Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 83 (1965)
Heft: 38

Artikel: Klimatechnische Probleme grosser Fensterflächen
Autor: Wild, E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-68253

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 26.07.2025

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

ORGAN DES SCHWEIZERISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS S.I.A. UND DER GESELLSCHAFT EHEMALIGER STUDIERENDER DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE G.E.P.

Klimatechnische Probleme grosser Fensterflächen

DK 624.028.2:628.88

Von **E. Wild**, Ingenieur, Stäfa

1. Aufgabenstellung

Die Ausführung grosser Fensterflächen, wie sie heute allgemein bei Grossbauten, insbesondere auch bei Hochhäusern vorkommen, stellt eine Reihe von Problemen, die in enger Zusammenarbeit von Architekten, Bauingenieuren und Klimafachleuten gelöst werden müssen. Dazu ist es notwendig, dass alle Beteiligten diese Probleme wenigstens in den Grundzügen kennen und die Möglichkeiten der Lösungen beurteilen können. Ohne Zweifel stehen dabei die klimatechnischen Gesichtspunkte im Vordergrund. Denn es ist die Grundaufgabe jedes Wohn- oder Bürogebäudes, ein dem jeweiligen Verwendungszweck angemessenes Raumklima auch bei extremen Witterungsverhältnissen mit tragbaren Erstellungs- und Betriebskosten sicherzustellen.

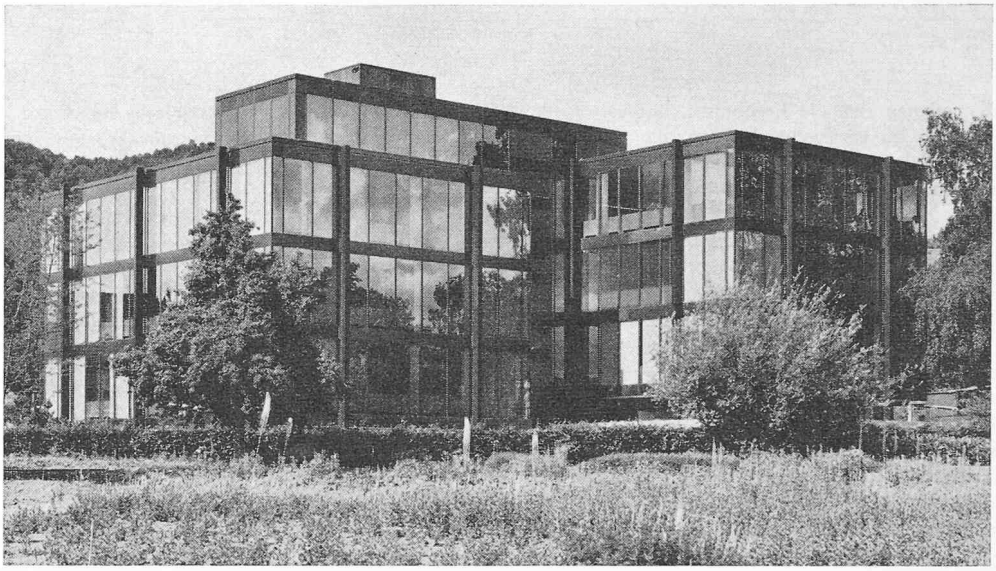

Bild 1. Glasfassade des Verwaltungsgebäudes der Ventilator AG, Stäfa mit Stop-Ray-Festverglasung

Von den Aufgaben, die zu lösen sind, sollen die folgenden näher betrachtet werden: 1. Das Eindringen von Strahlungsenergie der Sonne durch Fenster verschiedener Bauweisen mit und ohne Sonnenschutz, 2. der Wärmeaustausch zwischen Aussen- und Innenluft durch die Fenster infolge unterschiedlicher Temperaturen im Sommer und im Winter, 3. die Wirkung von Sonnenschutzvorrichtungen, 4. der Schallschutz, 5. die Ermittlung der Anlage- und Betriebskosten.

Zur Lösung dieser Aufgaben stehen eine Reihe konstruktiver Mittel zur Verfügung. Davon seien vor allem die besonderen Isoliergläser genannt, welche in neuster Zeit entwickelt worden sind und welche die Strahlung der Sonnenenergie, teilweise auch die Wärmeleitung stark dämpfen, ohne die Durchsichtigkeit ungebührlich zu beeinträchtigen. Im Vordergrund stehen die mit «Thermopane» und «Stop-Ray» bezeichneten Gläser. Diese wurden von der Ventilator AG hinsichtlich ihrer Durchlässigkeit für Sonnenlicht eingehend untersucht, um zuverlässige Unterlagen für die sichere Vorausbestimmung der klimatechnischen Einrichtungen zu erhalten. Die durchgeführten Messungen erhellen ein überaus wichtiges Gebiet, das bisher im dunkeln lag und zu Missverständnissen Anlass gab. Sie wurden überdies durch interessante Temperaturmessungen in einem Büroraum ergänzt, der stark der Sonnenbestrahlung ausgesetzt ist. Diese Messungen erlauben, sowohl die Wirkung der verwendeten Isoliergläser als auch die der eingebauten Klimaanlage festzustellen.

Die Vergrösserung der Fensterflächen erlaubt in Bürogebäuden eine beachtliche Verringerung des Bodenflächenbedarfs pro Kopf und damit eine bessere Ausnützung der verfügbaren Kubatur des Gebäudes. In Räumen mit grossem Wandanteil, wie sie früher üblich waren, musste mit einer Bodenfläche pro Kopf von 15 bis 20 m² gerechnet werden, wenn das Gefühl der Einengung nicht aufkommen sollte. Bei dem auf Bild 1 dargestellten Bürogebäude ist man für technische Arbeitsräume auf 6,5 m² zurückgegangen, ohne dass sich ein Unbehagen eingestellt hätte. Selbst kaufmännische Büros mit viel Telephonverkehr zeitigten bei 7,4 m² Bodenfläche pro Einzelbüro beachtlich gute Ergebnisse.

Bei Hochhäusern sind die Winddrücke zu berücksichtigen. Diese können in den oberen Stockwerken derart hohe Werte annehmen, dass die Fenster nicht mehr geöffnet werden können und dass die Grösse der Fensterflächen mit Rücksicht auf die Biegefestigkeit der Scheiben begrenzt werden muss. Weiter sind auch die Sonnenschutzvorrichtungen den höheren Beanspruchungen entsprechend zu bauen, was allerdings mit erheblichen Kosten verbunden ist. Diese lassen sich vermeiden, wenn die Storen auf der Innenseite angebracht werden. Alsdann wird auch deren Wartung wesentlich erleichtert. Jedoch ist eine solche Anordnung nur möglich, wenn die Scheiben nur wenig Wärmestrahlen durchlassen, wenn also spezielle Isoliergläser angewendet werden.

2. Die Untersuchung der Strahlendurchlässigkeit von Spezialscheiben

Um die Frage der Durchlässigkeit von Sonnenstrahlen durch Spezialscheiben zu klären, hat die Ventilator AG eingehende Messungen mit zweischichtigen Fenstern aus Thermopane- und aus Stop-Ray-Glasscheiben durchgeführt. In beiden Fällen betrug die Glasdicke rund 5 mm und der Scheibenabstand 12 mm. Zur Verfügung stand ein Spektralphotometer für Senkrechteinfall, Zeiss PMQ II. Die Genauigkeit der Transmissions-Prozentangabe ist besser als $\pm 0{,}5\,\%$.

Zunächst wurde die Intensitätsverteilung des direkten Sonnenlichtes auf der Erdoberfläche aufgenommen, Kurve 1 in Bild 2. Diese ergab sich, indem zuerst die extraterrestische spektrale Intensitätsverteilung der Sonnenmitte [1], abzüglich der Korrektur wegen Frauenhoferlinien über die ganze Sonnenfläche gemittelt wurde [2]. Die Ozonabsorption in der Luftschicht für minimale Ozonkonzentration ist berücksichtigt worden [3]. Dagegen unterliess man das Anbringen von Korrekturen, bedingt durch Wasserdampfabsorption, Dunststreuung, Rayleigh-Streuung usw., da diese je nach Witterung, Tages- und Jahreszeit stark schwanken und überdies für die vorliegenden Vergleiche bedeutungslos sind [4]. Die in Kurve 1 angegebene Sonnenstrahlungsenergie gilt somit für den klimatechnisch ungünstigsten Fall eines völlig klaren Sommertages bei hohem Sonnenstand sowie trockener, dunst- und staubfreier Luft von niedrigem Druck.

Atmosphärische Veränderungen wirken sich bei allen Glassorten ungefähr gleich aus. Sie ändern an der Angabe, wieviel Prozent der einfallenden Sonnenstrahlungsenergie vom Fenster durchgelassen werden, sehr wenig (nämlich weniger als 1 %), so dass auch dann ein zuverlässiger Vergleich verschiedener Glassorten möglich ist, wenn diese Veränderungen nicht berücksichtigt werden.

Die Messungen der Durchlässigkeit mit dem Spektralphotometer wurden, wie bereits mitgeteilt, für Senkrechteinfall durchgeführt. Demzufolge gelten die nachfolgenden Angaben streng genommen nur, wenn die Sonne senkrecht durch die Fensterscheiben scheint. Trotz-

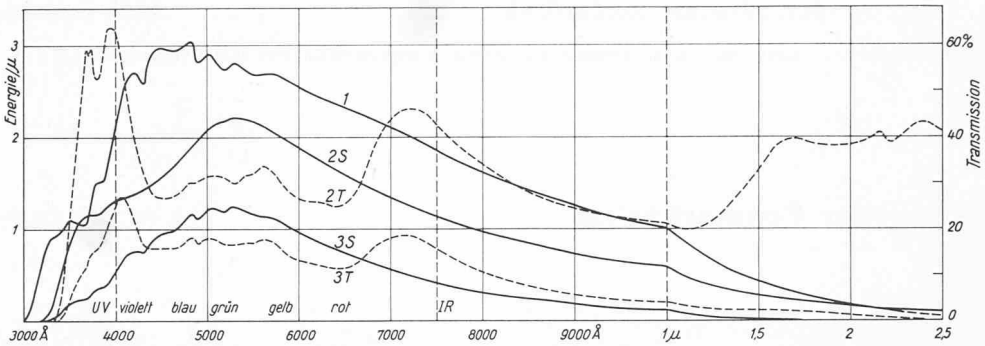

Bild 2. Durchlässigkeitsmessungen von Thermopane- und Stop-Ray-Glas mit Spektralphotometer Zeiss PMQ II
Kurve 1: Spektrum der Sonnenstrahlungsenergie
Kurven 2S und 2T: Prozentuale Durchlässigkeit bei Stop-Ray-Glas (2S) bzw. Thermopane-Glas (2T)
Kurven 3S und 3T: Intensitätsverteilung der Sonnenstrahlung hinter dem Fenster

Als Masstab für die Strahlungsenergie wurden willkürliche Einheiten gewählt

dem eignen sich die Ergebnisse, um verschiedene Gläsersorten miteinander zu vergleichen, sofern alle Gläser bei senkrechtem Lichteinfall untersucht werden. Die Korrektur für schiefen Einfall würde nämlich lediglich in der Multiplikation mit einem angenähert konstanten Faktor bestehen. Eine experimentelle Untersuchung der Durchlässigkeit bei schiefem Einfall wurde nicht durchgeführt, da sie wegen der seitlichen Strahlversetzung durch das Glas einen beträchtlichen Mehraufwand bedingt hätte, ohne aber wesentlich neue Informationen zu liefern.

Kurve 2 in Bild 2 gibt an, wieviel Prozent der Sonnenstrahlung nach Kurve 1 die Doppelscheibe durchdringt. Bei Stop-Ray-Glas steigt dieser Anteil im sichtbaren Bereich des Spektrums, wie ersichtlich, bis auf 42%. Es wird also verhältnismässig viel Licht durchgelassen; während im infraroten Bereich der Anteil unter 20% liegt. Beim Thermopane-Glas treten Spitzen im infraroten Bereich von etwas über 40% und im ultravioletten von über 60% auf, während vom sichtbaren Licht nur rund 33% durchgelassen werden.

Multipliziert man die Werte der Kurve 1 mit den Verhältniszahlen der Kurve 2, so erhält man die Kurve 3, welche die Intensitätsverteilung der Sonnenstrahlung hinter dem Fenster darstellt. Um die gesamte, direkt einfallende und die durch die Scheiben hindurchdringende Strahlungsenergie zu ermitteln, sind die Flächen unter den Kurven 1 bzw. 3 auszumessen. Dies kann sowohl für die ganze Spektrumbreite als auch für die drei Teilbereiche (ultraviolette, sichtbare und infrarote Strahlung) einzeln durchgeführt werden. Das Verhältnis der vom Glas durchgelassenen Energie zur einfallenden Sonnenenergie E_0 wird als Durchlässigkeit D bezeichnet. Tabelle 1 gibt die prozentuale Aufteilung des Sonnenlichts auf die drei Teilbereiche des Spektrums sowie die Durchlässigkeiten dieser Bereiche und des gesamten Spektrums in Prozenten wieder, und zwar für die beiden untersuchten Gläser Thermopan und Stop-Ray. Weiter sind dort auch die Messtoleranzen angegeben.

Tabelle 1. Durchlässigkeiten von Isoliergläsern

			UV	Sichtbar	IR	Total
Sonnenlicht		%	5,5	47,3	47,2	100
Durchlässigkeit	Thermopane	%	38,2	33,5	29,7	32,0
		%	±0,5	±0,3	±0,5	
	Stop-Ray	%	17,5	34,0	10,8	22,2
		%	±0,3	÷0,1	±0,2	

3. Die thermische Isolation

Ausser der Wärmestrahlung findet auch eine Wärmeströmung durch die Fensterscheiben statt. Massgebend ist hiefür die Temperaturdifferenz zwischen Aussenluft und Raumluft sowie die Wärmedurchgangszahl der Verglasung. Während die Wärmestrahlung naturgemäss nur auf den von der Sonne beschienenen Scheiben zu berücksichtigen ist, tritt eine Wärmeströmung überall da auf, wo zwischen innen und aussen unterschiedliche Temperaturen herrschen.

Für die Berechnung des Wärmeflusses durch eine einfache Glasscheibe gilt die bekannte Gleichung

$$Q = k \cdot F \cdot (t_a - t_i) \quad \text{kcal/h}, \tag{1}$$

wobei für die Wärmedurchgangszahl k zu setzen ist.

$$1/k = 1/\alpha_a + d/\lambda + 1/\alpha_i\,. \tag{2}$$

In der Praxis rechnet man meist mit den Wärmeübergangszahlen:

aussen $\alpha_a = 20$ kcal/m² h °C

innen $\alpha_i = 7$ kcal/m² h °C

Die Wärmeleitzahl λ liegt für Fensterglas zwischen 0,5 und 0,9, im Mittel bei 0,7 kcal/m h °C, für Kristallglas bei 0,86 kcal/m h °C; die Scheibendicke d ist in m einzusetzen.

Bei Doppelverglasung stellt sich im Zwischenraum zwischen den beiden Scheiben eine verhältnismässig stark turbulente Luftströmung ein, durch die sich die Temperaturen innerhalb des Luftpolsters weitgehend ausgleichen. Lediglich in den laminaren Grenzschichten in Scheibennähe bilden sich Temperatursprünge entsprechend den da herrschenden Wärmeübergangsverhältnissen aus. Diese hängen von der Luftpolsterdicke ab. Bei geringer Dicke (3 mm) ist die Strömung stark, und es ergeben sich hohe k-Werte; mit zunehmender Dicke nehmen die k-Werte zunächst stark, dann aber immer weniger ab und bleiben über 12 mm Dicke angenähert konstant. Bild 3 zeigt den Verlauf des k-Wertes einer Doppelscheibe aus Kristallglas von 6 mm Dicke sowie den des entsprechenden α-Wertes für die beiden Übergänge vom Glas an das Polster in Abhängigkeit von der Polsterdicke. Dort sind auch die Werte $k_1 = 1{,}92$ kcal/m² h °C für Stop-Ray-Verglasung ohne Innenstoren und $k_2 = 1{,}50$ kcal/m² h °C für dieselbe Verglasung mit vertikalen Innenstoren nach Bild 6 eingezeichnet.

Es ist vielfach üblich, das Luftpolster als festen Körper aufzufassen und eine «gleichwertige Wärmeleitzahl der Luft» λ' einzu-

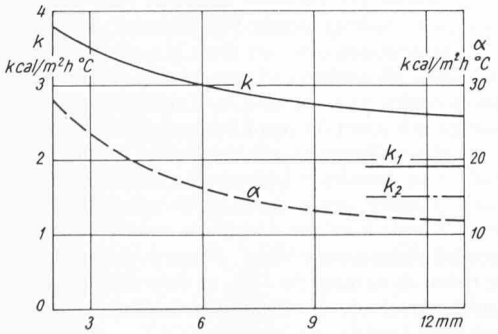

Bild 3. k- und α-Werte von Doppelscheiben in Abhängigkeit von der Luftpolsterdicke
k_1 für Stop-Ray-Verglasung ohne Storen,
k_2 für Stop-Ray-Verglasung mit Storen

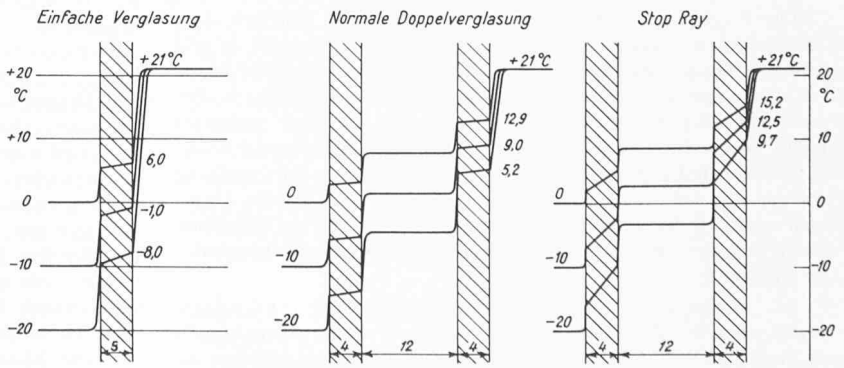

Bild 4. Temperaturverlauf bei einfacher, bei normaler Doppelverglasung und bei Stop-Ray-Verglasung für eine Innentemperatur von 21 °C und tiefe Aussentemperaturen. Man beachte die Oberflächentemperaturen auf der Innenseite

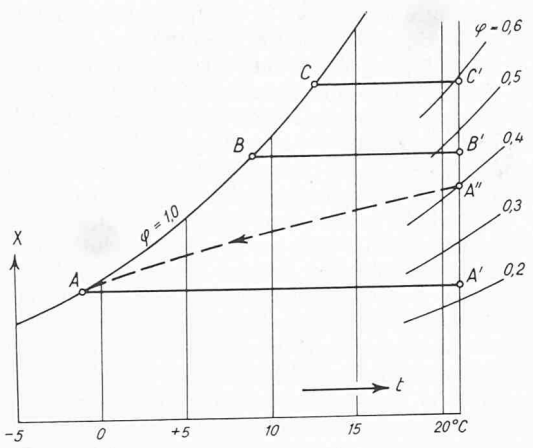

Bild 5 (links). Raumzustände A', B', C', und zugehörige Taupunkte A, B, C im t, x-Diagramm

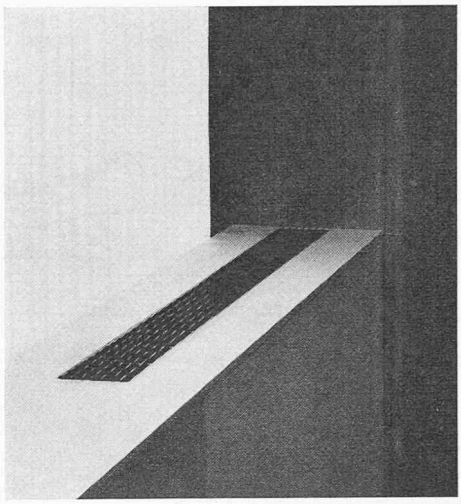

Bild 6 (rechts). Ausblasgitter einer Hochdruck-Klimaanlage an der Fensterbank und vertikale Lamellenstoren

führen, die den selben Widerstand ergibt, wie die beiden laminaren Grenzschichten ([10], S. 114ff.). Diese Leitzahl beträgt beispielsweise bei einer Polsterdicke von 6 mm $\lambda' = 0{,}048$ kcal/m h °C ($\alpha = 16$ kcal/m²h °C) und bei 12 mm Dicke $\lambda' = 0{,}072$ kcal/m h °C ($\alpha = 12$ kcal/m² h °C), während ruhende Luft von 20 °C einen Wert von $\lambda' = 0{,}021$ aufweist. Der Zusammenhang ist durch Gleichsetzen der Widerstände gegeben: $d/\lambda' = 2/\alpha$, woraus $\alpha = 2\,\lambda'/d$. Die Rechnungen werden durch die Einführung von λ' nicht einfacher.

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über verschiedene Fensterkonstruktionen aus Thermopaneglas mit den von den Lieferfirmen angegebenen Wärmedurchgangszahlen k. In der letzten Kolonne sind die prozentualen Verringerungen V des Wärmeverlustes der Scheiben gegenüber einfacher Verglasung angegeben. Sie ergeben sich aus der Gleichung (1) gemäss

$$V = 100\,\frac{Q_{\mathrm{I}} - Q_{\mathrm{II}}}{Q_{\mathrm{I}}} = 100\,\frac{k_{\mathrm{I}} - k_{\mathrm{II}}}{k_{\mathrm{I}}},$$

wobei der Index I sich auf die einfache, II auf die Doppelverglasung bezieht. Für die einfache Verglasung wurde mit $\lambda = 0{,}7$ kcal/m h °C und $d = 0{,}005$ m gerechnet, was eine Durchgangszahl von 5,0 kcal/m²h°C ergibt. Dazu wurden noch 10% für Undichtheiten zugeschlagen ($k = 5{,}5$ kcal/m² h °C).

Besonders hervorgehoben ist die Stop-Ray-Doppelverglasung, da sie eine ausserordentlich geringe Wärmedurchgangszahl aufweist. Die besondere isolierende Wirkung liegt nicht in einer geringeren Wärmeleitzahl des Glasmaterials, sondern in den aufgedampften Metallschichten, welche die Wärme reflektieren und dadurch nicht nur die Strahlung, sondern auch die Wärmeleitung stark verringern. Es ist sogar möglich, für die Wärmeströmung in der einen Richtung eine andere Durchgangszahl zu erzielen als in der anderen Richtung (Ventilwirkung). Eine beträchtliche Verringerung der Wärmedurchgangszahl wird bei Stop-Ray-Doppelverglasung durch Anordnen von Lamellenstoren auf der Innenseite erzielt ($k = 1{,}5$ kcal/m² h °C). Dadurch ist es namentlich im Sommer möglich, die Kühllast zu verringern, während man im Winter die Storen wenigstens über Tag hochzieht.

Tabelle 2 enthält weiter Angaben über die grössten Fensterflächen und die grössten Fensterlängen, die mit Rücksicht auf die Festigkeit bei starkem Windanfall noch zulässig sind. Den Berechnungen wurde eine vierfache Sicherheit und eine Windgeschwindigkeit von 80 km/h zugrunde gelegt.

4. Die klimatechnischen Vorteile von Isolierglas

Die bisherigen Untersuchungen liessen erkennen, dass sich die Verwendung von Isolierglas mit Rücksicht auf den wesentlich geringeren Wärmeaustausch mit der Aussenwelt durch Strahlung und Strömung sehr wohl rechtfertigt. Sie bietet aber auch beträchtliche klimatechnische Vorteile, die sich in einer erhöhten Behaglichkeit auswirken.

Einer dieser Vorteile ist die Annäherung der Temperatur der Scheiben-Innenoberfläche an die Raumtemperatur. Bekanntlich ist diese Oberflächentemperatur für die Wärmeabstrahlung des menschlichen Körpers und damit für die Behaglichkeit massgebend. Als unbehaglich werden vor allem niedrige Oberflächentemperaturen empfunden, wie sie im strengen Winter auftreten. Bild 4 orientiert über die bei verschiedenen Aussentemperaturen zu erwartenden Zahlenwerte. Man erkennt die wesentliche Verbesserung, die durch Doppelscheiben mit Isoliergläsern zu erzielen sind, hebt sich doch beispielsweise bei einer Aussentemperatur von —10 °C die Oberflächentemperatur bei Einfachverglasung von —1 °C durch den Übergang auf Doppelverglasung auf 9,0 °C und bei Verwendung von Stop-Ray-Glas sogar auf 12,5 °C. Diese Zahlen gelten für eine Raumtemperatur von 21 °C.

Ein weiterer Vorteil ist die Vermeidung von Schwitzwasserbildung an den Scheiben. Die Verhältnisse sind im x, t-Diagramm Bild 5 leicht zu verfolgen. Dort sind die oben genannten Oberflächentemperaturen auf der Sättigungslinie $\varphi = 1$ als Punkte A B C eingetragen. Soll Kondensation an den Scheiben vermieden werden, so darf die absolute Feuchtigkeit der Raumluft nicht höher liegen als die der Punkte A B C.

Tabelle 2. Wärmedurchgangszahlen verschiedener Fensterkonstruktionen

Typ	Stärke			Fläche	Seitenlänge	Approx. Gewicht		Therm. Isolation	
	Total mm	Glas mm	Luft mm	max. m²	max. m	netto kg/m²	brutto kg/m²	k-Wert kcal/m² h °C	Einsparung[1] %
1fach	—	5						5,5	—
2fach Thermopane	14	3	6	1,30	225	16,2	21	3,01	45
	20	3	12	1,30	225	16,2	21	2,66	52
	22	4	11	2,40	3,00	21,2	26	2,65	52
	24	5	12	3,65	4,00	26,2	31	2,60	52
	27	6	12	6,50	5,00	31,2	36	2,61	52
Stop-Ray	23	5,5	12	6,50	3,00	31	40	1,92	65
3fach	27	4	6	2,40	3,00	32	39	2,12	61
	40	5	12	3,65	4,00	40	47	1,83	67
	47	6	12	6,00	5,00	47,2	56	1,77	68
4fach	47	6	6	5,00	5,00	64	72	1,62	70

[1]) Einsparung gegenüber Einfachverglasung, für welche mit $k = 5{,}5$ kcal/m² h °C gerechnet wurde.
Die Maximalflächen wurden unter Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors von 4 und für Windstösse von 80 km/h berechnet, können jedoch für schwerere Beanspruchungen entsprechend geändert werden.

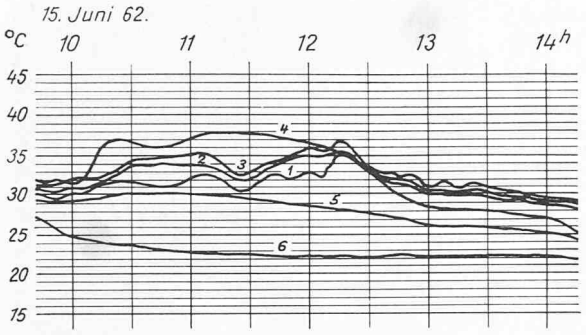

Bild 7. Temperaturverlauf im Versuchsraum bei Klimabetrieb

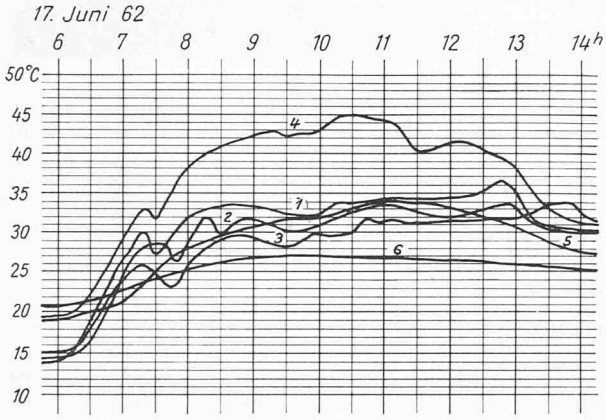

Bild 8. Temperaturverlauf im Versuchsraum ohne Klimabetrieb

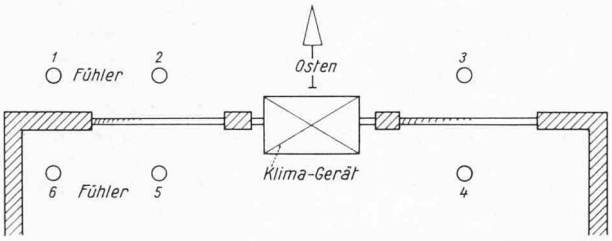

Bild 9. Anordnung der Messstellen. Fenster links mit Stop-Ray-Verglasung, Fenster rechts normale Doppelverglasung

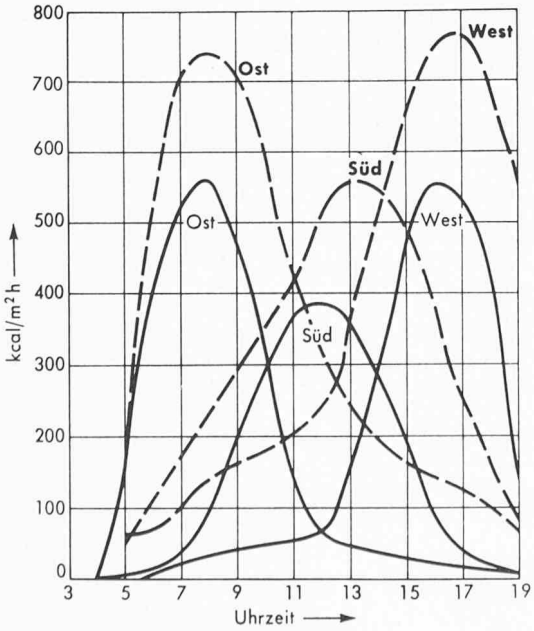

Bild 10. Vergleich der Sonnenstrahlungs-Intensität im Juli bei vertikalen, nach verschiedenen Himmelsrichtungen orientierten Wänden. Ausgezogen: Rechenwerte nach Guide 1956, gestrichelt: in Düsseldorf 1960 gemessene Werte

Bei einer Temperatur der Raumluft von 21 °C ergeben sich somit die Zustandspunkte A′ B′ C′, denen relative Feuchtigkeiten von 22% (Punkt A′), 46% (Punkt B′) und 59% (Punkt C′) entsprechen. Hieraus ist zu schliessen, dass in Wohn- und Büroräumen bei einfacher Verglasung mit Schwitzwasserbildung zu rechnen ist, weil mit Rücksicht auf die Behaglichkeit des Klimas relative Raumfeuchtigkeiten von über 25%, nämlich etwa 40 % anzunehmen sind. In diesem Falle wird der Luftzustand im Raum durch den Punkt A″ dargestellt. Innerhalb der Grenzschicht in Scheibennähe kühlt sich die Luft entsprechend der gestrichelten Linie ab und es scheidet sich Feuchtigkeit aus, bis an der Scheibe selbst der Zustand A erreicht ist. Wie ersichtlich, werden an der Scheibeninnenfläche von jedem Kilogramm Luft, das diese Abkühlung erfährt, 2,5 g Wasserdampf ausgeschieden.

Um die Wirkung von Stop-Ray-Doppelverglasung mit derjenigen normaler Doppelverglasung zu vergleichen, hat die Ventilator AG, Stäfa in einem Büro auf der Ostseite ihres Büro-Fabrik-Gebäudes Temperaturmessungen an wolkenlosen Sommertagen (15. und 17. Juni 1962) durchgeführt. Die Bilder 7 und 8 geben Ausschnitte der mit einem Sechsfarbenschreiber aufgenommenen Registrierstreifen wieder. Bild 9 zeigt die Stellen 1 bis 6, wo die Temperaturfühler angebracht wurden. In der Mitte der Fensterfront war ein Fenster-Klimagerät von Carrier montiert. Das Fenster links davon war mit Stop-Ray-Doppelverglasung versehen, dasjenige rechts davon mit normaler Doppelverglasung, beide Fenster ohne Sonnenschutz. Die Messungen nach Bild 7 beziehen sich auf vollen Betrieb des Klimagerätes, jene nach Bild 8 geben Messungen bei abgestelltem Klimagerät wieder. Dabei hat sich, wie aus Kurve 4 zu ersehen ist, beim Fenster mit normaler Verglasung eine starke Treibhauswirkung mit einer Temperaturspitze um 10.30 h bis 45 °C eingestellt, während das Fenster mit Stop-Ray-Verglasung, Kurve 5, eine Temperaturkuppe von nur 34 °C zeigt.

5. Sonnenschutz

Wie aus Bild 10 hervorgeht, ist die Einstrahlung der Sonne auf vertikale Wände im Verlaufe eines Tages sehr beträchtlich. Sowohl auf den Ost- wie auf den Westfronten von Gebäuden können Spitzenwerte auftreten, die 700 kcal/m² h übersteigen. Damit gewinnt das Problem eines wirksamen Sonnenschutzes bei Fenstern grösste Bedeutung. Bei Kleinbauten lässt es sich mittels Lamellenstoren lösen, die auf der Aussenseite der Fenster angebracht sind und die durch deren Beschattung die Wärmestrahlung auf etwa 30% zu verringern vermögen. Dieser Restbetrag dringt als diffuse Strahlung durch die Scheiben in den Raum hinein [1].

Bei Hochhäusern sind aussenliegende Lamellenstoren wegen starkem Windanfall kaum mehr ausführbar. Überdies bereitet die Wartung erhebliche Schwierigkeiten. Beschattungsvorbauten in Betonkonstruktion sind im allgemeinen unerwünscht. Die beste Lösung dürfte heute eine Konstruktion mit Stop-Ray-Verglasung darstellen, verbunden mit vertikalen Lamellenstoren auf der Innenseite. Bild 4 zeigt eine derartige Ausführung. Das Stop-Ray-Glas lässt, wie gezeigt wurde, nur einen geringen Teil der Sonnenenergie durchtreten. Die weissen Lamellenstoren, deren Lage und Richtung verschoben werden können, wirken als Lichtdiffusoren. Sie lassen sich individuell einstellen. Das Fensterlicht, das sich mit dem Lauf der Sonne verändert, wird so durch eine diffuse Lichtwand ersetzt, die den Innenraum mit einem weichen, lichtdurchlässigen Vorhang umgibt. Der Hell-dunkel-Effekt bleibt aus, ebenso die sonst häufig auftretende Augenermüdung. Überdies verringern die Lamellenstoren, wie bereits oben bemerkt, die Wärmeströmung von aussen nach dem Rauminnern.

6. Schalldämmung

Einen wichtigen Bestandteil der Behaglichkeit bildet die Abwesenheit von Lärm. Der Aussenlärm kann in der Nähe verkehrsreicher Strassen oder lärmiger Fabrikbetriebe ein stark störendes Ausmass annehmen. Um erträgliche Verhältnisse zu schaffen, müssen die Fensterkonstruktionen schalldämpfend wirken. Es ist also auch diesem Erfordernis zu entsprechen, sollen für die Rauminsassen angenehme Aufenthaltsbedingungen geschaffen werden.

Die hörbaren Geräusche bewegen sich in Frequenzen zwischen 30 und 20 000 Hz. Der technisch wichtige Frequenzbereich beschränkt sich auf das Gebiet zwischen 100 und 3200 Hz. Das Schallniveau wird bekanntlich in Dezibel (dB) ausgedrückt. Das Bezugsniveau (null dB) entspricht der mittleren Hörschwelle für eine Frequenz von 1000 Hz.

Die nachfolgenden Angaben über Schallstärken in dB gelten ebenfalls für eine Frequenz von 1000 Hz.

Das wünschbare Schallniveau wird für einen Spital zu 25–30 dB angegeben, für eine Landwohnung zu 30–35 dB, für eine Stadtwohnung zu 35–40 dB, für ein Privatbüro zu 40–45 dB und für ein öffentliches Büro zu 40–50 dB. Demgegenüber liegt das Schallniveau bei einer mittel belebten Verkehrsstrasse bei 70 dB, bei einer stark belebten Verkehrsstrasse bei 80 dB und bei einem Motorrad ohne Schalldämpfer in rund 5 m Entfernung bei 100 dB. Hieraus ergibt sich, dass sämtliche Fassadenelemente, insbesondere aber auch die Fenster eine stark schalldämpfende Wirkung aufweisen müssen.

Bei einer einfachen Verglasung hängt die Schalldämpfung von der Masse pro m² ab. Eine Verdoppelung der Glasdicke verringert den Schallpegel um 4 bis 5 dB. Bei Isolierverglasung ist die Schallabschwächung um etwa 4 bis 6 dB höher als die einer Einfachverglasung von gleichem Gewicht. Im allgemeinen kann mit folgenden Schalldämpfungswerten gerechnet werden:

Einfachverglasung	3 mm	23,5 dB
	6 mm	28,0 dB
	10 mm	31,5 dB
Isolierverglasung, Doppelscheiben		35 bis 45 dB
Stop-Ray-Verglasung		40 dB

7. Anlage- und Betriebskosten

Um sich ein Bild über die zu erwartenden Anlage- und Betriebskosten machen zu können, sind in der Tabelle 3 die hiefür massgebenden Zahlen für verschiedene Fensterkonstruktionen mit und ohne Beschattungsvorrichtungen einander gegenübergestellt. Die Angaben beziehen sich auf Bürohäuser. Zu den einzelnen Positionen ist folgendes zu bemerken:

Bei der Strahlung bezeichnet der unter Position A angegebene Faktor den Anteil der von der Sonne anfallenden Strahlungsenergie (von 600 kcal/m² h), der durch die Glasscheiben hindurchdringt. Davon lassen die Sonnenschutzlamellen den durch den Faktor B bezeichneten Anteil in den Raum eindringen, so dass C = A · B den gesamten Durchlässigkeitsfaktor für Strahlung angibt.

Bei der Wärmeströmung sind in der angegebenen Wärmedurchgangszahl k die Rückstrahlung, die bei Spezialgläsern auftritt, sowie die bei normalen Fenstern vorkommenden Spaltverluste berücksichtigt. Für die bei extremen Bedingungen auftretenden Temperaturdifferenzen zwischen Aussenluft und Raumluft wurden wie üblich im Sommer 6 °C, im Winter 40 °C angenommen. Die insgesamt einfallende Energie, Position E, ist die Summe der unter extremen Bedingungen durch Strahlung und Strömung übermittelten Beträge, also

im Sommer $Q_s = A \cdot B \cdot 600 + k \cdot 6$ kcal/m² h

im Winter $Q_w = k \cdot 40$ kcal/m² h

Die unter F, G und H aufgeführten Beträge beziehen sich auf die Anschaffungskosten je m² Fensterfläche, die bei Stop-Ray-Doppelverglasung sehr beträchtlich sind. Aus ihnen ergeben sich die unter I angegebenen Zahlen für den Kapitaldienst bei einer Amortisation in 10 bzw. 30 Jahren und bei einem Zinsfuss von 4% (Annuitäten 12,33 bzw. 5,78%).

Der Brennstoffverbrauch für die Deckung der Wärmeverluste durch die Fenster je m² Fensterfläche und Jahr im Winter berechnet sich nach der bekannten Formel

$$B = \frac{z\, Q_w\, G_t}{\Delta t_m\, H_u\, \eta} \text{ kg/m}^2\text{J}$$

mit

z Vollbetriebsstundenzahl (z = 15 h)

Q_w der Wärmeverlust je m² Fensterfläche bei Δt_m in kcal/m²h

Δt_m die grösste Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen (Δt_m = 40 °C)

G_t die Gradlagzahl (für Zürich G_t = 3600 bei 20° Innentemperatur und 12° Heizgrenze)

H_u der untere Heizwert (für Heizöl H_u = 10 000 kcal/kg)

η der Jahresmittelwert des Kesselwirkungsgrades (η = 0,75)

Mit den angegebenen Zahlen ergibt sich $B = 0{,}18\, Q_w$. Für die Brennstoffkosten kann mit 0,15 Fr./kg gerechnet werden.

Im Sommer muss der Wärmeeinfall durch die Fenster mittels einer Kältemaschine an Kühlwasser abgegeben werden. Bei den für grosse Bürohäuser erforderlichen Kälteleistungen werden heute meist Turbokompressoren verwendet. Bei ihnen muss für eine Kälteleistung von 1 Mio kcal/h mit einem Verbrauch an elektrischer Energie von 200 kW und mit einem Kühlwasserverbrauch (unter Annahme einer Erwärmung von 15 auf 30 °C) von 80 m³/h gerechnet werden. Bei einem Strompreis von 0,10 Fr./kWh und einem Wasserpreis von 0,30 Fr./m³ belaufen sich die stündlichen Betriebsmittelkosten einer solchen Maschine auf 44 Fr./1 Mio (kcal/h). In unserer Gegend kann jährlich mit 500 Vollbetriebsstunden gerechnet werden. Damit ergeben sich die jährlichen Betriebsmittelkosten für die Kühlung im Sommer zu

$$K_s = 500 \cdot 44 \cdot Q_s/10^6 = 0{,}022\, Q_s \quad \text{Fr./m}^2\text{ J.}$$

Schliesslich sind noch die Erstellungskosten sowie die Kosten für den Kapitaldienst der Heiz- und Kälteanlagen in Rechnung zu stellen, deren Leistungen entsprechend den unter E angegebenen Zahlen für die verschiedenen Gläser stark voneinander abweichen. Da es sich nur um einen ungefähren Vergleich handelt, genügt es, mit mittleren Ansätzen pro kcal/h zu rechnen, wie sie für Anlagen der fraglichen

Tabelle 3. Betriebsmittelkosten und Jahreskosten verschiedener Fensterkonstruktionen

Pos.			Verglasung Storen	normal einfach ohne	normal einfach mit	normal doppel ohne	normal doppel mit	Thermopane ohne	Thermopane mit	Stop-Ray ohne	Stop-Ray mit[1])
A	Durch-	Glas	—	1	1	0,9	0,9	0,32	0,32	0,22	0,22
B	lässigkeits-	Storen	—	–	0,3	–	0,3	–	0,3	–	0,6
C	Faktor	Total	—	1	0,3	0,9	0,27	0,32	0,1	0,22	0,13
D	Wärmedurchgangszahl k		kcal/m²h °C	6,0	6,0	3,0	3,0	2,63	2,63	1,92	1,5
E_1	Total durchtretende	Sommer	kcal/m²h	636	216	558	180	208	76	144	87
E_2	Wärme	Winter	kcal/m²h	240	240	120	120	105	105	77	60
F	Anlagekosten	Scheiben	Fr./m²	32	32	60	60	78	78	168	168
G	pro m²	Storen	Fr./m²	–	110	–	110	–	110	–	60
H		Total	Fr./m²	32	142	60	170	78	188	168	228
I_1	Kapitaldienst,	10 Jahren	Fr./m² J.	3.95	17.50	7.40	21.—	9.65	23.20	20.70	28.15
I_2	Tilgung in	30 Jahren	Fr./m² J.	1.85	8.20	3.45	9.80	4.50	10.90	9.70	13.20
K_1	Betriebs-	Sommer	Fr./m² J.	14.—	4.75	12.30	4.—	4.60	1.70	3.20	1.90
K_2	mittelkosten	Winter	Fr./m² J.	6.50	6.50	3.25	3.25	2.83	2.83	2.08	2.08[2])
K_3	Wartung der Aussenstoren		Fr./m² J.	–	0.60	–	0.60	–	0.60	–	–
L_1	Totale Jahres-	10 Jahre	Fr./m² J.	24.45	29.35	22.95	28.85	17.08	28.33	25.98	32.13
L_2	kosten, Tilgung	30 Jahre	Fr./m² J.	22.35	20.05	19.—	17.65	11.93	16.03	14.98	17.18
M_1	Anlage-	Heizung	Fr./m²	36.—	36.—	18.—	18.—	15.80	15.80	11.60	9.—
M_2	kosten	Kühlung	Fr./m²	114.50	38.90	100.40	32.40	37.40	13.70	25.90	15.70
N_1	Kapitaldienst bei	10 Jahren	Fr./m² J.	18.50	9.25	14.60	6.20	6.60	3.65	4.60	3.05
N_2	Tilgung in	30 Jahren	Fr./m² J.	8.70	4.35	6.80	2.35	2.50	1.70	2.15	1.40
O_1	Ges. Jahreskosten	10 Jahren	Fr./m² J.	42.95	38.60	37.55	35.05	23.68	31.98	30.58	35.18
O_2	bei Tilgung in	30 Jahren	Fr./m² J.	31.05	25.40	25.80	20.—	14.43	17.73	17.13	18.58

[1]) Innenstoren

[2]) Im Winter sind die Storen hochgezogen, so dass mit k = 1,92 zu rechnen ist!

Grösse heute zu erwarten sind. Diese betragen für die Heizanlagen 0,15 Fr./(kcal/h), für die Kälteanlagen 0,18 Fr./(kcal/h). Damit ergeben sich die unter M_1 und M_2 angegebenen Zahlen. Wie ein Vergleich mit den unter I_1 und I_2 angeführten Beträgen erkennen lässt, fallen die Kosten der Erzeugungsanlagen stark ins Gewicht.

Nun ist allerdings zu bemerken, dass man den Vergleich nicht überspitzen darf. Wer einfachverglaste Fenster verwendet, muss sich bewusst sein, dass er damit ohnehin auf höhere Ansprüche an das Raumklima verzichtet. Er wird insbesondere im Sommer nicht künstlich kühlen und spart dementsprechend beträchtlich an Anlage- und Betriebsmittelkosten gegenüber den in Tabelle 3 unter Position L_1 und L_2 angegebenen Zahlen. Diese zeigen immerhin, dass die Jahreskosten (ohne Berücksichtigung des Kapitaldienstes für die Heiz- und Kälteanlagen, Position M_1 und M_2) bei einfacher Verglasung schon grösser sind als bei Doppelverglasung, wenn in den Räumen die gleichen Temperaturen (21 °C im Winter, 6 °C unter der Aussentemperatur im Sommer) gehalten werden sollen. Bemerkenswert ist nun aber, dass sich die Jahreskosten bei den teureren Fenstern mit Isoliergläsern gegenüber denen bei gewöhnlichen Doppelverglasungen schon bei einer Amortisationsdauer von nur 10 Jahren weitgehend ausgleichen und bei einer solchen von 30 Jahren zu Gunsten der Erstgenannten ausfallen. Dieses Ergebnis prägt sich noch stärker aus, wenn der Kapitaldienst für die Heiz- und Kälteanlagen mitberücksichtigt wird. Dieser ist unter Position N_1 und N_2 angegeben. Die Summen mit den Zahlen der Positionen L_1 und L_2 ergeben die gesamten Jahreskosten, Positionen O_1 und O_2. Wie diese Zahlen zeigen, kommt die teure Stop-Ray-Verglasung mit und ohne Innenstoren kostenmässig sehr nahe an die Thermopane-Verglasung heran und ergibt merklich geringere gesamte Jahreskosten als die gewöhnliche Doppelverglasung. Nimmt man noch die weiteren Vorteile hinzu, die diese Konstruktion bietet und auf die oben hingewiesen wurde, so dürfte in den meisten Fällen ihre Anwendung zu empfehlen sein.

8. Festverglasung

Sicher werden in Zukunft immer mehr Bauten mit Festverglasung ausgeführt. Die Vorteile sind überzeugend: So verhindern die festversiegelten Fensterfronten (mit Zweikomponenten-Kitt, z. B. Thiokol) den normalerweise auftretenden ein- bis zweifachen natürlichen Luftwechsel in den Gebäuden durch die Fugen. Das Eindringen von Staub durch Öffnen der Fenster ist ausgeschlossen. Die für die Regulierung der Klimaanlagen nachteiligen Störungen, die beim Öffnen der Fenster entstehen, sind vermieden. Ins Gebäude tritt nur filtrierte, staubfreie Luft ein. Die Kosten für Scharniere und Schlösser fallen weg. Der Lärm von aussen wird stärker abgeschirmt, da praktisch keine Ritzen mehr für Schallbrücken vorhanden sind.

9. Schlussbemerkung

Die Planung eines Hauses ist heute nicht mehr Sache eines Einzelnen, sondern das Werk einer Gruppe von Fachleuten, die von Anfang an in vernünftiger Zusammenarbeit die Probleme erkennen und gemeinsam lösen müssen. Nur bei enger Fühlung mit den Kollegen anderer Fachrichtungen können Grossbauten mit Erfolg in der nötigen Zeit verwirklicht werden. Das Problem «Fensterflächen» ist ein Abschnitt aus der Klimatechnik, der die Architekten und Bauingenieure ebenfalls stark interessieren muss.

Adresse des Verfassers: Ing. *E. Wild*, Im Gehren, 8712 Stäfa

Literaturverzeichnis

[1] *Dahinden, Justus:* Das neue Verwaltungsgebäude der Ventilator AG, Stäfa. Neue Zürcher Zeitung (1964) Nr. 2952 v. 8. Juli.
[2] *Mahler, K.:* Sonnenschutzvorrichtung an Gebäudefassaden. «Kältetechnik» (1965) Nr. 1, S. 2/7.
[3] *Mönner, W.:* Einsparung an Heizenergie durch wärmedichtes Bauen und Wärmeverbrauchsmessung. «Heiz-Lüft-Haustechnik» 15 (1964) Nr. 12, S. 420/22.
[4] *Mulders, G.F.W.:* Diss. Utrecht 1943; «Z. Astrophys». 11 (1936) S. 132.
[5] *Canavaggia, R.*, und *Chalonge, D.:* «Ann. Astrophys.» 9 (1946), S. 143. «Physica» XII (1946), S. 721. «Ann. Astrophys. 13 (1950), S. 355.
[6] *Johnson, F.S.:* Zit. in Handb. der Physik 48 (1957), S. 184.
[7] *Minaert, M.:* Bd. 2 (1924), S. 75. Zit. in Landolt-Börnstein III (1952), S. 146.
[8] *Möller, F.:* Handb. der Physik 48 (1957), S. 234.
[9] *Waldmeier, M.:* Ergebnisse und Probleme der Sonnenforschung. 2. Aufl. Leipzig: Geest und Portig 1955. S. bes. Seiten 11 u. 389, Abb. 146. (Nr. 22 der Reihe: Probleme der kosmischen Physik).
[10] *Cammerer, J. S.:* Der Wärme- und Kälteschutz in der Industrie. 4. Aufl. Berlin, Göttingen. Heidelberg 1962, Springer-Verlag.

Die Schriften [1] bis [7] sind in der Bibliothek der ETH erhältlich. Als Lieferanten von STOP-RAY-Glas seien genannt: GLAS-MÜLLER, Röntgenstrasse 33, Zürich und Jac. HUBER & BÜHLER, Mattenstrasse 137, Biel, als Lieferant von VERTICAL-BLINDS: VERTICALS, INC., Postfach 48, CH-8712 Stäfa.

Verkehrserhebungen im Kanton Basel-Stadt und im Kanton Basel-Landschaft

DK 656.11

Die Projektierung von grossen Verkehrsanlagen kann den Bedürfnissen der nächsten Jahre nur dann entsprechen, wenn sie auf genauen Untersuchungen basieren kann. Es ist deshalb unumgänglich zu erfahren, welches die wirklichen Verkehrsbedürfnisse einer Region sind. Eine solche Voraussage, d. h. eine *Verkehrsprognose* erfordert die Beantwortung der wichtigsten Fragen wie: Woher kommt der Verkehr? Wohin geht er? Warum bzw. was erzeugt Verkehr?

Die Verkehrsprognose zusammen mit der *Nutzungsprognose*, d. h. die Bevölkerungs-, Arbeits- und Bodennutzungsprognose aus dem Orts-, Stadt- und Regionalplan führt zu einem *Gesamttransportplan*, der auf seine wirtschaftliche und technische Durchführbarkeit geprüft werden muss. Der Gesamttransportplan bildet die wichtigste Vorarbeit für die Realisierung von Bauwerken in der Zukunft.

Die beiden Halbkantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft sind übereingekommen, gemeinsam in ihren Regionen eine umfassende *Verkehrserhebung* durchzuführen. Dieselbe wird zusammen mit der eidgenössischen Betriebszählung am 28. September 1965 durchgeführt. Sie soll aufbauen auf der Verkehrserhebung, die durch das ASF im Jahre 1960 veranlasst wurde. In Anbetracht der Wichtigkeit dieses Vorhabens luden die Baudirektionen der beiden Halbkantone zu einer Pressekonferenz ein, um diese Verkehrserhebung möglichst populär zu machen. Unter dem Präsidium von Baudirektor Max Kaufmann, Kanton Basel-Landschaft, referierten der baselstädtische Baudirektor Max Wullschleger, der Kantonsingenieur des Kantons Basel-Landschaft Dr. Zipkes, sein Stellvertreter Ing. Rohner, Stadtplanchef Peter und der baselstädtische Kantonsstatistiker Dr. Wunderlin. Die Verkehrserhebung wird mittels einer Fragekarte durchgeführt, wobei im Kanton Basel-Landschaft jede 5. Haushaltung und im Kanton Basel-Stadt jede 10. Haushaltung diesen Fragebogen ausfüllen soll. An genau fixierten Strassenstellen werden Querschnittszählungen durchgeführt, und erstmals wird auch das öffentliche Verkehrsmittel mit einbezogen. Der Wert dieser Erhebung steht und fällt mit der genauen Beantwortung der gestellten Fragen, die einerseits möglichst viel aussagen sollen und anderseits für die Weiterverarbeitung einfach sein müssen. Der 28. September 1965 wurde deshalb als Stichtag gewählt, weil man auf Grund langjähriger Beobachtungen feststellen konnte, dass das Verkehrsaufkommen in der zweiten Hälfte des Monats September dem Jahresdurchschnitt entspricht. Auf Grund regionaler Besonderheiten wählte man den Dienstag, den 28. September 1965, da dieser Tag, wie oben erwähnt, mit der eidgenössischen Betriebszählung zusammenfällt, ein Umstand, der sich natürlich kostensenkend auswirkt. Gleichzeitig wird auch die eidgenössische Verkehrszählung und eine Erhebung durch die deutschen Behörden an den Grenzübergängen von Basel bis Schaffhausen durchgeführt. Die Aufwendungen für die Verkehrserhebung sind sehr gross. In den beiden Halbkantonen sind mit Beträgen von je rd. 500 000 Fr. zu rechnen, wobei der Hauptanteil dieser hohen Kosten auf die Auswertung fällt. Obwohl sich diese Erhebung nur auf die beiden Halbkantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft erstreckt, wird auch die Gemeinde Dornach miteinbezogen. Da sich die Zählungen über das engere Einzugsgebiet hinaus erstrecken, können in beschränktem Umfang einige Anhaltspunkte über das Verkehrsaufkommen in der anschliessenden Region gewonnen werden.

Die Träger der Organisation für diese Verkehrserhebung sind: Amtsstellen in Basel-Stadt: Stadtplanbüro, Statistisches Amt, Tiefbauamt.

Amtsstellen in Basel-Land: Tiefbauamt, Amt für Gewerbe, Handel und Industrie, kant. Rechenzentrum, Polizeikommando.

Mitarbeitende Ingenieurbüros: Basel-Stadt: Ing. Büro J. van Dijk, Zürich, Basel-Land: Ing. Büro E. Böhringer, Oberwil.

Es ist zu hoffen, dass diese Verkehrserhebung dank der Unterstützung der Bevölkerung zu einem vollen Erfolg führen wird.

E. Keller, dipl. Ing. ETH.