anordnungen des Sonnenschutzes überblickt werden.

#### IV. Besprechung der Ergebnisse

Aus den Resultaten lassen sich die geprüften Sonnenschutzanordnungen folgendermaßen beurteilen: Außen angebrachte Lamellenstoren hielten in allen Versuchen die Wärmeeinstrahlung der Sonne wirksam auf.

Besonders wirksam war die Kombination von Sonnenschutzgläsern mit Lamellenstoren außen.

In der Kombination mit normalen Klarglasfenstern waren außen angebrachte Lamellenstoren ebenfalls gut wirksam: die Temperaturerhöhungen der Raumluft bewegten sich zwischen 1,2 und 3,5°C; die maximal erreichten Werte schwankten bei der

Raumluft zwischen 23,7 und 26,2°C und bei der Fenstertemperatur zwischen 26,7 und 30,1°C. Dabei blieb die Beleuchtungsstärke noch im Rahmen der üblichen Empfehlungen für die Tageslichtbeleuchtung. Lamellenstoren, die zwischen den Fenstern oder im Innern der Räume angebracht waren, hielten die Wärmeeinstrahlung ungenügend auf. In der Kombination mit Klarglasfenstern stiegen die Raumtemperaturen auf 28,2 bis 32,5°C und die Fenstertemperaturen auf 41,7 bis 44°C.

Normale Klarglasfenster ohne Sonnenschutz verursachten Raumtemperaturen von 29,9 bis 35,4°C und Fenstertemperaturen von 35,8 bis 39,6°C. Solche klimatische Verhältnisse sind absolut unzumutbar.

Reflexionsgläser ohne zusätzliche Lamellenstoren gewährten einen wesentlichen Schutz gegen die Wärmeeinstrahlung der Sonne, der jedoch in allen vergleichbaren Situationen nicht so wirksam war wie bei normalen Klarglasfenstern mit außenangebrachten Lamellenstoren. Dafür waren die Beleuchtungsstärken höher.

Absorptionsgläser – im Text Grün-glas genannt – ergaben ohne zusätzliche Lamellenstoren einen ungenügenden Schutz gegen die Wärmeeinstrahlung der Sonne. Die Raumlufttemperaturen 38,3 bis 46,2°C.

Diese hohen Fenstertemperaturen, verursacht durch die Absorption der Sonneneinstrahlung, wirkten sich besonders ungünstig auf das Raumklima aus. Absorptionsgläser können nur in Betracht gezogen werden, wenn zusätzlich außen angebrachte Lamellenstoren vorgesehen sind.

Außen angebrachte Stoffstoren von graugrüner Farbe gaben einen guten Schutz gegen die Wärmeeinstrahlung. Die Raumtemperaturen erhöhten sich um 2,5 bis 2,6°C und erreichten 24,5 bis 24,6°C. Die maximalen Fenstertemperaturen schwankten zwischen 29,7 und 30,8°C. Einschränkend ist allerdings zu sagen, daß bei dieser Sonnenschutzanordnung die Beleuchtungsstärke sehr niedrig war (unter 400 lx) und meistens unter den empfohlenen Grenzwerten für die Tageslichtbeleuchtung lag. Das Öffnen der Kippfenster hob teilweise die Wirkung der Sonnenschutzanordnung auf, was auf das Einströmen der warmen Fassadenluft zurückzuführen ist. Die Temperaturen der Fassadenluft bewegten sich zwischen 28 und 34,5°C.

Die Neigungswinkel der außen angebrachten Lamellenstoren spielen für den Schutz gegen Wärmeeinstrahlung eine entscheidende Rolle. Wirksam sind Neigungswinkel von 70 bis 45°; dagegen sind horizontale Einstellungen, die eine gute Sicht nach außen zulassen, bezüglich des Schutzes gegen Wärmeeinstrahlung ungenügend.

Die vorliegenden Ergebnisse über den Wärmeschutz stimmen gut mit Resultaten von Modellversuchen überein. So gibt zum Beispiel Loudon [10] folgende Reduktionsfaktoren für die Durchlassung der Sonnenwärme an:

Einfaches Klarglasfenster	0,77
Doppelverglastes Klarglasfenster	0,67
Stopray und Klarglasfenster	0,25
Doppelfenster	
mit Lamellenstoren außen	0,12
mit Lamellenstoren dazwischen	0,28
mit Lamellenstoren innen	0,46
mit Rollstoren außen	0,11

In unseren Versuchen hat das Reflexionsglas Stopray eine gute Beleuchtungsstärke zugelassen. Allerdings ist einschränkend zu bemerken, daß sich in der lichtarmen Winterzeit die Reduktion der Beleuchtungsstärke durch Reflexionsgläser ungünstig auswirkt [1]. Demgegenüber haben Lamellenstoren den Vorteil einer flexiblen Anpassung an die äußeren Tageslichtbedingungen.

#### Zusammenfassung

In sechs nebeneinanderliegenden, gleich dimensionierten Räumen an einer Südwestfassade wurden die Wirkungen verschiedener Anordnungen des Sonnenschutzes auf das Raumklima und die Beleuchtung untersucht. Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Der wirksamste Schutz gegen die Wärmeeinstrahlung der Sonne wird durch außen angebrachte Lamellenstoren, bei Neigungswinkeln von 45 bis 70°, gewährt.

Reflexionsgläser ohne Lamellenstoren gewähren einen etwas weniger guten Schutz; sie lassen dafür höhere Beleuchtungsstärken zu.

Wegen ungenügenden Schutzes gegen Sonnenwärme sind folgende Systeme nicht zu empfehlen: Lamellenstoren zwischen den Fenstern, Lamellenstoren im Innern des Raumes und Absorptionsgläser.

Stoffstoren gewähren einen guten Schutz gegen Sonnenwärme; dagegen setzen sie die Beleuchtungsstärke stark herab und können deshalb für Wohn- und Arbeitsräume nicht empfohlen werden.

Der Firma Griebler AG, Aadorf, Schweiz, die die Versuchsräume und die zu prüfenden Sonnenschutzanlagen zur Verfügung stellte, sei hier bestens gedankt.

#### Literatur

- [1] E. Grandjean, «Raumklimatische Untersuchungen in Büros während der warmen Jahreszeit», Heizung, Lüftung, Haustechnik 19, 1968, S. 118.
- [2] F. J. Langdon, «Modern offices: a user survey», National Building Studies Research Paper Nr. 41, H. M. Stationery Office, London, 1966.
- [3] F. Tonne, «Sonnenschutz an Gebäuden», Mitteilungen aus dem Institut für Tageslicht-Technik, Nr. 1, Stuttgart 1966.
- [4] W. Caemmerer, «Beitrag zum Problem des Sonnenschutzes von Fenstern», Gesundheits-Ingenieur 83, 1962, S. 349.
- [5] W. Caemmerer, «Problematik des Sonnenschutzes von Gebäuden», Gesundheits-Ingenieur 88, 1967, S. 79.
- [6] E. Wild, «Klimatische Probleme großer Fensterflächen», Schweizerische Bauzeitung 83, 1965, S. 3.
- [7] G. Brown, «Solvåre genom fönster och solskydd», Rapport Nr. 11, Statens Institut för Byggnadsforskning, Stockholm 1966.
- [8] P. Petherbridge und A. G. Loudon, «Principles of sun control», Architect's Journal 143, 1966, S. 143.
- [9] A. G. Loudon und P. Petherbridge, «Heating effect of sunshine», Architect's Journal 143, 1966, S. 138.
- [10] A. G. Loudon und P. Petherbridge, «Summertime temperatures in buildings», Building Research Station, Current Paper No. 47, 1968.