

DK 666.247.2:536.3:535.34:536.212:628.852.2

Neue Untersuchungen zur Beurteilung der Wirkung von Sonnenschutzgläsern auf die sommerlichen Temperaturverhältnisse in Räumen

Von HELMUT KÜNZEL und CHRISTINE SNATZKE, Holzkirchen

(Mitteilung aus der Außenstelle Holzkirchen des Instituts für Technische Physik Stuttgart der Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.)

(Eingegangen am 10. April 1968)

Zur quantitativen Ermittlung der strahlungsbedingten Wärmelieferung in Räume mit doppelt verglasten Fenstern verschiedener Art wurden Untersuchungen in Versuchsräumen bei natürlicher Besonnung durchgeführt.

Der zeitliche Verlauf der strahlungsbedingten Temperaturzunahme in einem Raum hängt ab von der Jahreszeit und von der Orientierung der Fensterfläche. Man kann jedoch die Vielfalt der dadurch möglichen Temperaturverläufe mit guter Näherung auf eine Kurve reduzieren, indem man die Raumluft-Temperaturzunahme als Funktion der integrierten Außenstrahlung darstellt.

Die strahlungsbedingte Wärmezufuhr durch Glasflächen in einen Raum setzt sich zusammen aus dem Anteil der unmittelbar durch das Glas transmittierten Strahlung und einem durch Strahlung und Konvektion von der erwärmten Glasfläche nach innen abgegebenen Wärmemenge. Beide Anteile können näherungsweise aus der integrierten Außenstrahlung durch Multiplikation mit einem konstanten Faktor ermittelt werden. Die Größe der Faktoren sind kennzeichnend für die Eigenschaften der verwendeten Gläser.

1. Problemstellung

Fenster mit begrenzten Abmessungen, die als Öffnungen von Fassadenflächen zum Zwecke des Lichteinfalles und der Lüftung angesehen werden können, sind praktisch nur hinsichtlich ihres Einflusses auf den Wärmebedarf eines Raumes im Winter zu beurteilen (Wärmedurchlässigkeit, Luftdurchlässigkeit der Fugen). Einfallende Sonnenstrahlung durch Fenster von begrenzten Abmessungen wird in der Regel als angenehm und erwünscht empfunden, insbesondere im Winter.

Besteht jedoch eine Fassadenfläche zum großen Teil oder ganz aus Glas, dann übernehmen die Glasflächen die Funktion von Wandelementen. In diesem Falle ist es notwendig, die Eigenschaften der Glaswandelemente mit denen anderer üblicher Wandbauarten zu vergleichen und sich Klarheit über die speziellen Gegebenheiten bei der Verwendung von Glas in großen Flächen zu verschaffen.

Die hervorstechende Eigenschaft von Glas im Gegensatz zu anderen nicht durchsichtigen Baustoffen ist dessen weitgehende Durchlässigkeit für Licht- und Wärmestrahlung in einem weiten Spektralbereich. Hingegen treten Reflexion und Absorption der Strahlung sowohl bei Glas als auch bei anderen Baustoffen auf.

Hinsichtlich der Strahlungsabsorption besteht jedoch ein kennzeichnender Unterschied: Bei nicht durchsichtigen Stoffen wird die Sonnenstrahlung nur an der Außenoberfläche absorbiert; die hierdurch entstehende Wärme wird z. T. entsprechend den wärmetechnischen Eigenschaften des Materials weitergeleitet. Bei Glas hingegen findet die Absorption innerhalb der gesamten Glasschicht statt.

In Anbetracht der geringen Dicke von Glasscheiben fällt deren Wärmedämmung nicht ins Gewicht. Eine Verminderung des Wärmedurchganges ist daher nur durch Anordnung von Luftschichten zwischen Glasscheiben (Doppel- und Dreifachscheiben) oder durch Beeinflussung der Wärmeübergangsbedingungen zu erzielen.

Ein weiterer Unterschied besteht hinsichtlich der Wärmekapazität. Im Vergleich zu üblichen, schweren Wandbauarten ist die Wärmekapazität von Glasscheiben vernachlässigbar klein. Bei leichten, nicht durchsichtigen Außenwänden mit ebenfalls geringer Wärmekapazität wird nach DIN 4108 (Wärmeschutz im Hochbau) eine höhere Wärmedämmung gefordert als bei schweren Wänden; diese „Kompensationsmöglichkeit“ ist bei Glaswänden nicht gegeben.

Auf Grund dieser wesentlichen Unterschiede zwischen einer Glaswand und einer Wand üblicher Bauart ist es nicht möglich, beide Wandbildner nach den gleichen Gesichtspunkten zu beurteilen und zu bewerten. Eine wärmeschutztechnische Beurteilung von nicht durchsichtigen Außenwänden erfolgt durch Messung ihrer Wärmedurchlaßwiderstände. In DIN 4108 sind hierfür Mindestwerte, abhängig vom Wandgewicht angegeben, die in den einzelnen Wärmedämmgebieten eingehalten werden müssen¹⁾.

¹⁾ Die Festlegungen in DIN 4108 erfolgten im wesentlichen unter Berücksichtigung der winterlichen Verhältnisse (stationärer Wärmedurchgang). Sie befriedigen nicht im Hinblick auf die Verhältnisse im Sommer (instationärer Wärmedurchgang), speziell für die Beurteilung leichter Bauteile.

Glasflächen können wärmeschutztechnisch im Hinblick auf den winterlichen Wärmebedarf eines Raumes berücksichtigt werden. Hierfür ist die Kenntnis der Wärmedurchgangszahl erforderlich. Um die Auswirkung großer Glasflächen auf die raumklimatischen Verhältnisse im Sommer beurteilen zu können, sind Kennwerte erforderlich, welche die strahlungsbedingte Wärmelieferung in einen Raum zutreffend erfassen und damit für eine vergleichende Beurteilung verschiedener Glas- oder Verglasungsarten geeignet sind.

Zweifellos ist primär die Eigenschaft der Strahlungsdurchlässigkeit des Glases für die Erwärmung eines Raumes im Sommer maßgebend. Die Strahlungsdurchlässigkeit einer Glasscheibe ist jedoch streng genommen nicht durch einen konstanten Wert zu beschreiben, sondern ändert sich mit dem Einfallswinkel der Strahlung, der je nach Jahreszeit und Fassadenorientierung im Laufe eines Tages verschiedene Werte durchlaufen wird. Die größte Durchlässigkeit ist bei senkrechtem Strahlungseinfall gegeben (Einfallswinkel gegen die Flächennormale 0°). Mit zunehmendem Einfallswinkel wird die Durchlässigkeit kleiner und geht bei nahezu streifendem Einfall gegen Null. In umgekehrtem Sinne ändert sich — abhängig vom Einfallswinkel — der nach außen reflektierte Anteil der auf die Scheibe auftreffenden Strahlung. Der Anteil der in der Scheibe absorbierten Strahlung ändert sich komplementär zur Durchlässigkeit und Reflexion.

Neben der variablen Strahlungsdurchlässigkeit einer Glasscheibe ist das Ausmaß der im Glas stattfindenden Absorption von Einfluß auf die Erwärmung des Raumes. Infolge der Strahlungsabsorption erhöht sich die Temperatur der Glasscheibe. Hierdurch wird der Transmissionswärmeverlust vom Raum nach außen vermindert, bzw. es entsteht eine zusätzliche Wärmeabgabe von der Scheibe an den Raum durch Konvektion und langwellige Wärmestrahlung. Aus diesen Darlegungen wird ersichtlich, daß es sich bei der Wärmelieferung in einen Raum infolge Besonnung im Sommer um einen Vorgang handelt, bei dem verschiedene zeitlich veränderliche Einflüsse zusammenwirken. Eine quantitative Erfassung der Gegebenheiten ist daher ungleich schwieriger als z. B. die Behandlung wärmetechnischer Probleme für den Winterfall, wobei man es vorwiegend mit stationären Vorgängen der Wärmeleitung zu tun hat.

Das Problem der sommerlichen Raumerwärmung gewann in den vergangenen Jahrzehnten — bedingt durch die moderne Fassadenarchitektur und die Verwendung neuer Baumaterialien — zunehmend an Aktualität. Es ist daher verständlich, daß zu diesem Thema in den vergangenen Jahren eine große Zahl von Veröffentlichungen erschienen ist. Im folgenden soll nur auf einige Arbeiten hingewiesen werden, die sich mit der meßtechnischen oder theoretischen Behandlung des Problems befassen.

2. Literaturübersicht

Messungen der Außenstrahlung werden in der Regel mit Hilfe von thermoelektrischen Strahlungsmessgeräten (Solarimetern) durchgeführt. Mit derartigen Geräten kann auch die Strahlungsdurchlässigkeit von Glasscheiben ermittelt werden, indem man die Strahlungsintensität vor und hinter der zu prüfenden Scheibe mißt. Hierbei wird allerdings die Sekundärstrahlung der

Glasscheibe, die infolge Erwärmung des Glases durch Strahlungsabsorption auftritt, nicht erfaßt, da die in der Regel verwendete Glaskalotte zum Schutz der Thermosäule des Solarimeters für Strahlung im langwelligen Bereich nicht durchlässig ist.

Eine andere Meßmöglichkeit besteht in der Verwendung eines kastenförmigen Kalorimetergefäßes, in dessen Öffnung die zu prüfende Glasscheibe bzw. Scheibenkombination mit Sonnenschutzvorrichtung eingebaut wird. In diesem Fall wird sowohl die direkte transmittierte Strahlung, als auch die sekundäre Wärmeabgabe der Scheibeninnenfläche durch Strahlung und Konvektion erfaßt.

CAEMMERER [1, 2] führte sowohl solarimetrische als auch kalorimetrische Messungen des Sonnenwärmedurchgangs durch Glasscheiben verschiedener Art ohne und mit Sonnenschutzvorrichtungen aus. Mit dem Solarimeter wurde die Durchlässigkeit verschiedener Gläser für natürliche Sonnenstrahlung bei senkrechtem Strahlungseinfall gemessen. Mit Hilfe von zwei feststehenden, nach Südwesten orientierten Kalorimeterboxen wurden vergleichende Untersuchungen über den Wärmegewinn bei Glasscheiben ohne und mit verschiedenartigen Sonnenschutzvorrichtungen durchgeführt. Gemessen wurde jeweils während einer Zeitperiode mit maximaler Strahlungsintensität, wobei der mittlere Einfallswinkel je nach Sonnenstand während der Meßzeit Mai bis September gewissen Schwankungen unterworfen war.

In den USA wurden umfangreiche Untersuchungen sowohl mit Solarimetern, als auch mit Kalorimetern durchgeführt (z. B. [3, 4, 5]) mit dem Ziel, die Beschattungs-Koeffizienten (shading coefficient) für Sonnenschutzgläser und Sonnenschutzvorrichtungen abhängig vom Einfallswinkel zu ermitteln.

In Dänemark [6] wurden Untersuchungen an Verglasungen — ähnlich wie von CAEMMERER — mit Hilfe eines schwenkbaren Kalorimeters mit zwei nebeneinander liegenden, gleichartigen Boxen durchgeführt. Außerdem wurden kontinuierlich über ein Jahr Messungen mit Solarimetern der Durchlässigkeit von Doppelscheiben für direkte und diffuse Strahlung, sowie diffuse Strahlung allein, vorgenommen [7].

Aus England [8] wurden Ergebnisse von solarimetrischen Messungen der winkelabhängigen Strahlungsdurchlässigkeit und -reflexion von verschiedenen Glasarten und Sonnenschutzvorrichtungen bekannt. Ergänzend wurden Messungen über die Raumerwärmung in nebeneinander liegenden, gleichartigen Büroräumen mit verschiedenen Verglasungen bzw. Sonnenschutz-Vorrichtungen durchgeführt.

BROWN und ISFÄLT [9] und PERSSON [10] (Schweden) berichten über Meßwerte von Abschirmungsfaktoren für Sonnenschutzgläser und Sonnenschutz-Vorrichtungen. Die Abschirmungsfaktoren geben das Verhältnis der strahlungsbedingten Wärmelieferung durch ein Fensterelement zur Wärmelieferung durch ein Doppelfenster aus gewöhnlichem Fensterglas an. Dabei werden zwei Abschirmungsfaktoren genannt: ein Faktor F_1 , der sich auf den unmittelbaren Durchgang direkter und diffuser Strahlung bezieht, und ein Faktor F_2 , der zusätzlich die sekundäre Wärmeabgabe durch Konvektion und Strahlung von der Scheibe in den Raum erfaßt. Die sekundäre Wärmeabgabe wurde aus dem Wert der

Strahlungsabsorption im Glas abgeschätzt, wobei angenommen wurde, daß z. B. bei Einfachscheiben entsprechend den Wärmeübergangsverhältnissen $\frac{1}{3}$ der absorbierten Energie in den Raum und $\frac{2}{3}$ ins Freie abgegeben werden.

Aus diesem kurzen Überblick, der keineswegs vollständig ist, geht hervor, daß sich die bisherigen Untersuchungen im wesentlichen auf die Ermittlung von Strahlungsbilanzen bzw. Wärmebilanzen für ein Fensterelement beschränken ohne Einbeziehung des an das Fenster grenzenden Innenraumes. Man kann zwar bei Messungen mit Kalorimetern die an das Fenster angrenzende Boxe in gewissem Sinne als „Raum“ betrachten, doch entsprechen die Verhältnisse hierbei nicht den Gegebenheiten bei einem „natürlichen“ Raum. Abweichende Verhältnisse sind u. a. durch die Schwärzung der Kalorimeter-Innenoberflächen gegeben sowie durch die Art der Luftkonvektion, die sich in dem begrenzten Kalorimeterraum anders ausbilden wird als in einem größeren Raum. Aus diesem Grunde war es notwendig, Untersuchungen über die Wärmelieferung durch Fenster unter Bedingungen durchzuführen, welche den Gegebenheiten in der Praxis möglichst weitgehend entsprechen.

3. Durchführung der Untersuchungen

Auf dem Versuchsgelände Holzkirchen des Instituts für Technische Physik Stuttgart wurden zwei gleichartige Versuchshäuser errichtet, deren eine Außenfläche voll oder teilweise verglast werden kann. In jedem Versuchshaus ist ein 16 m^2 großer Raum eingebaut, dessen Decke und Innenwände an Pufferräume angrenzen. Die Lufttemperatur in den angrenzenden Räumen kann der im eigentlichen Versuchsraum unter dem Einfluß der Besonnung sich einstellenden Temperatur automatisch nachgesteuert werden, so daß auch bei zeitlich veränderlichen Temperaturen keine Differenz in der Lufttemperatur zwischen dem Versuchsraum und den angrenzenden Räumen entsteht. Durch diese versuchstechnische Maßnahme repräsentiert der Versuchsraum praktisch einen Raum innerhalb eines größeren Gebäudekomplexes mit gleichartigen, aneinandergrenzenden Räumen. Wände und Decke des Versuchsraumes bestehen aus 15 cm dicken Glasbetonplatten. Beide Versuchshäuser sind drehbar, so daß Untersuchungen bei verschiedener Orientierung der Fensterfläche möglich sind (Bilder 1 und 2).

Neben Untersuchungen über die grundsätzlichen Zusammenhänge hinsichtlich der Erwärmung von Räumen durch Sonneneinstrahlung wurden Vergleichsuntersuchungen über die Auswirkung unterschiedlicher Sonnenschutzgläser gegenüber üblichem Klarglas²⁾ durchgeführt. Hierbei wurden in die Fensterfläche des einen Versuchshauses jeweils Klarglasscheiben, in die des anderen die zu prüfenden Sonnenschutzscheiben eingesetzt. In allen Fällen wurden Doppelscheiben verwendet (Glasdicke je 6 mm , Luftabstand 12 mm).

Eine wünschenswerte Verminderung des Strahlungsdurchganges durch Glasscheiben ist — abgesehen von der Verwendung von Beschattungselementen — grund-

²⁾ Unter Klarglas wird im folgenden übliches Fensterglas ohne Zusätze zur Erhöhung der Strahlungsabsorption oder zusätzliche Behandlungen zur Erhöhung der Reflexion verstanden.

sätzlich auf folgende Weise möglich: Durch Erhöhung der Strahlungsabsorption im Glas oder durch Erhöhung der Strahlungsreflexion der Scheibenoberflächen bzw. durch Kombination beider Maßnahmen. Über die technischen Möglichkeiten zur Herstellung von Gläsern mit verringerter Strahlungsdurchlässigkeit — allgemein als Sonnenschutzgläser bezeichnet — wurde vor kurzem von PERSSON [10] und SCHRÖDER [11] eingehend be-

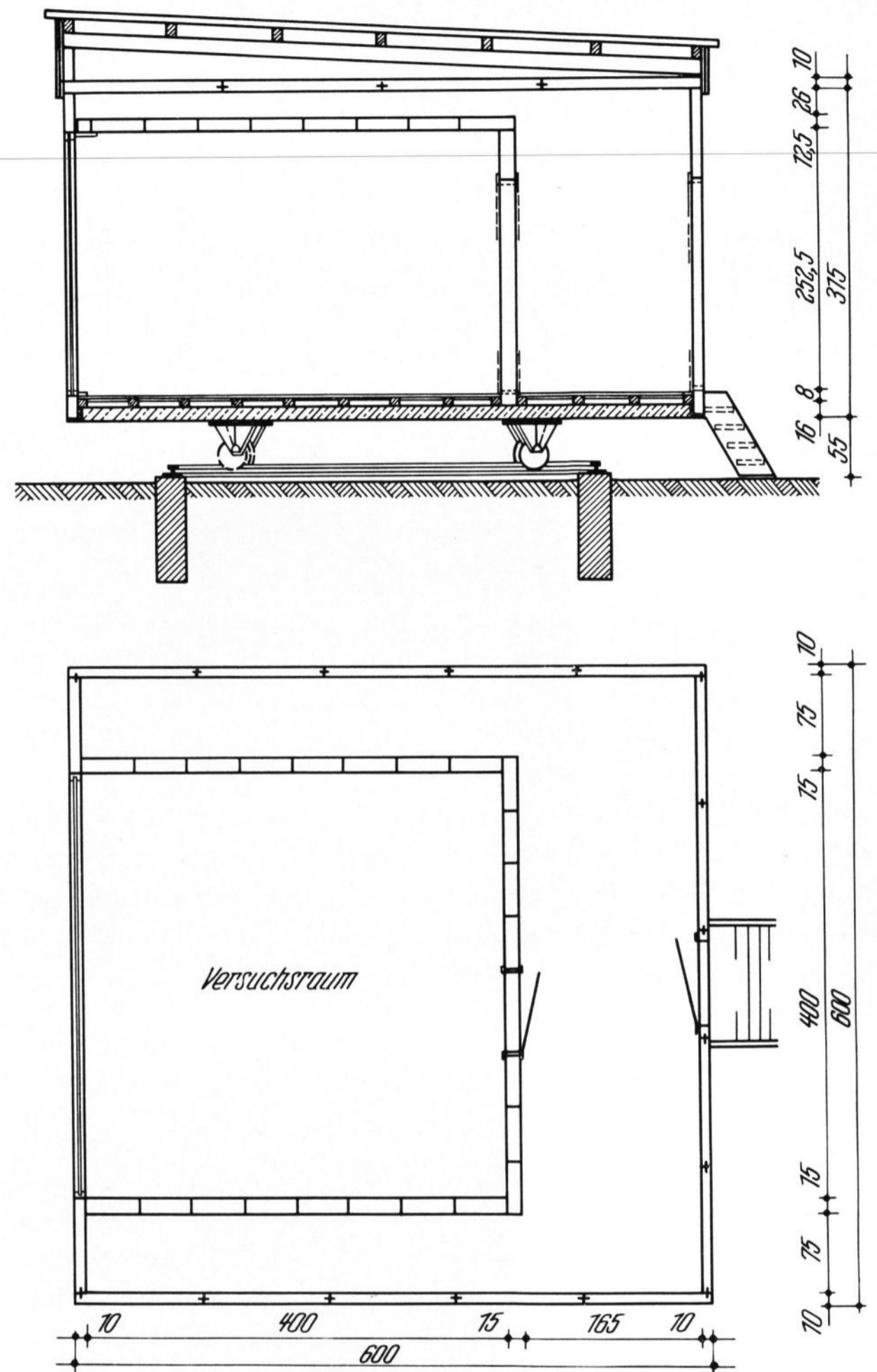


Bild 1. Schnitt und Grundriß der Versuchshäuser.

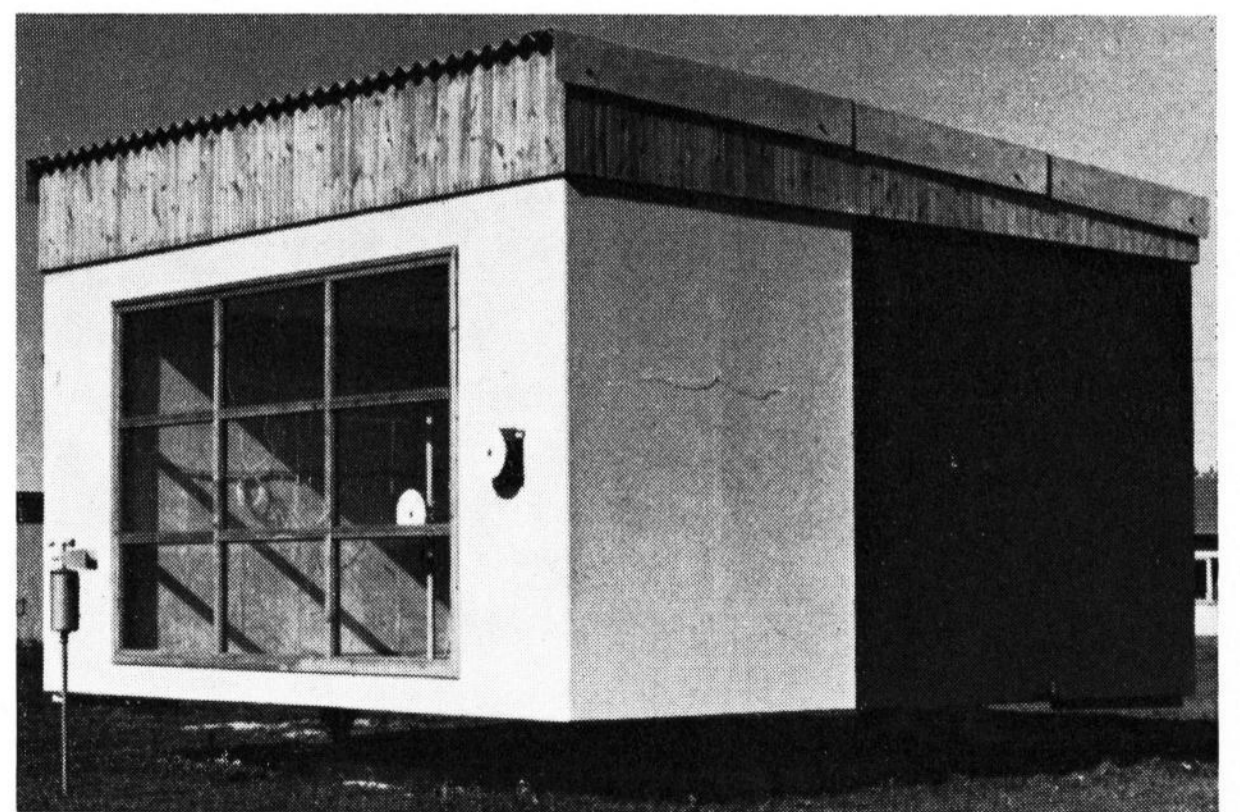


Bild 2. Gesamtansicht des drehbaren Versuchshauses.

Auf der Außenseite und hinter der Glasfläche ist ein Solarimeter zu erkennen. Im Vordergrund ist ein Windmeßgerät zur Erfassung der Windverhältnisse vor der verglasten Fläche. (Die im Bild erkennbare, unterschiedliche Farbgestaltung der Seitenfläche steht nicht im Zusammenhang mit den glastechnischen Untersuchungen.)

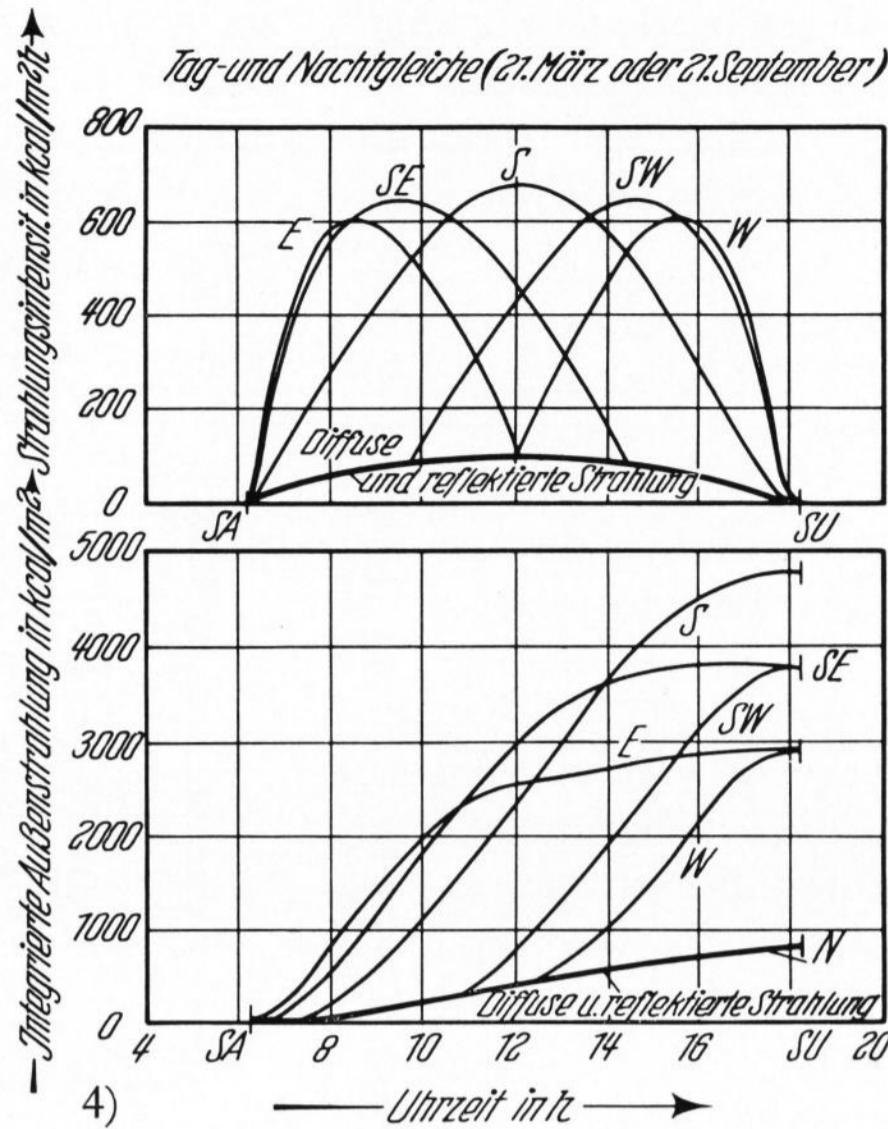
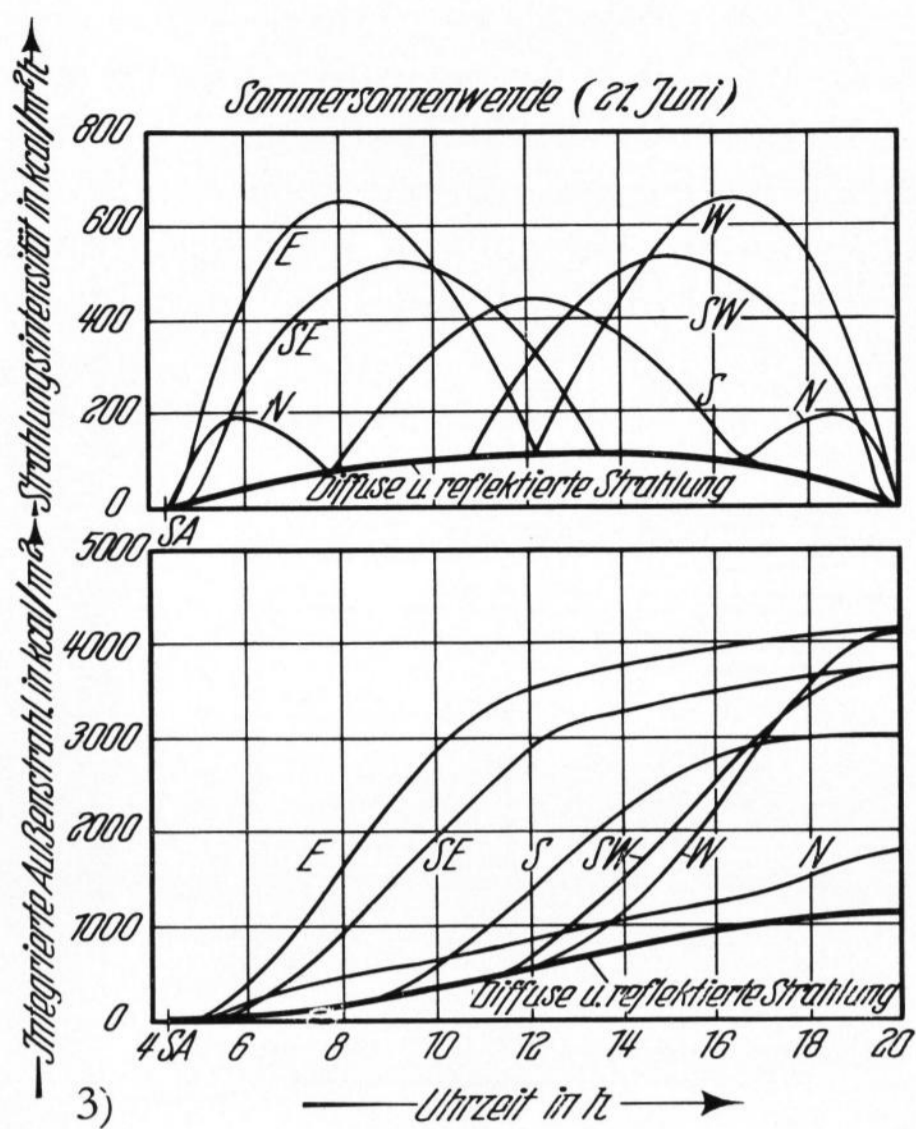


Bild 3. Zeitlicher Verlauf der Außenstrahlung (Strahlungsintensität) und der über die Strahlungsdauer integrierten Außenstrahlung auf vertikale Flächen verschiedener Orientierung zum Zeitpunkt der Sommersonnenwende (gemessen in Holzkirchen, 47° 52' nördl. Breite).

SA: Sonnenaufgang, SU: Sonnenuntergang (nach 20 h). (Die diffuse und von der Umgebung reflektierte Strahlung wurde mit Hilfe eines nach Norden orientierten Solarimeters gemessen.)

Bild 4. Zeitlicher Verlauf der Außenstrahlung (Strahlungsintensität) und der über die Strahlungsdauer integrierten Außenstrahlung auf vertikale Flächen verschiedener Orientierung zum Zeitpunkt der Tag- und Nachtgleiche (gemessen in Holzkirchen).

richtet. Im Rahmen der Untersuchungen wurden sowohl handelsübliche Gläser als auch spezielle Versuchsgläser überprüft.

Die Außenstrahlung und der Strahlungsdurchgang durch die Glasflächen wurde mit Hilfe von Solarimetern gemessen. Da die in den Versuchsräumen hinter den Glasflächen angebrachten Solarimeter infolge der geometrischen Gegebenheiten nicht den vollen Halbraum erfassen konnten, wurde auch der Raumwinkel des Solarimeters zur Erfassung der Außenstrahlung entsprechend begrenzt. Zur Messung der Scheibentemperaturen, der Temperatur der Luft und der Raumbegrenzungsflächen in den Versuchsräumen wurden Thermolemente verwendet.

4. Ergebnisse der Untersuchungen

4.1. Atmosphärische Strahlung

Zunächst soll auf einige Meßergebnisse der Außenstrahlung auf vertikale Flächen verschiedener Orientierung eingegangen werden, gemessen zum Zeitpunkt der Sommersonnenwende und der Tag- und Nachtgleiche. In den Bildern 3 und 4 wurde neben der üblichen Aufzeichnung der Strahlungsintensität J in Abhängigkeit von der Zeit eine Darstellung gewählt, die sich für die späteren Betrachtungen als zweckmäßig erweist, nämlich die Angabe der über die Strahlungsdauer integrierten

Außenstrahlung $\Psi = \int_0^t J dt$ in Abhängigkeit von der Zeit.

Aus dieser Darstellung ist zu ersehen, daß die integrierte Außenstrahlung während eines großen Zeitraumes des Tages nahezu linear mit der Zeit zunimmt. Je größer der Anstieg, desto größer ist die Strahlungsbelastung/h. Der Endpunkt der Kurven der integrierten Außenstrahlung entspricht der Tagessumme der Außenstrahlung.

Tabelle 1. Anteil der diffusen und reflektierten Strahlung in % der gemessenen Gesamtstrahlung

Flächenorientierung	Sommer	Frühjahr/Herbst
Süd	38	18
West/Ost	28	30

Ein Vergleich der Tagessumme der diffusen und von der Umgebung reflektierten Strahlung mit den Tagessummen der gesamten Außenstrahlung auf verschieden orientierte Flächen ergibt folgende prozentuale Anteile (Tabelle 1). Man erkennt, daß der Anteil der diffusen und reflektierten Strahlung z. T. erheblich ist und deshalb nicht vernachlässigt werden darf.

Weiterhin ist aus den Bildern 3 und 4 (unten) ersichtlich, daß die größte Strahlungsbelastung im Sommer bei West- und Ostflächen und im Frühjahr und Herbst bei Südflächen auftritt. Die Untersuchungen wurden daher bei den einzelnen Orientierungen im wesentlichen jeweils in den genannten Zeiträumen durchgeführt, um die ungünstigsten Verhältnisse hinsichtlich der Raumerwärmung zu erfassen.

4.2. Strahlungsbedingte Raumerwärmung im Sommer

Aus einer großen Zahl von Registrierungen der zeitlichen Verläufe der Raumluft-, Wand- und Scheibentemperaturen in den Versuchshäusern sowie der Außenstrahlung und der in die Räume gelangenden Strahlung, ermittelt bei verschiedenen Orientierungen der Glasflächen und zu verschiedenen Jahreszeiten, sind die nachstehenden Ergebnisse abzuleiten.

4.2.1. Effektiver Strahlungsdurchgang durch Fenster

Die Intensität der Außenstrahlung J kann als Funktion des Strahlungseinfallswinkels β oder als Funktion der Zeit t dargestellt werden. Multipliziert man $J(\beta)$ mit dem für den Einfallswinkel β bei der betrachteten Glasart zutreffenden Durchlässigkeitsfaktor $D(\beta)$ und integriert über den Gesamtbereich der während einer Tagesperiode auftretenden Einfallswinkel β_1 bis β_2 , so erhält man die Tagessumme der durch die Glasscheibe in einen Raum einfallenden Strahlung. Man kann nun einen effektiven Durchlässigkeitsfaktor (D_{eff}) so bestimmen, daß die über die Zeit von Sonnenaufgang (SA) bis Sonnenuntergang (SU) integrierte Außenstrahlung, multipliziert mit diesem Faktor, übereinstimmt mit der o. a. Tagessumme der in den Raum gelangenden Strahlung:

$$\int_{\beta_1}^{\beta_2} D(\beta) \cdot J(\beta) d\beta = D_{eff} \int_{SA}^{SU} J(t) dt. \quad (1)$$

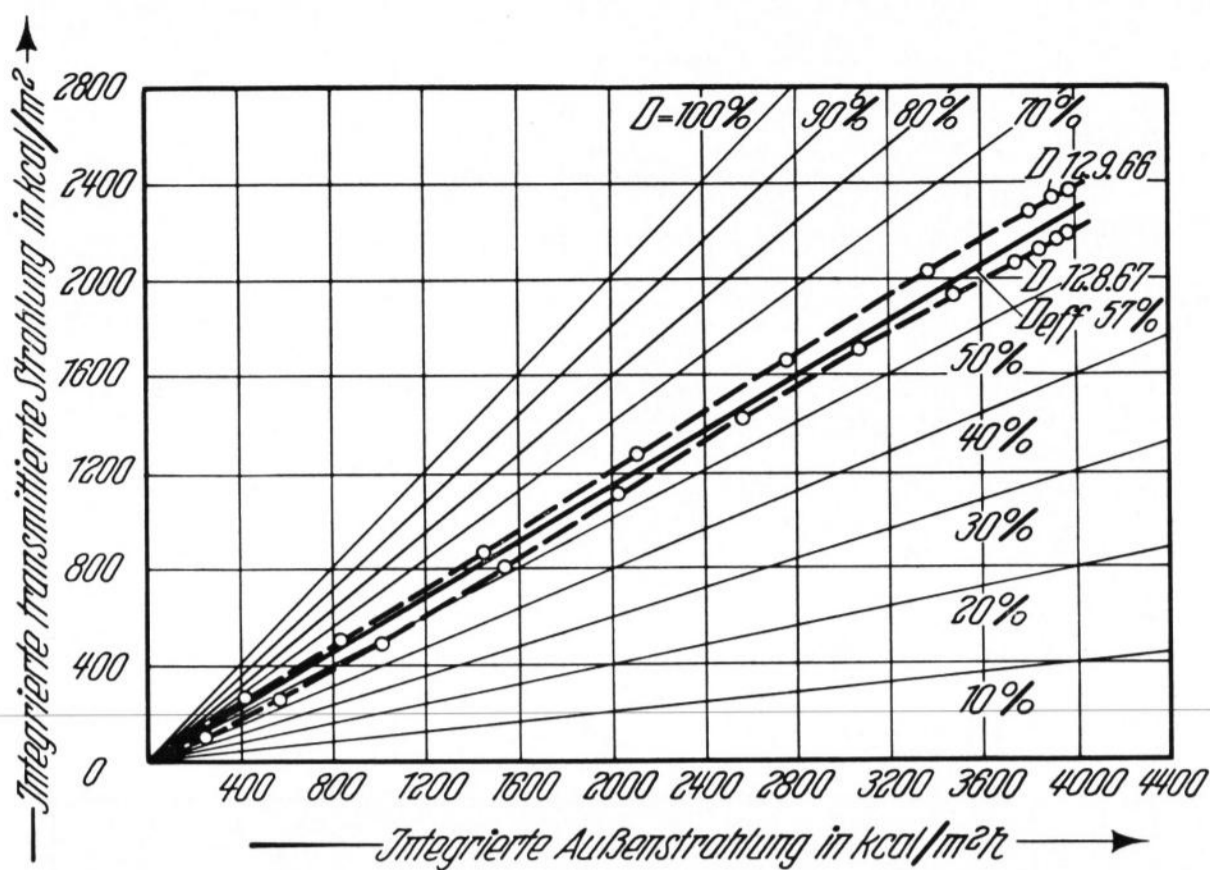


Bild 5. Ergebnisse der durch Klarglas-Doppelscheiben transmittierten Strahlung in Abhängigkeit von der Außenstrahlung an zwei Meßtagen bei Südorientierung.

Hieraus ist der Gang der Durchlässigkeit D, abhängig von Ψ , im Vergleich zu D_{eff} ersichtlich.

Hieraus ergibt sich der effektive Durchlässigkeitsfaktor zu

$$D_{eff} = \frac{\int_{\beta_1}^{\beta_2} D(\beta) J(\beta) d\beta}{\int_{SA} J(t) dt} = \frac{\Psi_{d ges}}{\Psi_{ges}} \quad (2)$$

Der effektive Strahlungsdurchlässigkeitsfaktor ist somit definiert als das Verhältnis der Tagessumme der durch eine Scheibe hindurchgehenden Strahlung ($\Psi_{d ges}$) zur Tagessumme der auf die Fläche auftreffenden Außenstrahlung (Ψ_{ges}). Dieses Verhältnis ist nur wenig verschieden von dem Verhältnis Ψ_d/Ψ , gewonnen durch Integration bis zu einem bestimmten Zeitpunkt $t < t_{SU}$ (siehe Bild 5), so daß gesetzt werden kann

$$\frac{\Psi_{d ges}}{\Psi_{ges}} \approx \frac{\Psi_d(t)}{\Psi(t)} \quad (3)$$

Aus der Zeitfunktion $\Psi(t)$ kann somit auch der zeitliche Verlauf der Strahlungstransmission durch ein Fenster angenähert ermittelt werden:

Tabelle 2. Effektive Durchlässigkeitswerte für Doppelglasscheiben aus Sonnenschutzgläsern und Durchlässigkeit bei senkrechtem Strahlungseinfall

Glasart	effektive Strahlungsdurchlässigkeit in %	Durchlässigkeit bei senkrechtem Strahlungseinfall in %
Klarglas	57	64
Sonnenschutzgläser	17	20
	31	36
	38	43
	36	42

$$\Psi_d(t) = D_{eff} \cdot \Psi(t) \quad (4)$$

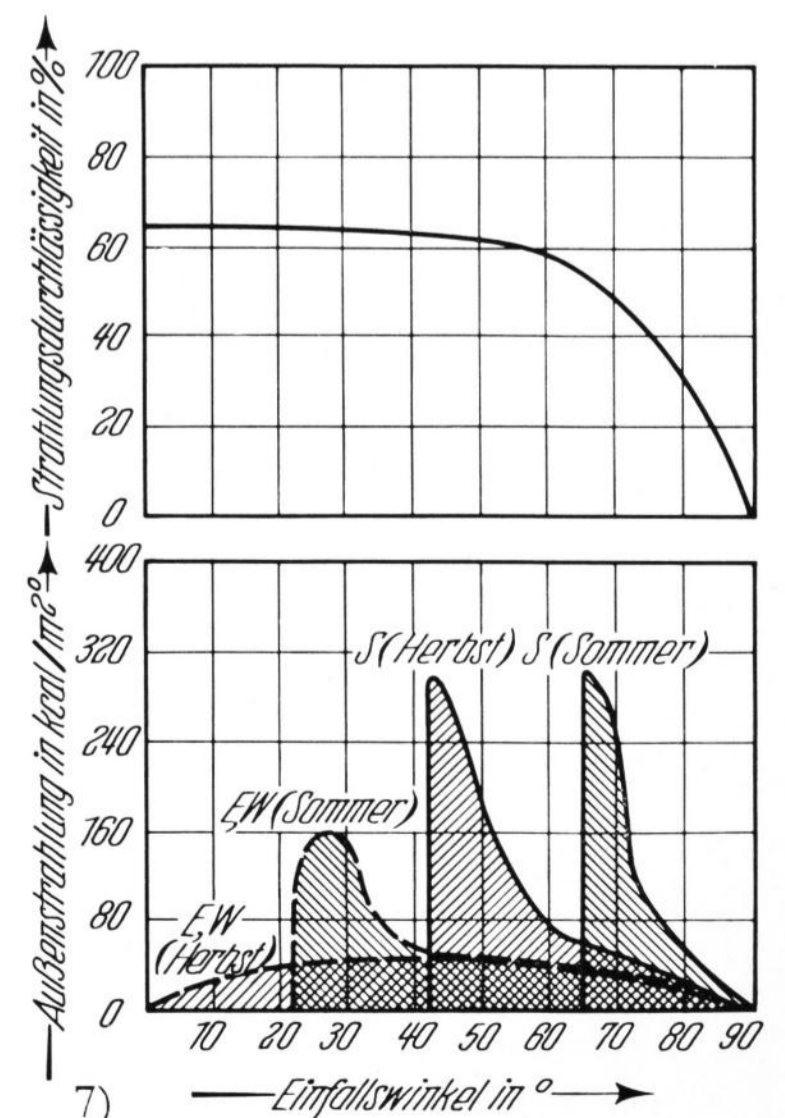
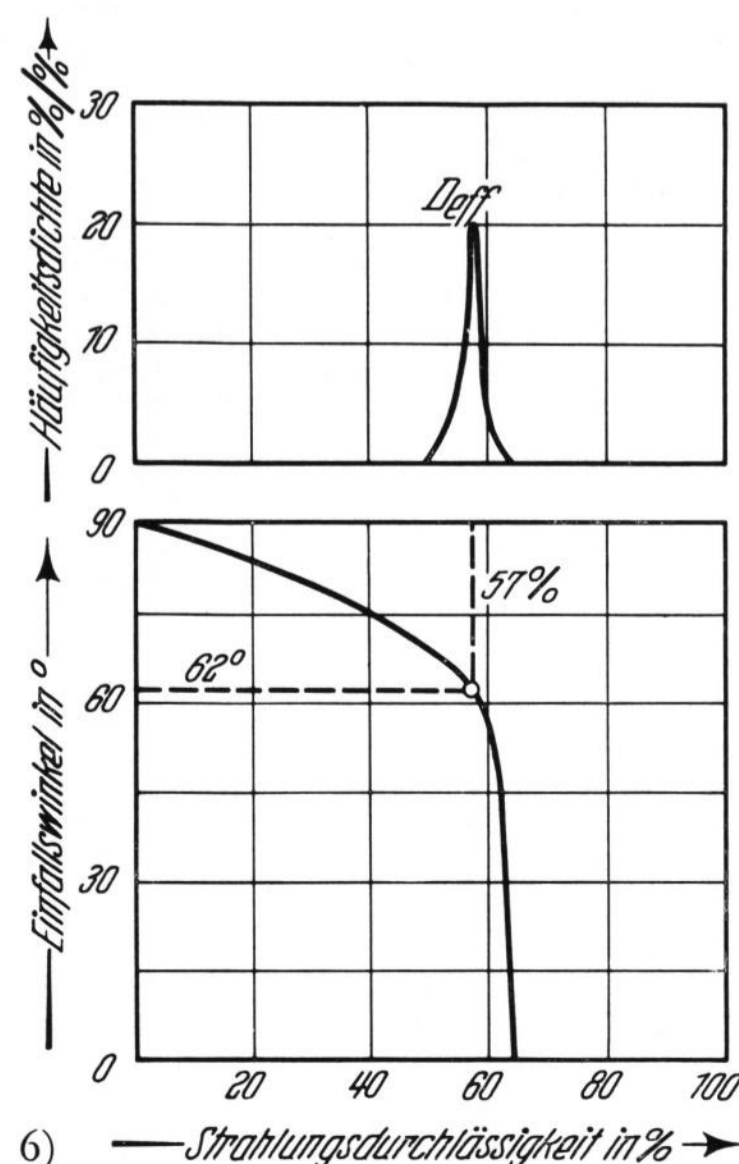
Messungen bei verschiedenen Orientierungen (Ost – Süd – West) und den für das sommerliche Raumklima „kritischen“ Jahreszeiten ergaben — zunächst überraschenderweise — nur verhältnismäßig geringe Schwankungen in den effektiven Durchlässigkeitsfaktoren. Dies sei an Hand von Bild 6 erläutert: Eine statistische Auswertung von 25 Messungen an Klarglas-Doppelscheiben an wolkenlosen Tagen im Zeitraum von Mitte Juli bis Ende September ergab eine relativ geringe Streubreite mit einem Maximum der Häufigkeitsdichte bei einem effektiven Durchlässigkeitswert von 57% (Bild 6 oben). Dies entspricht einem effektiven Einfallswinkel der direkten Strahlung von 62° gegen die Flächennormale.

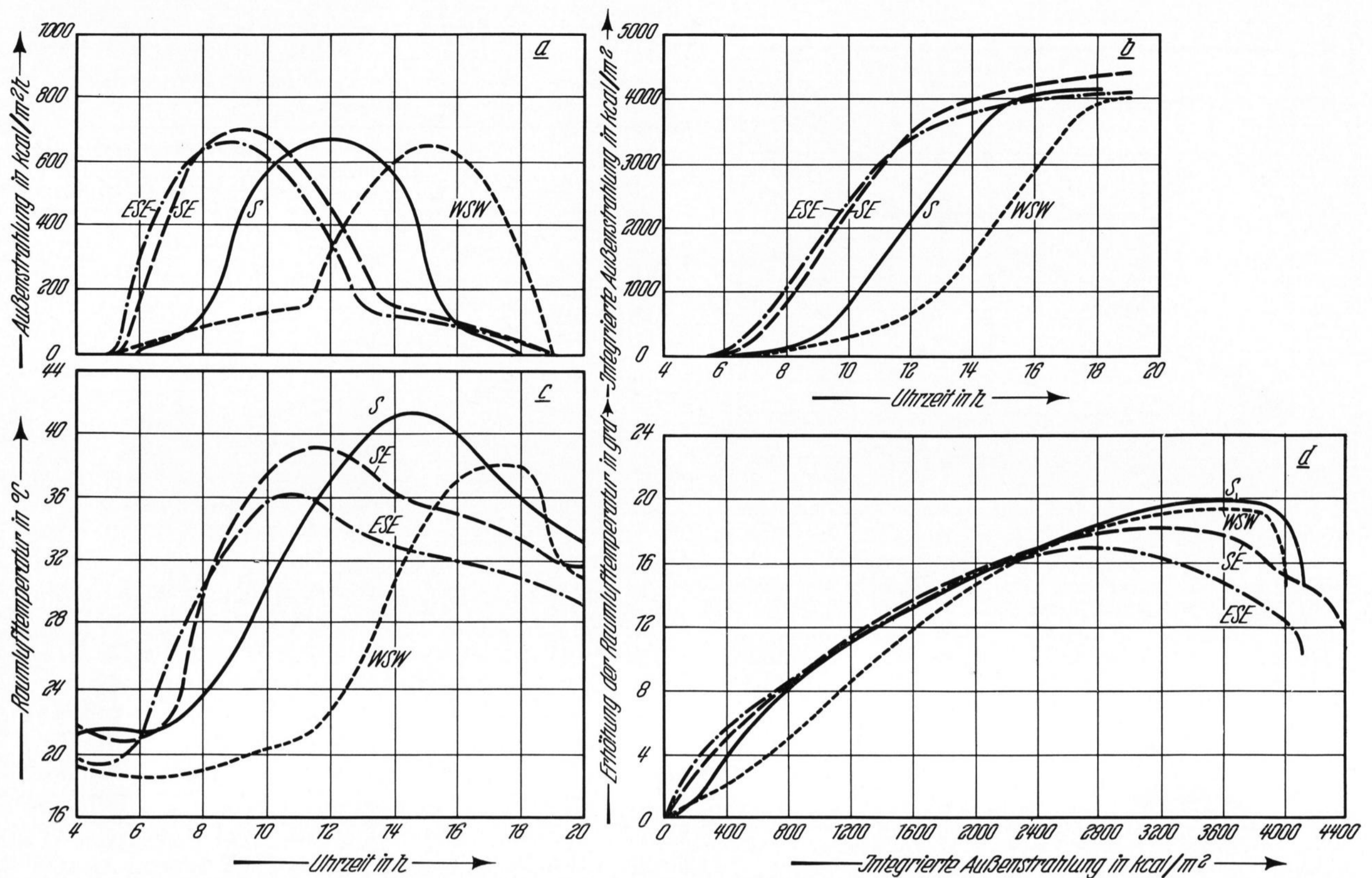
Dieses Ergebnis berechtigt zu der Folgerung, daß mit einer für die Praxis hinreichenden Genauigkeit der Strahlungsdurchgang durch Fensterflächen für die hinsichtlich der Raumerwärmung kritischen Orientierungen bzw. Sommermonate durch eine einzige Zahl zu kennzeichnen ist, nämlich durch den effektiven Durchlässigkeitsfaktor. Daß dieses Ergebnis trotz der physikalisch gegebenen Winkelabhängigkeit der Strahlungsdurchlässigkeit von Glasflächen praktisch zutrifft, dafür sind zwei Ursachen anzuführen: 1. Ein Teil der Gesamtstrahlung — nämlich, wie gezeigt wurde, rund 20 bis 40%, je nach Jahreszeit und Orientierung — entfällt auf ungerichtete, diffuse und reflektierte Strahlung, für die das Gesetz der Winkelabhängigkeit nicht gilt. Durch diesen Anteil wird die Winkelabhängigkeit der Strah-

Bild 6. Häufigkeitsdichte der effektiven Strahlungsdurchlässigkeit von Klarglas-Doppelscheiben (oben) und Zusammenhang zwischen Einfallswinkel und Strahlungsdurchlässigkeit (unten).

Bild 7. Strahlungsdurchlässigkeit von Klarglas-Doppelscheiben in Abhängigkeit vom Einfallswinkel (oben) und Zusammenhang zwischen Intensität und Einfallswinkel der Außenstrahlung bei verschiedenen Orientierungen und Jahreszeiten (unten).

Bei der Ermittlung der Außenstrahlung wurde ein Winkelintervall von 5° zugrundegelegt.





Bilder 8a bis d. Zeitlicher Verlauf der Außenstrahlung und der integrierten Außenstrahlung für verschiedene Orientierungen und Verlauf der Raumlufttemperatur in den Versuchsräumen mit Klarglas-Doppelscheiben in Abhängigkeit von der Zeit und von der integrierten Außenstrahlung,

a) Außenstrahlung, b) Integrierte Außenstrahlung, c) Raumlufttemperatur in Abhängigkeit von der Zeit, d) Raumlufttemperatur in Abhängigkeit von der integrierten Außenstrahlung.

lungsdurchlässigkeit abgeschwächt. 2. Die Hauptintensität der Außenstrahlung entfällt bei den „kritischen“ Orientierungen bzw. Sommermonaten auf Einfallswinkel der Strahlung, für welche die Winkelabhängigkeit des Strahlungsdurchganges relativ gering ist. Dies wird aus Bild 7 ersichtlich.

Die für Doppelscheiben aus Sonnenschutzgläsern in ähnlicher Weise ermittelten effektiven Durchlässigkeitswerte sind in Tabelle 2 — zusammen mit Meßwerten der Durchlässigkeit bei senkrechtem Strahlungseinfall — dargestellt. Man erkennt, daß die effektive Durchlässigkeit geringer ist als die Durchlässigkeit bei senkrechtem Strahlungseinfall, die in der Regel aus Labormessungen bekannt ist.

4.2.2. Zeitliche Temperaturverläufe der Raumluft und der raumseitigen Fensteroberfläche

Die zeitlichen Temperaturverläufe der Raumluft und der raumseitigen Fensteroberfläche in den Versuchsräumen waren naturgemäß unterschiedlich, je nach Jahreszeit und Orientierung der Fensterfläche. Es zeigte sich jedoch, daß die unterschiedlichen Temperaturverläufe vereinheitlicht werden konnten, wenn man die Temperaturerhöhungen nicht in Abhängigkeit von der Zeit, sondern in Abhängigkeit von der integrierten Außenstrahlung Ψ darstellt. Dies soll am Beispiel der Raumlufttemperaturanstiege veranschaulicht werden, die im Versuchsraum mit normalen Klarglas-Doppel-

scheiben bei verschiedenen Orientierungen gemessen wurden (Bild 8). Eine größere Zahl von Meßpunkten über die Temperaturerhöhung bis zum Maximum — ebenfalls vom Versuchsraum mit Klarglas-Doppelscheiben — sind in Bild 9 wiedergegeben. Es ist zu erkennen, daß sich mit einer für die Praxis ausreichenden Genauigkeit durch die Meßpunkte eine mittlere Kurve legen läßt, welche den Temperaturanstieg der Raumluft unter verschiedenen Bedingungen hinsichtlich der sommerlichen Jahreszeit und der Orientierung repräsentiert, abhängig von der integrierten Außenstrahlung.

Außenlufttemperatur und Windverhältnisse, die an den einzelnen Meßtagen mehr oder weniger unterschiedlich waren, sind somit von untergeordnetem Einfluß auf den Temperaturanstieg der Raumluft. Offenbar wird durch die wärmedämmende Eigenschaft der Doppelscheiben eine Auswirkung der Temperatur und Bewegung der Außenluft auf die Raumlufttemperatur stark reduziert. Die Auswirkung dieser Faktoren dürfte bei Einzelscheiben eher ins Gewicht fallen. Hierüber liegen jedoch bisher keine Untersuchungsergebnisse vor. Ein gewisser systematischer Einfluß der Fassadenorientierung auf die Erwärmungskurve der Raumluft in Abhängigkeit von der integrierten Außenstrahlung ist zweifellos vorhanden und macht sich bei „gegensätzlichen“ Orientierungen (z. B. ESE- und WSW-Orientierung in Bild 8) insbesondere am Anfang und Ende des Kurvenverlaufes bemerkbar. Zum Zeitpunkt der größten

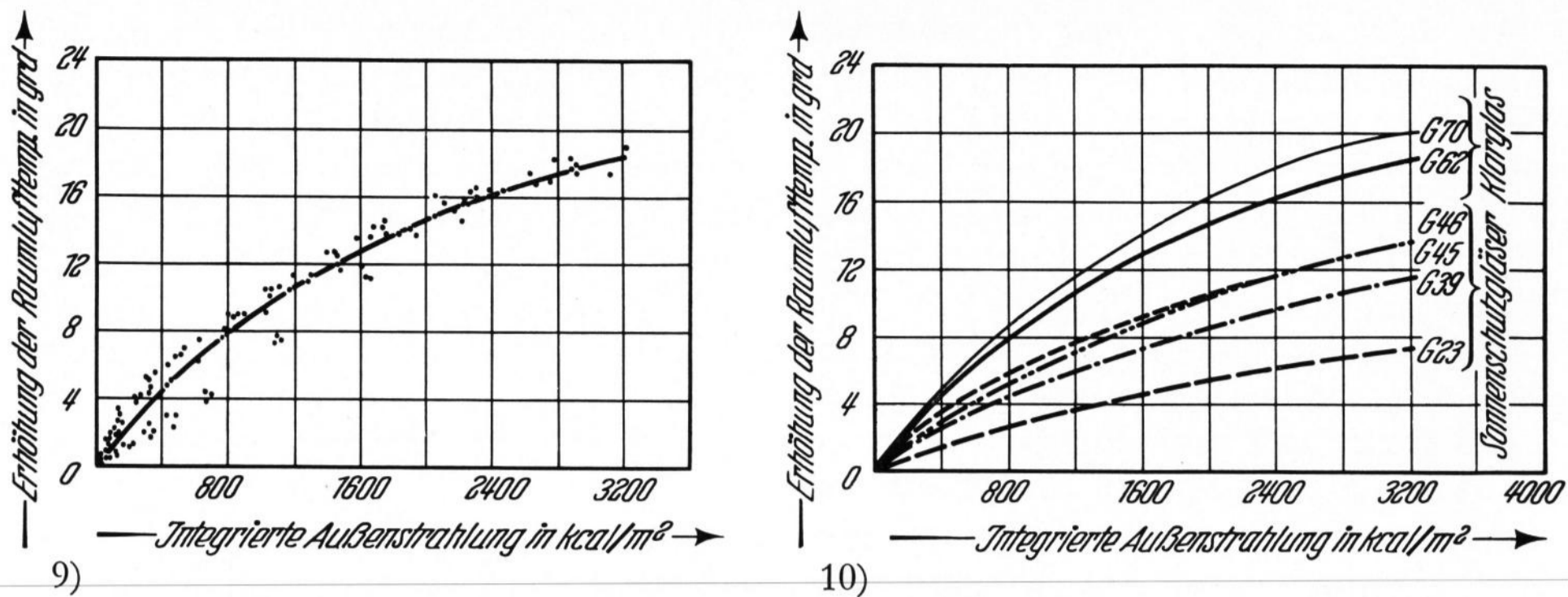


Bild 9. Temperaturerhöhung der Raumluft (jeweils bis zum Temperaturmaximum) im Versuchsraum mit Klarglas-Doppelscheiben in Abhängigkeit von der integrierten Außenstrahlung.

Messungen bei verschiedenen Fensterorientierungen und zu verschiedenen Zeiten (14. 7. bis 23. 9.).

Bild 10. Erhöhung der Raumlufttemperatur in den Versuchsräumen mit Doppelscheiben aus verschiedenen Glasarten in Abhängigkeit von der integrierten Außenstrahlung.

Intensität der Außenstrahlung sind jedoch die Abweichungen der Erwärmungskurven bei verschiedenen Fassadenorientierungen von der mittleren Kurve in Bild 9 kleiner als 1 grad. Die Angabe einer mittleren Erwärmungskurve für alle Orientierungen erscheint daher für die Praxis gerechtfertigt.

Da für eine Beurteilung der Verhältnisse der Raumwärmung die Kenntnis der auftretenden Maximaltemperaturen von Interesse ist, wurden die Kurvenverläufe im folgenden — wie in Bild 9 — jeweils etwa bis zum Erreichen des Maximums angegeben.

Die Verläufe der Raumlufttemperaturen für andere Arten der Verglasung, ermittelt unter vergleichbaren Bedingungen in den Versuchsräumen, sind in Bild 10 wiedergegeben. Es handelt sich hierbei um Sonnenschutzgläser mit stärkerer Reflexion oder Absorption als bei normalem Glas. Die Gläser sind durch Kennwerte charakterisiert, die angeben, welcher Prozentsatz der Außenstrahlung in den Raum durch Strahlung und konvektive Wärmeabgabe übertragen wird. Hierauf wird im nächsten Abschnitt eingegangen. Normale Klarglas-Doppelscheiben besitzen den Kennwert G 62 bzw. G 70³⁾. Durch Sonnenschutzscheiben verschiedener Art ist somit — wie aus Bild 10 ersichtlich — z. T. eine

erhebliche Minderung des Raumluft-Temperaturanstieges zu erreichen.

Übereinstimmend mit den Verhältnissen bei den Raumlufttemperaturen ergaben auch die Temperaturerhöhungen der raumseitigen Fensteroberflächen und der Innenoberflächen der Raumwände unter verschiedenen Bedingungen einheitliche Kurvenverläufe für jede Verglasungsart, bei Darstellung in Abhängigkeit von der integrierten Außenstrahlung (Bilder 11 und 12).

Ein besserer Einblick in die Verhältnisse der Erhöhung der Raumlufttemperatur und der raumseitigen

³⁾ Für die Untersuchungen wurden Klarglas-Doppelscheiben mit dem Kennwert G 62 verwendet. Nachträglich stellte sich heraus, daß sich in Deutschland zwei Arten normalen Fensterglases auf dem Markt befinden mit unterschiedlichen Werten der Strahlungsdurchlässigkeit. Neben dem geprüften Glas, das — kombiniert als Doppelscheibe — eine Durchlässigkeit bei senkrechtem Strahlungseinfall von 64% besitzt, gibt es Glas mit einer Durchlässigkeit als Doppelscheibe von 73%, ermittelt auf Grund von Labormessungen. Für dieses Glas kann — abgeschätzt auf Grund der Ergebnisse an dem geprüften Klarglas — der Kennwert G 70 angenommen werden. Durch Interpolation auf Grund des Zusammenhanges in Bild 16 wurde die Kurve der Raumluft-Erwärmung für dieses nicht untersuchte Glas in Bild 10 zur Orientierung eingezeichnet.

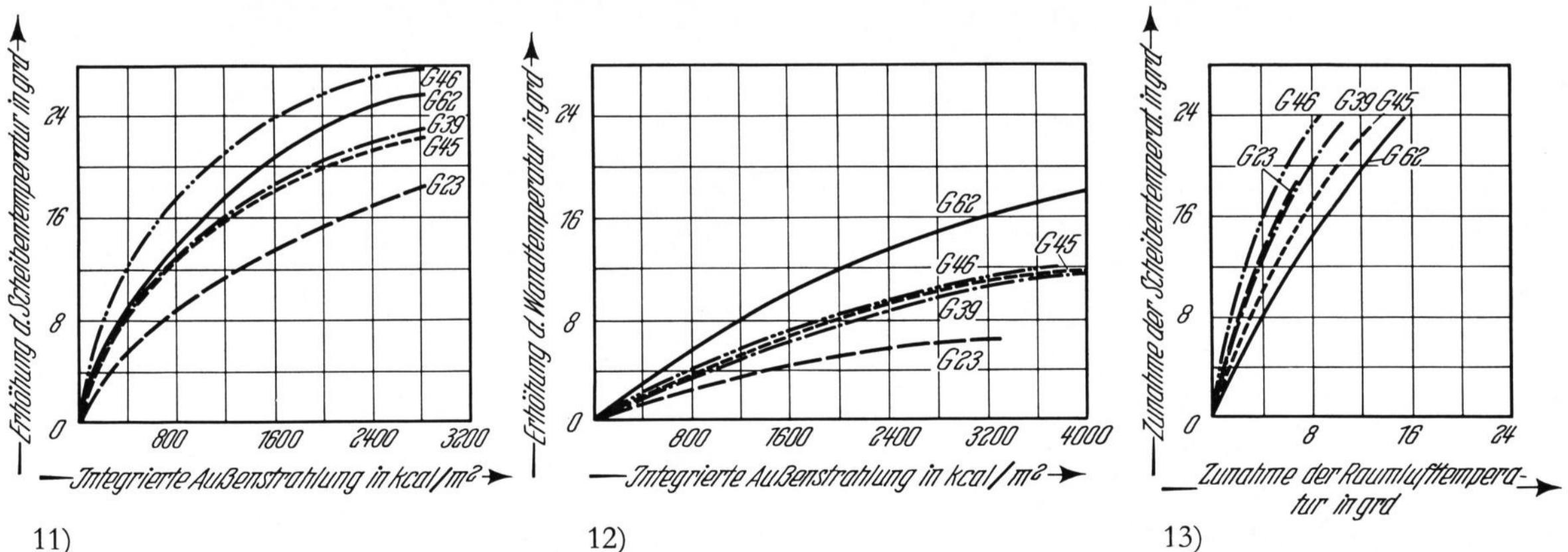


Bild 11. Erhöhung der raumseitigen Oberflächentemperatur der Doppelscheiben aus unterschiedlichen Glasarten in Abhängigkeit von der integrierten Außenstrahlung.

Bild 12. Temperaturerhöhung der Raumschließungsflächen bei unterschiedlicher Verglasung in Abhängigkeit von der integrierten Außenstrahlung.

Bild 13. Zusammenhang zwischen der Zunahme der Raumlufttemperatur und der Zunahme der raumseitigen Oberflächentemperatur der Doppelscheiben bei verschiedenen Gläsern.

Fensteroberflächen ergibt sich, wenn man die Bilder 10 und 11 kombiniert, indem man die Temperaturerhöhung der Scheibenoberflächen in Abhängigkeit von der Temperaturerhöhung der Raumluft betrachtet. Aus Bild 13 ist ersichtlich, daß bei einer bestimmten Erhöhung der Raumlufttemperatur, welche je nach Glasart bei unterschiedlichen Werten der Außenstrahlung auftritt, die Erhöhung der Scheibentemperatur bei normalem Klarglas (G 62) geringer ist als bei den geprüften Sonnenschutzgläsern. Dies steht nicht im Widerspruch zu der Darstellung in Bild 11, wonach die Temperaturzunahme an der dem Raum zugekehrten Oberfläche bei den Sonnenschutzgläsern kleiner ist als bei den normalen oder in der Masse eingefärbten Gläsern. Die tatsächliche Zunahme der Scheibentemperatur im Verlauf eines Tages wird ja durch die Zunahme der Raumlufttemperatur mitbestimmt, welche bei normalem Fensterglas am größten ist (Bild 10).

4.2.3. Gesamter Wärmeenergie-Transport in den Raum

Der gesamte Wärmeenergie-Transport Q durch eine besonnte Fensterfläche in den Raum stellt sich dar als Summe der direkt in den Raum gelangenden Außenstrahlung und der von der erwärmten Scheibeninnenfläche durch Konvektion und Strahlung an den Raum abgegebenen Wärmemenge. Die konvektive Wärmeabgabe hängt ab von den Temperaturen der Scheibeninnenoberfläche ϑ_s und der Raumluft ϑ_L sowie von der konvektiven Wärmeübergangszahl α_K . Der Strahlungsaustausch zwischen der Scheibeninnenoberfläche und den übrigen Raumbegrenzungsflächen mit der Temperatur ϑ_w wird durch die Strahlungsübergangszahl α_S bestimmt. Als Funktion der Zeit gilt pro m^2 Fensterfläche

$$Q = D_{\text{eff}} \int_{t_{\text{SA}}}^t J(t) dt + \int_{t_{\text{SA}}}^t [\alpha_K (\vartheta_s(t) - \vartheta_L(t)) + \alpha_S (\vartheta_s(t) - \vartheta_w(t))] dt. \quad (5)$$

Das Integral des ersten Summanden dieser Beziehung

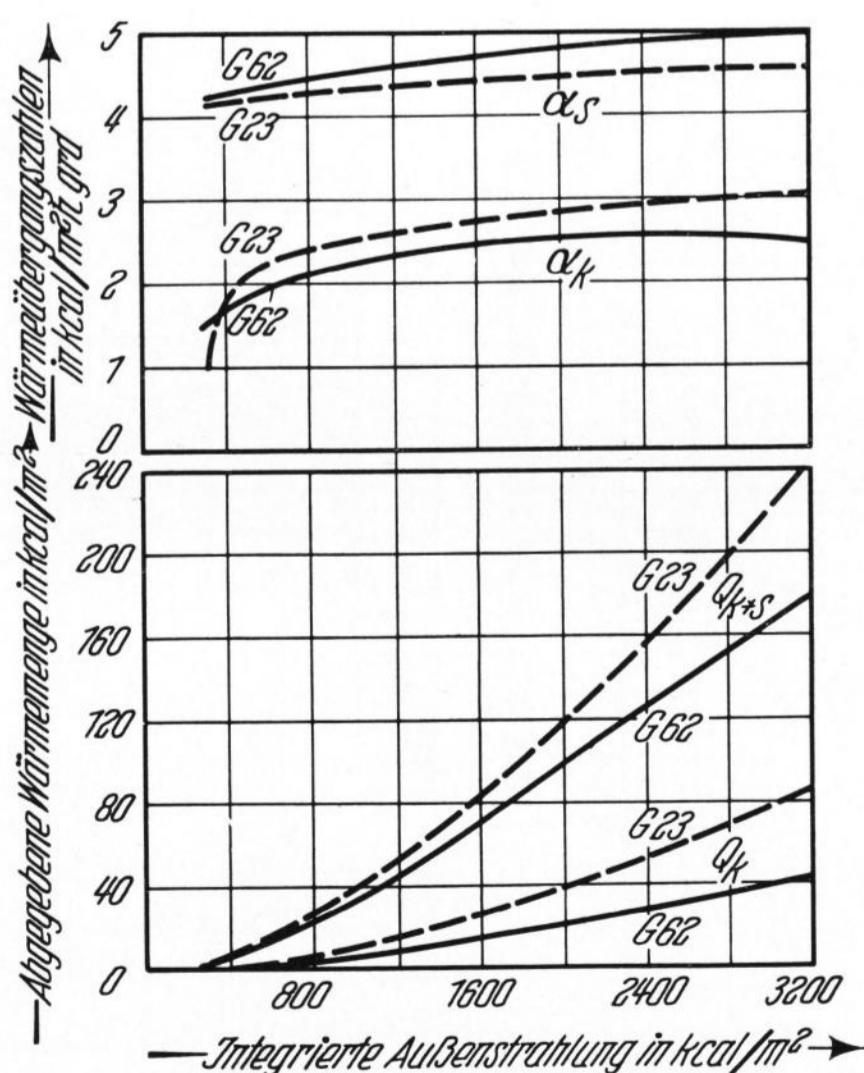


Bild 14. Wärmeübergangszahlen α_k und α_s sowie Wärmeabgabe durch Konvektion (Q_k) und Konvektion und Strahlung (Q_{k+s}) in Abhängigkeit von der integrierten Außenstrahlung für Doppelscheiben aus Klarglas (G 62) und Reflexionsglas (G 23).

ist die Außenstrahlung $\Psi(t)$. Das zweite Integral kann durch Substitution über die für eine bestimmte Jahreszeit und Fassadenorientierung bekannte Beziehung zwischen der Zeit t und der integrierten Außenstrahlung in eine Funktion von Ψ übergeführt werden:

$$\int_{t_{\text{SA}}}^t [\alpha_K (\vartheta_s(t) - \vartheta_L(t)) + \alpha_S (\vartheta_s(t) - \vartheta_w(t))] \frac{dt}{d\Psi} \cdot d\Psi = \int_0^{\Psi} \frac{\alpha_K (\vartheta_s(\Psi) - \vartheta_L(\Psi)) + \alpha_S (\vartheta_s(\Psi) - \vartheta_w(\Psi))}{J(\Psi)} \cdot d\Psi, \quad (6)$$

wobei für $dt/d\Psi = 1/J$ gesetzt wurde.

Da sich — wie gezeigt wurde — sowohl die Temperatur der raumseitigen Oberfläche der Doppelscheiben als auch die Temperatur der Raumluft und der Raumbegrenzungsflächen für verschiedene Sonnenstände und Orientierungen im Sommer als Funktion der integrierten Außenstrahlung Ψ mit guter Näherung durch eine Kurve darstellen lassen, gilt dies auch für die Differenzen dieser Temperaturwerte⁴⁾.

Die konvektive Wärmeübergangszahl α_K wurde in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz $\vartheta_s - \vartheta_L$ nach der Formel von GRIFFITHS und DAVIS [12] für die Wärmeabgabe einer nieder temperierten, beheizten Wand berechnet:

$$\alpha_K = 1,7 \sqrt[4]{\vartheta_s - \vartheta_L}. \quad (7)$$

Die Wärmeübergangszahl für Strahlung wurde nach der bekannten Formel berechnet

$$\alpha_S = \frac{\left(\frac{T}{100}\right)^4 - \left(\frac{T}{100}\right)^4}{\vartheta_s - \vartheta_w} \cdot C_{1,2}. \quad (8)$$

Für die Strahlungsaustauschzahl $C_{1,2}$ zwischen der Glasfläche und den übrigen Raumbegrenzungsflächen ergibt sich unter Zugrundelegung einer Strahlungszahl $C_1 = 4,46 \text{ kcal/m}^2 \text{ h grad}^4$ für Glas⁵⁾ und $C_2 = 4,60 \text{ kcal/m}^2 \text{ h grad}^4$ für die hell getünchten Wände und Decke der Versuchsräume sowie $C_s = 4,96 \text{ kcal/m}^2 \text{ h grad}^4$ für den schwarzen Körper gemäß der Beziehung

$$C_{1,2} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_s} \quad (9)$$

der Wert $C_{1,2} = 4,14 \text{ kcal/m}^2 \text{ h grad}^4$ ⁶⁾.

⁴⁾ In den Bildern 10 bis 12 sind die Erhöhungen der jeweiligen Temperaturen gegenüber dem Wert vor Beginn der Sonneneinstrahlung angegeben. Ausgegangen wurde immer von einer gesteuerten Raumlufttemperatur von 18°C . Die Scheibentemperatur war demgegenüber zu Beginn im Mittel um 3 grad niedriger (Abweichung $\pm 0,5 \text{ grad}$). Die Anfangsdifferenz zwischen der Temperatur der Raumluft und der Raumbegrenzungsflächen betrug nur wenige Zehntelgrade. Bei der Ermittlung der Wärmeabgabe von den Scheiben nach obiger Formel wurde von den tatsächlichen mittleren Temperaturverläufen, nicht von den Verläufen der Temperaturzunahmen in den Bildern 10 bis 12 ausgegangen.

⁵⁾ Dieser Wert kann für alle untersuchten Glasarten angenommen werden, auch für Doppelscheiben mit erhöhten Reflexionseigenschaften, da die raumseitige Glasoberfläche jeweils unbehandelt war (ohne Reflexschicht).

⁶⁾ Für die mittlere Einstrahlzahl φ , die bei der Ermittlung des Wärmeaustausches durch Strahlung zwischen Flächen berücksichtigt werden muß, die nicht klein im Verhältnis zu ihrem gegenseitigen Abstand sind, ergibt sich auf Grund der geometrischen Gegebenheiten in den Versuchsräumen der Wert 1. Die Einstrahlzahl φ wurde daher in die Formel (5) zur Bestimmung der Wärmeabgabe durch Strahlung nicht eingesetzt.

Unter Verwendung der temperaturabhängigen Werte für α_K und α_S (Gleichungen (7) und (8)) wurde für die untersuchten Scheibenarten die Wärmeabgabe in den Raum gemäß der Beziehung (6) durch grafische Integration ermittelt, wobei für die Funktion $J(\Psi)$ die Werte bei den ungünstigsten Verhältnissen der Außenstrahlung in die Gleichung eingesetzt wurden (Südorientierung zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche⁷⁾.

In Bild 14 sind als Beispiele für zwei Arten von Doppelscheiben (Klarglas und stark reflektierendes Glas) die α_K - und α_S -Werte in Abhängigkeit von der integrierten Außenstrahlung — und damit von den in Frage kommenden Temperaturdifferenzen — sowie die ermittelten Werte der Wärmeabgabe aufgetragen. Für kleine Werte der integrierten Außenstrahlung ($\Psi < 200 \text{ kcal/m}^2$) wurden die Kurvenverläufe nicht angegeben, da sich in diesem Bereich die speziellen außenklimatischen Gegebenheiten bei den Einzelmessungen, aus denen die Temperaturkurven gemittelt wurden, ausprägen (in der Regel Wärmetransmission nach außen wegen höherer Raumlufttemperatur gegenüber der Scheibentemperatur). Das Verhalten im Bereich $\Psi < 200 \text{ kcal/m}^2$ wurde somit vernachlässigt. Für Werte der integrierten Außenstrahlung $\Psi > 200 \text{ kcal/m}^2$ trat unter den Versuchsbedingungen bei den geprüften Doppelscheiben durchweg eine zusätzliche Wärmelieferung in den Raum auf. Ferner ist aus Bild 14 zu erkennen, daß bei Klarglas die α_K -Werte niedriger sind als bei dem reflektierenden Glas, bedingt durch eine kleinere Differenz zwischen Scheibentemperatur und Raumlufttemperatur (siehe Bild 13). Hinsichtlich der α_S -Werte sind die Verhältnisse jedoch umgekehrt wegen der insgesamt höheren Temperaturwerte bei Klarglas (vgl. Bilder 10 und 12). Aus dem Zusammenwirken der etwas unterschiedlichen Wärmeübergangsbedingungen resultieren unter Berücksichtigung der jeweils wirksamen Temperaturdifferenz die in Bild 14 unten angegebenen Kurvenverläufe der Wärmeabgabe in den Raum. Man erkennt, daß die Wärmeabgabe durch Strahlung zwei- bis dreimal größer ist als die Wärmeabgabe durch Konvektion. Die Gesamtwärmelieferung Q_{K+S} ist bei dem reflektierenden Glas etwas größer als bei Klarglas⁸⁾.

Trägt man die gesamte Wärmelieferung in einen Raum als Summe der beiden Anteile gemäß Gleichung (5) in einheitlichem Maßstab⁹⁾ in Abhängigkeit von der integrierten Außenstrahlung auf, so ist zu erkennen, daß sich nicht nur die unmittelbar eingestrahelte Wärmemenge proportional zur integrierten Außenstrahlung darstellen läßt, sondern mit guter Näherung auch die

⁷⁾ Die Ergebnisse werden bei Zugrundelegung anderer praktisch in Frage kommender Funktionen $J(\Psi)$ nicht wesentlich beeinflußt.

⁸⁾ Die dargelegten Zusammenhänge der sekundären Wärmelieferung in den Raum werden — im Gegensatz zu den Verhältnissen des unmittelbaren Strahlungsdurchganges — durch die Versuchsbedingungen mitbeeinflusst (Scheibengröße, Raumgröße, Baustoff der Raumbegrenzungen). Um die Größe dieses Einflusses beurteilen zu können, wären weitere Untersuchungen unter abgewandelten Bedingungen erforderlich. Eine wesentliche Auswirkung auf den gesamten Wärmeenergietransport in den Raum ist jedoch bei den geprüften Gläsern nicht zu erwarten in Anbetracht des relativ geringen Anteiles der sekundären Wärmelieferung an der Gesamtwärmemenge.

⁹⁾ Zur Verdeutlichung der Anteile Q_K und Q_S wurde in Bild 14 ein größerer Maßstab für die Wärmemenge gewählt als bei den übrigen Bildern.

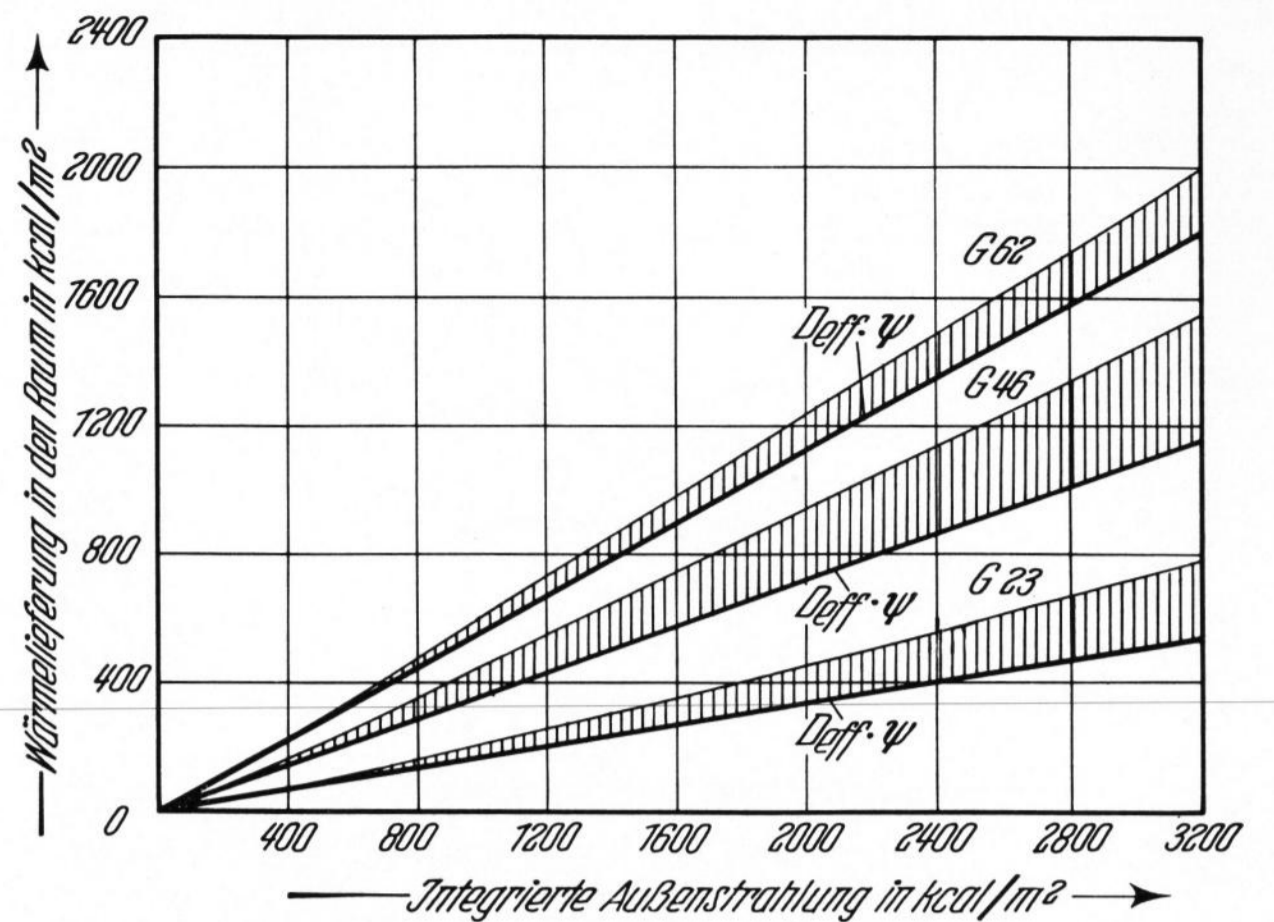


Bild 15. Wärmelieferung durch drei verschiedene Arten von Doppelscheiben in den Raum in Abhängigkeit von der integrierten Außenstrahlung.

Die gesamte Wärmelieferung setzt sich zusammen aus dem unmittelbar transmittierten Strahlungsanteil (Geraden $D_{\text{eff}} \cdot \Psi$) und der durch Konvektion und Strahlung von der Scheibe abgegebenen Wärmemenge (schraffierter Anteil).

G 62: Klarglas, G 46: absorbierendes Glas,
G 23: reflektierendes Glas.

durch Konvektion und Strahlung von den erwärmten Glasscheiben abgegebene Wärmemenge (Bild 15). Man kann somit die sekundäre Wärmeabgabe im Verhältnis zur integrierten Außenstrahlung durch einen mittleren Proportionalitätsfaktor angeben, für welchen die Bezeichnung W gewählt wird. Damit geht Gleichung (5) in die einfache Form über:

$$Q = D_{\text{eff}} \cdot \Psi + W \Psi = (D_{\text{eff}} + W) \Psi. \quad (10)$$

Es ist naheliegend, die Faktoren D_{eff} und W in einen Faktor G zusammenzufassen:

$$G \equiv D_{\text{eff}} + W, \quad (11)$$

der als Glaskennfaktor oder Glaskennwert bezeichnet werden soll¹⁰⁾. Bei Kenntnis des Glaskennfaktors können somit Zeitverlauf und Gesamtsumme der durch ein Fenster pro Flächeneinheit in einen Raum gelieferten Wärmemenge mit einer für die Praxis hinreichenden Genauigkeit ermittelt werden. Man muß lediglich für den Einzelfall den Verlauf der integrierten Außenstrahlung kennen.

¹⁰⁾ Für numerische Berechnungen sind D_{eff} , W und G als Faktoren mit Werten < 1 zu verwenden, gemäß Gleichung (10) und (11). Zu Vergleichen oder zur Kennzeichnung einer Glasart ist der hundertfache Betrag dieser Faktoren (%-Wert) besser geeignet und kann zur Unterscheidung vom „Faktor“ als „Kennwert“ bezeichnet werden.

Tabelle 3. Glaskennwerte für Doppelglasscheiben

Glasart	D (0°) in %	D_{eff} in %	W in %	G in %
Klarglas	64	57	5	62
	73	(65)	(5)	(70)
Sonnenschutzgläser	43	38	7	45
	42	36	10	46
	36	31	8	39
	(20)	17	6	23

Die in Klammern angegebenen Werte sind interpoliert — für Klarglas siehe Fußnote 3.

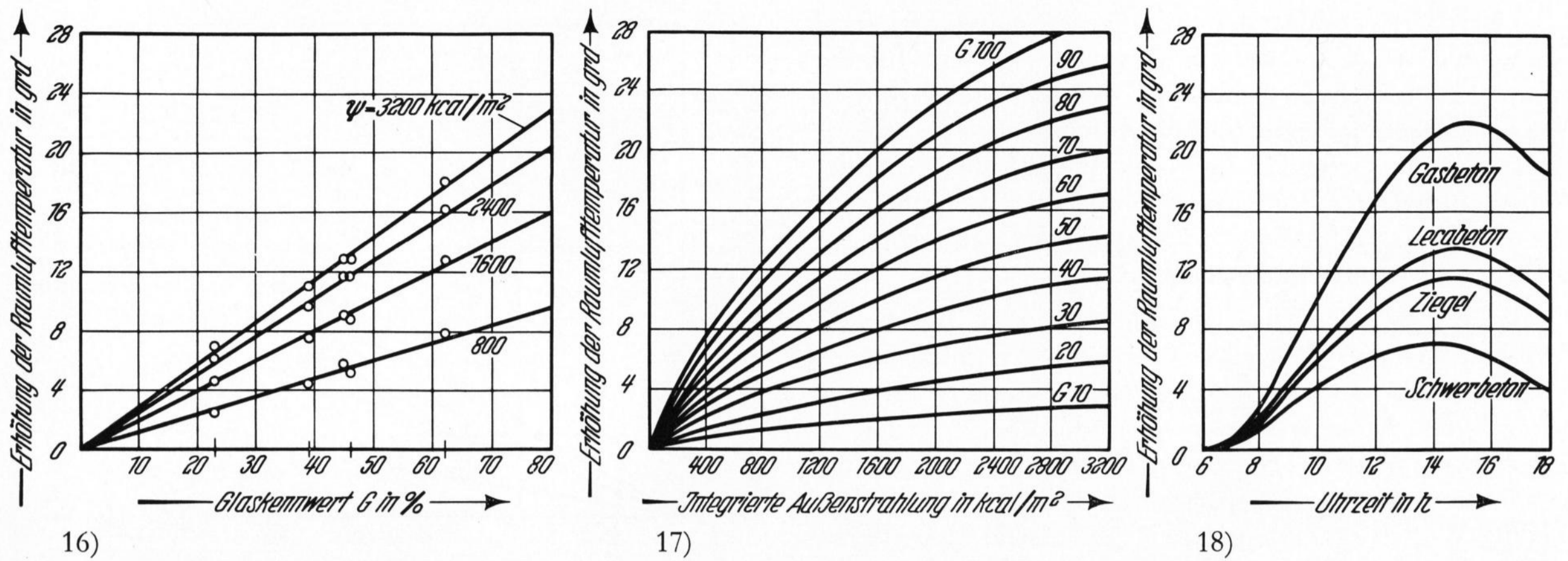


Bild 16. Zusammenhang zwischen der Erhöhung der Raumlufttemperatur in den Versuchsräumen und dem Glaskennwert G für verschiedene Werte der integrierten Außenstrahlung.

Bild 17. Erhöhung der Raumlufttemperatur in den Versuchsräumen in Abhängigkeit von der integrierten Außenstrahlung bei Verwendung von Doppelscheiben mit verschiedenen Glaskennwerten G 10 bis G 100.
G 100 wäre ein Fenster, das die Außenstrahlung ungeschwächt hindurchläßt.

Bild 18. Zeitlicher Verlauf der Lufttemperatur eines Raumes in einem Gebäudekomplex mit 15 cm dicken Innenbauteilen aus verschiedenen Baustoffen am Tage der Tag- und Nachtgleiche.
Raumgröße: 4 × 4 × 2,5 m³, Fensterfläche 4 m². Verglasung: Klarglas-Doppelscheiben G 62, Orientierung nach Süden.

Die in der beschriebenen Weise an den untersuchten Gläsern ermittelten Glaskennwerte sind — zusammen mit den früher angegebenen Kennwerten — in Tabelle 3 zusammengestellt.

Trägt man die bei verschiedenen Werten der integrierten Außenstrahlung gemessenen Erhöhungen der Lufttemperatur in den Versuchsräumen (Bild 10) in Abhängigkeit vom Glaskennwert der geprüften Scheibenart auf, dann erhält man eine Geradenschar mit Ψ als Parameter (Bild 16). Unter sonst gleichen Bedingungen ist somit die Erhöhung der Raumlufttemperatur unmittelbar proportional dem Glaskennwert G. Dieses

empirische Ergebnis wird durch theoretische Untersuchungen bestätigt¹¹⁾. Die Abweichungen der Meßpunkte von den Geraden in Bild 16 sind gering, im ungünstigsten Fall kleiner als 1 grad. Hierdurch wird bestätigt, daß die bei der Ableitung des G-Wertes zur Kennzeichnung der Gläser vorgenommenen Vereinfachungen für die Praxis zulässig sind. Auf Grund der Zusammenhänge in Bild 16 können unter den gegebenen Versuchsbedingungen auch für andere, nicht untersuchte Gläser die Verläufe der Raumlufttemperatur-Erhöhung ermittelt werden (Bild 17).

4.3. Verallgemeinerung der Ergebnisse

Die in den Versuchsräumen unter verschiedenen Bedingungen gemessenen Temperaturverläufe gelten naturgemäß nur für die speziellen Gegebenheiten hinsichtlich der Fenstergröße, Raumgröße und des Materials der innenliegenden Bauteile. Eine analytische Erfassung der Raumerwärmung — basierend auf den experimentell gefundenen Zusammenhängen — führte zu einer guten Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung. Hiernach ist es möglich, auch für andere Fenstergrößen, Raumverhältnisse und Baustoffe die zu erwartende Raumerwärmung vorauszuermitteln. Auf Einzelheiten des Verfahrens soll hier nicht eingegangen werden¹¹⁾. Es sollen lediglich einige Zusammenhänge an Hand der Bilder 18 und 19 erläutert werden.

In Bild 18 sind die zeitlichen Verläufe der Lufttemperaturerhöhung in einem Raum innerhalb eines Gebäudekomplexes aufgezeichnet unter Annahme der Verwendung unterschiedlicher Baustoffe für die Innenwände und Decken. Man erkennt, daß sich bei gleicher Verglasung, Fenstergröße und Raumgröße sehr unterschiedliche Erwärmungskurven ergeben, je nach Art des Baustoffes. Dies zeigt, daß der Wärmekapazität der innenliegenden Bauteile ein entscheidender Einfluß hinsichtlich der sommerlichen Raumerwärmung zukommt.

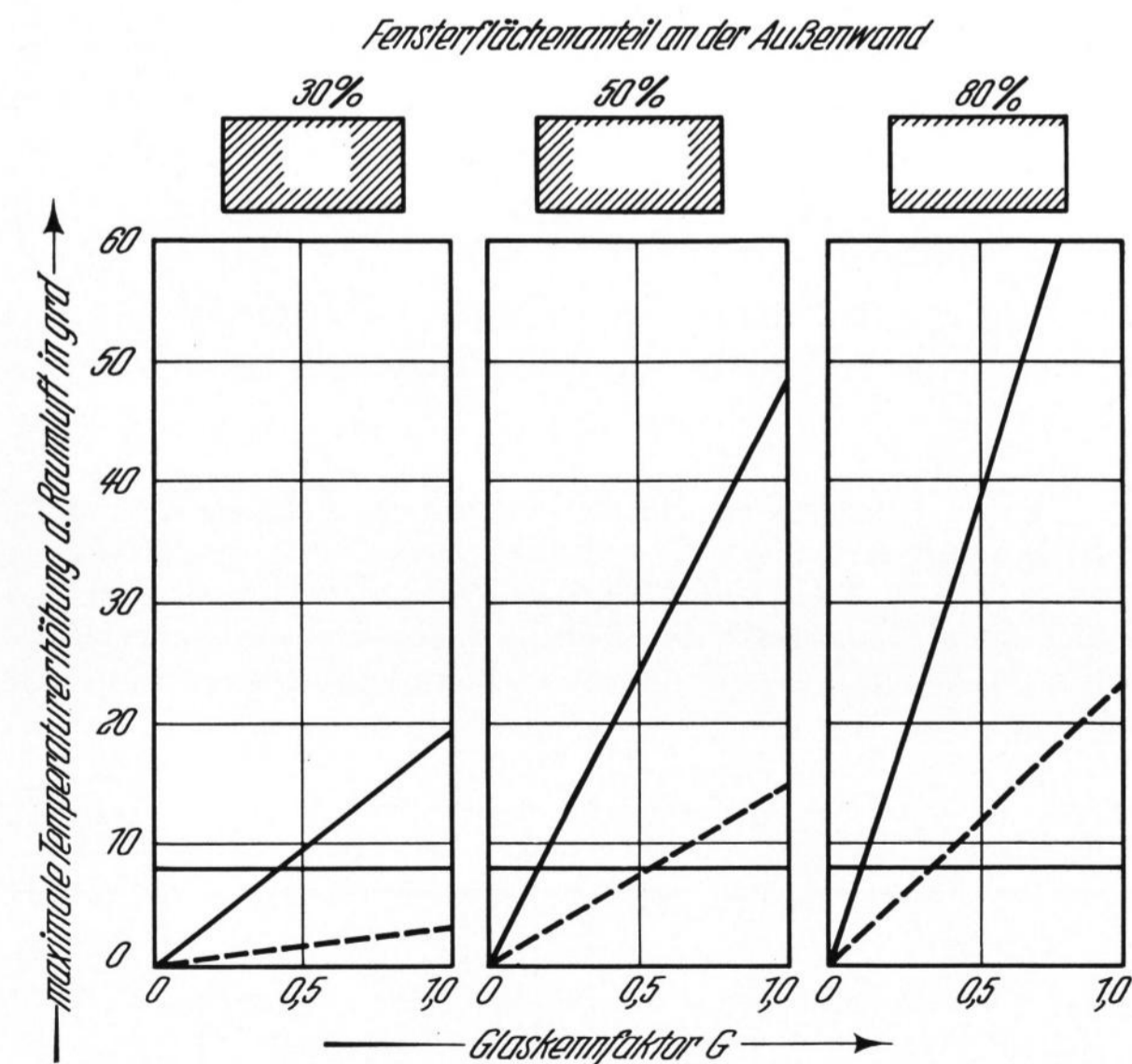


Bild 19. Maximale Erhöhung der Lufttemperatur in einem Raum innerhalb eines Gebäudekomplexes, abhängig von der Kennzahl der Doppelverglasung bei unterschiedlich großem Fensterflächenanteil an der Außenwand (Südwand) zum Zeitpunkt der Tag- und Nachtgleiche.

$\Psi \approx 4000 \text{ kcal/m}^2$, Raumgröße: 4 × 4 × 2,5 m³.
— 20 cm Gasbeton
--- 20 cm Schwerbeton

¹¹⁾ Diese Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen; eine Veröffentlichung erfolgt später.

Für die — im Hinblick auf die Wärmekapazität — „extremen“ Baustoffe Schwerbeton und Gasbeton wurden in Bild 19 die maximalen Temperaturerhöhungen der Raumluft für verschieden große Fensterflächenanteile angegeben, abhängig von der Glaskennzahl G . Sieht man z. B. eine Erhöhung der Raumlufttemperatur von 8 grd als maximal zulässig an, so kann aus den Diagrammen abgelesen werden, bei welchen Bauarten und Fensterflächenanteilen dieser Wert bei Verwendung von Klarglas-Doppelscheiben (G 62) nicht überschritten wird. Weiterhin kann aus Bild 19 entnommen werden, welche Auswirkung durch Verwendung von Sonnenschutzscheiben zu erwarten ist (G -Werte zwischen etwa 20 und 45) und in welchen Fällen zusätzliche Beschattungselemente bzw. eine Kühlanlage vorzusehen sind.

5. Zusammenfassung

Untersuchungen in Versuchsräumen über die Raumerwärmung im Sommer infolge Sonneneinstrahlung durch doppelt verglaste Fensterflächen unterschiedlicher Orientierung führten zu folgenden allgemeinen Ergebnissen:

1. Der Strahlungsdurchgang durch Glasscheiben kann für die Orientierungen und sommerlichen Zeiträume, die zu besonders hohen Strahlungsbelastungen führen, mit hinreichender Genauigkeit aus der integrierten Außenstrahlung durch Multiplikation mit einem konstanten, effektiven Durchlässigkeitsfaktor D_{eff} ermittelt werden. Die effektive Strahlungsdurchlässigkeit ist geringer als die Durchlässigkeit bei senkrechtem Strahlungseinfall.

2. Die Temperatur von Fensterscheiben hängt von der Strahlungsabsorption im Glas ab, sowie von den Temperaturen der Raumluft und Außenluft und von den

Wärmeübergangsverhältnissen nach beiden Seiten. Bei Doppelscheiben ist unter sommerlichen Bedingungen die Temperatur der raumseitigen Scheibenoberfläche höher als die Temperatur der Raumluft, wodurch eine Wärmeabgabe — zusätzlich zum direkten Strahlungsdurchgang — von der Scheibenoberfläche an die Raumluft durch Konvektion und Wärmestrahlung bedingt ist. Dieser Anteil der Wärmelieferung in einen Raum kann für Doppelscheiben ebenfalls aus der integrierten Außenstrahlung durch Multiplikation mit einem konstanten Faktor W mit guter Näherung ermittelt werden.

3. Der gesamte Wärmetransport durch Fenster in einen Raum durch Strahlung und Konvektion kann somit aus der integrierten Außenstrahlung und einem Glaskennwert G ($G = D_{\text{eff}} + W$) bestimmt werden. Bei gleicher Raumgeometrie und Bauart ist die Raumerwärmung durch Besonnung im Sommer proportional dem Glaskennwert.

4. Ein wesentlicher Einfluß auf die in der Praxis sich einstellende Raumerwärmung ist dem Flächenverhältnis der Fenster zu den speicherfähigen inneren Raumbegrenzungen zuzuschreiben sowie der Größe der Wärmespeicherfähigkeit der innenliegenden Bauteile. Bei gleicher Wärmespeicherfähigkeit erfolgt die Raumerwärmung um so langsamer, je rascher die Wärme in die Begrenzungsbauteile abgeleitet wird. Dieser letztere Gesichtspunkt wurde bisher bei rechnerischen Abschätzungen über die Verhältnisse der sommerlichen Raumerwärmung nicht berücksichtigt.

Die Untersuchungen wurden auf Veranlassung und mit finanziellen Mitteln der Hüttentechnischen Vereinigung der Deutschen Glasindustrie e. V., Frankfurt (Main), durchgeführt, wofür gedankt wird.

6. Literatur

- [1] CAEMMERER, W.: Beitrag zum Problem des Sonnenschutzes von Fenstern. Gesundheits-Ing. **83** (1962) S. 349 bis 357. [Ref. Glastechn. Ber. **38** (1965) S. 24.]
- [2] CAEMMERER, W.: Die Problematik des Sonnenschutzes von Gebäuden. Gesundheits-Ing. **88** (1967) S. 79 – 86.
- [3] PARMELEE, G. V., AUBLELE, W. W. und HUEBSCHER R. G.: Measurement of solar heat transmission through flat glass. Heating Piping Air Cond. Januar 1948.
- [4] PENNINGTON, C. W., SMITH, W. A., FABER, E. A. und REED, J. C.: Experimental analysis of solar heat through insulating glass with indoor shading. Bericht für ASHRAE Semiannual Meeting. New Orleans: 1964.
- [5] YELLOTT, J. I.: Selective reflectance — a new approach to solar heat control. ASHRAE-J. **70** (1964) Jan., S. 87 – 104.
- [6] PETERSEN, E.: Solinfald gennem vinduer. Danmarks tekniske Højskole, Mitteilung Nr. 13. Akademisk Forlag 1966.
- [7] KORSGAARD, V. und MADSEN, TH. L.: Registrering af sol- og himmelstråling gennem vinduer. Ing. **9** (1962).
- [8] LOUDON, A. G. und DANTER, E.: Investigation of summer overheating. Building Sci. **1** (1965) S. 89 – 94.
- [9] BROWN, G. und ISFÄLT, E.: Solskydd. Värme, Vatten, Sanitet **36** (1965) S. 315 – 324.
- [10] PERSSON, R.: Wärmeabsorbierende und Wärmereflektierende Gläser. VDI-Zeitschr. **110** (1968) S. 9 – 15.
- [11] SCHRÖDER, H.: Neue Sonnenschutzgläser zur Verglasung von Gebäuden. Heizung, Lüftung, Haustechnik **19** (1968) S. 37 – 41.
- [12] KOLLMAR, A. und LIESE, W.: Die Strahlungsheizung. München: Oldenbourg 1957. (47 652)