

Handbuch

Passive Nutzung der Sonnenenergie

F 1984

F 1984

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen -BMVBW- geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

F 1984

Schriftenreihe des Bundesministers für

Raumordnung,
Bauwesen und Städtebau



Bau- und Wohnforschung

Der Bundesminister für Wohnungsbau

*Abschluß-Zwischen-Bericht
zum Forschungs-Auftrag*

Arz.: *BIS-800178-102* Eing.: *April 1984*

Sammlung der
Forschungsberichte
des Referats
BIS

Nr. **1984**

Handbuch
Passive Nutzung der Sonnenenergie



04.097

In der Schriftenreihe 04 „Bau- und Wohnforschung“ werden Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau herausgegeben.

Die von den Verfassern ausgearbeiteten Forschungsberichte werden unverändert übernommen. Sie geben nicht unbedingt die Meinung des Herausgebers wieder.

Die Hefte der Schriftenreihe 04 „Bau- und Wohnforschung“ werden in begrenzter Anzahl an interessierte Fachkreise abgegeben.

Der Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau,
Bad Godesberg, Deichmanns Aue, 5300 Bonn 2.

Vorliegende Arbeit ist ein Werkstattbericht, dessen Inhalt möglichst schnell der Fachöffentlichkeit zur Verfügung stehen sollte. Die Leser werden gebeten, diesen Umstand bei der äußeren Form des Berichts, insbesondere bei der Wiedergabe der Abbildungen zu berücksichtigen.

Schriftenreihe 04 „Bau- und Wohnforschung“
des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau

Heft Nr. 04.097

Handbuch Passive Nutzung der Sonnenenergie

1984

Im Auftrag des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau
vorgelegt von Wolfram Koblin, Eckhard Krüger, Ulrich Schuh, München.

Bitte beachten:

Fehlende Seiten sind **Leerseiten**,
die bei Erstellung
der PDF-Datei für den Download nicht
berücksichtigt wurden

Fraunhofer IRB Verlag

INHALTSVERZEICHNIS	Seite
- Einleitung	5
1 - SONNE-ERDE-KLIMA	
1.1 - Sonnenstand und Sonnenbahn	13
1.2 - Das Klima im Jahresverlauf	16
1.3 - Der solare Tagesablauf	21
1.4 - Wärmezonen im Haus	25
2 WIEVIEL SONNENENERGIE BEKOMMEN WIR INS HAUS?	
2.1 - Globalstrahlung	36
2.2 - Richtung und Neigung von Kollektor- flächen	49
2.3 - Verschattung aus der Umgebung	66
2.4 - Reflexion der Umgebung	83
2.5 - Glas und Fenster, Wärmebilanzen	84
2.6 - Monatliche Sonneneinstrahlung ins Haus	87
3 KOLLEKTOR und SPEICHERSYSTEME DER PASSIVEN SONNENENERGIENUTZUNG:	
3.1 - Sonnenfenster - Sonnenraum	93
3.2 - Der Glasvorbau	109
3.3 - Die Sonnenwand	135
3.4 - Der Luftkollektor	145
3.5 - Das solare Wasserdach	153
3.6 - Der Wasserkollektor	155
4 ZUSATZSYSTEME ZUR PASSIVEN SONNEN- ENERGIENUTZUNG:	
4.1 - Wärmespeicherung	159
4.2 - Luftzirkulation	173
4.3 - Wärmerückgewinnung	179
4.4 - Temporärer Wärmeschutz	181
4.5 - Reflektoren	191
4.6 - Sonnenschutz	197
5 DIE BERECHNUNG DES HEIZUNGSWÄRME- BEDARFS	
5.1 - Wärmebedarfsberechnung	203
5.2 - Die Ermittlung des solaren Wärmebei- trags von Sonnenfenstern, Glasvor- bauten und Sonnenwänden	207
5.3 - Die Ermittlung des internen Beitrags zur Raumerwärmung	210
5.4 - Die Ermittlung des monatlichen Hei- zungswärmebedarfs	211
5.5 - Die Dimensionierung von Sonnenfen- stern bei Berechnungen nach der Wär- meschutzverordnung	212
6 ANHANG:	
6.1 - Metereologische Daten der BRD	219
6.2 - Erläuterungen zu den Berechnungsver- fahren und Modellrechnungen	239
6.3 - Quellennachweis	243
6.4 - Bezeichnungen und Maßeinheiten	245
6.5 - Schlagwortverzeichnis	246

EINLEITUNG

Auf der Suche nach umweltfreundlichen Energiequellen haben wir die Sonne wiederentdeckt. Seit Urzeiten sind die Strahlen der Sonne Träger allen Lebens auf unserer Erde. Die Drehbewegungen der Erde um sich selbst und um die Sonne verursachen den Rhythmus von Tag und Nacht und den Gang der Jahreszeiten. So verteilt sich die Sonnenstrahlung auf alle Seiten der Erdkugel.

Wir haben uns an das alltägliche Licht und die Wärme der Sonne gewöhnt, an das Wachstum der Pflanzen, die Regeln und Launen des Wetters und daran, daß es im Winter kalt ist und wir das Haus heizen müssen.

Auch im Winter leben wir - im Vergleich zur Kälte des Weltraums - von der Wärme der Sonne, die sich aus der täglichen Strahlung und der in Erdboden und Meerwasser gespeicherten Sommerwärme zusammensetzt.

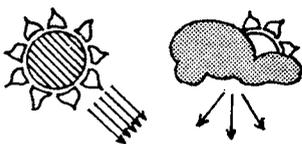
Aus Gewohnheit haben wir die Sonne bei der Hausplanung vergessen und nur noch gerechnet, wieviel oder wie wenig Heizöl, Gas, Strom wir verbrauchen, wenn das Haus mit weniger oder mehr Wärmedämmung versehen wird.

Das Bewußtsein der ökologischen Gefährdung unserer Erde und der Begrenztheit unserer Ressourcen sowie der Wunsch nach umweltfreundlichem Umgang mit Energie und Verringerung der Heizkosten trägt jedoch zunehmend dazu bei, nach Wegen zu einer besseren Ausnutzung der Sonnenenergie zu suchen.

Wir wollen in diesem Buch auf anschauliche Weise vermitteln - wie die thermischen Prozesse im Haus zu verstehen sind

- welche Techniken der passiven Sonnenenergienutzung zur Raumerwärmung für unser Klima angewendet werden können
- und welche Regeln nach dem bisherigen Stand des Wissens bei der Gebäudeplanung zur Sonnenenergienutzung zu berücksichtigen sind.

Außerdem stellen wir die derzeit greifbaren Daten und Verfahren dar, die es dem Leser ermöglichen, den solaren Heizungsbeitrag für das jeweilige Bauprojekt selbst zu ermitteln.



In diesem Buch wird eine ganze Reihe von Möglichkeiten der passiven Sonnenenergienutzung vorgestellt und diskutiert. Jeder kann sich die für ihn brauchbaren Informationen herausuchen und nutzen. Wir sehen es nicht als Ziel an, mit allen Mitteln eine 100 % Solarbeheizung zu gewährleisten, sondern eine größtmögliche Sonnenenergienutzung zugleich mit Behaglichkeit und Wirtschaftlichkeit zu erreichen. Dazu muß für jedes einzelne Bauprojekt ein in sich gut abgestimmtes Passiv-System speziell konzipiert werden.

Mit passiver Sonnenenergienutzung gibt es in Deutschland erst wenige Erfahrungen. Daher sind die hier vermittelten Erkenntnisse als vorläufige und korrekturfähige Wegweiser zu verstehen.

Wir möchten hier darauf hinweisen, daß die wesentlichen Anstöße zum Verständnis und zur Entwicklung der passiven

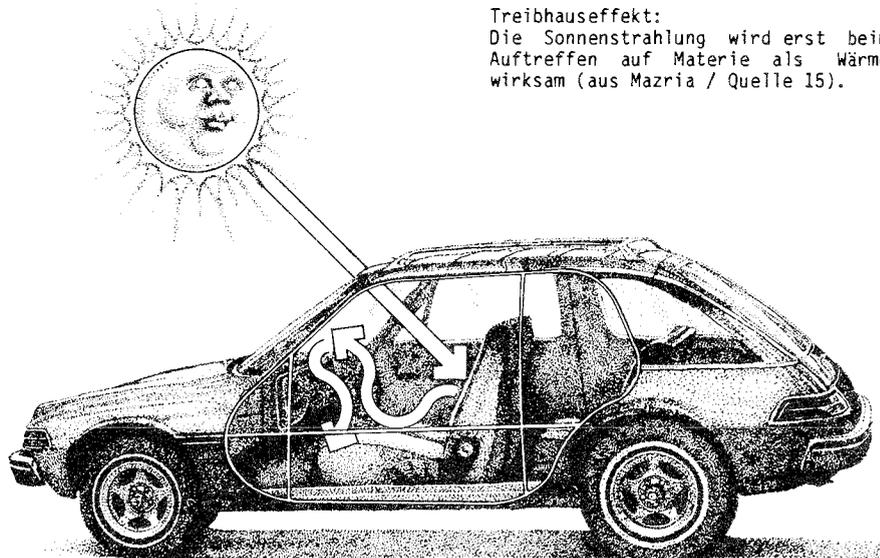
Sonnenenergienutzung aus amerikanischen Quellen stammen, von denen die Arbeiten von E. Mazria und J. Balcomb/MacFarland (Quellen 15 / 19) hervorrangen.

DER TREIBHAUSEFFEKT

Die Sonne, die durch ein Fenster in einen Raum scheint, dringt als kurzwellige Strahlung fast ungehindert ein. Hierbei und beim Auftreffen auf eine Oberfläche (Boden, Wände) wird sie in langwellige Strahlung umgewandelt, d.h. durch die Sonnenstrahlen erwärmen sich die Materialien und geben die Sonnenstrahlung teilweise als langwellige Wärmestrahlung wieder ab. Als solche kann sie nicht wieder durch das Glas hinaus, da Glas langwellige Strahlungen weitgehend reflektiert. Die Sonnenstrahlung ist also "gefangen", man nennt diesen Effekt "Wärmefalle". Ist nun die Wärmefalle windstill abgeschlossen, kann die Wärme auch durch die Luft nicht weggetragen werden und die Raumtemperatur steigt bei andauernde Besonnung weiter an.



Das kleine Treibhaus mit Wasserfass als Wärmespeicher.



Treibhauseffekt:
Die Sonnenstrahlung wird erst beim Auftreffen auf Materie als Wärme wirksam (aus Mazria / Quelle 15).

PASSIVE SONNENENERGIENUTZUNG

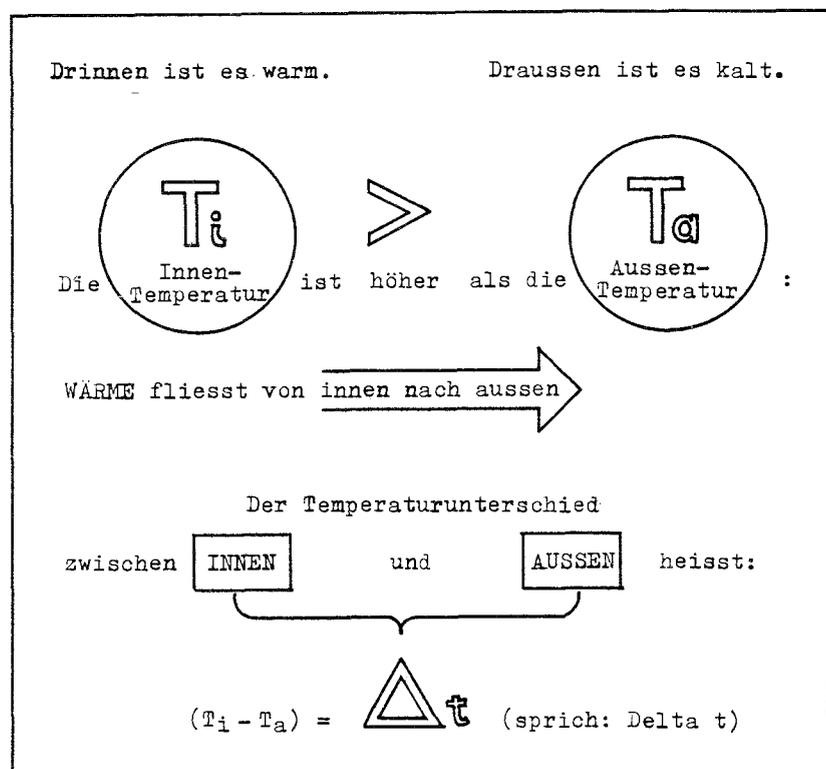
Als passive Systeme der Sonnenenergienutzung bezeichnen wir solche bauliche Einrichtungen, die die Sonnenenergie - unmittelbar oder über Speicher verzögert- ohne künstliche Temperaturerhöhung nutzen können. Dabei schließt der Begriff die Verwendung von Transportmitteln (Umwälzpumpen, Ventilatoren) und Regelgeräten, welche Zusatzenergie verbrauchen, nicht grundsätzlich aus (Passive Systeme ohne und mit Zusatzaggregaten).

WÄRMEÜBERTRAGUNG

Wir unterscheiden drei Arten der Wärmeübertragung

1. Wärmestrahlung (von Körper zu Körper), zum Beispiel:
von der Sonne zur Erde,
vom Menschen zu den Wänden,
vom Ofen oder Heizkörper zu Menschen und Wänden.
2. Wärmetransport durch bewegte Luft (Konvektion), zum Beispiel:
durch warme oder kalte Winde,
durch Warmluftzirkulation in beheizten Räumen
und Luftheizungen,
durch den Schornstein vom Ofen ins Freie.
3. Wärmeleitung in Körpern oder zwischen Körpern, die sich berühren, zum Beispiel:
von der Kochplatte in den Topf,
von den Füßen in den kalten Boden,
von der Wärmflasche in den Bauch.

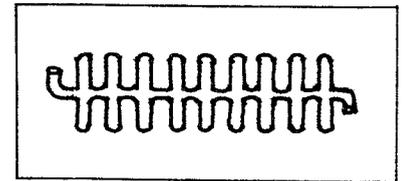
Wärmeübertragung erfolgt nur, wenn zwischen den beteiligten Medien (zwei Körper oder Körper und Luft) kein Hindernis (z.B. eine Wärmedämmschicht) und ein **Temperaturunterschied** besteht. Dann fließt die Wärme vom Warmen zum Kalten, sie versucht beständig, den Temperaturunterschied auszugleichen, das Warme will abkühlen, das Kalte sich erwärmen, bis ein gleiches Temperaturniveau erreicht ist.



Art und Umfang der jeweiligen Wärmeübertragung kann außer durch den Temperaturunterschied und die Anordnung von Wärmedämmschichten durch die Form und Beziehung der beteiligten thermischen Körper und Medien beeinflusst und verändert

werden: Die Wärmestrahlung zu einem gegenüberliegenden Körper, der glatt und hell ist, wird reflektiert. Ist er matt und dunkel, wird ein großer Teil der Wärmestrahlung absorbiert. Das hat zur Folge: Der Körper erwärmt sich.

Wärmeübertragung zwischen Körper und Luft kann durch die Luftgeschwindigkeit, den Temperaturunterschied und die Oberflächengestaltung der Tauscherflächen verändert werden. So ist die Rippenform von Heizkörpern, Kühlern, Wärmetauschern oder Gebäuden ein Mittel zur Erhöhung des Wärmeaustauschs mit der Luft. Glatte Heizflächen dagegen haben einen geringen Anteil an Luftwärmeübertragung, dafür geben sie mehr Strahlungswärme ab.



Typische Rippenform zur Verstärkung der Wärmeübertragung zwischen Körper und Luft (oder Flüssigkeiten).

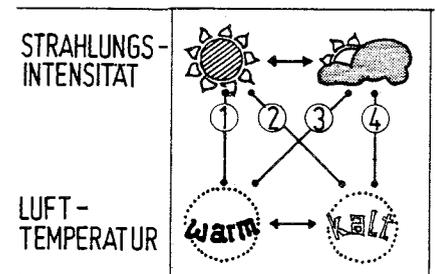
SONNENENERGIENUTZUNG UND RAUMKLIMA

Bei der Nutzung der Sonnenenergie zur Raumheizung haben wir es mit zwei thermischen Milieus zu tun: Einerseits dem Raumklima mit einem durch das Behaglichkeitsempfinden begrenzten engen Temperaturspielraum (um 20 °C), andererseits mit dem Außenklima, das durch schwankende Temperaturen ständig den Heizwärmebedarf verändert und dessen solare Strahlungswerte von heftigen und kurzzeitigen Intensitätsänderungen gekennzeichnet sein können.

Nutzung der Sonnenenergie für die Raumheizung bedeutet jedoch, den größtmöglichen Teil der Einstrahlungen zur Raumwärmung zu nutzen, ohne daß die Grenzen der Behaglichkeit überschritten werden. Dazu bedarf es baulicher und technischer Anlagen und Betriebsweisen, die auf außenklimatische Veränderungen ausreichend schnell reagieren können.

Für die passive Sonnenenergienutzung gibt es eine Vielzahl möglicher Lösungen von sehr einfachen bis zu technisch aufwendigen Ausführungen. Dabei kann es geschehen, daß die Einsparung an Heizenergie durch den Energieaufwand bei der Herstellung der energiesparenden Techniken und durch deren Betrieb wieder zunichte gemacht wird. Das wäre ökologisch sinnlos und kommt ökonomisch der Umbuchung eines Teils der Heizkosten in Kapital- oder Mietkosten gleich. Dies widerspricht den Intentionen, die die Pioniere der passiven Sonnenenergienutzung mit dem Bauen und Wohnen verbinden. Es ist daher eine wichtige Aufgabe bei jedem Entwurf, die allgemeinen thermischen Gesetzmäßigkeiten und die örtlichen klimatischen und ökologischen Verhältnisse so geschickt auszunutzen, daß die Ansprüche an die Hilfsttechnik gering bleiben.

Das Haus soll sich mit den Veränderungen von Klima und Wetter öffnen und schließen können, Wärme einlassen, speichern oder abgeben, sich Temperaturschwankungen anpassen und diese zugleich ausgleichen können. Es soll so gebaut sein, daß die Bewohner ihre klimatische Umwelt nach eigenem Gefühl, eigener Erfahrung und ohne Schaden für sich und andere steuern können.



Der Spielraum der thermischen Klimabedingungen.

BEZEICHNUNG ENERGETISCHER GRÖSSEN

Wir bezeichnen alle energetischen Leistungen, also auch die Wärmeleistungen mit

Watt (W) oder Kilowatt (kW), (1000 W = 1 kW)

Energie- und Wärmemengen werden gemessen in

Wattstunden (Wh) oder Kilowattstunden (kWh)

(1000 Wh = 1 kWh)

Eine Kilowattstunde ist die Wärmemenge, die einer einstündigen Wärmeleistung von 1 Kilowatt entspricht.

Um einen Vergleich mit anderen gebräuchlichen Maßeinheiten zu haben, die aber heute nicht mehr verwendet werden sollen, kann man umrechnen:

1 kWh	=	860	kcal
1 kcal	=	1,16	Wh
1 kW	=	1,34	PS
1 PS	=	750	Watt

Die Wärmemengen, die während einer anderen Zeitdauer wirksam werden, werden bezeichnet (z.B.) mit:

Wh/d (Wattstunde pro Tag)

kWh/mt (Kilowattstunde pro Monat)

kWh/a (Kilowattstunde pro Jahr)

Wärmemengen werden häufig auf die Größe eines Bauteils bezogen, z.B.:

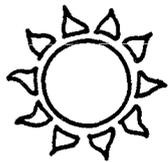
kWh/m²d (Kilowattstunde pro Quadratmeter und Tag).

Folgende Beispiele mögen einen Begriff einer Kilowattstunde geben:

1 Liter Heizöl (EL) erzeugt bei vollständiger Verbrennung eine Wärmemenge von etwa 10 Kilowattstunden (1 kWh = 0,1 l Heizöl EL). 1 Kilowattstunde ist auch die Menge an elektrischem Strom, die nötig ist, um 10 Glühbirnen zu je 100 Watt eine Stunde lang brennen zu lassen.

DEFINITIONEN VON STRAHLUNGSBEGRIFFEN

Strahlungsintensität ist die energetische Strahlungsleistung der Sonne in jedem Augenblick. Sie verändert sich ständig je nach Tages- und Jahreszeit und dem Wetter. Sie wird gemessen in W/m². Die Strahlungsintensität gibt keinen Aufschluß über das wirkliche durchschnittliche Strahlungsangebot an einem Ort.

Strahlungsintensität bei verschiedenen Wetterverhältnissen			
Himmel			
Wetter	wolkenloser blauer Himmel	dunstig-wolkig Sonne als weisse gelbe Scheibe sichtbar	wolkenbedeckter Himmel, trüber Tag
Globalstrahlung	600-800 W/m ²	200-400 W/m ²	50-150 W/m ²
Diffusanteil	10-20 %	20-80 %	80-100 %

Die Sonnenscheindauer gibt für einen bestimmten Ort die Zeitdauer (in Stunden) an, während der innerhalb eines

Monats oder Jahres die Sonne sichtbar geschienen hat. Die Messgeräte des Deutschen Wetterdienstes registrieren Sonnenschein ab einer Strahlungsintensität von etwa 200 W/qm. Das entspricht der in Dunst oder Wolken sichtbaren gelben Sonnenscheibe. Die Sonnenscheindauer gibt keinen Aufschluß über das wirkliche durchschnittliche Strahlungsangebot eines Ortes, da sie die Intensität weder der Direkt- noch der Diffusstrahlung erfasst. Die Sonnenscheindauer (in Stunden pro Jahr) kann auch als Sonnenscheinwahrscheinlichkeit (Sonnenscheinstunden pro Gesamttagesstunden in %) ausgedrückt werden. (Quelle 7)

Globalstrahlung ist die Summe der während einer bestimmten Zeit (Tag, Monat, Jahr) auf eine horizontale Fläche (Erde) auftreffende Strahlungsmenge. Sie setzt sich zusammen aus der Diffusstrahlung und der Direktstrahlung.

Sie wird gemessen in kWh/m²d (Tagessumme der Globalstrahlung pro Quadratmeter) oder kWh/m²mt (Monatssumme der Globalstrahlung pro Quadratmeter).

ANMERKUNG:

Der in diesem Buch von uns benutzte Begriff "Wärmebedarf" ist äquivalent zu den Begriffen "Wärmeverbrauch" oder "Wärmeverluste"; er ist nicht zu verwechseln mit dem "NORM-Wärmebedarf".

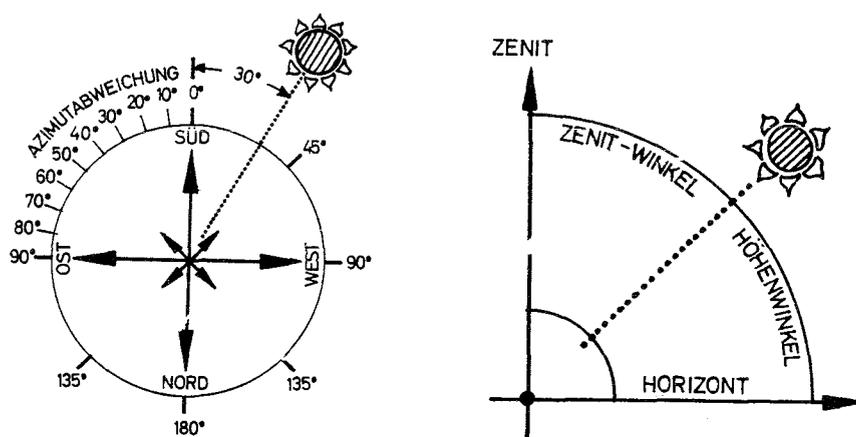
1.

SONNE · ERDE · KLIMA

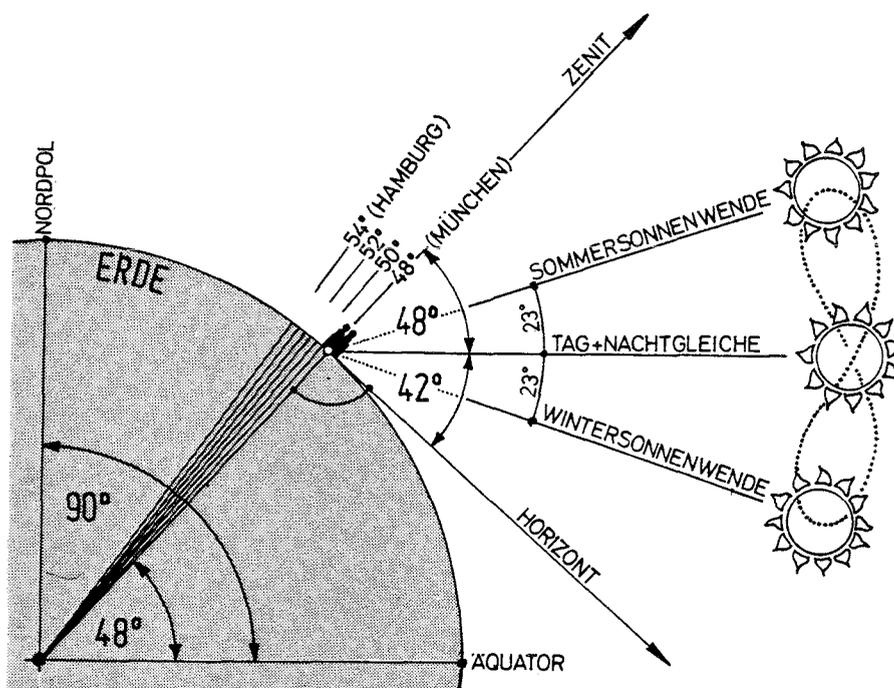
1.1 SONNENSTAND UND SONNENBAHN

Auf der täglichen Bahn der Sonne zwischen Sonnenaufgang und -untergang bezeichnen wir die seitliche Abweichung des Sonnenstands von der Südrichtung (=Azimut) als Azimutabweichung. So bilden beispielsweise die Ost- und die Westrichtung einen Azimutwinkel von je 90° .

Die Höhe des Sonnenstands kann durch den Höhenwinkel (zwischen Horizont und Sonne) oder durch den Zenitwinkel (zwischen einer vom Erdmittelpunkt aus gedachten senkrechten Linie und der Sonne) bestimmt werden. Höhenwinkel und Zenitwinkel ergänzen sich immer zu einem rechten Winkel (90°).



Azimutwinkel und Zenitwinkel



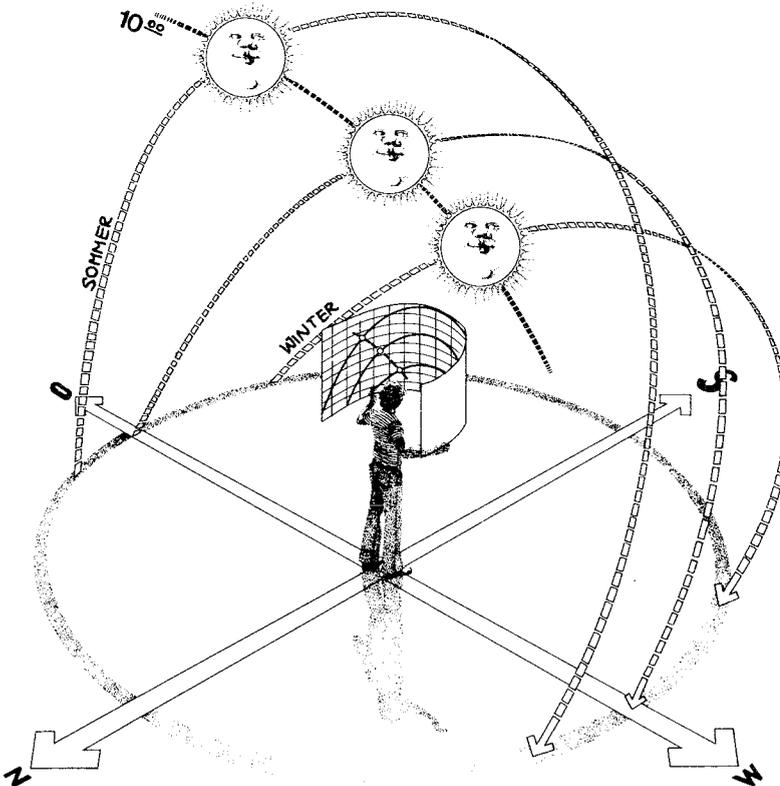
Der Zusammenhang von Zenitwinkel und Breitengrad.

Die Höhe der Sonnenbahn und damit auch die Länge des Tages ist -verursacht durch die Schräglage der Erdoberfläche bei ihrem jährlichen Umlauf um die Sonne- für jeden Tag und Breitengrad der Erde unterschiedlich. Die Breitengradeinteilung der Erde wurde nach dem Sonnenstand vorgenommen: An den Tagen der Tag- und Nachtgleiche (21. März und 21. Sept.) bildet für jeden Breitengrad die Sonne einen Zenitwinkel gleicher Größe, d.h. am 48. Breitengrad (abgekürzt: 48°NB) ist der Zenitwinkel der Sonne um 12 Uhr mittags 48°, der Höhenwinkel über Horizont beträgt $90^\circ - 48^\circ = 42^\circ$.

Zum Zeitpunkt der Sommer-Sonnenwende (21. Juni) steht die Sonne mittags 12⁰⁰ Uhr um 23° höher als zur Tag-Nacht-Gleiche ($42^\circ + 23^\circ = 65^\circ$), während der Wintersonnenwende (21. Dez.) um 23° niedriger ($42^\circ - 23^\circ = 19^\circ$ über Horizont). Diese Abweichungen von 23° sind für alle Breitengrade gleich.

Auf diese Weise lassen sich für alle Breitengrade die Höhenwinkel des Sonnenstands an den vier Jahreszeitengrenzen ermitteln.

Breitengrade der Bundesrepublik	Sonnenbahn-Höhenwinkel um 12 Uhr mittags, am:			
	21.3.	21.6.	21.9.	21.12.
48° NB	42°	65°	42°	19°
49° "	41	64	41	18
50° "	40	63	40	17
51° "	39	62	39	16
52° "	38	61	38	15
53° "	37	60	37	14
54° "	36	59	36	13

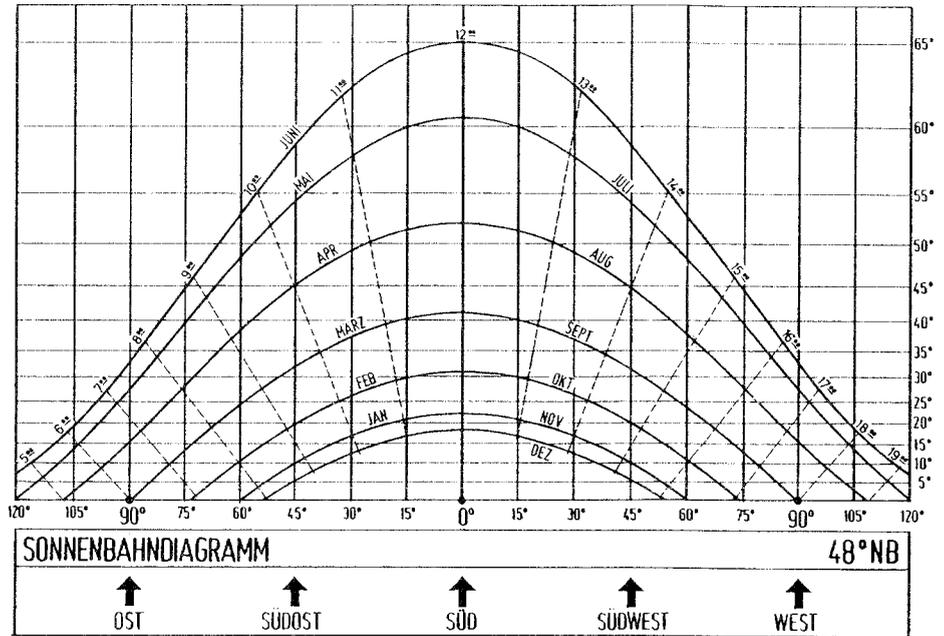


Die Veränderungen der Sonnenbahn im Jahresverlauf führen zu unterschiedlichen Einstrahlungswinkeln und Tageslängen, zu den Temperaturunterschieden von Sommer und Winter und zu unterschiedlichen Wetterverhältnissen. Aus all dem ergibt sich ein unterschiedliches Angebot an Strahlungsenergie für verschiedene Standorte und Jahreszeiten.

Sonnenbahndiagramm für den 48°NB

Es enthält die Sonnenbahnlinien für den 21. jeden Monats, aus denen der Sonnenstand für jede Tageszeit (Sonnenhöhe und Azimutabweichung) und die Länge des Tages zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang abgelesen werden kann.

Sonnenbahndiagramme für alle Breitengrade in der Bundesrepublik Deutschland siehe S. 77-80



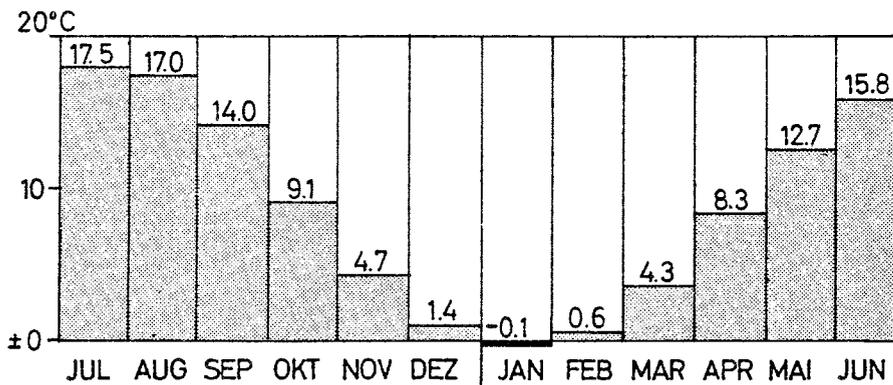
1.2 DAS KLIMA IM JAHRESVERLAUF

Ein Sonnenhaus bauen heißt klimagerecht bauen, d.h. unter den für einzelne Länder und Gegenden typischen Wetterverhältnissen auf einfache Weise durch geeignete Bauweisen ein behagliches Raumklima zu schaffen.

Um einen Überblick über unser Klima zu erhalten, haben wir die für die Nutzung der Sonnenenergie wichtigen Klimafaktoren in ihrem Jahresverlauf zusammengestellt. Wir haben dazu die langjährigen Messungen von 16 Stationen (15 Stationen des Deutschen Wetterdienstes und Maastricht) benutzt (Quelle 5 / Siehe hierzu auch "Meteorologische Daten", Anhang 6.1).

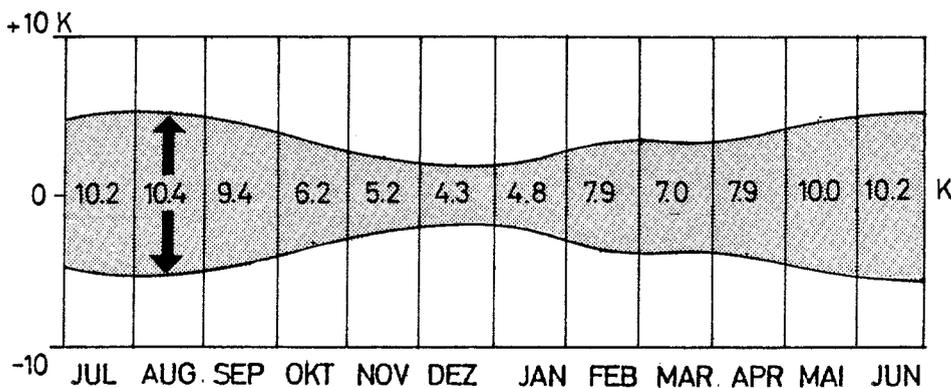
Der wirkliche Klimaverlauf weist von Jahr zu Jahr und von Ort zu Ort starke Unterschiede auf. Aus diesem Grund sind die folgenden Klimaangaben nur zur allgemeinen Orientierung, nicht aber als Berechnungsgrundlage für einzelne Bauvorhaben geeignet.

AUSSENTEMPERATUREN



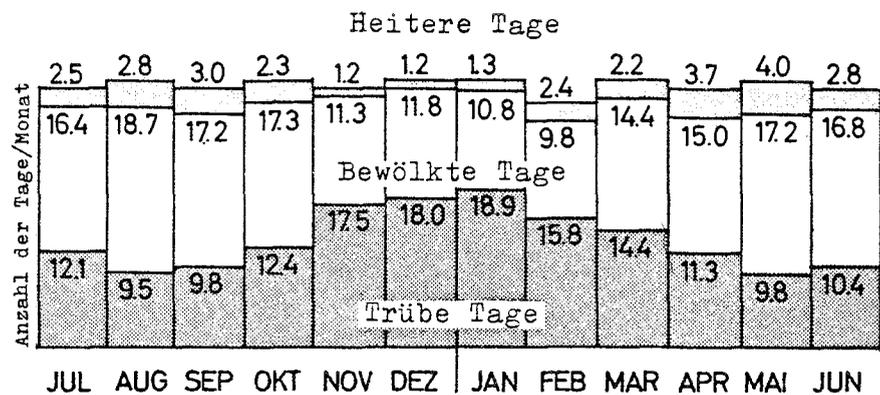
Mittlere monatliche Außenlufttemperatur (Quelle 5).

TEMPERATURSCHWANKUNGEN WÄHREND DES 24-STUNDEN-TAGES



Mittlere monatliche Schwankungen der Außenlufttemperatur zwischen Nacht- und Tagesmittel (Quelle 4).

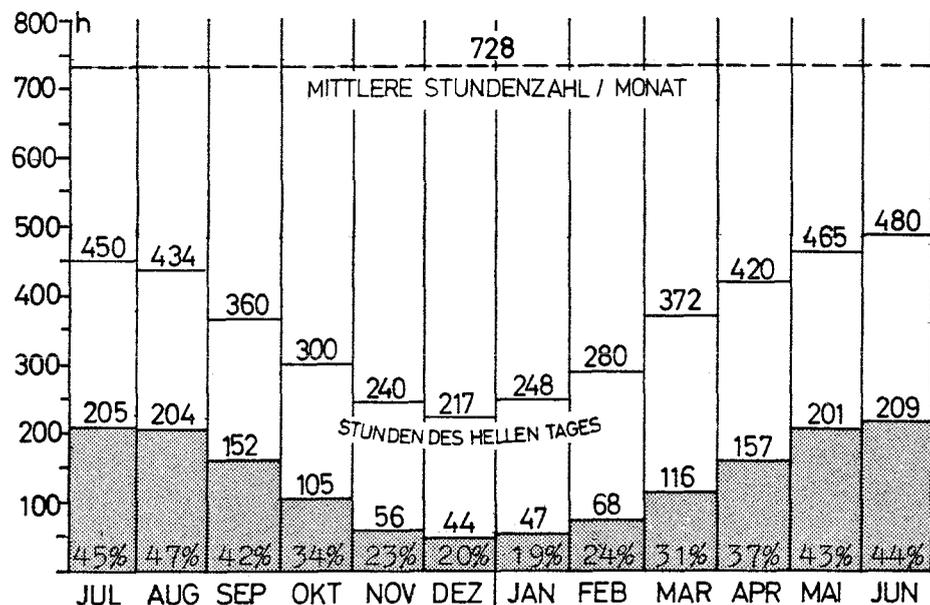
ANZAHL HEITERER, BEWÖLKTER UND TRÜBER TAGE



Anzahl heiterer, bewölkter und trüber Tage. Mittel aus 5-jährigen Wetterbeobachtungen 1976 - 80 (Quelle 5).

Nach diesem Bild sind während November und Januar mehr als die Hälfte der Tage als "trüb" zu bezeichnen, d.h. die Sonne scheint an weniger als 20 % der hellen Tageszeit. Die Anzahl "heiterer" Tage (Tage mit Sonnenschein während mehr als 80 % der hellen Tageszeit) ist das ganze Jahr über ziemlich niedrig. An den übrigen Tagen schwankt die Zeitdauer mit Sonnenschein zwischen 20 % und 80 %. Deshalb spielt die diffuse Strahlung aus bewölktem Himmel bei uns eine wichtige Rolle. Diese Feststellung wird auch durch die Betrachtung der Sonnenscheinstunden gestützt:

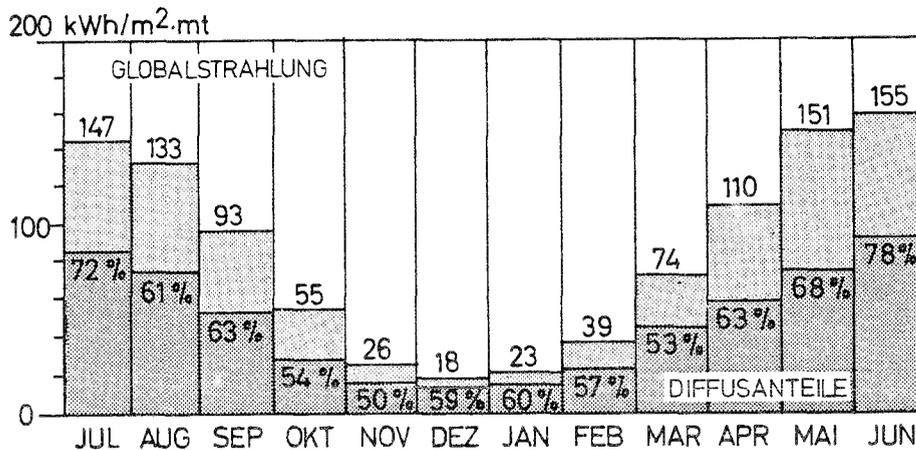
SONNENSCHNEINSTUNDEN



Mittlere monatliche Zahl der Sonnenscheinstunden (Quelle 5). Die Prozentwerte geben den Anteil der Sonnenscheinstunden an der Gesamtzahl der hellen Tagesstunden jeden Monats an. Der Anteil der Sonnenscheinstunden an der Zahl der hellen Tagesstunden gemittelt für den 7-Monats-Zeitraum Oktober-April beträgt 28,6 %.

Der Vergleich mit dem Bild der "heiteren" Tage zeigt, daß die wolkenarmen Tage für unser Klima weniger typisch sind als die wolkenlosen Stunden (einzeln oder zu mehreren).

DIE GLOBALSTRAHLUNG UND IHRE ANTEILE DER DIREKT-UND DIFFUS-STRAHLUNG



JAHRESMITTELWERTE:

$$G \bar{\sigma} = 2,8 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{d} = 85 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{mt} = 1024 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$$

Mittlere Monatssummen der Globalstrahlung in kWh/m².mt aus 10- und 5-jährigen Messungen (Quellen 1,10).
Der Anteil der Diffusstrahlung ist in Prozent der Globalstrahlungssumme angegeben.

Die mittleren monatlichen Anteile der Direkt- und der Diffusstrahlung an der Globalstrahlung während der Heizperiode (Okt-Apr). ($\bar{\sigma}$ aus 15 St.)

	DIREKT	DIFFUS
Oktober	37 %	63 %
November	32	68
Dezember	22	78
Januar	28	72
Februar	39	61
März	37	63
April	46	54
$\bar{\sigma}$ Heizperiode	34 %	66 %

Aus diesem Bild ergibt sich: Der mittlere Anteil der Diffusstrahlung an der Globalstrahlung bewegt sich im Jahresverlauf zwischen 80 % im Dezember und etwa 50 % im Mai. Der Nutzung der diffusen Strahlung zur winterlichen Raumerwärmung kommt in unserem Klima deshalb eine große Bedeutung zu.

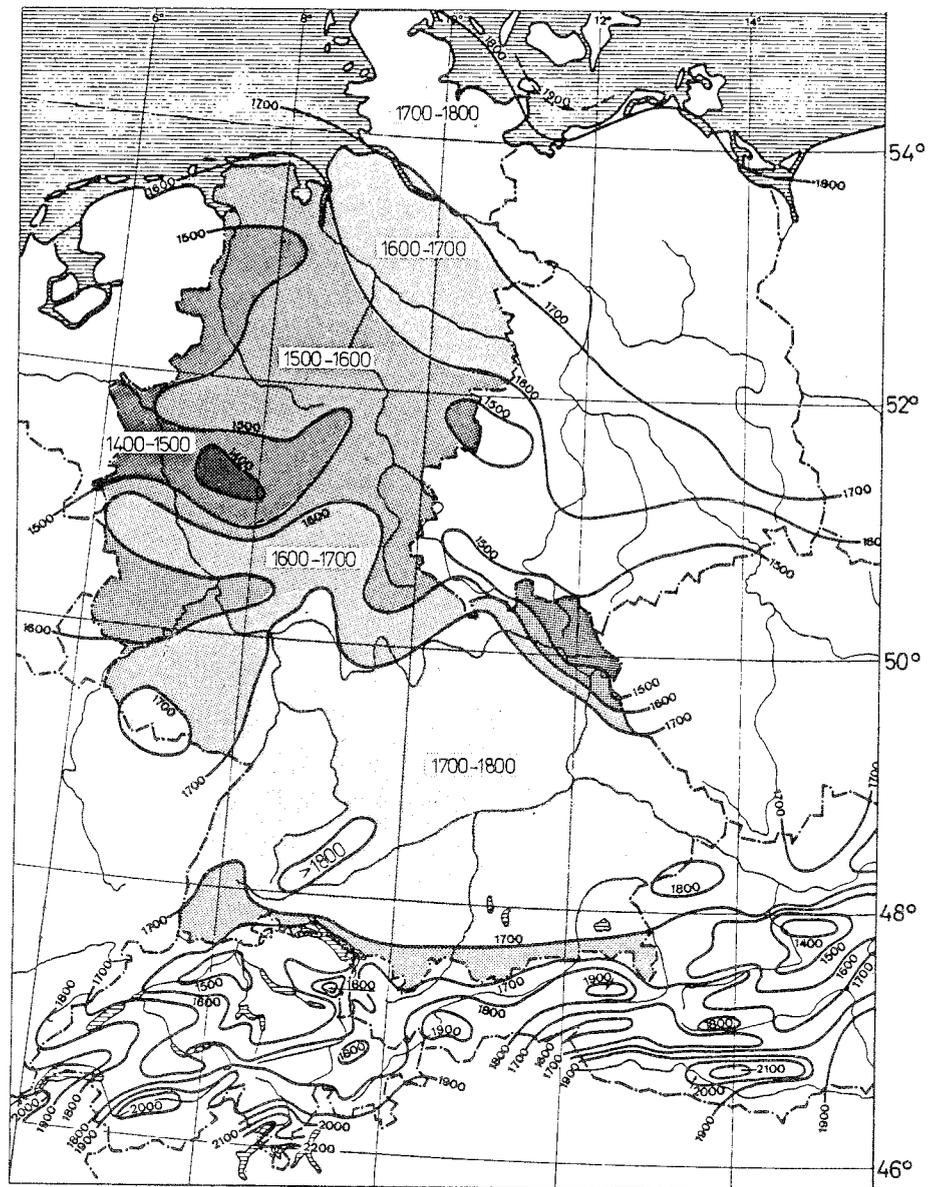
(siehe hierzu auch S.65)

KLIMAZONEN DER BRD

Die direkte Strahlung bei klarem Himmel ist vom Einstrahlungswinkel der Sonne und damit vom Breitengrad abhängig. Durch die Zufälligkeiten und Gesetzmäßigkeiten des Wettergeschehens sowie durch die topografische Lage ergeben sich aber für die Globalstrahlung starke regionale Verschiedenheiten, die das Bild der stetigen Strahlungszunahme von Norden nach Süden überlagern.

Besonders reich an direktem Sonnenschein sind die Küstengebiete, die süddeutsche Hochebene, der Schwarzwald und die Alpen, deren Höhen und Gipfel während der Winterzeit die höchste Sonnenscheinwahrscheinlichkeit aufweisen. Während des Sommers dagegen haben sie die niedrigsten Werte. Umgekehrt hat die Nordseeküste im Sommer sehr viele Sonnenstunden und während des Winters deutlich niedrigere Werte.

Die norddeutsche Tiefebene, die Mittelgebirge, vor allem aber das Rhein-Ruhr-Gebiet haben dagegen insgesamt eine geringere Sonnenscheinwahrscheinlichkeit. Bei den Mittelgebirgslagen sind oft starke Unterschiede zwischen Berg- und Tallagen zu beobachten. Während des Winters sind diese Regionen besonders häufig bewölkt.



Isozonen - Karte der mittleren jährlichen Zahl der Sonnenscheinstunden in der Bundesrepublik Deutschland (Quelle 12).

Die Karte der jährlichen Sonnenscheinstunden gibt aber keinen Aufschluß darüber, ob ein Ort oder eine Region im Sommer oder im Winter besonders viel Sonnenschein hat. Dies ist also -außer der Nichtberücksichtigung der Diffusstrahlung- ein Grund, warum aus der Karte der jährlichen Sonnenscheinstunden nicht abgelesen werden kann, ob ein bestimmter geografischer Standort für die Nutzung der Sonnenenergie zur Raumbeheizung besonders geeignet ist. Eine Karte der mittleren Sonnenscheinstunden für die Heizperiode (Winterhalbjahr) wurde bisher vom Deutschen Wetterdienst nicht hergestellt.

ANMERKUNGEN ZUM WETTERGESCHEHEN

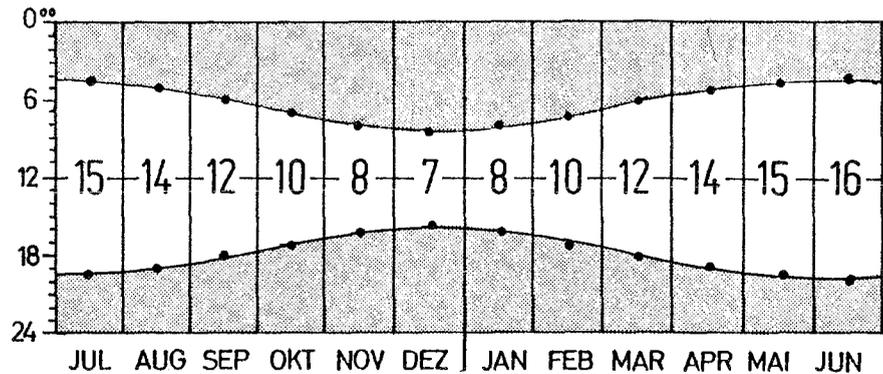
Die mittlere Dauer gleichbleibender Grosswetterlagen beträgt bei uns etwa 3 bis 7 Tage. Der Wetterwechsel ist meist mit einer Veränderung der Bewölkung, des Sonnen-

scheins, der Luftdruckverhältnisse, der Luftfeuchte und der Luftgeschwindigkeit verbunden. Statistisch wird deutlich, daß während des Winterhalbjahrs eine starke Bewölkung häufig mit relativ mässigen Außentemperaturen einhergeht, die wolkenlosen Tage (Hochdrucklagen) dagegen oft die niedrigsten Lufttemperaturen aufweisen. Sie liegen im Mittel etwa 8-10 K (Kelvin) unter den Temperaturen von trüben Tagen, wobei die größten Temperaturunterschiede morgens zwischen 7 Uhr und 8 Uhr auftreten. Das ist bedingt durch die wärmere Luft, die die wolkenreichen Tiefdrucklagen mit sich bringen, und durch die Wolkendecke, die tatsächlich auch wie eine "warme Decke" wirkt und die Wärmeabstrahlung der Erde in den Weltraum mindert.

Wir müssen allerdings auch mit dem für den Wärmehaushalt ungünstigsten Fall rechnen: Die geschlossene Wolkendecke, d.h. geringes Strahlungsangebot bei niedrigsten Außentemperaturen. Diese Wetterlage wurde auch der Neufassung der Berechnungsgrundlagen für den Wärmedarf (DIN 4701) zugrunde gelegt (Quelle 40).

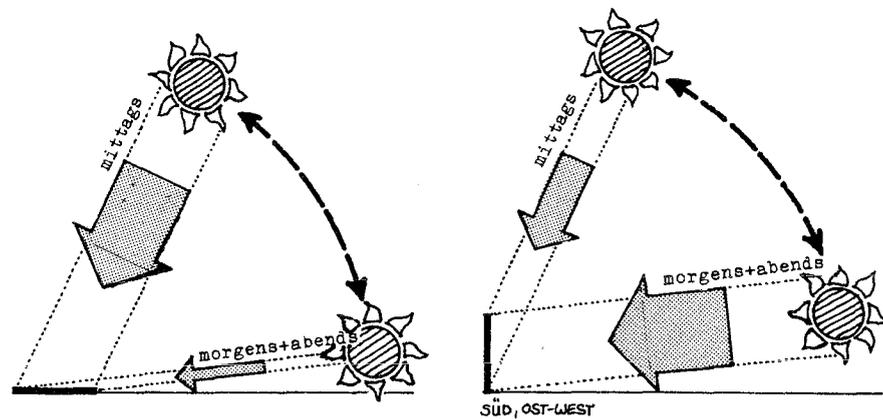
1.3 DER SOLARE TAGESABLAUF

Mit der Veränderung der über der Erde sichtbaren Sonnenbahn im Jahresverlauf ändert sich auch die Dauer der hellen Tageszeit.



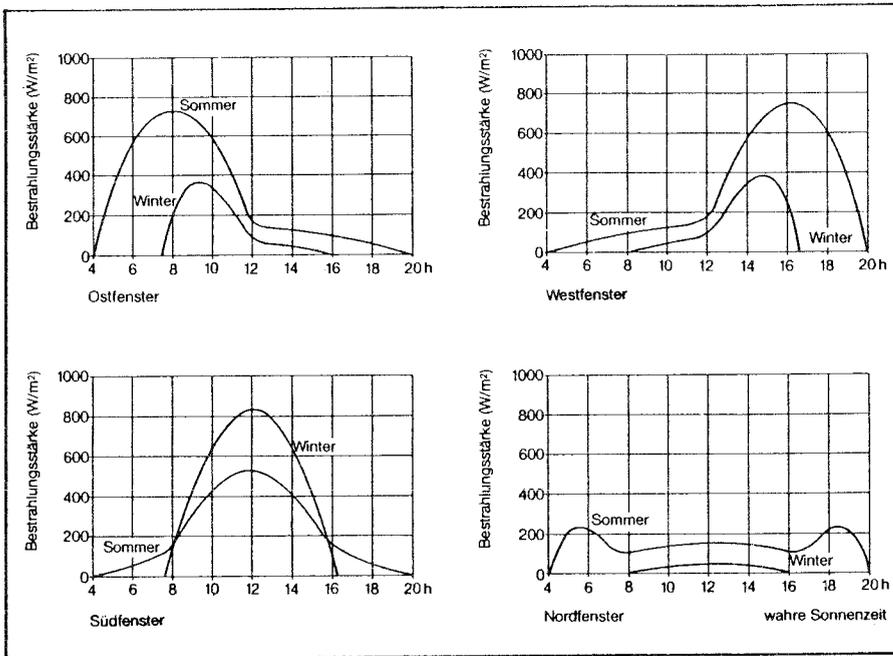
Die Dauer der hellen Tageszeit für den 51 °NB.

Auf dem Weg der Sonne bei wolkenlosem Himmel von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang ändert sich der Einstrahlungswinkel und damit die Intensität der Strahlung. Dabei beeinflusst auch die Neigung und Richtung der bestrahlten Fläche sehr die Strahlungsintensität.

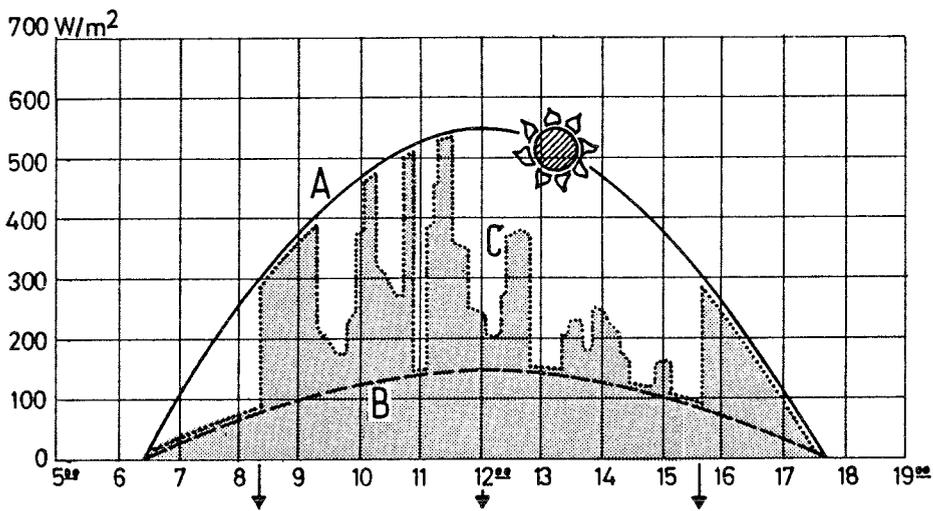


Vergleich der Direktstrahlung auf horizontale und vertikale Flächen bei unterschiedlichem Sonnenstand während eines Tages.

Aus den wechselnden täglichen Einstrahlungsintensitäten auf horizontale Flächen ergeben sich die Tagessummen der Globalstrahlung, jeweils für heitere, bewölkte oder trübe Tage. Aus diesen Tagessummen werden die langjährigen mittleren monatlichen Globalstrahlungssummen errechnet, die ein wesentlicher Faktor zur Ermittlung der Sonnenwärmegewinne eines Hauses sind. Diese Summen sind Durchschnittswerte, aus denen sich keine Schlüsse über den Wetterverlauf, die Tagesgänge der Strahlungsintensität oder die Menge und Verteilung der Sonnenscheinstunden ableiten lassen.



Strahlungsintensität auf vertikale Flächen unterschiedlicher Himmelsrichtungen an wolkenlosen Tagen im Winter (Dez.) und Sommer (Juni) nach Messungen in Holzkirchen (Quelle 70).



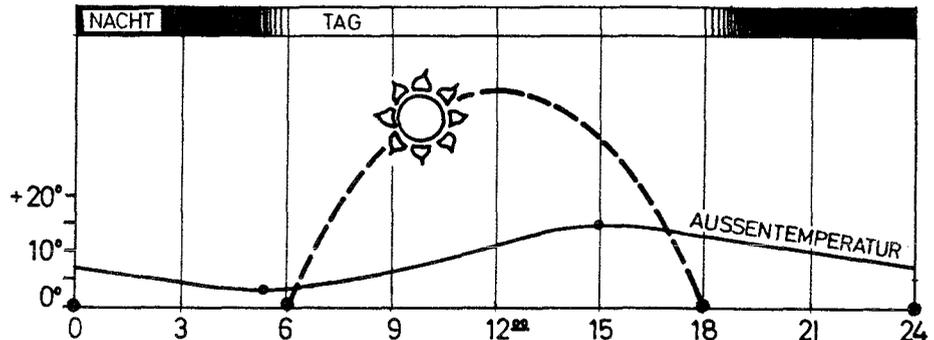
Tagesgang der Strahlungsintensität in der Übergangszeit (Okt./März) auf horizontale Flächen:

- A. bei wolkenlosem Himmel
- B. bei bedecktem Himmel
- C. Beispiel für Intensitätsschwankungen bei wechselhaft bewölktem Himmel. Der Wetterdienst würde sagen:

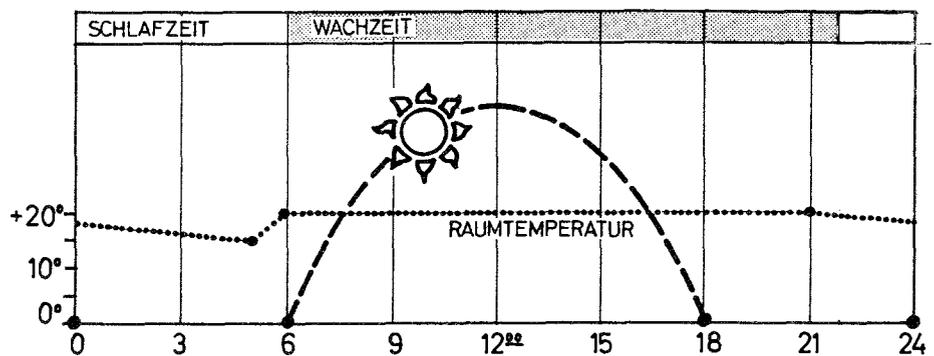
↑	↑	↑	
Ein bedeckter Morgenhimmel	vormittags heiter bis wolzig	es zieht sich zu, wechselhaft	abends klart der Himmel auf

DER SOLARE UND THERMISCHE TAGESABLAUF IM HAUS.

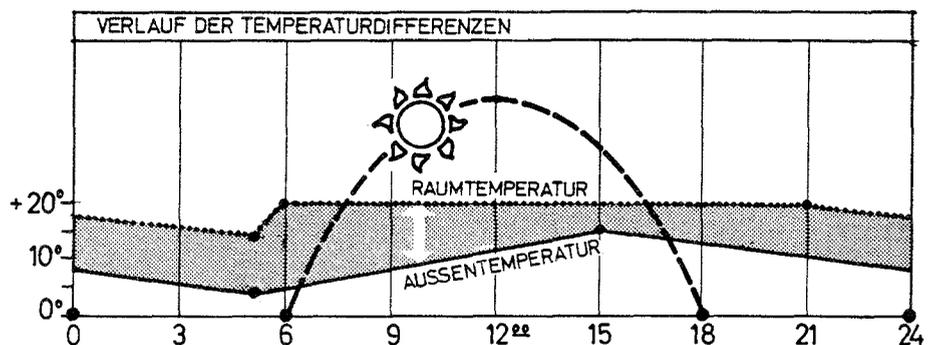
Am Beispiel eines wolkenlosen Oktober- oder Märztes seien die thermischen und zeitlichen Beziehungen zwischen Sonnenstrahlung, Außen- und Innentemperatur sowie dem Heizwärmebedarf innerhalb eines 24-Stunden Tages erläutert.



Sonnenaufgang 6³⁰Uhr, Sonnenuntergang 18 Uhr. Die Außentemperatur erreicht morgens zwischen 5 und 6 Uhr den tiefsten Punkt (5 °C), infolge des Sonnenscheins erreicht sie -mit Verzögerung- um 15 Uhr das höchste Niveau (15 °C) und sinkt dann langsam wieder ab.

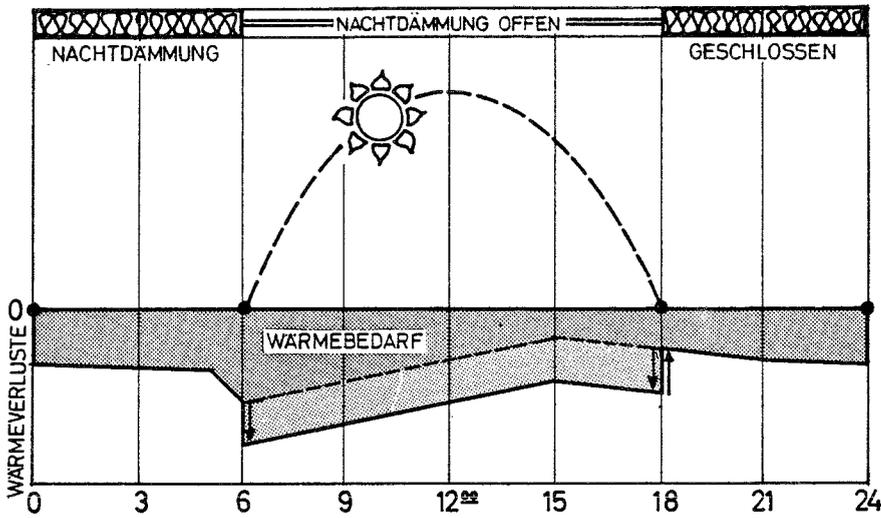


Wir nehmen an, daß die Bewohner morgens um 6 Uhr aufstehen und abends gegen 22 Uhr zu Bett gehen. Die Aufenthaltsräume sollen während dieser Zeit eine Temperatur um 20 °C haben. Um 22 Uhr wird die Heizung abgestellt. Über Nacht, bis 6 Uhr morgens, sinkt die Raumtemperatur auf ca. 15 °C (typisch für ein Haus in schwerer Bauweise). Morgens zwischen 5 und 6 Uhr wird wieder angeheizt.



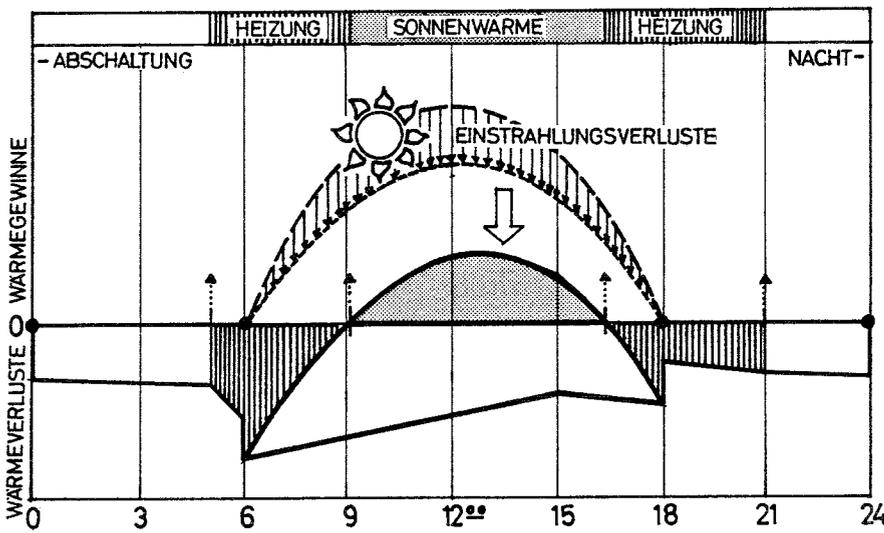
Aus dem Verlauf der Außen- und Innentemperatur ist die Veränderung der Temperaturdifferenz ablesbar. Die Temperaturdifferenz zwischen Innen und Außen bestimmen den Tagesverlauf der Wärmeverluste (getöntes Feld).

Die Wärmeverluste werden nun auf eine Null-Linie bezogen dargestellt. Wir nehmen an, daß die Fenster während der Nacht mit wärmedämmenden Rolläden geschlossen werden. Infolgedessen kommt es abends (18 Uhr) zu einer sprunghaften Verringerung der Wärmeverluste (b). Diese werden entsprechend größer, wenn die Rolläden morgens um 6 Uhr wieder geöffnet werden (a).

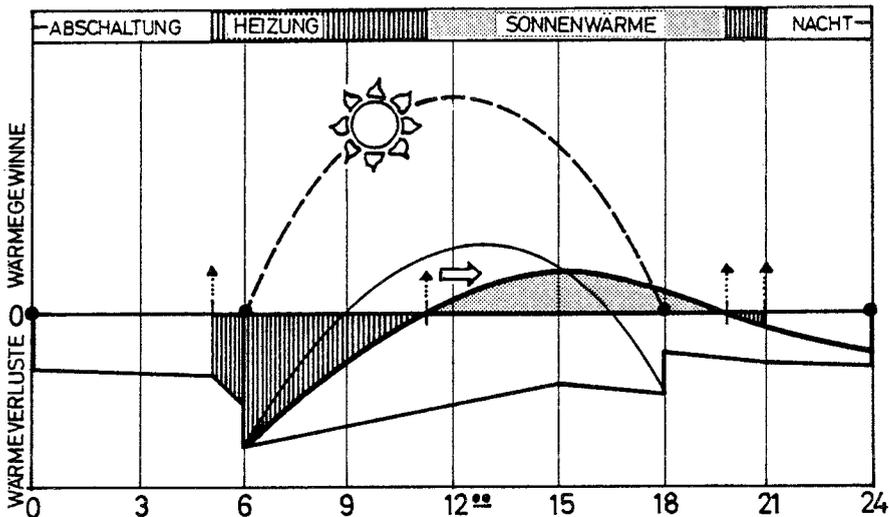


Wir nehmen an, daß etwa 2/3 der Sonneneinstrahlung (a) der Raumerwärmung zugute kommt (b). Diese Wärmeleistung wird nun auf der unteren Linie der Wärmeverluste aufgetragen (c).

Hieraus ergibt sich ein Feld (S) oberhalb der Null-Linie, das den Zeitraum angibt, in dem die Räume ausschließlich von der Sonne erwärmt werden (9 bis 16³⁰ Uhr). Dieses Feld kennzeichnet zugleich den Umfang der solaren Wärmeüberschüsse. Die gestrichelten Zonen (H) geben Zeitdauer und Umfang der notwendigen Raumbeheizung an.

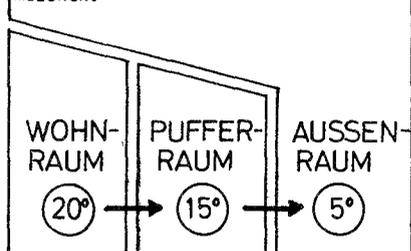


Wenn wir jetzt zusätzlich die Einspeicherung von Wärme in die Bauteilmassen eines Hauses in schwerer Bauweise mit berücksichtigen, dann ergibt sich ein anderer Verlauf der Heizbedarfskurve (d): Morgens muß etwas länger, abends möglicherweise gar nicht mehr geheizt werden. Der echte Energiesparer bleibt also am besten bis 11 Uhr im Bett!



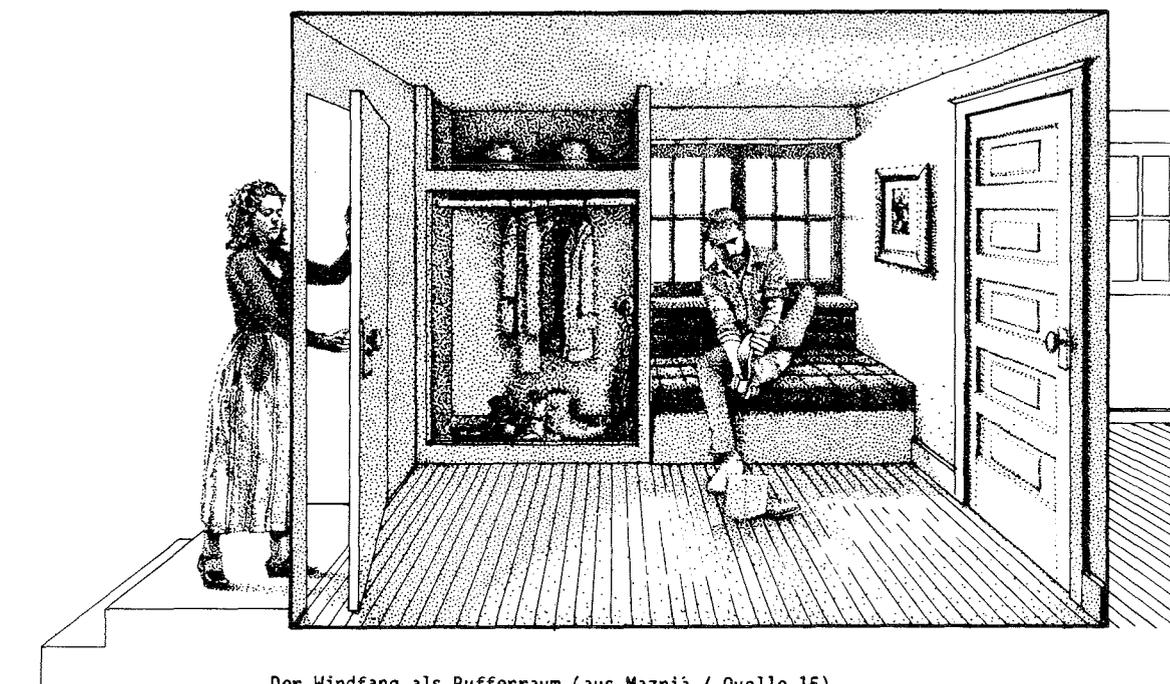
1.4 WÄRMEZONEN IM HAUS

Temperaturgefälle zwischen drei Wärmezonen.



Sonnen- und Schattenseiten eines Hauses, unbeheizte und beheizte Räume, Dachboden und Keller bilden je nach klimatischen Verhältnissen und den Bewohnerbedürfnissen Zonen mit unterschiedlicher und wechselnder Raumtemperatur.

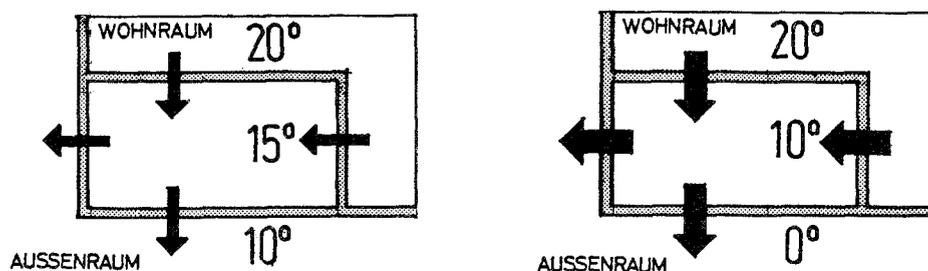
Die kühleren Zonen sollten bei der Planung so angeordnet werden, daß sie im Temperaturgefälle zwischen Wohnräumen und Außenraum einen thermischen Puffer bilden.



Der Windfang als Pufferraum (aus Mazrià / Quelle 15).

UNBEHEIZTE RÄUME ALS THERMISCHE PUFFERZONE

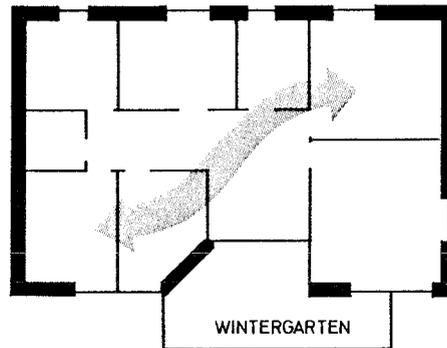
Wenn wir von (dauernd oder zeitweise) unbeheizten Räumen sprechen, so meinen wir Räume, die nicht auf einer gleichbleibenden Temperatur von z.B. 20°C gehalten werden, sondern deren Temperatur sich von selber zwischen Wohnraum- und Außentemperatur einpendelt und mit wechselnder Außentemperatur mit verändert. Solche Räume werden von benachbarten, beheizten Wohnräumen immer miterwärmt. Wie stark sie miterwärmt werden, hängt von der Größe und Wärmedämmung der umgebenden Flächen (Wände, Boden, Decke) und der Lage der Räume ab.



Das folgende Bild zeigt einen graphischen Vergleich des Transmissionswärmedurchgangs von Außenwänden mit $k = 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$, Innenwänden mit $k = 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$, und Verglasung mit $k = 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Diese Werte kennzeichnen eine sehr gute Wärmedämmung, wie sie heute bei Neubauten vorgenommen wird.

Vergleich der Wärmedurchlässigkeit von Innen- und Außenwänden (Darstellung der Wärmedurchgangswiderstände in graphischen Proportionen).

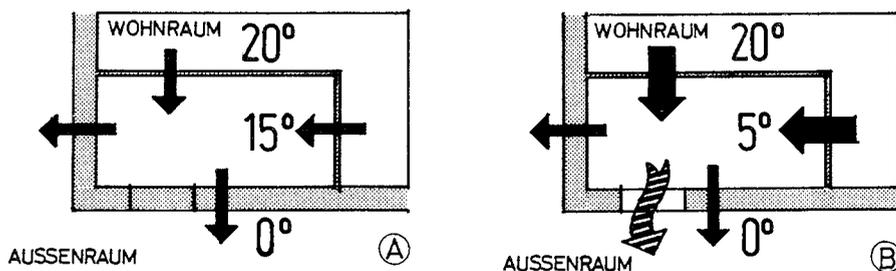


Es zeigt sich, daß sich wegen des hohen Transmissionswärmedurchgangs der Innenwände und der Luftwärmeflüsse durch die Türen innerhalb der wärmedämmenden Umhüllung des Hauses kaum Temperaturdifferenzen zwischen beheizten und unbeheizten Räumen einstellen. Wenn man Räume mit ständig niedrigeren Temperaturen tolerieren will, so müssen diese Räume durch Wärmedämmschichten thermisch getrennt werden. Das kann möglicherweise für Elternschlafräume oder Abstellräume zweckmässig sein.

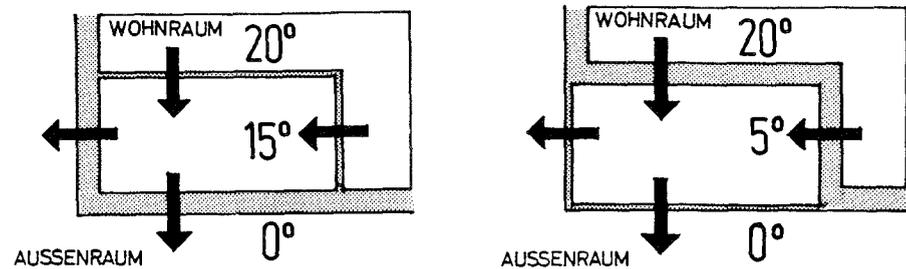
Pufferfunktionen ergeben sich sonst nur für Räume, die aufgrund der Wärmedämmung ihrer Umgebungsflächen thermisch zwischen Innen- und Außenraum liegen, z.B. für Glasvorbauten.

In den Pufferräumen werden sich -mit dem Wechsel der Außentemperaturen- immer die Raumtemperaturen einstellen, bei denen der Wärmefluß durch die Innen- und die Außenwände (bei unterschiedlichen k-werten) gleich ist (Abb. A).

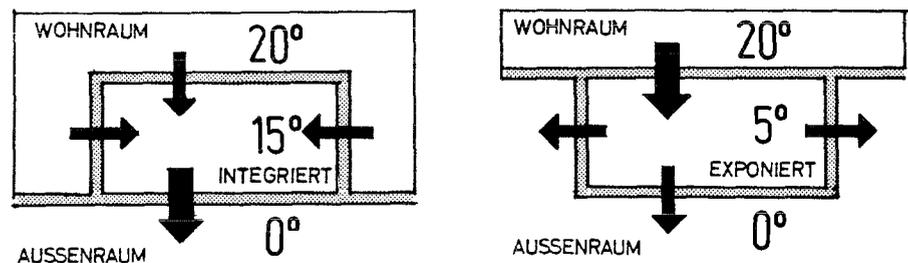
Wenn z.B. durch ein offenes Fenster die Temperatur im Pufferraum drastisch abgesunken ist, wird der Pufferraum intensiv von innen nachgeheizt, bis er das Temperaturniveau mit gleichem Wärmefluß durch Innen- und Außenwände wieder erreicht hat (Abb. B).



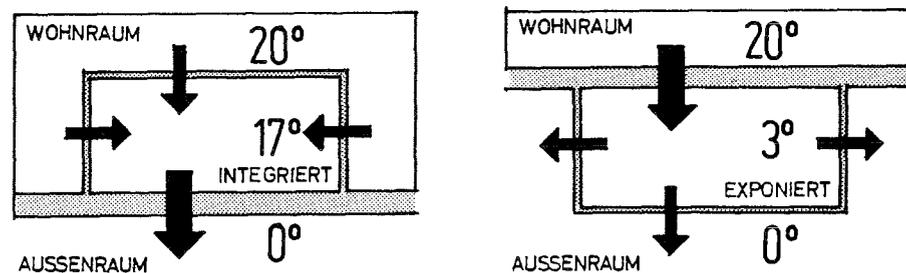
Die nachstehenden Abbildungen zeigen zwei verschiedene Arten einer Wärmezonung: Je nachdem, ob der Raum außen oder innen mit einer gut gedämmten Wand geschlossen ist, stellen sich verschiedene Temperaturen ein.



Ebenso werden sich verschiedene Temperaturen einstellen, wenn der "Pufferraum" in das Wohnhaus integriert, oder umgekehrt, exponiert ist.



Wenn man diese thermischen Gesetze bei der Planung beachtet, kann man das Temperaturniveau unbeheizter Räume beeinflussen. Nachstehend zeigen wir die beiden Extreme der möglichen Temperaturen unbeheizter Räume, abhängig von der Wärmedämmung der Umgebungsflächen und der Lage zum Haus.



Die Anordnung von Pufferzonen zum Zweck des Ersatzes von Wärmedämmung ist wenig realistisch. Thermisch zweckmässig ist es dagegen, Räume, die nicht dem dauerndem Aufenthalt dienen, nicht zu heizen. Dies wirkt sich energiesparend aus. Solche unbeheizten Räume sollen dann als Pufferräume im Temperaturgefälle und Wärmestrom zwischen Innen und Aussen gelegt werden: so halten sie ein (von der Lage und Ausführung der thermischen Raumgrenzen abhängiges) mittleres Temperaturniveau.

Treppenhäuser, Garagen, Abstell- und Vorratsräume können hierzu ebenso dienen wie Glasvorbauten, oder unausgebaute bzw. nicht nutzbare Räume im Dachboden. Auch Wandbepflanzungen können eine Pufferzone bilden, welche die Wärmeab-

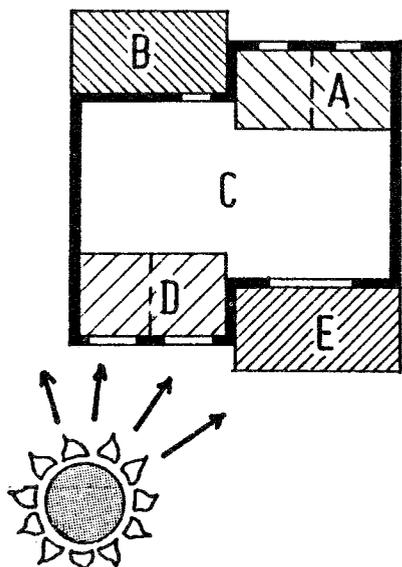
fuhr durch kalte Winde verringert. Windfänge an Ein=Ausgängen des Hauses behindern den Austausch warmer Raumluft mit kalter Aussenluft. Diese Massnahmen sind besonders in windstarken Gegenden wirksam.

Sollen mehrere Räume als Pufferräume wirken, sollten sie am besten nebeneinander (oder übereinander) liegen.

DIE KOLLEKTOR-UND PUFFERZONE

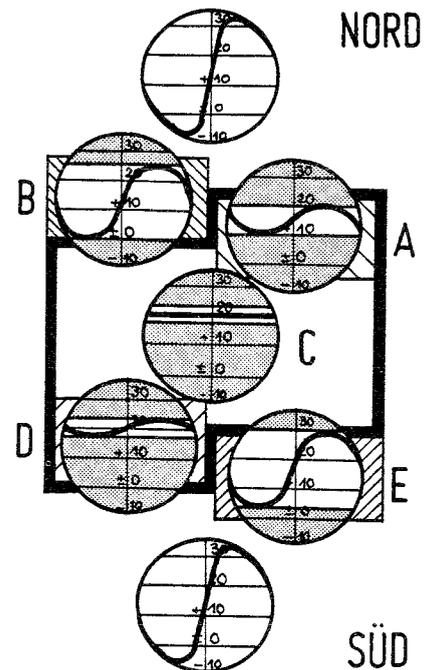
"Pufferräume" zur Verminderung der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste entfalten ihre thermische Wirkung auf allen Seiten des Hauses.

Den besonnten Seiten des Hauses, besonders der Südseite, kommt aber eine weitere Funktion als Kollektorzone für die Sonnenenergie zu.



Vereinfachte Darstellung möglicher Wärmezonen im Grundriß eines Sonnenhauses.

- A. Unbeheizte Wohn- oder Nebenräume
- B. Unbeheizte Anbauten (Garage, Schuppen)
- C. Kernbereich als zentrale beheizte Wohnzone
- D. Wohn - Sonnenraum
- E. Glasvorbau, unbeheizt

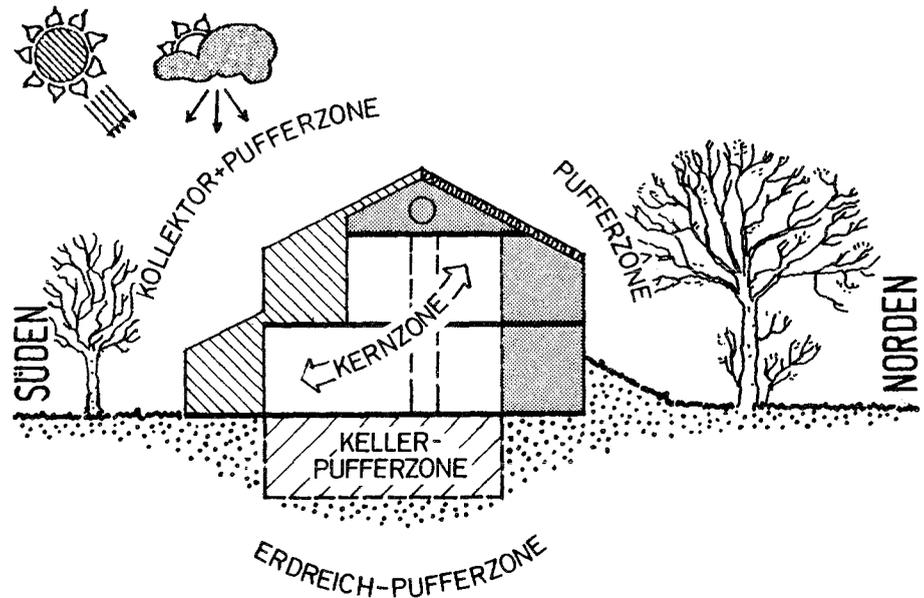


Möglicher Außentemperatur- und zulässige Innentemperaturschwankungen in den verschiedenen thermischen Raumzonen.

Wenn eine Raumtemperatur von 20°C angestrebt wird, so heißt das zugleich, daß Temperaturschwankungen zwischen 18°C und 24°C toleriert werden. Tatsächlich sind die Raumtemperaturen niemals konstant: Je nach Aussentemperatur, Sonnenschein, Lüftungsverhalten und der Empfindlichkeit der Heizkörperthermostate verläuft die Temperatur innerhalb enger Toleranzgrenzen in ständigem Auf und Ab.

Das Wetter weist dagegen innerhalb eines Tages, einer Woche oder eines Monats beträchtlich größere Schwankungen seiner Wärmekomponenten (Lufttemperatur und Strahlungsintensität) auf. So schwankt die Außenlufttemperatur im Mittel während des Winters um etwa 10 K zwischen Tag und Nacht. Die Schwankungen können zwischen $+5^{\circ}\text{C}$ und $+10^{\circ}\text{C}$ oder zwischen $+8^{\circ}\text{C}$ und minus 12°C liegen, es kann Temperaturstürze, Frosteinbrüche geben, dann wieder bringt ein wolkenloser Tag eine intensive Sonneneinstrahlung, die zur Überheizung der Innenräume führen kann.

Zwischen dem Innen- und dem Aussenklima "arbeitet" die Kollektorzone. Sie soll soviel Sonnenenergie wie möglich einsammeln, die heftigen Schwankungen von Wärmeangebot und Wärmemangel durch Einspeicherung dämpfen, und zugleich möglichst wenig der von aussen und innen aufgenommenen Wärme an die Aussenluft verlieren.



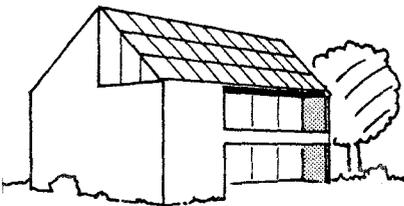
Die Kollektor- und Pufferzone wirkt als Speicher von solarer Wärme über 24° zur allmählichen Verteilung in den Innenraum und als Zwischenlager solarer Wärme auf einem Temperaturniveau unter 20° , von dem aus eine (spätere solare oder technische) Aufwärmung auf eine brauchbare Innenraumtemperatur ($>20^\circ$) rasch möglich ist.

DAS DACH

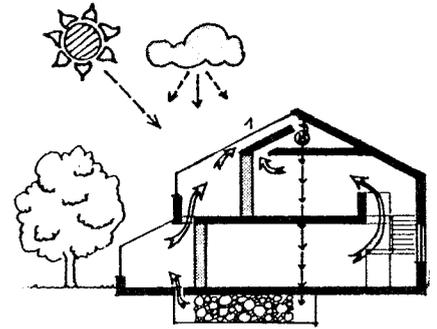
Höhenlage und Neigungswinkel machen das Dach zur prädestinierten Kollektorfläche für die Nutzung der direkten und diffusen Sonnenstrahlung. Es ist am wenigsten von Verschattungen durch die Umgebung betroffen, und der für die Sonneneinstrahlung günstige Neigungswinkel ist beim Dach ohne besonderen Aufwand herzustellen. Aus diesen Gründen ist das Dach u.a. der bevorzugte Platz zur Anordnung von Flüssigkeits-Flachkollektoren, z.B. zur solaren Warmwasserbereitung.

Diese günstigen Eigenschaften des Daches sind nicht in jedem Fall in gleicher Weise zur Nutzung der eingesammelten Strahlungswärme im Hausinneren geeignet. Wenn die Dachflächen bewohnte Räume umschließen, so sind alle Möglichkeiten der passiven Sonnenwärmenutzung, wie Sonnenfenster, Glashaas usw. die ihre Wärme an die angrenzenden Dachräume liefern können, gegeben. Ist der Dachraum nicht ausgebaut, kann zwar Sonnenenergie eingesammelt, aber nicht im angrenzenden Raum unmittelbar genutzt werden. In diesem Fall wird man u.U. Luftkollektoren verwenden und die eingesammelte Wärme mit mechanischer Hilfe und Leitungskanälen nach unten transportieren oder bei Verwendung von Flüssigkeits-Kollektoren zur Warmwasserbereitung oder Raumheizung einen Speicherbehälter im Dachboden anordnen.

Das Dach - das solare Filetstück!



Der Dachraum bietet sich noch für eine weitere Nutzung an: Die im Hausinnern durch den natürlichen Wärmeauftrieb aufsteigende Luft wird im Dachraum aufgefangen und wieder nach unten transportiert. Hierfür können die gleichen technischen Anlagen wie beim Betrieb von Luftkollektoren auf dem Dach verwendet werden. Im Sommer wird der Ventilator umgekehrt betrieben, d.h. die Wärmeüberschüsse werden nach außen abgeführt. Auch läßt sich die im Dachboden gewonnene Luftwärme in Steinspeicher einleiten. Zunächst wäre jedoch stets zu überlegen, ob Dachflächen durch ihre Lage zu angrenzenden Wohnräumen für eine unmittelbare Sonnenenergienutzung nutzbar gemacht werden können.

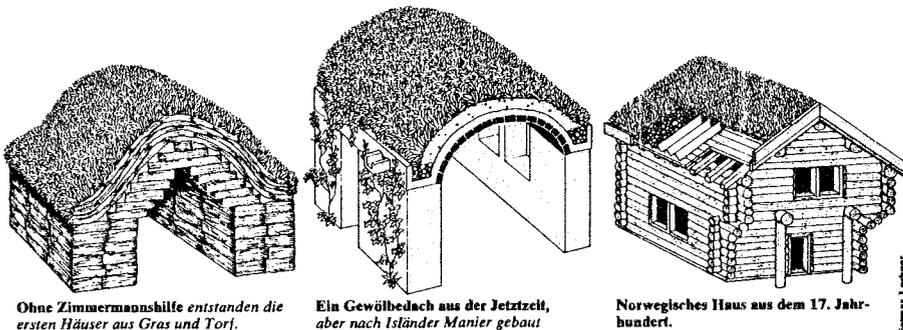


Kombinationen unmittelbarer (1) und mittelbarer Sonnenenergienutzung bei einem teilweise ausgebauten Dach. Sammlung von äußerer Kollektor- und innerer Auftriebswärme im nicht ausgebauten Dachbereich.

Erdschichten auf Dächern sind den klimatischen Veränderungen ausgesetzt. Erddächer können mit ihrer Bepflanzung bei durchschnittlichen winterlichen Außentemperaturen aber eine beachtliche wärmedämmende Wirkung haben. Dazu soll die Grasdecke möglichst wenig geschnitten werden, sodaß sich eine Luftpolsterschicht bildet, die den Wärmeabtrag durch den Wind verhindert. Die Erdschicht soll einen hohen Luftporengehalt haben. Durch die Speicherfähigkeit von Erde läßt sich eine kurze Frostperiode auffangen, die Speicherfähigkeit trägt auch zu einem besseren Raumklima im Sommer bei. Andererseits bindet die Erde - vor allem im durchnässtem Zustand - eingedrungene Kälte auch noch über den Beginn einer Wärmeperiode hinaus. (Quelle 79)



"Erdarchitektur": "Die Gebäude sind teilweise ganz in Geländemodellierungen eingebunden. Erdwälle, Sträucher, Wasserflächen und Nutzgärten bilden eine bewohnbare kleinräumige Landschaft, die ihr eigenes Vorzugsklima schafft. Die höchste Erhebung wird durch ein Gewächshaus mit Kollektoren und Windrotor gebildet." (Quelle 46)



Ohne Zimmermannshilfe entstanden die ersten Häuser aus Gras und Torf.

Ein Gewölbedach aus der Jetztzeit, aber nach isländischer Manier gebaut

Norwegisches Haus aus dem 17. Jahrhundert.

Historische Beispiele von Dachbegrünungen

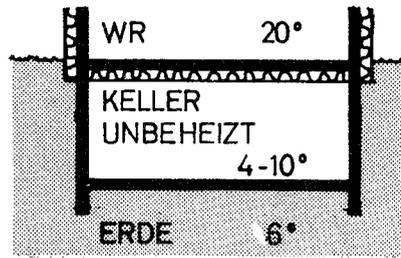
Zeichnungen: D. D. D. D.

KELLER UND ERDREICH

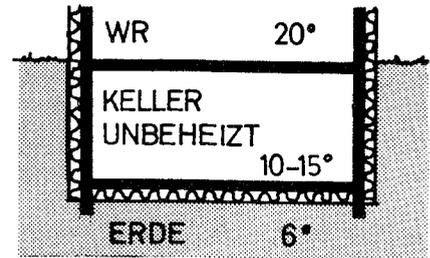
Die Temperatur im Erdreich schwankt während des Winters in 1,5 bis 2 m Tiefe zwischen 4° und 10°C, im Grundwasserbereich ist sie über das ganze Jahr fast konstant 5° bis 6°C. Räume (und Bauteile), die an das Erdreich grenzen, sind den Schwankungen der Außentemperatur also weniger ausgesetzt. Das Erdreich selbst wirkt als thermische Pufferzone zwischen Raum und Außenluft.

Solche Räume haben, wenn sie unbeheizt sind und kontrolliert gelüftet werden, ein ganzjährig ziemlich gleichmäßige Innenraumtemperatur von etwa 10° bis 15°C. Sind die Keller Räume gegen das Erdreich wärmegeklämt, werden sie wärmer, sind sie gegen die Wohnräume geklämt, werden sie kühler sein. Kühle Keller sind als Lagerräume für Nahrungsmittel geeignet, vielleicht können sie im Sommer auch zur Kühlung

der Wohnräume herangezogen werden. Unbeheizte Kellerräume wirken auch als zusätzliche Pufferzone.



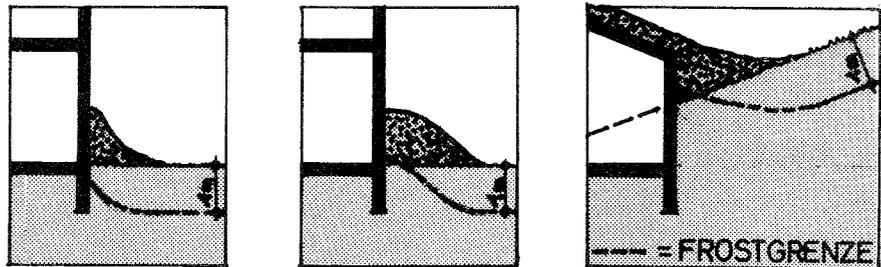
Temperatur im unbeheizten Keller mit Wärmedämmung gegen den Wohnraum



Temperatur im unbeheizten Keller mit Wärmedämmung gegen Erdreich



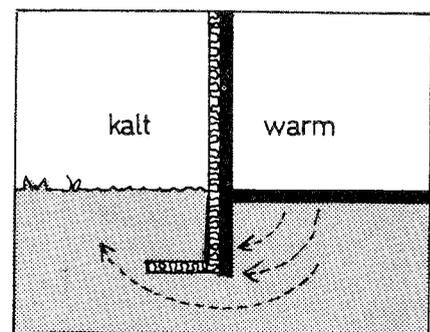
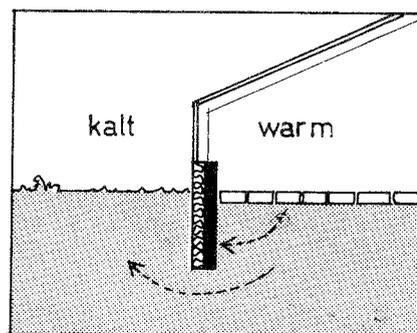
Die Entscheidung über eine Beheizung der Kellerräume ist von der geplanten Nutzung abhängig. So sollen beispielsweise Kartoffelkeller dunkel und etwa + 4°C kühl sein; Obstkeller sollen eine Temperatur von 8-12°C haben, trocken und schlecht gelüftet sein (geringer Sauerstoff-, hoher Kohlendioxidgehalt günstig).



Thermische Wirkung von Erdanschüttungen.

Durch künstliche Anschüttung kann die thermische Wirkung des Erdreichs vergrößert werden. Allerdings muß der Aufwand der Erdbewegung mit dem für eine stärkere Wärmedämmung der Außenwand verglichen werden.

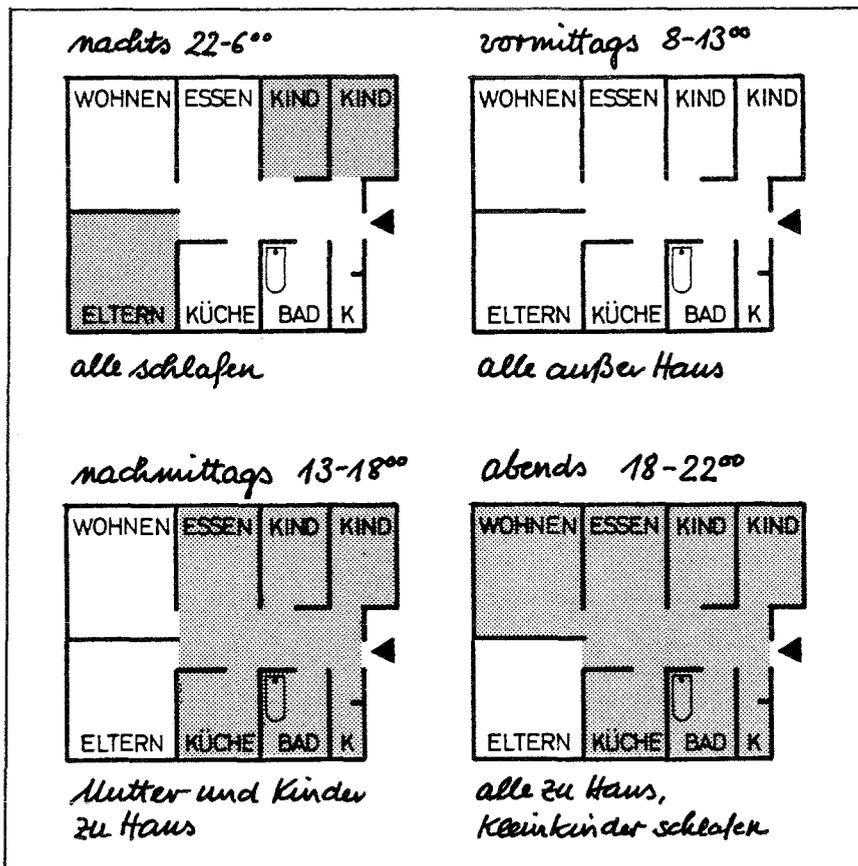
WÄRMEDÄMMUNG IM ERDREICH



Durch Wärmedämmung im Erdreich können die Wärmeabflüsse in der Erde verringert werden. Auf diese Weise ist das Erdreich unter den Nutzräumen besser als Wärmespeicher und Pufferzone nutzbar.

WÄRMEZONEN UND RAUMNUTZUNG

Bei der Planung der Wärmezonen muß man die Nutzungsgewohnheiten und -absichten für die einzelnen Räume beachten. Wenn damit zu rechnen ist, daß für lange Zeit einzelne Räume tagsüber immer mehrere Stunden ungenutzt bleiben, weil die Kinder zur Schule, die Erwachsene zur Arbeit gehen, dann ist zu überlegen, ob eine thermische Trennung von den tagsüber genutzten Räumen zweckmäßig ist. Zeitweise ungenutzte Räume können derweil auskühlen oder auch -als Kollektor- und Speicherräume- Raumtemperaturen über 24° aufnehmen. Dann wird beim Nachhausekommen, oder bei automatischer Regelung kurze Zeit vorher, nach Bedarf aufgeheizt oder Wärme abgeführt.

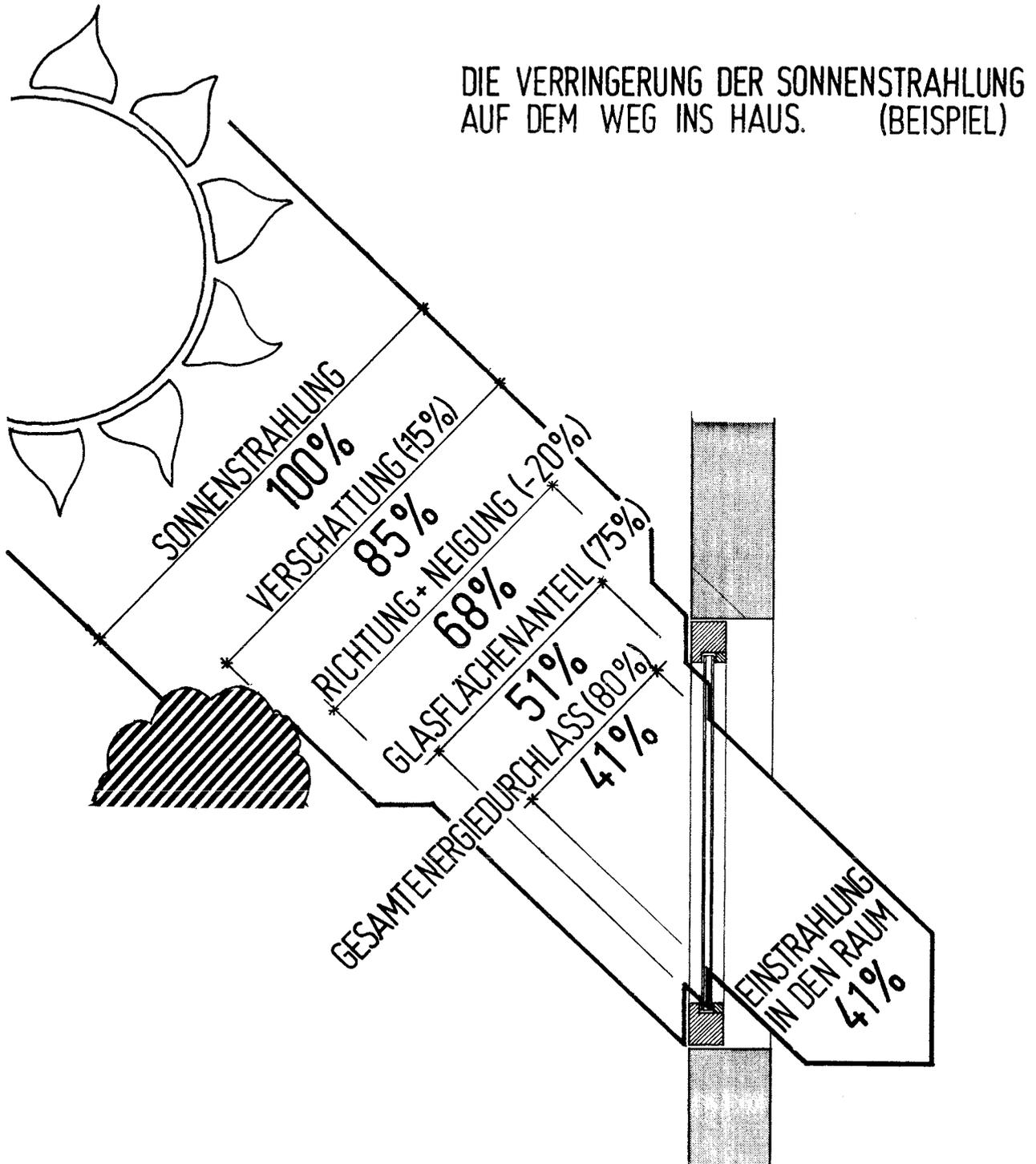


Nutzungsdauer in Stunden	
-Kinderzimmer	18-24
-Familienraum	16
-Küche	9
-Wohnraum Mo-Fr	4-10
Sa, So	12-16
-Elternschlafraum	8-12

2. WIEVIEL SONNENENERGIE
BEKOMMEN WIR INS HAUS ?

Die Menge an Sonnenstrahlung, die ins Haus gelangt, ist außer vom Wetter (örtliches Strahlungsangebot) von mehreren Faktoren abhängig, die zum Teil auch durch die Planung beeinflusst werden können, das sind:

- Richtung und Neigung der Fensterflächen
- Verschattung der Fenster durch die Umgebung
- Reflexion der Umgebung vor den Fenstern
- Glasflächenanteil der Fenster und Gesamtenergiedurchlaßgrad der Verglasung
- Gesamtgröße der Fenster



Dieses Beispiel zeigt, daß jeder einzelne Wirkungsfaktor sorgfältig zu beachten ist, um die Verringerung der Einstrahlung durch bauplanerische Entscheidungen möglichst gering zu halten

2.1 DIE GLOBALSTRAHLUNG

Die Globalstrahlung ist die Summe der direkten und diffusen Sonnenstrahlung auf horizontale Flächen und wird in Tages- oder Monatssummen der Strahlung pro Quadratmeter angegeben ($\text{Wh}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ oder $\text{Wh}/\text{m}^2\cdot\text{mt}$).

	JAN	FEB	MÄR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
1. Norderney	565	1295	2600	4274	5126	6020	5454	4745	3061	1656	740	443
2. Hamburg	521	1132	2231	3553	4688	5437	4820	4340	2786	1489	671	401
3. Braunschweig	631	1164	2239	3432	4647	5198	4769	4210	2787	1501	702	416
4. Braunlage	735	1336	2403	3507	4423	4949	4787	4156	2782	1672	757	512
5. Berlin	607	1135	2435	3487	4765	5436	5257	4580	3048	1592	760	458
6. Bocholt	642	1202	2175	3781	4887	4753	4136	3519	2707	1631	792	436
7. Gelsenkirchen	601	1231	2101	3454	4692	4442	4307	3779	2683	1650	775	482
8. Maastrich (Aa)	687	1338	2290	3606	4748	4995	4815	4257	3059	1760	879	536
9. Bonn	719	1326	1787	3334	4817	4383	4147	3625	2758	1667	841	529
10. Trier	722	1471	2520	3878	4883	5251	5268	4428	3309	1789	836	561
11. Geisenheim	699	1223	2072	3594	4719	4853	4517	4072	2872	1524	766	538
12. Freiburg	763	1344	2512	3589	4707	5199	4832	4551	3461	1917	986	717
13. Nürnberg	704	1419	2272	3065	5664	5842	5031	4524	2986	1899	874	649
14. Würzburg	817	1595	2680	4037	5033	5536	5343	4485	3533	1943	921	650
15. Weißenstephan	1071	1825	2961	4108	5075	5385	5458	4600	3698	2232	1180	834
16. Hohenpeissenberg	1378	2053	3165	4147	4891	5132	5399	4621	3850	2616	1428	1116
Ø 16 Stationen	740	1379	2403	3678	4860	5176	4896	4281	3086	1784	869	580

Zur Zeit (1. 1. 1982) gibt es nur 16 Orte, an denen Stationen des Deutschen Wetterdienstes eingerichtet sind, die die Globalstrahlung seit mindestens 5 Jahren messen. (Siehe hierzu Erläuterungen im Anhang 6.2)

Mittlere monatliche Tagessummen der Globalstrahlung aus langjährigen Messungen von 16 Stationen ($\text{Wh}/\text{m}^2\cdot\text{d}$) Quellen 1,10).

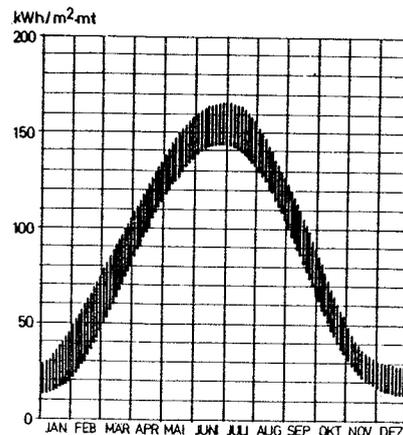
Diese Daten sollten nur im Umkreis dieser Orte benutzt werden. Die Meßstationen in Mittelgebirgsgegenden liegen zumeist in Höhenlagen mit reiner Luft, in benachbarten Tälern müßte mit stärkerer Verschattung gerechnet werden. In ebenen Lagen sind u.U. Trübungsunterschiede zwischen Stadt und Land zu berücksichtigen. Für die übrigen Orte müssen die in den folgenden Isokarten der monatlichen Globalstrahlungen angegebenen Werte zur Ermittlung des Strahlungsangebots herangezogen werden, in denen bisher allerdings lokale Strahlungsunterschiede häufig nicht in zufriedenstellender Differenzierung angegeben werden können. (Erläuterung hierzu siehe Anhang S. 219).

Für die Monate Oktober bis April (7-monatige Heizperiode) betragen die mittleren (Ø aus 16 Stationen) Summen der Globalstrahlung:

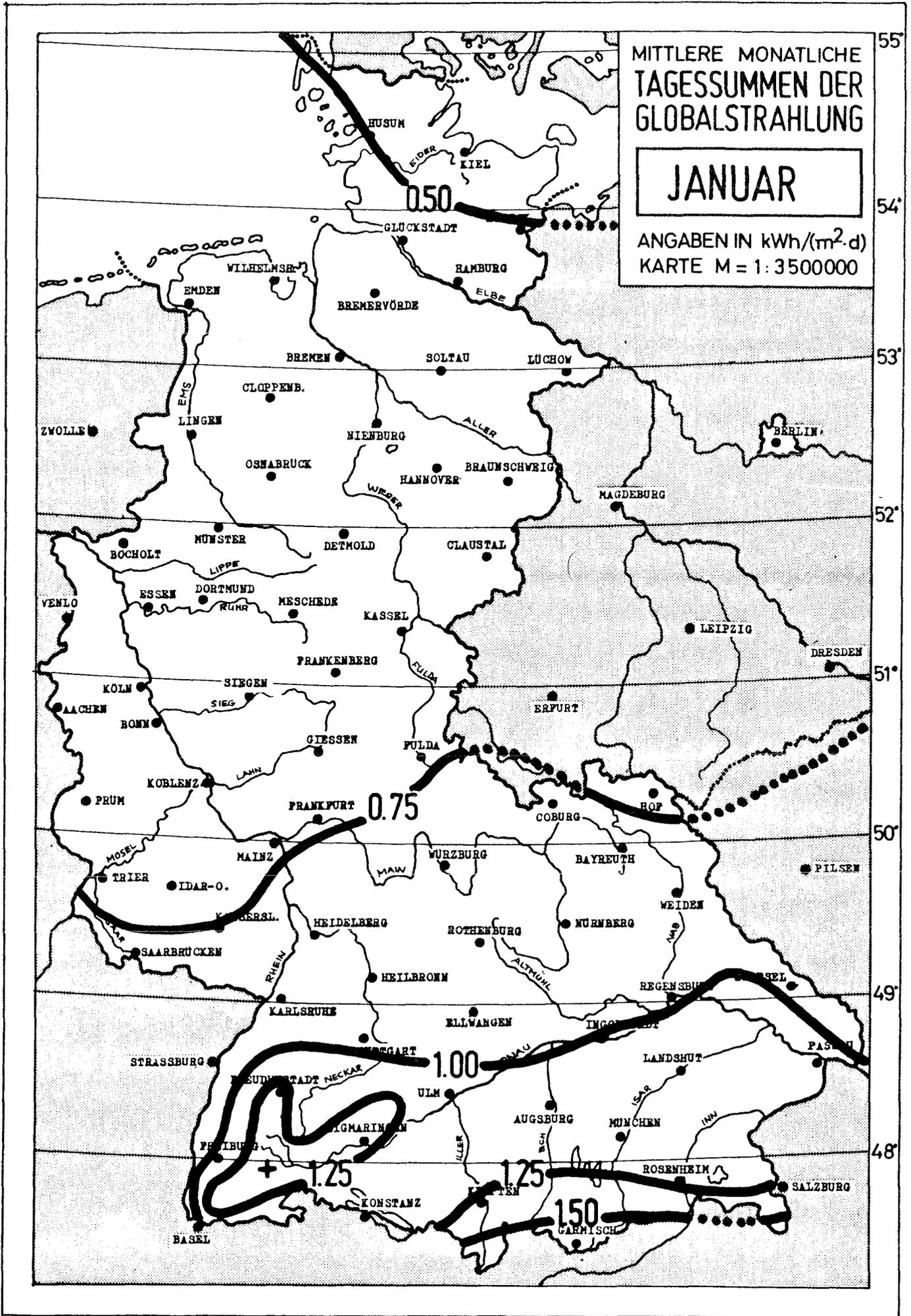
OKT	NOV	DEZ	JAN	FEB	MÄR	APR
55,3	16,1	18,0	22,9	41,4	74,5	110,3

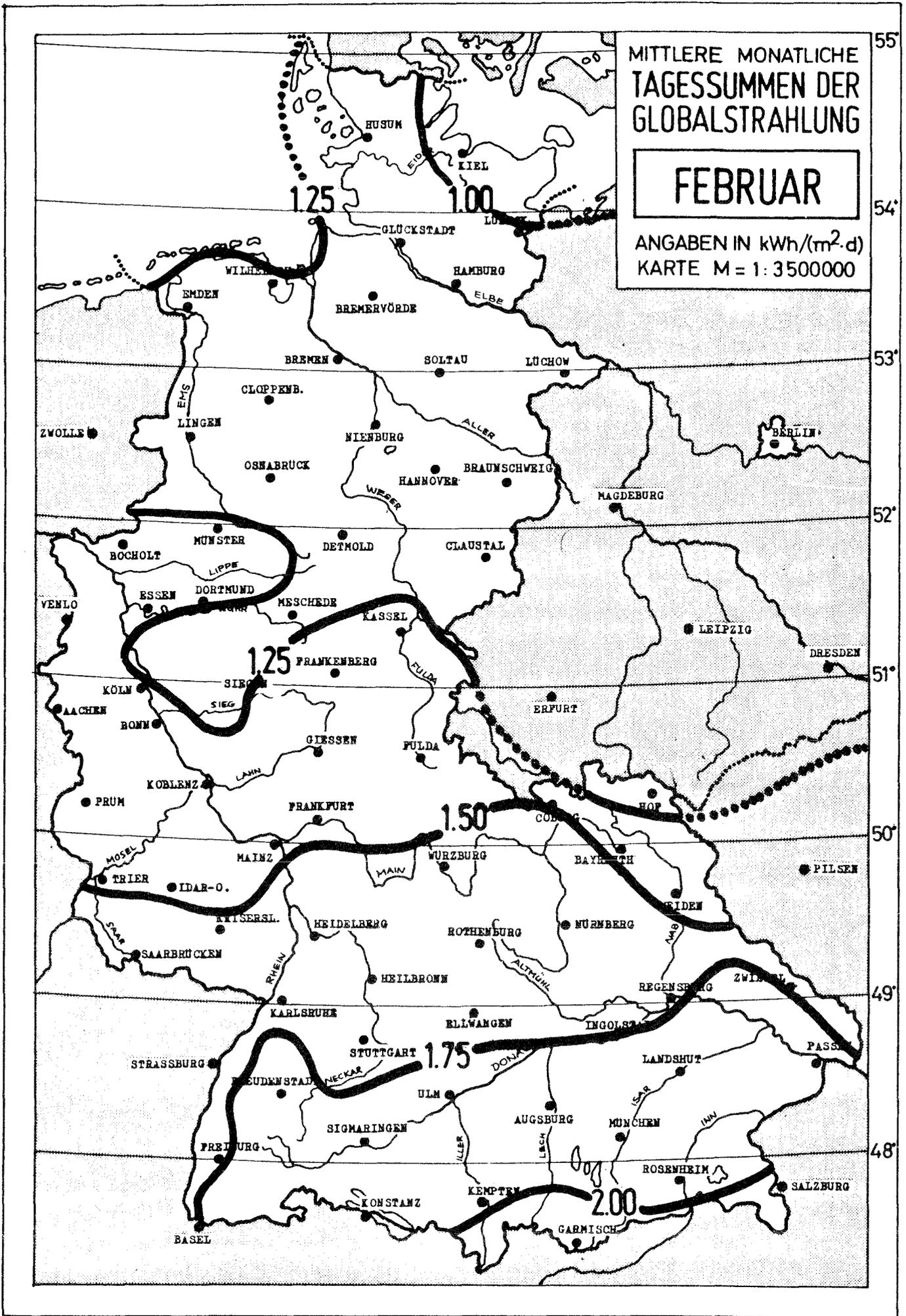
Das ergibt eine mittlere Globalstrahlungssumme von $350 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{HP}$ für die Heizperiode, das sind pro Monat durchschnittlich $50 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{mt}$.

Die auf den folgenden Seiten abgebildeten Isokarten zeigen die mittleren monatlichen Tagessummen der Globalstrahlung im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland (Quelle 75).



Streubreiten der mittleren monatlichen Summen der Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland (Mittel aus 16 Stationen)

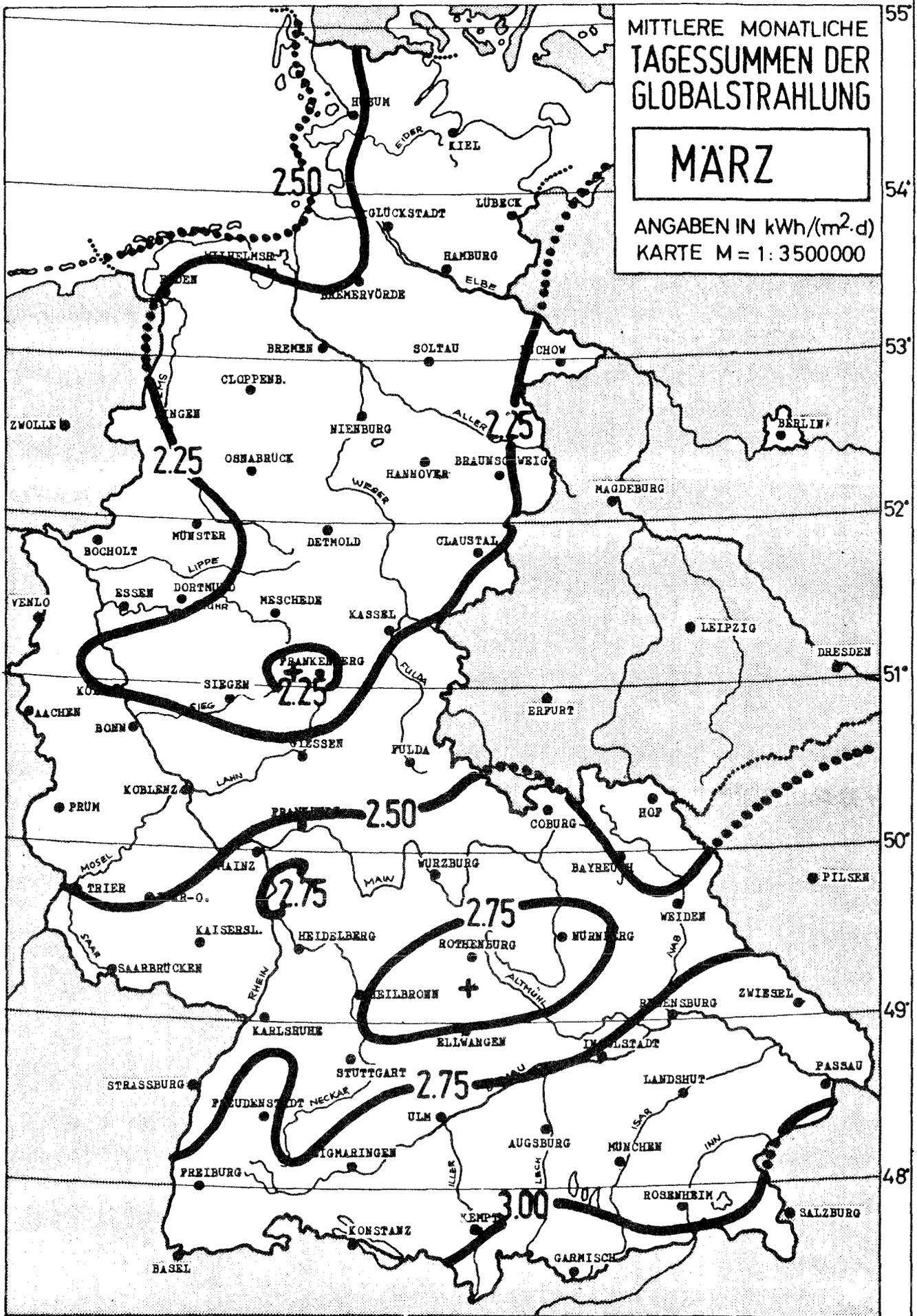


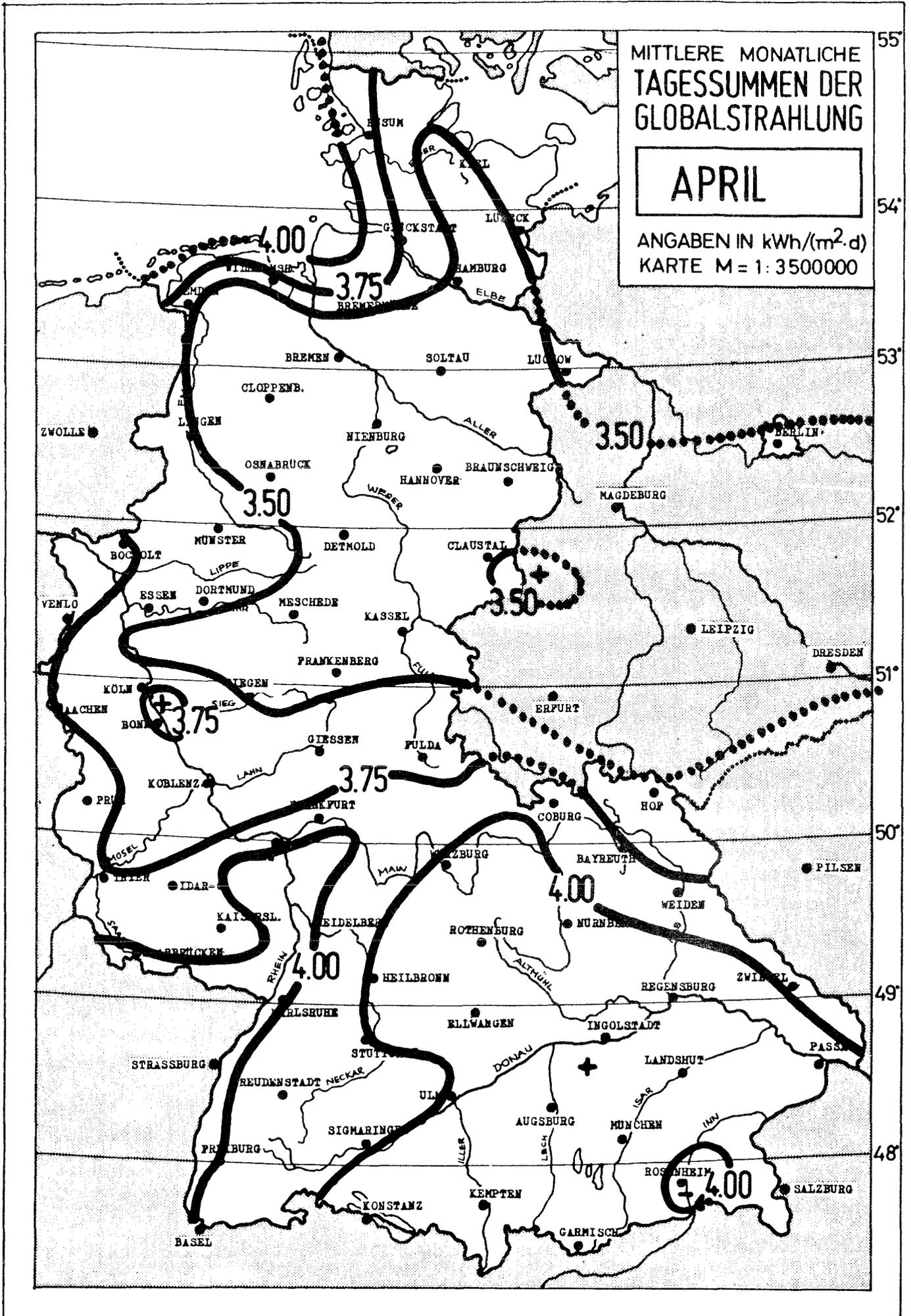


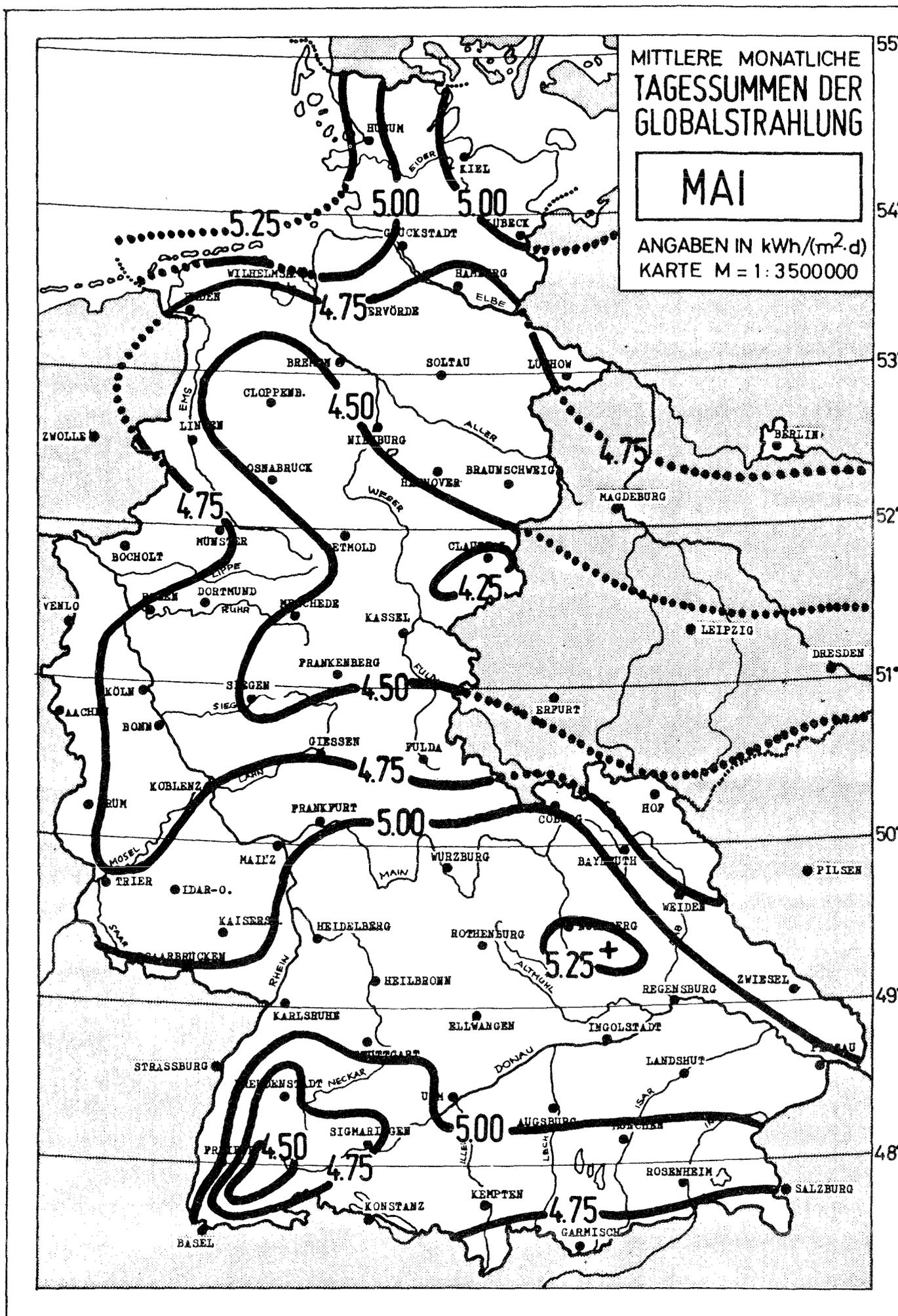
MITTLERE MONATLICHE
TAGESSUMMEN DER
GLOBALSTRAHLUNG

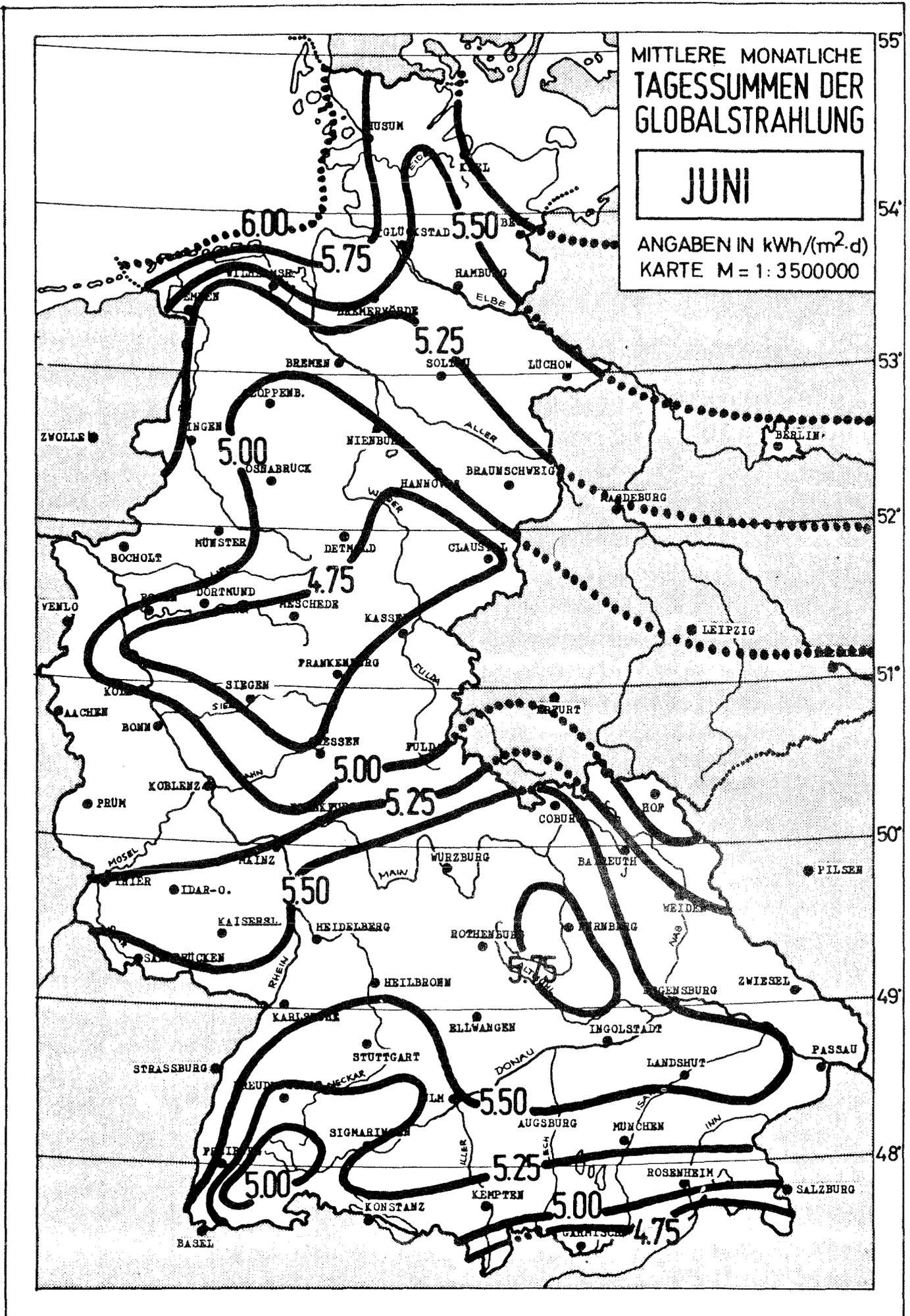
MÄRZ

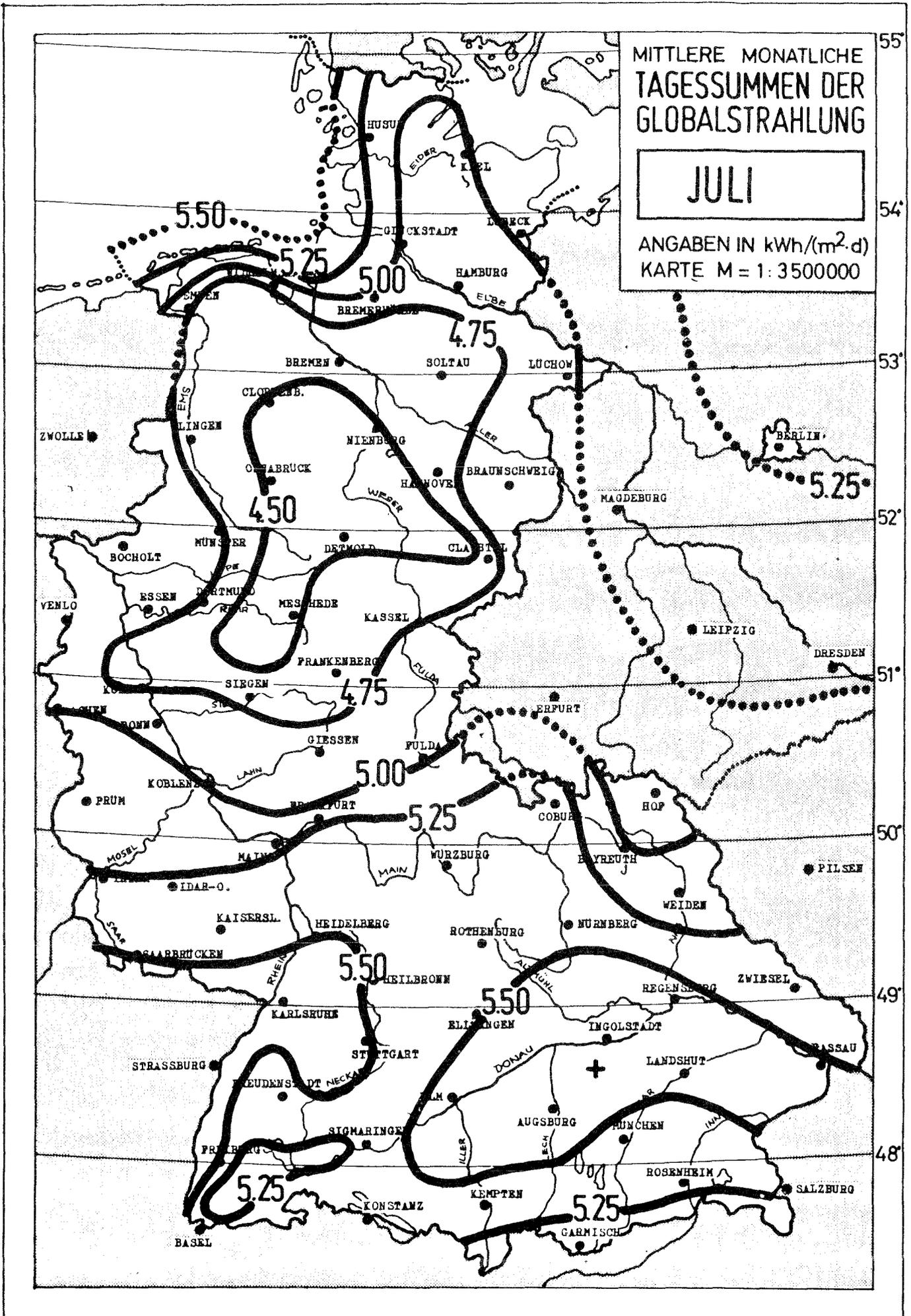
ANGABEN IN kWh/(m²·d)
KARTE M = 1: 3500000

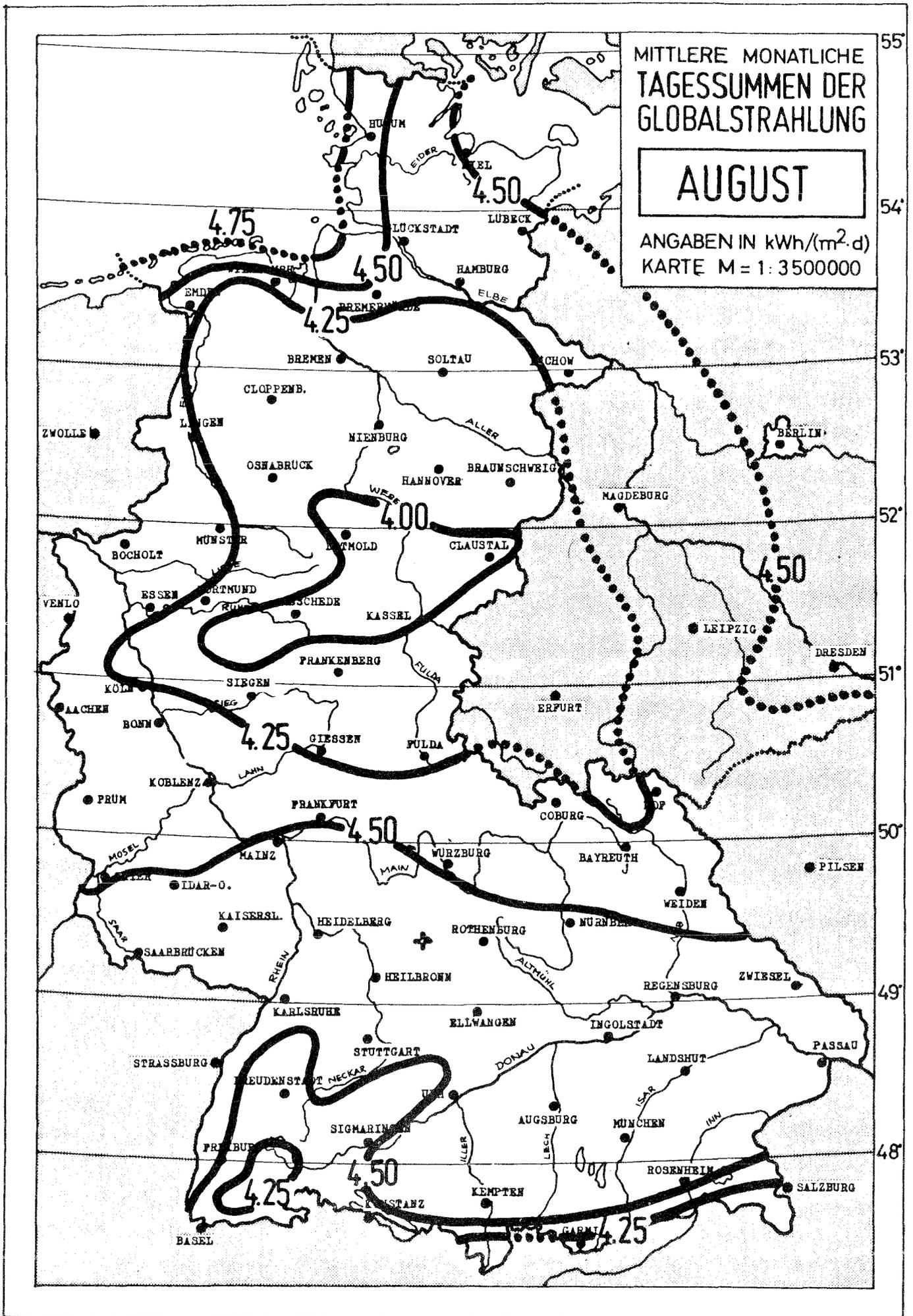


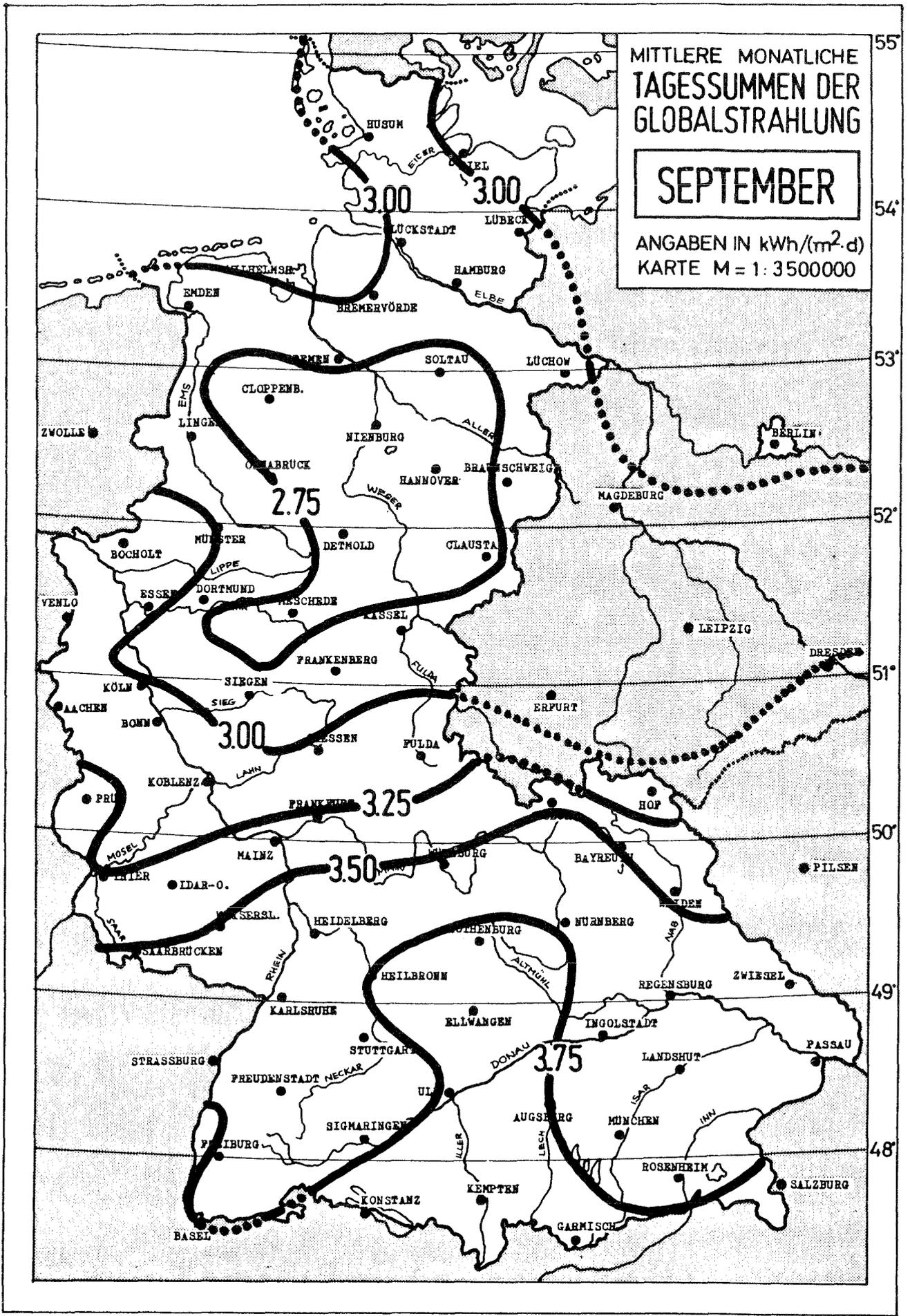


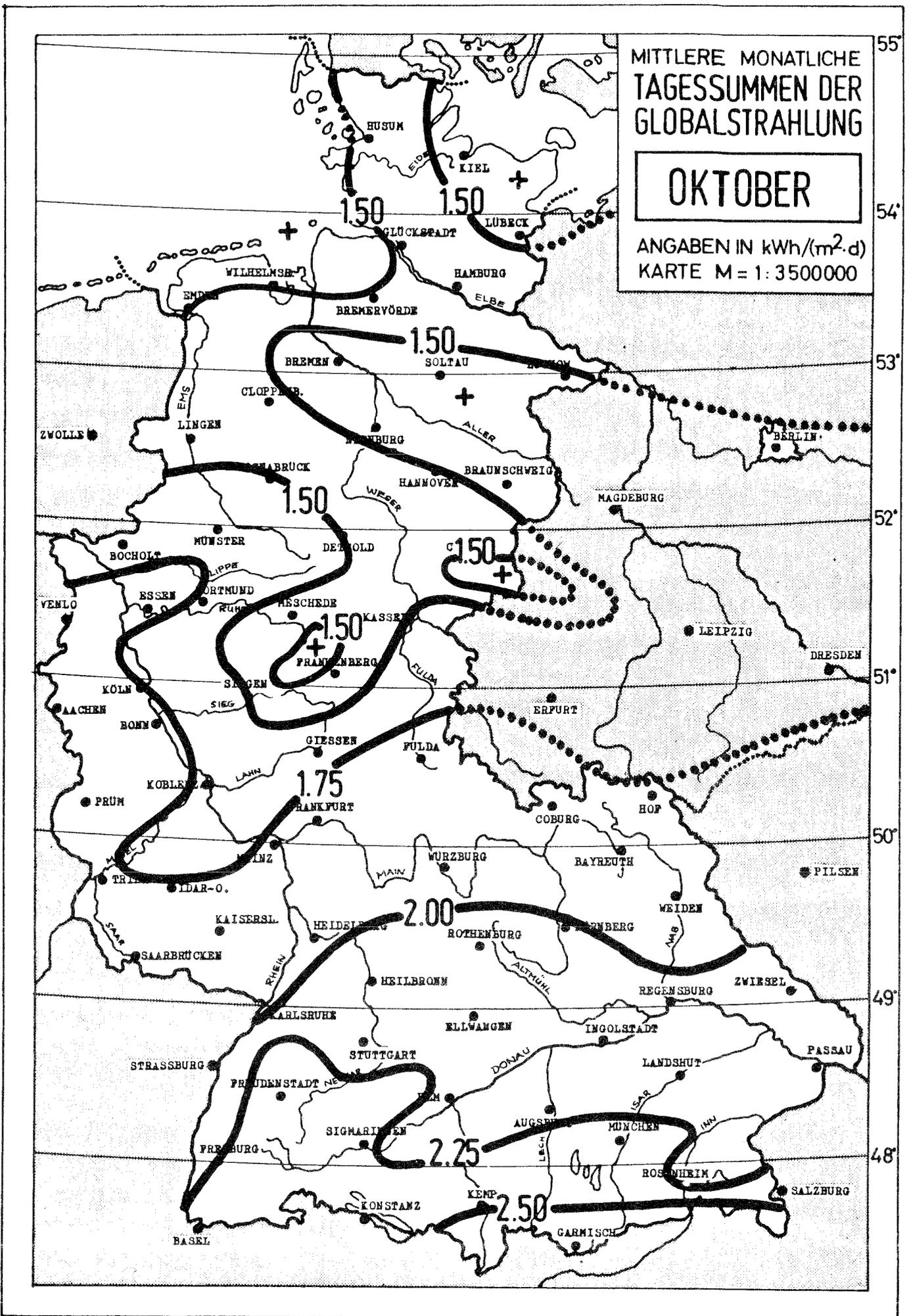


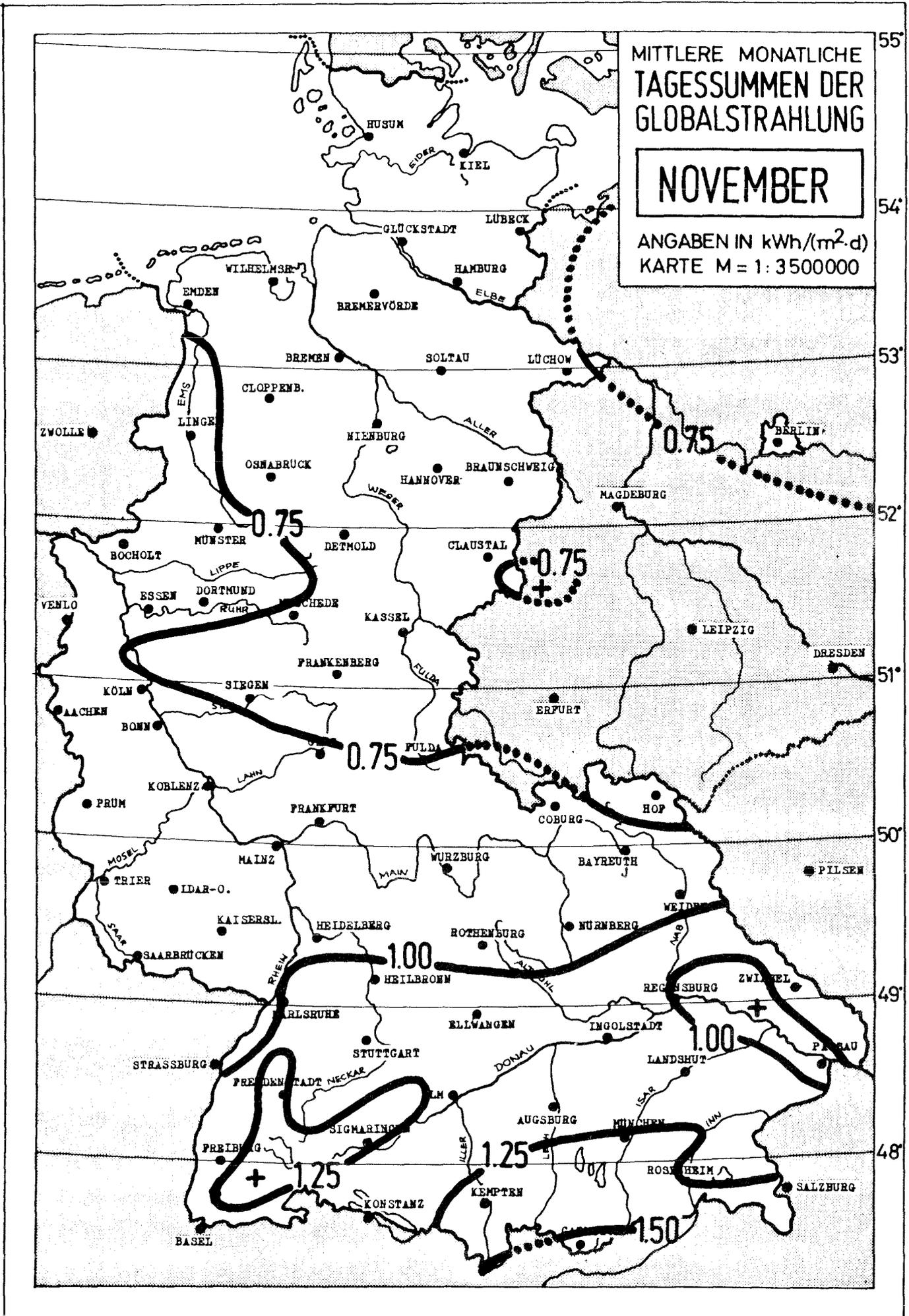


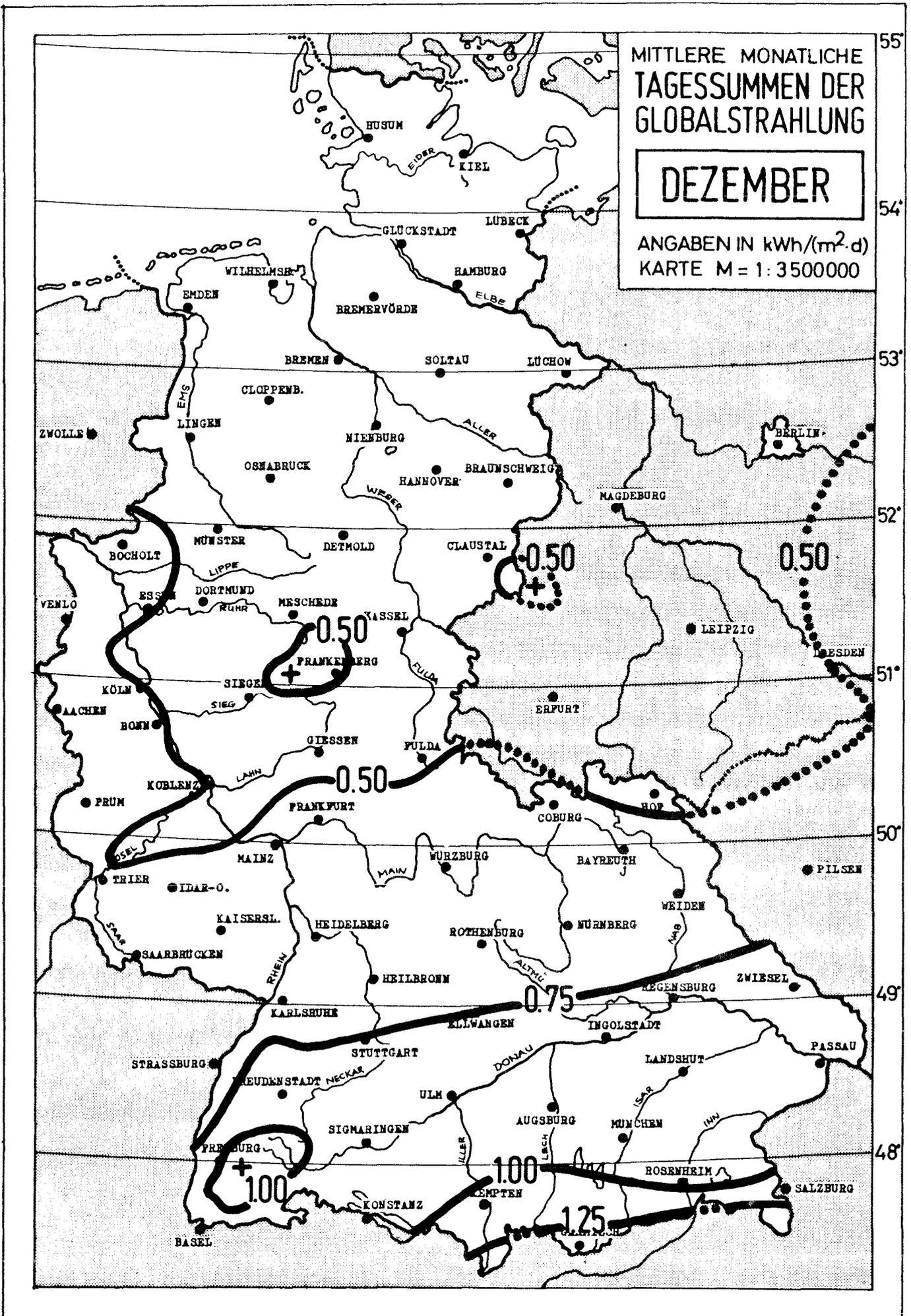










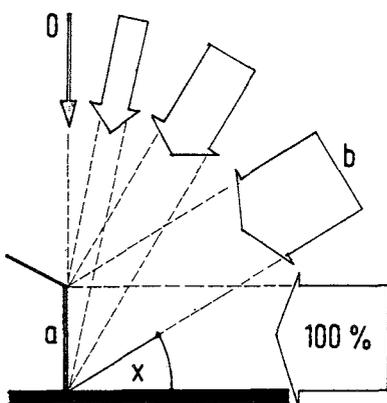


2.2 RICHTUNG UND NEIGUNG VON KOLLEKTORFLÄCHEN

Die Himmelsrichtung und der Neigungswinkel von Gebäudeflächen, die zur Nutzung der Sonnenenergie vorgesehen sind, haben entscheidenden Einfluß auf die Energieausbeute.

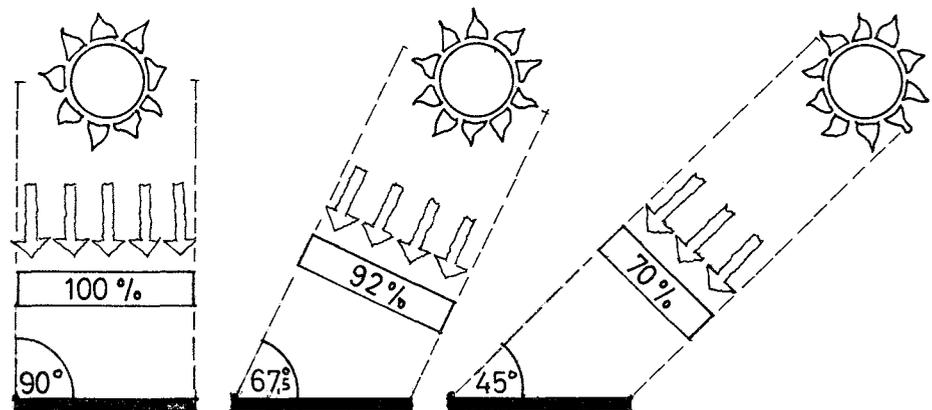
Die meiste Einstrahlung könnte eine Fläche erzielen, die sich zu jeder Tages- und Jahreszeit auf die optimale Einstrahlungsrichtung einstellen liesse (sog. "Normalfläche"). Beim Bauen haben wir es aber mit feststehenden Flächen zu tun, die je nach ihrer Ausrichtung unterschiedlich wirksam sind. Die Reduzierung der Einstrahlung auf die Flächen, die nicht senkrecht zur optimalen Einstrahlungsrichtung stehen, wird durch zwei Einflüsse bewirkt:

1. Bei flacher Einstrahlung erhöht sich der Reflexionsgrad. Für eine 2-Scheiben-Isolierverglasung beträgt er etwa 15 %, gleichbleibend für Einstrahlungswinkel von 90° bis 45°, bei flacherer Einstrahlung steigt er an.
2. Bei flacher Einstrahlung wird der Strahlungsanteil geometrisch verringert. Je kleiner der Einstrahlungswinkel ist, desto geringer ist der auf die Fläche fallende Strahlungsanteil.



$$b = a \cdot \cos x$$

Die Abhängigkeit der Einstrahlungsmenge auf eine Fläche vom Einstrahlungswinkel.



Beide Einflüsse wirken zugleich in zwei Dimensionen, der Höhen- und der Azimutwinkeländerung.

HIMMELSRICHTUNG VON KOLLEKTORFLÄCHEN

Die beste Orientierung haben Flächen, die nach Süden ausgerichtet sind (genau: mit 6° Azimutabweichung nach Südwest, wegen der Verschiedenheit von geographischem und magnetischem Nordpol).

Es kann vorteilhaft sein, die Wohnseite eher nach Osten hin zu drehen, um am Morgen eine möglichst rasche Erwärmung zu erreichen. Andererseits kann die volle Vormittagsbesonnung eher zur Überwärmung am frühen Nachmittag führen, während eine volle Nachmittagsbesonnung (Westabweichung) die Temperaturspitzen zum Abend hin verschiebt und so eine bessere Speicherung der eingestrahelten Wärme für die Nacht erlaubt.

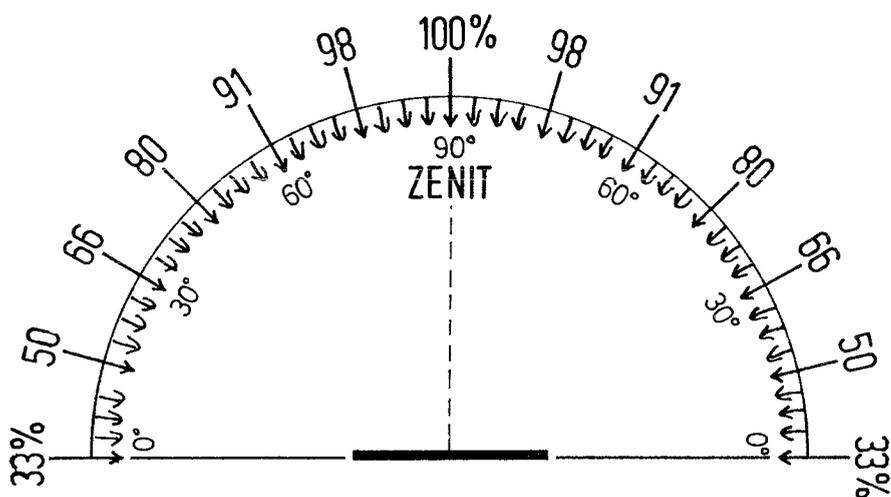
Bei der Ausrichtung der Hauptkollektorflächen (Südseite) eines Hauses müssen aber auch lokale Standortbedingungen wie häufige Frühnebel, Windrichtung oder Verschattung aus der Umgebung berücksichtigt werden.

NEIGUNGSWINKEL FÜR KOLLEKTORFLÄCHEN

Die beste Neigung hat diejenige Fläche, die im langfristigen Durchschnitt die größte Menge der Gesamtstrahlung sammelt. Mit der Veränderung der täglichen Sonnenbahn und des diffusen Anteils an der Gesamtstrahlung im Jahresverlauf verändert sich auch dauernd der optimale Neigungswinkel der Kollektorflächen. Die optimale Ausrichtung von Kollektorflächen ist nicht einfach vom Sonnenbahnverlauf abzuleiten, das wäre ausschließlich für die Direktstrahlung an wolkenlosen Tagen richtig. Der hohe Anteil der Diffusstrahlung an der Gesamtstrahlung mit einem Durchschnittswert von ca. 66 % für die Heizperiode (Okt.-April) in unserem Klima wirkt sich entscheidend auf den optimalen Neigungswinkel aus.

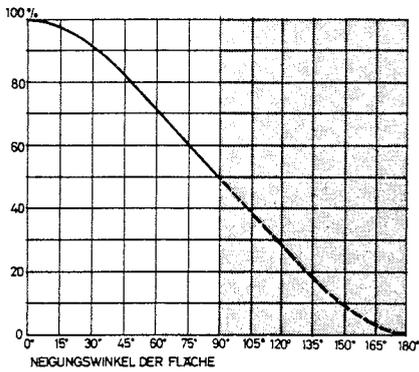
DER EINFLUSS DER DIFFUSSTRABLUNG AUF DIE OPTIMALE NEIGUNG STAHLUNGSSAMMELNDER FLÄCHEN

Die diffuse Einstrahlung, entstanden durch die Zerstreuung der gerichteten direkten Sonnenstrahlung in die Wolkendecke, trifft bei bedecktem Himmel aus dem ganzen Himmelsgewölbe (Halbkugel) auf die Erde. Dabei nimmt die Strahlungsintensität vom Zenit zum Horizont hin von 100 auf 33 % ab.

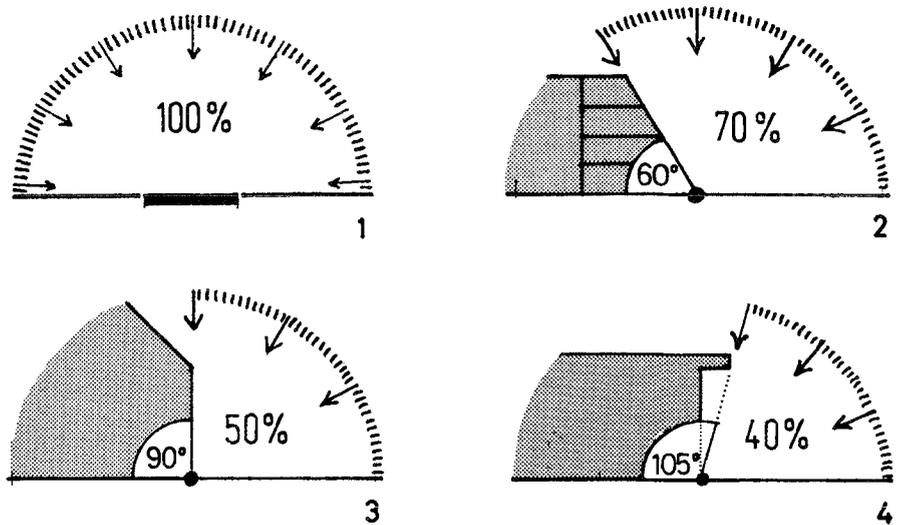


Strahldichtevertellung der Diffusstrahlung auf horizontale Flächen bei bedecktem Himmel (nach Aydınli/Quelle 8)

Eine horizontale Fläche ohne Verschattung empfängt das Maximum an diffuser Strahlung. Auf geneigte Flächen wirkt mit zunehmendem Neigungswinkel ein kleinerer Himmelsausschnitt der Diffusstrahlung auf die Fläche ein. Daraus ergibt sich folgendes Bild:



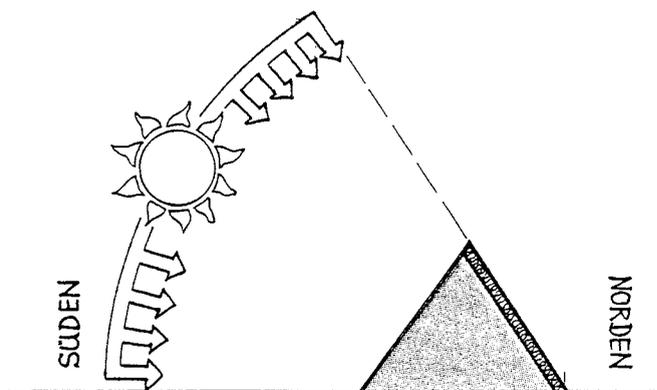
Anteil der Diffusstrahlung auf geneigte Flächen an der Gesamteinstrahlung bei bedecktem Himmel (inkl. Bodenreflexionsanteil) (Quelle 8).



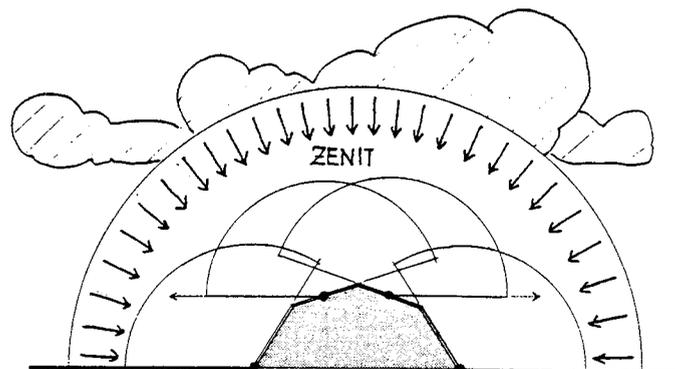
Zum Einsammeln von Diffusstrahlung sind also flache, flachgeneigte oder schrägstehende Flächen besser geeignet als z.B. senkrechte Fenster. Bild 3 zeigt, daß bei bedecktem Himmel und unverschattetem Horizont ein vertikales Fenster nur 50 % der Diffusstrahlung empfängt, Dachüberstände reduzieren diesen Anteil weiter.

Bei bedecktem Himmel gelten diese Bedingungen für die Gebäudeflächen aller Himmelsrichtungen, also auch für Nordflächen, gleichermaßen.

SONNENSTRAHLUNG UND HAUSFORM



Querschnitt eines nur für direkten Strahlungsgewinn geplanten Hauses (wolkenloser Himmel).

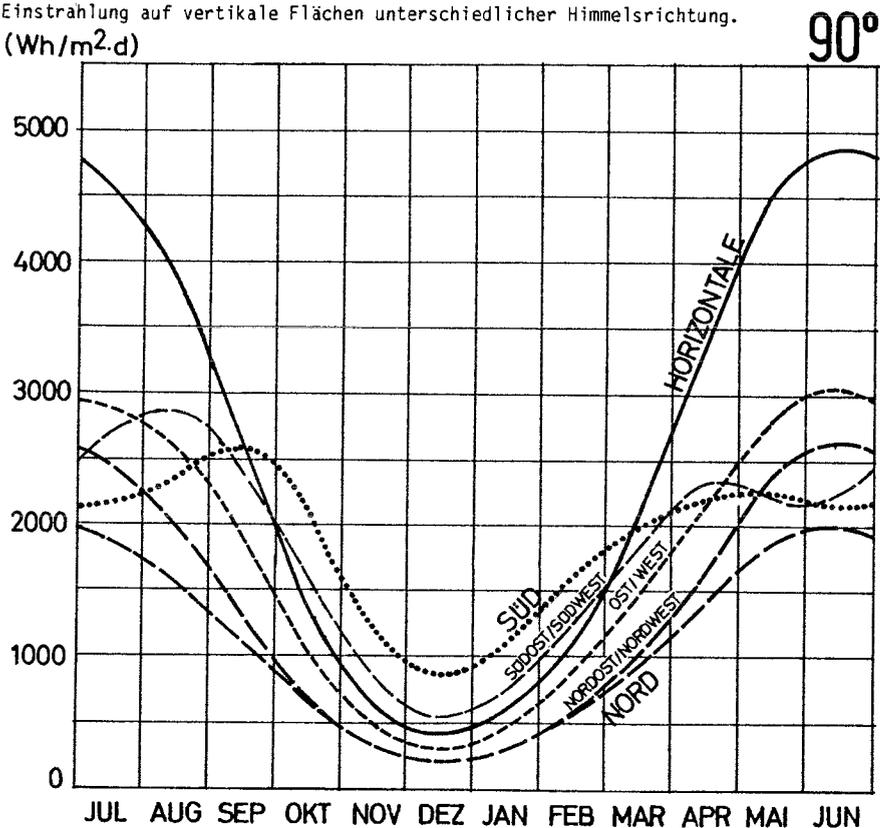


Querschnitt eines nur für diffusen Strahlungsgewinn geplanten Hauses (bedeckter Himmel).

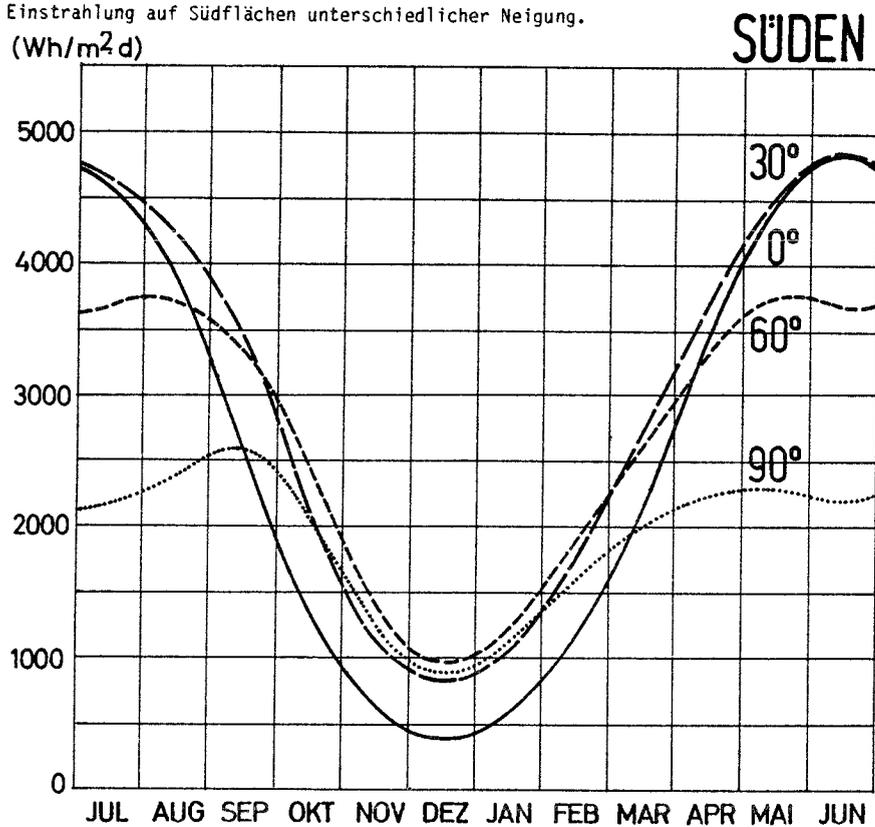
JAHRESVERLAUF DER EINSTRALHUNG AUF FLÄCHEN UNTERSCHIEDLICHER RICHTUNG UND NEIGUNG

(Mittlere monatliche Tagessumme der Sonnenstrahlung. Durchschnitt aus 16 Stationen, Korrekturfaktor (R+N) für den 51 °NB).

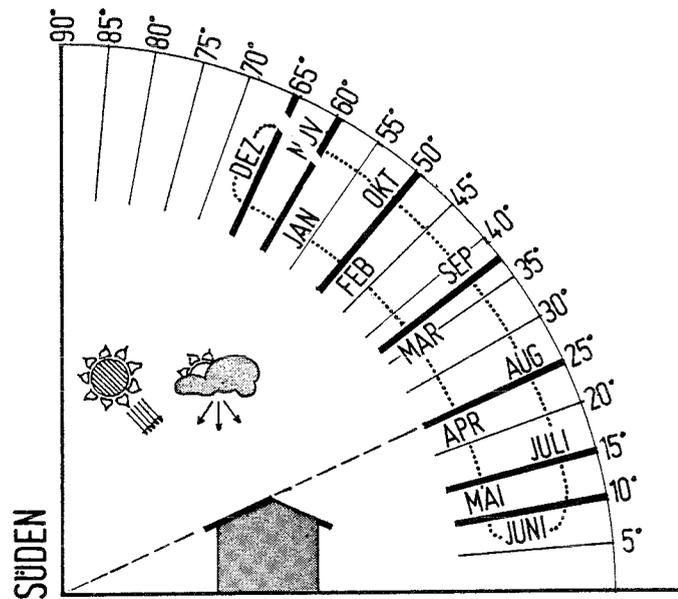
Einstrahlung auf vertikale Flächen unterschiedlicher Himmelsrichtung.
(Wh/m².d)



Einstrahlung auf Südflächen unterschiedlicher Neigung.
(Wh/m².d)



OPTIMALE NEIGUNGSWINKEL FÜR SÜDORIENTIERTE FLÄCHEN



Neigungswinkel mit den größtmöglichen Summen der mittleren monatlichen Globalstrahlung, errechnet aus den Strahlungsdaten von 16 Stationen mit den Korrekturfaktoren für den 51°NB. (Durch den hohen Diffusanteil ergeben sich für die anderen hiesigen Breitengrade keine wesentlichen Abweichungen).

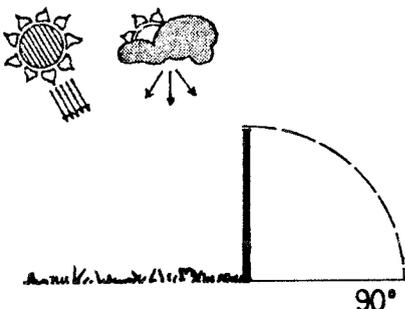
Je nach dem Nutzungszeitraum (Heizung im Winter, Brauchwarmwasser im Sommer) lassen sich für südorientierte Flächen für verschiedene Jahresperioden unterschiedliche Empfehlungswerte optimaler Neigungswinkel für besonnte Glasflächen (=Kollektorflächen) bestimmen:

Winter- Heizperiode	Nov - Feb	50 - 65°
	Okt - Apr	30 - 60°
Übergangs- zeiten	Sep - Nov	30 - 50°
	Mär - Mai	30 - 50°
Sommerhalbjahr	Apr - Sep	15 - 45°
Hochsommer	Jun - Aug	10 - 30°

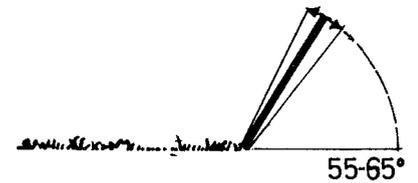
Für Gegenden mit starkem Direktstrahlungsanteil (klare Luft, viel Sonnenschein) sind die Neigungsoptima steiler, für Gegenden mit starkem Diffusstrahlungsanteil (trübe Luft, häufige Bewölkung) flacher anzusetzen.

Daraus läßt sich für südorientierte Flächen folgern:

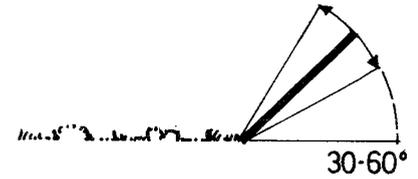
Eine Neigung von 90° (vertikale Wände, Fenster) ist bei Südfächen nicht die bestmögliche Neigung, aber aus Gründen der Statik und Raumnutzung zweckmäßig. Vertikale Flächen haben eine für die Sammlung der Diffusstrahlung ungünstige Neigung. Eine Verschattung durch die Umgebung kann sich stark auf die Einstrahlungen auswirken.



Südflächen mit 55° bis 65° Neigung bieten eine größtmögliche Nutzung der Sonnenenergie während der kalten Wintermonate.



Südflächen mit Neigung von 30° bis 60° sind dagegen auf eine gute Sonnenenergienutzung während der Übergangszeiten ausgerichtet (Das sind die für die Sonnenhausoptimierung entscheidenden Jahreszeiten).

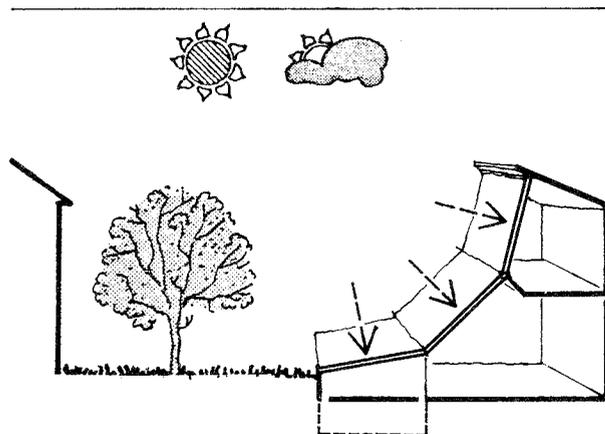


Südflächen mit Neigungen von 0° bis 30° sind typische Sommer Sonnen-Nutzflächen (z.B. für Flachkollektoren zur Brauchwassererwärmung). Sie sind die zum Sammeln der Diffusstrahlung am besten geeigneten Flächen.



Hieraus lassen sich Merkmale für die Anordnung und Kombination von Südflächen mit zeitlich unterschiedlichen Kollektorfunktionen ableiten. Wir stellen drei Prinzipskizzen vor, um die Abhängigkeit der verschiedenen Einflußfaktoren für eine möglichst gute Sonnenenergienutzung verständlich zu machen. (In der Praxis werden die örtlichen Klimabedingungen, die Umgebung des Bauplatzes, die Wünsche der Bewohner und lokale Bauvorschriften allerdings stets zu speziellen und differenzierten Lösungen führen).

3 KOMBINATION VON KOLLEKTORFLÄCHEN UNTERSCHIEDLICHER NEIGUNGEN



Diese Anordnung vermeidet am besten mögliche Verschattungen. Die steile Fläche im Obergeschoß wird von Verschattungen durch die niedrige Wintersonne am wenigsten beeinträchtigt. Die zur Nutzung der steiler stehenden Sommersonne flacheneigte Kollektorfläche ist wenig verschattungsempfindlich und daher unten angeordnet. Die Kollektorfläche mit mittlerer Neigung hat hingegen eine günstige Lage zur Aufnahme der Diffusstrahlung während der Übergangszeiten.

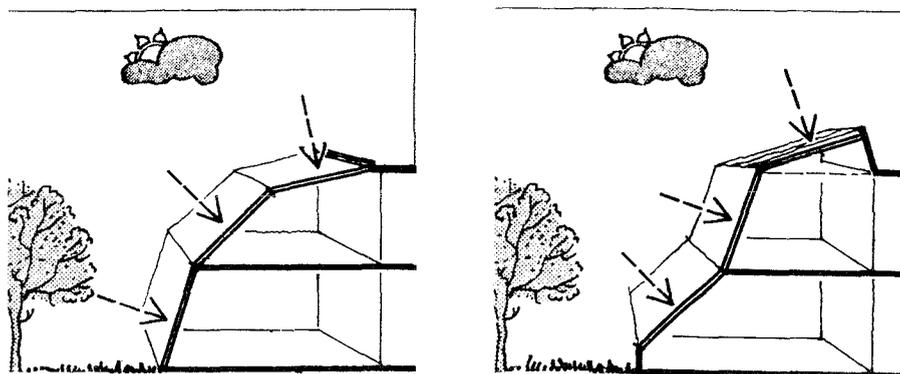


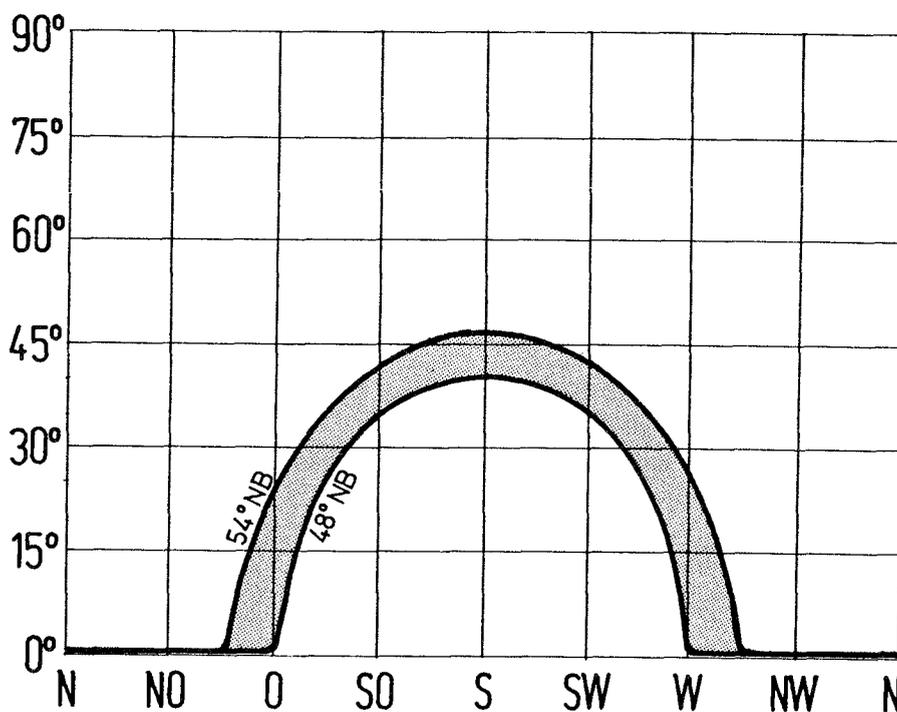
Bild links:

Umgekehrte Anordnung: Die steile Kollektorfläche für die Wintersonnennutzung ist durch Anordnung im Erdgeschoss stark der Verschattung ausgesetzt. Die Kollektorflächen im Obergeschoss dagegen führen durch die Neigung und Anordnung zu hohen Einstrahlungen in der Obergeschosszone, besonders in den Übergangszeiten (und im Sommer).

Bild rechts: Mischanordnung, günstig für alle Kollektorflächen.

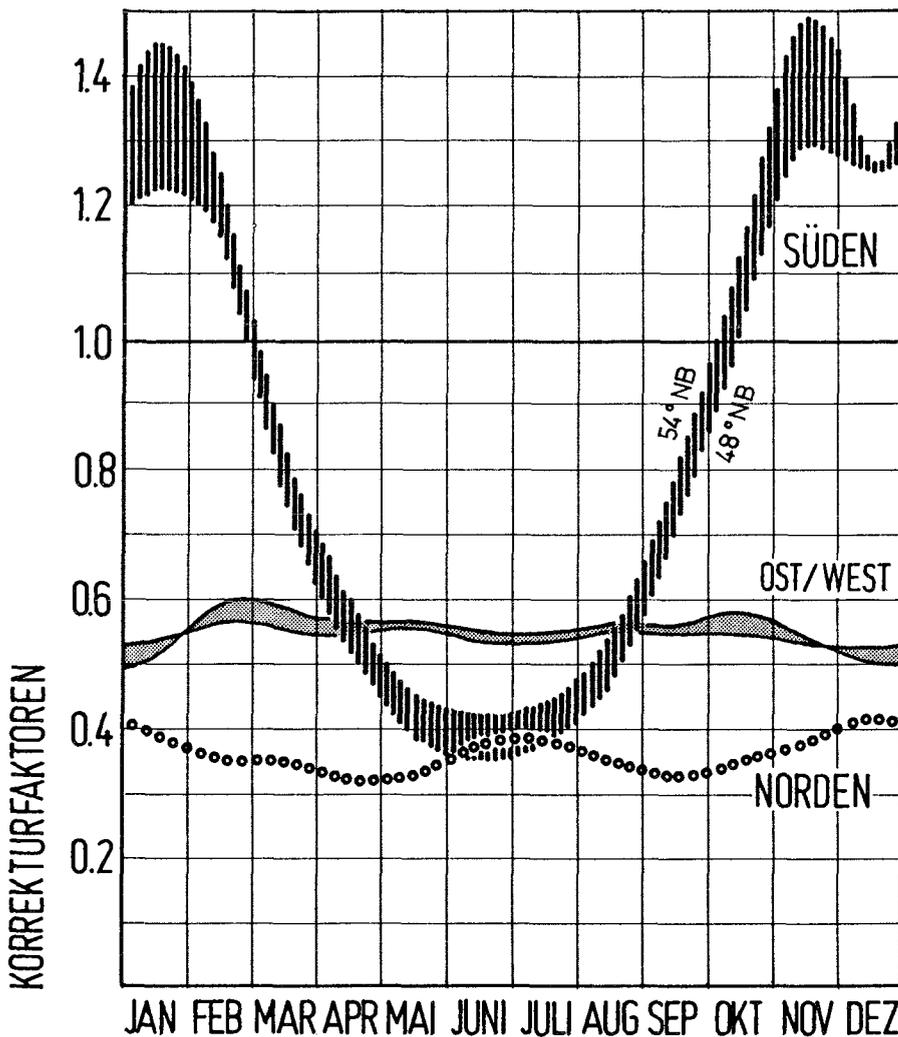
OPTIMALE NEIGUNGSWINKEL VON KOLLEKTORFLÄCHEN / HEIZPERIODE

Bei den folgenden Berechnungen legen wir eine Heizperiode von 7 Monaten (Okt-April) zugrunde, da sich gezeigt hat, daß bei Häusern mit passiver Sonnenenergienutzung die Monate September und Mai einen etwa 100 %igen solaren Wärmebeitrag ergeben. Würden diese beiden Monate mit in die Heizperiode einbezogen (wie es der Begriff der Heizzeit von 9 Monaten nach VDI 2067 nahelegt), so fielen alle Bilanzen weit positiver aus. Die starken Einstrahlungen im Mai und September verfälschen das Bild der Durchschnittswerte für die Heizperiode beträchtlich. Wir sehen daher den September und Mai als Sommermonate an (mit einem möglicherweise anfallenden Sommer-Heizbedarf).



Die Neigungswinkel von Kollektorflächen mit den maximalen Einstrahlungssummen während der Heizperiode (Okt.-Apr.).

KORREKTURFAKTOREN ZUR UMRECHNUNG DER MONATLICHEN GLOBALSTRAHLUNG IN STRAHLUNGSWERTE AUF FLÄCHEN UNTERSCHIEDLICHER RICHTUNG UND NEIGUNG.



Mittlere monatliche Sonneneinstrahlung auf vertikale Flächen im Verhältnis zur Globalstrahlung für den Bereich zwischen 48. und 54. Breitengrad.

Für überschlägige Abschätzung kann für Südfenster mit den folgenden mittleren Korrekturfaktoren gerechnet werden:

OKT	NOV	DEZ	JAN	FEB	MÄR	APR	Ø HEIZPERIODE
1.03	1.40	1.23	1.34	1.20	0.79	0.55	1.08

Für Ost- und Westfenster kann ein Faktor von 0,55, für Nordfenster von 0,35 angesetzt werden.

Die folgenden Tabellen enthalten die Korrekturfaktoren für den 48. bis zum 54. Breitengrad. (Erläuterung zur Berechnung der Korrekturfaktoren siehe Anhang 6.2)

KORREKTURFAKTOREN (R+N)

48 °NB

RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: SÜDEN							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	1.22	1.33	1.39	1.37	1.27	1.04	0.82
FEBRUAR	1.17	1.31	1.37	1.36	1.26	1.08	0.79
MAERZ	0.76	0.92	1.03	1.09	1.09	1.03	0.89
APRIL	0.52	0.71	0.85	0.94	0.99	0.99	0.93
MAI	0.39	0.56	0.71	0.83	0.91	0.94	0.93
JUNI	0.36	0.52	0.67	0.79	0.88	0.94	0.94
JULI	0.38	0.55	0.69	0.81	0.90	0.95	0.94
AUGUST	0.46	0.64	0.79	0.89	0.95	0.97	0.92
SEPTEMBER	0.71	0.89	1.01	1.08	1.08	1.03	0.89
OKTOBER	0.99	1.13	1.22	1.24	1.19	1.07	0.84
NOVEMBER	1.29	1.41	1.46	1.43	1.31	1.07	0.79
DEZEMBER	1.27	1.38	1.43	1.41	1.29	1.04	0.82
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: SSO/SSW							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	1.11	1.23	1.29	1.29	1.22	1.02	0.82
FEBRUAR	1.06	1.20	1.28	1.29	1.22	1.06	0.79
MAERZ	0.75	0.90	1.00	1.06	1.07	1.02	0.89
APRIL	0.56	0.72	0.85	0.94	0.99	0.99	0.93
MAI	0.42	0.59	0.73	0.84	0.91	0.94	0.93
JUNI	0.39	0.54	0.68	0.80	0.89	0.93	0.94
JULI	0.41	0.57	0.71	0.82	0.90	0.94	0.94
AUGUST	0.50	0.66	0.80	0.89	0.95	0.96	0.92
SEPTEMBER	0.72	0.88	0.99	1.06	1.07	1.01	0.89
OKTOBER	0.92	1.06	1.15	1.19	1.16	1.05	0.84
NOVEMBER	1.16	1.29	1.35	1.35	1.26	1.04	0.79
DEZEMBER	1.16	1.28	1.33	1.33	1.24	1.01	0.82
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: SÜDOST/SÜDWEST							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	0.90	1.03	1.11	1.14	1.11	0.96	0.82
FEBRUAR	0.91	1.04	1.13	1.16	1.13	1.00	0.79
MAERZ	0.71	0.84	0.94	1.01	1.03	0.99	0.89
APRIL	0.60	0.73	0.84	0.93	0.97	0.97	0.93
MAI	0.51	0.65	0.76	0.85	0.91	0.94	0.93
JUNI	0.46	0.60	0.72	0.82	0.89	0.93	0.94
JULI	0.48	0.62	0.74	0.84	0.91	0.94	0.94
AUGUST	0.57	0.70	0.81	0.90	0.95	0.96	0.92
SEPTEMBER	0.70	0.83	0.94	1.01	1.03	0.99	0.89
OKTOBER	0.80	0.94	1.03	1.09	1.08	1.01	0.84
NOVEMBER	0.94	1.07	1.15	1.18	1.14	0.97	0.79
DEZEMBER	0.93	1.05	1.13	1.16	1.12	0.96	0.82
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: OSO/WSW							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	0.71	0.82	0.91	0.97	0.96	0.89	0.82
FEBRUAR	0.74	0.86	0.95	1.00	1.00	0.90	0.79
MAERZ	0.64	0.76	0.85	0.93	0.96	0.95	0.89
APRIL	0.59	0.71	0.81	0.89	0.94	0.95	0.93
MAI	0.56	0.68	0.78	0.86	0.91	0.93	0.93
JUNI	0.53	0.64	0.75	0.83	0.90	0.93	0.94
JULI	0.54	0.65	0.76	0.84	0.91	0.94	0.94
AUGUST	0.58	0.70	0.80	0.88	0.93	0.94	0.92
SEPTEMBER	0.64	0.76	0.86	0.93	0.96	0.95	0.89
OKTOBER	0.68	0.80	0.89	0.96	0.98	0.93	0.84
NOVEMBER	0.72	0.83	0.92	0.98	0.97	0.88	0.79
DEZEMBER	0.71	0.83	0.91	0.97	0.95	0.88	0.82
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: OSTEN/WESTEN							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	0.54	0.63	0.72	0.78	0.81	0.82	0.82
FEBRUAR	0.57	0.67	0.75	0.81	0.82	0.80	0.79
MAERZ	0.55	0.65	0.75	0.82	0.88	0.89	0.89
APRIL	0.55	0.65	0.74	0.82	0.89	0.92	0.93
MAI	0.56	0.66	0.75	0.83	0.89	0.92	0.93
JUNI	0.53	0.64	0.74	0.82	0.89	0.93	0.94
JULI	0.54	0.64	0.74	0.83	0.89	0.93	0.94
AUGUST	0.56	0.66	0.75	0.83	0.89	0.92	0.92
SEPTEMBER	0.56	0.66	0.75	0.82	0.87	0.89	0.89
OKTOBER	0.55	0.65	0.74	0.81	0.85	0.84	0.84
NOVEMBER	0.53	0.62	0.71	0.77	0.79	0.79	0.79
DEZEMBER	0.53	0.62	0.71	0.77	0.80	0.82	0.82

KORREKTURFAKTOREN (R+N)

49°NB

RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: SÜDEN							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	1.24	1.35	1.41	1.39	1.28	1.05	0.82
FEBRUAR	1.21	1.35	1.41	1.39	1.29	1.09	0.78
MAERZ	0.78	0.93	1.04	1.10	1.10	1.03	0.88
APRIL	0.53	0.71	0.85	0.94	0.99	0.98	0.92
MAI	0.40	0.57	0.72	0.84	0.91	0.95	0.93
JUNI	0.37	0.53	0.68	0.80	0.89	0.94	0.94
JULI	0.39	0.55	0.70	0.81	0.90	0.94	0.94
AUGUST	0.47	0.65	0.79	0.90	0.96	0.97	0.92
SEPTEMBER	0.73	0.90	1.02	1.09	1.09	1.03	0.89
OKTOBER	1.02	1.16	1.24	1.26	1.20	1.07	0.83
NOVEMBER	1.35	1.46	1.51	1.47	1.34	1.06	0.78
DEZEMBER	1.28	1.39	1.44	1.42	1.29	1.03	0.81
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: SSO/SSW							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	1.13	1.25	1.31	1.31	1.23	1.02	0.82
FEBRUAR	1.09	1.24	1.31	1.32	1.24	1.07	0.78
MAERZ	0.77	0.91	1.02	1.08	1.08	1.02	0.88
APRIL	0.57	0.73	0.85	0.94	0.98	0.98	0.92
MAI	0.43	0.60	0.73	0.84	0.91	0.94	0.93
JUNI	0.39	0.55	0.69	0.81	0.89	0.94	0.94
JULI	0.41	0.57	0.71	0.82	0.90	0.94	0.94
AUGUST	0.51	0.67	0.80	0.90	0.96	0.97	0.92
SEPTEMBER	0.74	0.89	1.01	1.07	1.07	1.02	0.89
OKTOBER	0.94	1.08	1.18	1.21	1.17	1.05	0.83
NOVEMBER	1.21	1.34	1.40	1.38	1.28	1.03	0.78
DEZEMBER	1.18	1.29	1.35	1.33	1.24	1.01	0.81
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: SÜDOST/SÜDWEST							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	0.91	1.04	1.12	1.15	1.12	0.96	0.82
FEBRUAR	0.92	1.06	1.14	1.18	1.14	1.00	0.78
MAERZ	0.72	0.85	0.95	1.02	1.04	0.99	0.88
APRIL	0.62	0.75	0.86	0.93	0.97	0.97	0.92
MAI	0.52	0.65	0.77	0.86	0.92	0.94	0.93
JUNI	0.47	0.61	0.73	0.82	0.90	0.94	0.94
JULI	0.49	0.63	0.74	0.84	0.90	0.94	0.94
AUGUST	0.58	0.71	0.82	0.90	0.95	0.96	0.92
SEPTEMBER	0.71	0.85	0.95	1.02	1.03	0.99	0.89
OKTOBER	0.82	0.96	1.05	1.10	1.09	1.00	0.83
NOVEMBER	0.97	1.10	1.18	1.20	1.15	0.96	0.78
DEZEMBER	0.94	1.06	1.14	1.16	1.11	0.95	0.81
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: OSO/WSW							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	0.70	0.81	0.90	0.96	0.95	0.88	0.82
FEBRUAR	0.74	0.86	0.95	1.00	1.00	0.90	0.78
MAERZ	0.65	0.76	0.86	0.93	0.97	0.95	0.88
APRIL	0.61	0.72	0.82	0.90	0.94	0.94	0.92
MAI	0.56	0.68	0.78	0.86	0.91	0.93	0.93
JUNI	0.53	0.64	0.75	0.83	0.90	0.93	0.94
JULI	0.55	0.66	0.76	0.85	0.91	0.93	0.94
AUGUST	0.59	0.70	0.80	0.88	0.93	0.94	0.92
SEPTEMBER	0.65	0.77	0.86	0.93	0.96	0.94	0.89
OKTOBER	0.69	0.81	0.90	0.96	0.99	0.93	0.83
NOVEMBER	0.74	0.86	0.94	0.99	0.97	0.87	0.78
DEZEMBER	0.71	0.82	0.91	0.96	0.94	0.88	0.81
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: OSTEN/WESTEN							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	0.52	0.61	0.70	0.76	0.80	0.81	0.82
FEBRUAR	0.56	0.66	0.74	0.80	0.81	0.79	0.78
MAERZ	0.56	0.66	0.75	0.83	0.88	0.89	0.88
APRIL	0.57	0.67	0.76	0.83	0.89	0.91	0.92
MAI	0.56	0.66	0.75	0.83	0.89	0.92	0.93
JUNI	0.53	0.64	0.73	0.82	0.89	0.93	0.94
JULI	0.55	0.65	0.75	0.83	0.89	0.92	0.94
AUGUST	0.56	0.66	0.75	0.83	0.89	0.92	0.92
SEPTEMBER	0.56	0.66	0.75	0.82	0.87	0.89	0.89
OKTOBER	0.56	0.66	0.74	0.81	0.85	0.83	0.83
NOVEMBER	0.54	0.63	0.71	0.77	0.78	0.78	0.78
DEZEMBER	0.51	0.61	0.69	0.76	0.79	0.81	0.81

KORREKTURFAKTOREN (R+N)

50°NB

RICHTUNG DER FLÄCHE NACH:		SÜDEN					
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	1.30	1.41	1.46	1.43	1.31	1.04	0.81
FEBRUAR	1.17	1.30	1.37	1.36	1.27	1.08	0.79
MAERZ	0.77	0.92	1.02	1.08	1.09	1.03	0.89
APRIL	0.55	0.72	0.86	0.95	1.00	0.99	0.91
MAI	0.40	0.58	0.73	0.84	0.92	0.95	0.93
JUNI	0.39	0.54	0.68	0.80	0.89	0.94	0.94
JULI	0.41	0.57	0.70	0.82	0.90	0.95	0.94
AUGUST	0.48	0.66	0.80	0.90	0.96	0.97	0.93
SEPTEMBER	0.73	0.90	1.02	1.09	1.09	1.03	0.89
OKTOBER	0.98	1.12	1.20	1.22	1.18	1.06	0.84
NOVEMBER	1.36	1.47	1.51	1.47	1.33	1.05	0.78
DEZEMBER	1.22	1.33	1.38	1.37	1.27	1.03	0.84
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH:		SSO/SSW					
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	1.18	1.30	1.36	1.34	1.25	1.02	0.81
FEBRUAR	1.06	1.20	1.27	1.29	1.22	1.05	0.79
MAERZ	0.75	0.90	1.00	1.06	1.07	1.02	0.89
APRIL	0.58	0.74	0.86	0.95	0.99	0.98	0.91
MAI	0.44	0.61	0.74	0.85	0.92	0.95	0.93
JUNI	0.41	0.56	0.69	0.81	0.89	0.94	0.94
JULI	0.43	0.58	0.72	0.83	0.90	0.95	0.94
AUGUST	0.52	0.68	0.80	0.90	0.96	0.97	0.93
SEPTEMBER	0.74	0.89	1.00	1.07	1.07	1.02	0.89
OKTOBER	0.91	1.05	1.14	1.17	1.15	1.04	0.84
NOVEMBER	1.22	1.34	1.40	1.38	1.28	1.03	0.78
DEZEMBER	1.13	1.24	1.30	1.30	1.22	1.01	0.84
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH:		SÜDOST/SÜDWEST					
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	0.95	1.07	1.15	1.17	1.13	0.96	0.81
FEBRUAR	0.89	1.02	1.11	1.15	1.12	0.99	0.79
MAERZ	0.71	0.84	0.94	1.01	1.03	0.99	0.89
APRIL	0.62	0.75	0.86	0.94	0.98	0.97	0.91
MAI	0.52	0.66	0.77	0.86	0.92	0.94	0.93
JUNI	0.48	0.61	0.73	0.83	0.90	0.94	0.94
JULI	0.50	0.63	0.74	0.84	0.91	0.94	0.94
AUGUST	0.57	0.70	0.81	0.90	0.95	0.96	0.93
SEPTEMBER	0.71	0.84	0.95	1.01	1.03	0.99	0.89
OKTOBER	0.80	0.93	1.02	1.08	1.08	1.00	0.84
NOVEMBER	0.98	1.11	1.18	1.20	1.15	0.96	0.78
DEZEMBER	0.91	1.03	1.11	1.14	1.10	0.95	0.84
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH:		OSO/WSW					
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	0.72	0.83	0.92	0.97	0.95	0.88	0.81
FEBRUAR	0.72	0.83	0.92	0.98	0.99	0.90	0.79
MAERZ	0.64	0.76	0.85	0.93	0.96	0.95	0.89
APRIL	0.61	0.73	0.82	0.90	0.94	0.94	0.91
MAI	0.57	0.68	0.78	0.86	0.91	0.93	0.93
JUNI	0.54	0.65	0.75	0.84	0.90	0.93	0.94
JULI	0.54	0.65	0.76	0.85	0.91	0.94	0.94
AUGUST	0.58	0.69	0.79	0.88	0.93	0.94	0.93
SEPTEMBER	0.65	0.77	0.86	0.93	0.96	0.95	0.89
OKTOBER	0.68	0.80	0.89	0.96	0.98	0.93	0.84
NOVEMBER	0.75	0.87	0.95	0.99	0.97	0.87	0.78
DEZEMBER	0.69	0.80	0.89	0.95	0.94	0.89	0.84
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH:		OSTEN/WESTEN					
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	0.53	0.62	0.71	0.76	0.80	0.81	0.81
FEBRUAR	0.55	0.65	0.73	0.79	0.81	0.80	0.79
MAERZ	0.56	0.66	0.75	0.83	0.88	0.89	0.89
APRIL	0.57	0.67	0.76	0.83	0.89	0.91	0.91
MAI	0.56	0.66	0.75	0.83	0.89	0.92	0.93
JUNI	0.55	0.65	0.75	0.83	0.89	0.93	0.94
JULI	0.54	0.65	0.74	0.83	0.89	0.93	0.94
AUGUST	0.55	0.65	0.75	0.83	0.89	0.92	0.93
SEPTEMBER	0.56	0.66	0.75	0.82	0.87	0.89	0.89
OKTOBER	0.56	0.66	0.75	0.82	0.85	0.85	0.84
NOVEMBER	0.55	0.64	0.72	0.77	0.79	0.79	0.78
DEZEMBER	0.51	0.61	0.70	0.77	0.81	0.83	0.84

KORREKTURFAKTOREN (R+N)

51°NB

RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: SÜDEN							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	1.36	1.47	1.51	1.47	1.33	1.04	0.80
FEBRUAR	1.21	1.34	1.40	1.38	1.28	1.08	0.78
MAERZ	0.78	0.93	1.04	1.09	1.09	1.03	0.88
APRIL	0.56	0.73	0.87	0.96	1.00	0.99	0.91
MAI	0.41	0.59	0.74	0.85	0.92	0.95	0.93
JUNI	0.39	0.55	0.69	0.81	0.89	0.94	0.94
JULI	0.41	0.57	0.71	0.83	0.91	0.95	0.94
AUGUST	0.50	0.67	0.80	0.91	0.97	0.98	0.93
SEPTEMBER	0.75	0.92	1.04	1.10	1.10	1.03	0.88
OKTOBER	1.00	1.13	1.21	1.23	1.18	1.06	0.83
NOVEMBER	1.42	1.54	1.57	1.51	1.36	1.05	0.78
DEZEMBER	1.24	1.34	1.39	1.38	1.27	1.02	0.84
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: SSO/SSW							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	1.24	1.36	1.40	1.38	1.27	1.01	0.80
FEBRUAR	1.09	1.23	1.30	1.31	1.23	1.05	0.78
MAERZ	0.77	0.91	1.01	1.07	1.08	1.02	0.88
APRIL	0.59	0.75	0.87	0.96	0.99	0.98	0.91
MAI	0.45	0.62	0.75	0.86	0.92	0.95	0.93
JUNI	0.41	0.57	0.70	0.81	0.89	0.94	0.94
JULI	0.44	0.59	0.72	0.83	0.91	0.95	0.94
AUGUST	0.53	0.68	0.81	0.91	0.96	0.97	0.93
SEPTEMBER	0.75	0.91	1.02	1.08	1.08	1.02	0.88
OKTOBER	0.92	1.06	1.15	1.18	1.15	1.04	0.83
NOVEMBER	1.28	1.40	1.45	1.42	1.30	1.02	0.78
DEZEMBER	1.15	1.26	1.31	1.31	1.22	1.00	0.84
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: SÜDOST/SÜDWEST							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	0.99	1.11	1.18	1.20	1.14	0.95	0.80
FEBRUAR	0.92	1.05	1.13	1.16	1.13	0.98	0.78
MAERZ	0.72	0.85	0.95	1.02	1.03	0.99	0.88
APRIL	0.63	0.76	0.87	0.94	0.98	0.97	0.91
MAI	0.53	0.66	0.78	0.87	0.92	0.94	0.93
JUNI	0.48	0.61	0.73	0.83	0.90	0.94	0.94
JULI	0.50	0.63	0.75	0.84	0.91	0.95	0.94
AUGUST	0.58	0.71	0.82	0.90	0.95	0.96	0.93
SEPTEMBER	0.72	0.86	0.96	1.02	1.04	0.99	0.88
OKTOBER	0.81	0.93	1.03	1.08	1.08	0.99	0.83
NOVEMBER	1.03	1.15	1.22	1.23	1.16	0.95	0.78
DEZEMBER	0.92	1.04	1.11	1.14	1.09	0.95	0.84
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: OSO/WSW							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	0.74	0.86	0.94	0.99	0.95	0.87	0.80
FEBRUAR	0.74	0.85	0.94	0.99	0.99	0.89	0.78
MAERZ	0.65	0.77	0.86	0.93	0.97	0.95	0.88
APRIL	0.62	0.73	0.83	0.90	0.94	0.94	0.91
MAI	0.57	0.68	0.78	0.86	0.91	0.93	0.93
JUNI	0.54	0.65	0.76	0.84	0.90	0.93	0.94
JULI	0.54	0.65	0.76	0.85	0.91	0.94	0.94
AUGUST	0.58	0.70	0.80	0.88	0.93	0.95	0.93
SEPTEMBER	0.66	0.77	0.87	0.94	0.97	0.94	0.88
OKTOBER	0.68	0.79	0.89	0.95	0.98	0.92	0.83
NOVEMBER	0.78	0.89	0.97	1.01	0.97	0.87	0.78
DEZEMBER	0.69	0.80	0.89	0.94	0.93	0.88	0.84
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: OSTEN/WESTEN							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	0.54	0.63	0.72	0.77	0.79	0.80	0.80
FEBRUAR	0.56	0.65	0.74	0.80	0.81	0.79	0.78
MAERZ	0.56	0.66	0.75	0.83	0.88	0.89	0.88
APRIL	0.57	0.67	0.76	0.83	0.89	0.91	0.91
MAI	0.55	0.66	0.75	0.83	0.89	0.92	0.93
JUNI	0.55	0.65	0.74	0.83	0.89	0.93	0.94
JULI	0.54	0.64	0.74	0.83	0.89	0.93	0.94
AUGUST	0.55	0.65	0.75	0.83	0.89	0.92	0.93
SEPTEMBER	0.57	0.67	0.75	0.82	0.87	0.88	0.88
OKTOBER	0.55	0.65	0.74	0.81	0.84	0.84	0.83
NOVEMBER	0.56	0.65	0.73	0.78	0.79	0.78	0.78
DEZEMBER	0.50	0.60	0.69	0.76	0.80	0.83	0.84

KORREKTURFAKTOREN (R+N)

52°NB

RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: SÜDEN							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	1.35	1.45	1.49	1.46	1.32	1.03	0.80
FEBRUAR	1.18	1.31	1.37	1.35	1.26	1.06	0.80
MAERZ	0.79	0.93	1.04	1.09	1.09	1.03	0.88
APRIL	0.57	0.74	0.87	0.96	1.00	0.99	0.92
MAI	0.43	0.61	0.75	0.86	0.93	0.96	0.93
JUNI	0.41	0.56	0.70	0.81	0.90	0.95	0.95
JULI	0.43	0.58	0.71	0.82	0.91	0.95	0.94
AUGUST	0.51	0.67	0.80	0.91	0.97	0.98	0.93
SEPTEMBER	0.74	0.90	1.02	1.08	1.09	1.03	0.88
OKTOBER	1.05	1.18	1.25	1.26	1.20	1.06	0.82
NOVEMBER	1.39	1.50	1.54	1.50	1.35	1.05	0.79
DEZEMBER	1.15	1.26	1.31	1.32	1.23	1.01	0.86
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: SSO/SSW							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	1.23	1.35	1.40	1.37	1.27	1.01	0.80
FEBRUAR	1.07	1.20	1.27	1.28	1.22	1.04	0.80
MAERZ	0.77	0.91	1.01	1.07	1.07	1.02	0.88
APRIL	0.60	0.75	0.87	0.95	0.99	0.98	0.92
MAI	0.46	0.62	0.76	0.86	0.93	0.95	0.93
JUNI	0.43	0.58	0.71	0.82	0.90	0.95	0.95
JULI	0.45	0.59	0.72	0.83	0.91	0.95	0.94
AUGUST	0.54	0.68	0.81	0.90	0.96	0.97	0.93
SEPTEMBER	0.74	0.89	1.00	1.06	1.07	1.01	0.88
OKTOBER	0.96	1.10	1.18	1.21	1.17	1.04	0.82
NOVEMBER	1.26	1.38	1.43	1.40	1.29	1.02	0.79
DEZEMBER	1.08	1.19	1.24	1.25	1.18	1.00	0.86
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: SÜDOST/SÜDWEST							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	0.98	1.10	1.17	1.19	1.13	0.94	0.80
FEBRUAR	0.90	1.03	1.11	1.15	1.12	0.98	0.80
MAERZ	0.72	0.85	0.95	1.01	1.03	0.99	0.88
APRIL	0.63	0.76	0.87	0.94	0.98	0.97	0.92
MAI	0.53	0.67	0.78	0.87	0.93	0.95	0.93
JUNI	0.49	0.62	0.73	0.83	0.90	0.94	0.95
JULI	0.50	0.63	0.75	0.84	0.91	0.95	0.94
AUGUST	0.58	0.70	0.82	0.90	0.95	0.96	0.93
SEPTEMBER	0.71	0.84	0.94	1.01	1.03	0.99	0.88
OKTOBER	0.84	0.96	1.05	1.10	1.09	0.99	0.82
NOVEMBER	1.00	1.13	1.20	1.21	1.15	0.95	0.79
DEZEMBER	0.87	0.99	1.07	1.10	1.07	0.95	0.86
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: OSO/WSW							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	0.73	0.84	0.93	0.97	0.94	0.87	0.80
FEBRUAR	0.73	0.84	0.93	0.98	0.99	0.89	0.80
MAERZ	0.65	0.77	0.86	0.93	0.97	0.95	0.88
APRIL	0.61	0.73	0.83	0.90	0.94	0.95	0.92
MAI	0.57	0.69	0.79	0.87	0.92	0.94	0.93
JUNI	0.53	0.65	0.75	0.84	0.91	0.94	0.95
JULI	0.54	0.66	0.76	0.85	0.91	0.94	0.94
AUGUST	0.58	0.69	0.79	0.88	0.93	0.95	0.93
SEPTEMBER	0.65	0.76	0.86	0.93	0.96	0.95	0.88
OKTOBER	0.70	0.81	0.90	0.96	0.98	0.91	0.82
NOVEMBER	0.75	0.86	0.94	0.99	0.96	0.87	0.79
DEZEMBER	0.67	0.78	0.87	0.93	0.93	0.90	0.86
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: OSTEN/WESTEN							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	0.52	0.62	0.70	0.76	0.79	0.80	0.80
FEBRUAR	0.56	0.66	0.74	0.81	0.82	0.80	0.80
MAERZ	0.57	0.67	0.76	0.83	0.88	0.88	0.88
APRIL	0.57	0.67	0.76	0.83	0.89	0.91	0.92
MAI	0.56	0.66	0.75	0.83	0.89	0.92	0.93
JUNI	0.54	0.64	0.74	0.83	0.89	0.93	0.95
JULI	0.54	0.65	0.74	0.83	0.90	0.93	0.94
AUGUST	0.55	0.65	0.75	0.83	0.89	0.92	0.93
SEPTEMBER	0.56	0.66	0.75	0.83	0.88	0.89	0.88
OKTOBER	0.56	0.66	0.74	0.81	0.84	0.83	0.82
NOVEMBER	0.53	0.63	0.71	0.76	0.78	0.79	0.79
DEZEMBER	0.51	0.61	0.70	0.77	0.82	0.85	0.86

KORREKTURFAKTOREN (R+N)

53°NB

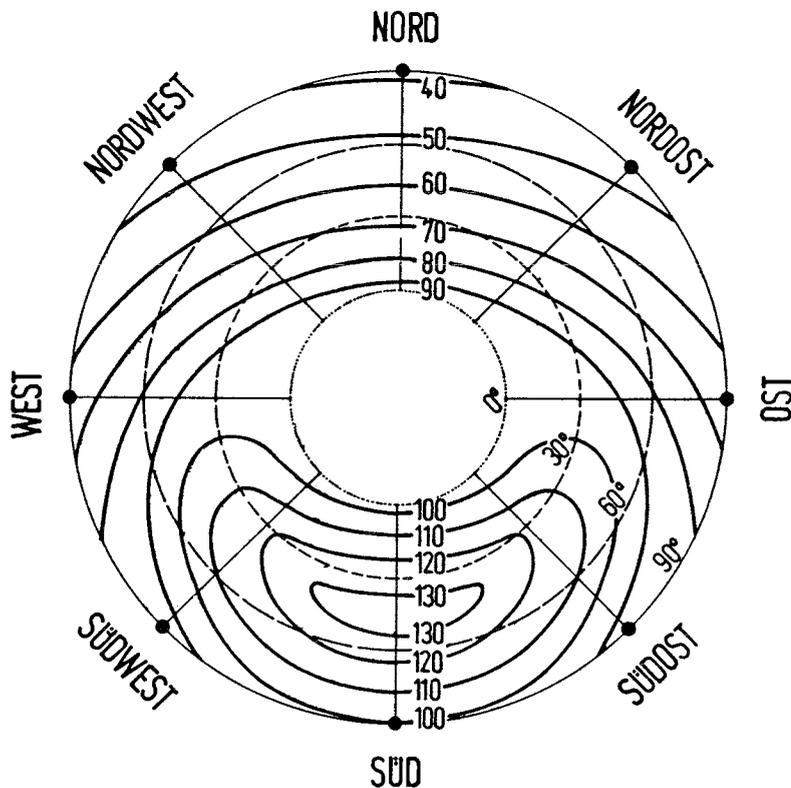
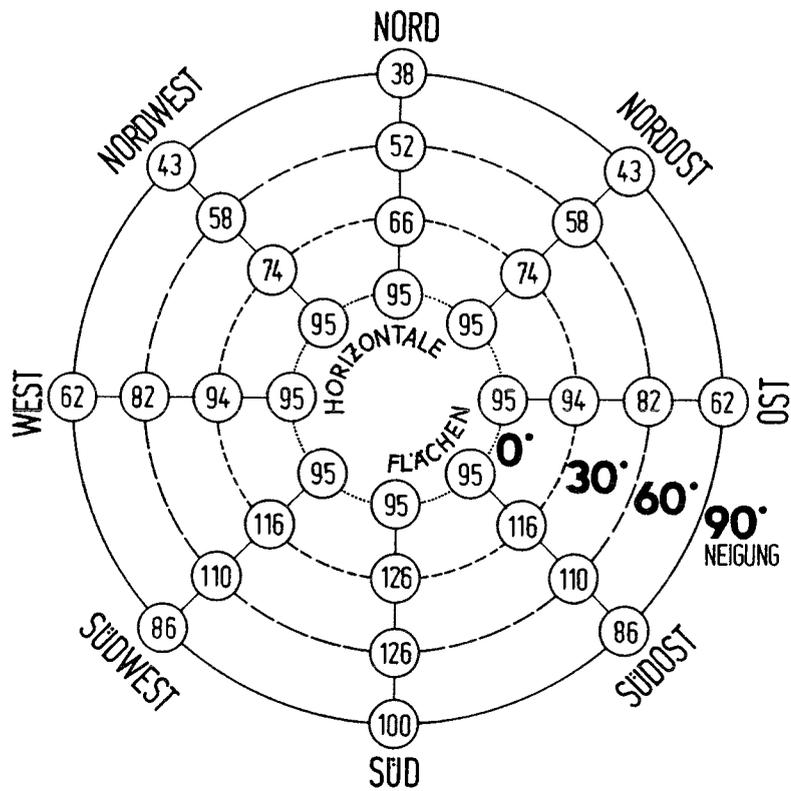
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: SÜDEN							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	1.44	1.54	1.58	1.53	1.37	1.04	0.80
FEBRUAR	1.22	1.35	1.40	1.38	1.28	1.06	0.79
MAERZ	0.80	0.95	1.05	1.10	1.10	1.03	0.87
APRIL	0.58	0.75	0.88	0.97	1.01	0.99	0.91
MAI	0.43	0.61	0.75	0.86	0.93	0.95	0.92
JUNI	0.42	0.57	0.70	0.81	0.90	0.94	0.94
JULI	0.43	0.59	0.72	0.83	0.91	0.95	0.94
AUGUST	0.52	0.68	0.81	0.91	0.97	0.98	0.93
SEPTEMBER	0.76	0.92	1.03	1.09	1.09	1.03	0.88
OKTOBER	1.08	1.21	1.28	1.29	1.22	1.06	0.81
NOVEMBER	1.47	1.57	1.61	1.55	1.38	1.05	0.78
DEZEMBER	1.18	1.29	1.34	1.34	1.24	1.01	0.86
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: SSO/SSW							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	1.31	1.43	1.47	1.43	1.30	1.01	0.80
FEBRUAR	1.11	1.24	1.31	1.31	1.23	1.03	0.79
MAERZ	0.79	0.92	1.02	1.08	1.08	1.02	0.87
APRIL	0.61	0.76	0.88	0.96	1.00	0.99	0.91
MAI	0.46	0.63	0.76	0.86	0.93	0.95	0.92
JUNI	0.43	0.58	0.71	0.82	0.90	0.94	0.94
JULI	0.45	0.60	0.73	0.83	0.91	0.95	0.94
AUGUST	0.54	0.69	0.82	0.91	0.97	0.98	0.93
SEPTEMBER	0.76	0.91	1.01	1.07	1.08	1.02	0.88
OKTOBER	0.99	1.13	1.21	1.23	1.18	1.04	0.81
NOVEMBER	1.33	1.44	1.48	1.45	1.31	1.02	0.78
DEZEMBER	1.11	1.22	1.27	1.27	1.19	1.00	0.86
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: SÜDOST/SÜDWEST							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	1.03	1.15	1.22	1.22	1.15	0.95	0.80
FEBRUAR	0.93	1.06	1.14	1.17	1.13	0.97	0.79
MAERZ	0.74	0.86	0.96	1.02	1.04	0.99	0.87
APRIL	0.64	0.77	0.87	0.95	0.98	0.97	0.91
MAI	0.54	0.68	0.79	0.87	0.93	0.94	0.92
JUNI	0.49	0.62	0.74	0.83	0.90	0.94	0.94
JULI	0.51	0.64	0.75	0.85	0.91	0.95	0.94
AUGUST	0.59	0.71	0.82	0.91	0.96	0.97	0.93
SEPTEMBER	0.72	0.85	0.96	1.02	1.03	0.99	0.88
OKTOBER	0.86	0.99	1.07	1.12	1.10	0.98	0.81
NOVEMBER	1.05	1.17	1.24	1.24	1.17	0.95	0.78
DEZEMBER	0.89	1.01	1.08	1.11	1.07	0.95	0.86
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: OSO/WSW							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	0.75	0.87	0.95	0.99	0.94	0.87	0.80
FEBRUAR	0.75	0.86	0.95	1.00	0.99	0.89	0.79
MAERZ	0.66	0.77	0.87	0.94	0.97	0.95	0.87
APRIL	0.62	0.73	0.83	0.90	0.95	0.95	0.91
MAI	0.59	0.70	0.80	0.87	0.92	0.93	0.92
JUNI	0.54	0.66	0.76	0.84	0.91	0.94	0.94
JULI	0.55	0.66	0.77	0.85	0.91	0.94	0.94
AUGUST	0.59	0.70	0.80	0.88	0.93	0.95	0.93
SEPTEMBER	0.66	0.77	0.87	0.93	0.97	0.95	0.88
OKTOBER	0.72	0.83	0.92	0.97	0.99	0.90	0.81
NOVEMBER	0.78	0.89	0.97	1.00	0.96	0.86	0.78
DEZEMBER	0.67	0.78	0.87	0.92	0.92	0.89	0.86
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: OSTEN/WESTEN							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	0.53	0.62	0.70	0.76	0.79	0.80	0.80
FEBRUAR	0.57	0.67	0.75	0.81	0.82	0.80	0.79
MAERZ	0.57	0.67	0.76	0.84	0.88	0.88	0.87
APRIL	0.57	0.67	0.76	0.83	0.89	0.91	0.91
MAI	0.58	0.68	0.77	0.84	0.89	0.91	0.92
JUNI	0.55	0.65	0.75	0.84	0.90	0.93	0.94
JULI	0.55	0.65	0.75	0.84	0.90	0.93	0.94
AUGUST	0.56	0.66	0.75	0.83	0.90	0.92	0.93
SEPTEMBER	0.57	0.67	0.76	0.83	0.88	0.89	0.88
OKTOBER	0.57	0.67	0.75	0.82	0.84	0.82	0.81
NOVEMBER	0.54	0.64	0.72	0.76	0.78	0.78	0.78
DEZEMBER	0.50	0.59	0.68	0.76	0.82	0.85	0.86

KORREKTURFAKTOREN (R+N)

54°NB

RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: SÜDEN							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	1.46	1.56	1.59	1.54	1.37	1.03	0.79
FEBRUAR	1.27	1.40	1.44	1.41	1.29	1.06	0.78
MAERZ	0.82	0.97	1.07	1.11	1.10	1.03	0.86
APRIL	0.60	0.76	0.89	0.97	1.01	0.99	0.91
MAI	0.44	0.62	0.76	0.86	0.93	0.95	0.92
JUNI	0.42	0.57	0.71	0.82	0.90	0.94	0.94
JULI	0.44	0.59	0.72	0.83	0.91	0.95	0.95
AUGUST	0.53	0.68	0.81	0.91	0.97	0.97	0.93
SEPTEMBER	0.78	0.94	1.05	1.10	1.10	1.03	0.87
OKTOBER	1.12	1.25	1.31	1.31	1.23	1.06	0.80
NOVEMBER	1.49	1.59	1.62	1.56	1.39	1.04	0.77
DEZEMBER	1.26	1.36	1.40	1.39	1.27	1.02	0.86
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: SSO/SSW							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	1.35	1.45	1.49	1.45	1.31	1.00	0.79
FEBRUAR	1.15	1.28	1.34	1.34	1.25	1.03	0.78
MAERZ	0.81	0.94	1.04	1.09	1.09	1.02	0.86
APRIL	0.62	0.77	0.89	0.97	1.01	0.99	0.91
MAI	0.47	0.64	0.77	0.87	0.93	0.95	0.92
JUNI	0.44	0.59	0.71	0.82	0.90	0.94	0.94
JULI	0.46	0.61	0.73	0.84	0.91	0.95	0.95
AUGUST	0.55	0.70	0.82	0.91	0.96	0.97	0.93
SEPTEMBER	0.78	0.92	1.03	1.08	1.08	1.02	0.87
OKTOBER	1.02	1.16	1.24	1.25	1.19	1.04	0.80
NOVEMBER	1.35	1.47	1.51	1.46	1.32	1.01	0.77
DEZEMBER	1.18	1.28	1.33	1.31	1.22	1.00	0.86
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: SÜDOST/SÜDWEST							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	1.05	1.17	1.23	1.23	1.14	0.94	0.79
FEBRUAR	0.97	1.09	1.17	1.19	1.14	0.96	0.78
MAERZ	0.75	0.87	0.97	1.03	1.04	0.99	0.86
APRIL	0.65	0.77	0.88	0.95	0.99	0.97	0.91
MAI	0.55	0.68	0.79	0.88	0.93	0.94	0.92
JUNI	0.50	0.62	0.74	0.84	0.91	0.94	0.94
JULI	0.51	0.64	0.75	0.85	0.92	0.95	0.95
AUGUST	0.60	0.72	0.83	0.91	0.96	0.96	0.93
SEPTEMBER	0.74	0.87	0.97	1.03	1.04	0.99	0.87
OKTOBER	0.89	1.01	1.10	1.13	1.11	0.98	0.80
NOVEMBER	1.06	1.18	1.25	1.24	1.16	0.94	0.77
DEZEMBER	0.94	1.05	1.12	1.14	1.08	0.95	0.86
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: OSO/WSW							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	0.75	0.86	0.94	0.98	0.93	0.86	0.79
FEBRUAR	0.77	0.89	0.97	1.01	1.00	0.88	0.78
MAERZ	0.67	0.78	0.88	0.94	0.97	0.94	0.86
APRIL	0.62	0.74	0.83	0.91	0.95	0.95	0.91
MAI	0.59	0.70	0.80	0.87	0.92	0.93	0.92
JUNI	0.54	0.66	0.76	0.85	0.91	0.94	0.94
JULI	0.55	0.66	0.77	0.85	0.91	0.94	0.95
AUGUST	0.60	0.71	0.81	0.89	0.94	0.95	0.93
SEPTEMBER	0.67	0.78	0.87	0.94	0.97	0.94	0.87
OKTOBER	0.73	0.85	0.93	0.98	0.99	0.90	0.80
NOVEMBER	0.77	0.88	0.96	1.00	0.94	0.85	0.77
DEZEMBER	0.69	0.80	0.89	0.94	0.92	0.89	0.86
RICHTUNG DER FLÄCHE NACH: OSTEN/WESTEN							
MONAT	NEIGUNG DER FLÄCHE:						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
JANUAR	0.51	0.61	0.69	0.74	0.78	0.79	0.79
FEBRUAR	0.59	0.68	0.76	0.82	0.81	0.79	0.78
MAERZ	0.58	0.68	0.77	0.84	0.88	0.87	0.86
APRIL	0.57	0.67	0.76	0.83	0.89	0.91	0.91
MAI	0.57	0.67	0.76	0.84	0.89	0.91	0.92
JUNI	0.55	0.65	0.75	0.83	0.90	0.93	0.94
JULI	0.55	0.65	0.75	0.83	0.90	0.93	0.95
AUGUST	0.57	0.67	0.77	0.84	0.90	0.92	0.93
SEPTEMBER	0.57	0.67	0.76	0.83	0.88	0.88	0.87
OKTOBER	0.58	0.68	0.76	0.82	0.83	0.81	0.80
NOVEMBER	0.53	0.62	0.70	0.75	0.77	0.77	0.77
DEZEMBER	0.50	0.60	0.69	0.76	0.82	0.85	0.86

DER SOLARE WERT VON KOLLEKTORFLÄCHEN UNTERSCHIEDLICHER RICHTUNG UND NEIGUNG IN DER HEIZPERIODE



Vergleich der Einstrahlungen auf Flächen unterschiedlicher Himmelsrichtungen und Neigungswinkel in % (bezogen auf die vertikale Südfläche = 100 %). Bilanzsummen für 7 Monate (Okt.-Apr.) (Globalstrahlung \bar{H} aus 16 Stationen der BRD, Korrekturfaktoren für den 51°NB).

Beide Abbildungen geben den gleichen Sachverhalt wieder: die obere als punktuelle Rechenwerte, die untere als interpolierte Isoflächen gleicher Strahlungswerte.

SUMMEN DER EINSTRALUNG AUF UNTERSCHIEDLICH GERICHTETE UND GENEIGTE FLÄCHEN FÜR DIE HEIZPERIODE (OKT-APR)
Werte für 3 Breitengrade mit 5° Horizontverschattung

		SÜD	SSO SSW	SO SW	OSO WSW	OST WEST	ONO WNW	NO NW	NNO NNW	NORD
48° NB	90°	329	314	284	246	204	165	139	128	126
	60°	421	404	369	324	274	226	190	172	169
	30°	425	415	392	358	317	276	244	224	218
51° NB	90°	308	293	265	229	190	154	131	120	118
	60°	388	373	340	299	253	210	179	163	159
	30°	389	380	358	327	290	255	226	209	204
54° NB	90°	301	287	257	220	181	147	125	115	113
	60°	373	358	326	284	239	199	171	156	153
	30°	369	360	338	307	272	240	214	199	194

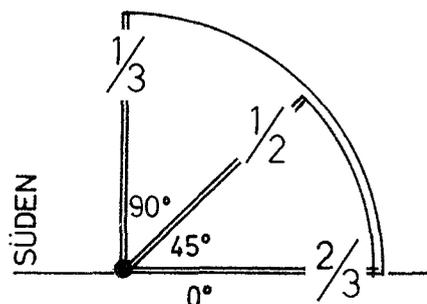
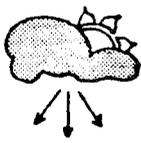
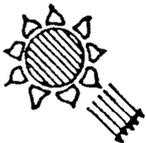
DIFFUSANTEILE AN DER STRALUNG AUF VERTIKALE FLÄCHEN (in %).

	Horizontale Flächen	Vertikale Flächen			
		Süd	Ost/West	Nord	
	OKT	63	26	54	100
	NOV	68	21	63	100
	DEZ	78	26	76	100
	JAN	72	24	68	100
	FEB	61	22	51	100
	MÄRZ	63	36	54	100
	APR	54	47	47	100
	Ø Heizperiode:	66	29	59	100

Die mittleren monatlichen Anteile der Diffusstrahlung an der Strahlung auf vertikale Flächen im Vergleich zu den Diffusanteilen an der Globalstrahlung während der Heizperiode (OktApr). (Erläuterungen siehe Anhang 6.1)

Der Diffusanteil an der Einstrahlungssumme auf vertikale Flächen während der Heizperiode beträgt also überschlägig:

Südflächen	ca. 30 %
Ost/Westflächen	ca. 60 %
Nordflächen	100 %



Mittlerer Diffusanteil an der Gesamtstrahlung auf südorientierte Flächen unterschiedlicher Neigung in der Heizperiode

2.3 VERSCHATTUNG AUS DER UMGEBUNG

Alle Angaben über Globalstrahlung oder Sonnenstrahlung auf unterschiedlich geneigte und orientierte Flächen gehen grundsätzlich von unverschatteten Verhältnissen aus.

Der Sonneneinfall auf einen Bauplatz kann von gegenüberliegenden Gebäuden, einer Häuserzeile, durch Bäume oder vorspringende Nachbarhäuser behindert werden. Dabei ändert sich der Schattenwurf mit dem täglichen und jährlichen Verlauf der Sonne, unterschiedlich bei bedecktem und wolkenlosem Himmel. Wir müssen daher das Ausmass der Verschattung der Kollektorflächen in den verschiedenen Monaten erfassen. So kann sich z.B. bei starker Verschattung eine von der Südrichtung abweichende Orientierung der Hauptfenster als besser oder erdgeschossige Glasflächen können sich als ungünstig erweisen. Verschattung bedeutet Verringerung der Wärmegewinne bei gleichbleibenden Wärmeverlusten.

Das Ausmass der Verschattung wird auf dem Bauplatz selbst festgestellt. Dazu benutzen wir ein Gerät, das der Leser mit geringem Aufwand selber herstellen kann:

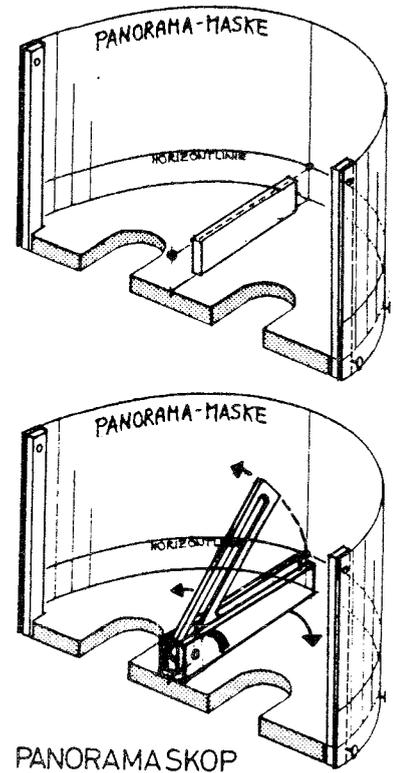
DAS "PANORAMASKOP".

Es besteht aus einer halbkreisförmigen Scheibe, an die eine transparente "Panorama-Maske" geheftet wird. Eine solche transparente Maske kann man durch Kopieren der 1:1 Maske auf eine durchsichtige DIN A4-Folie herstellen. Auf diese wird später das Profil der schattenwerfenden Umgebung aufgezeichnet.

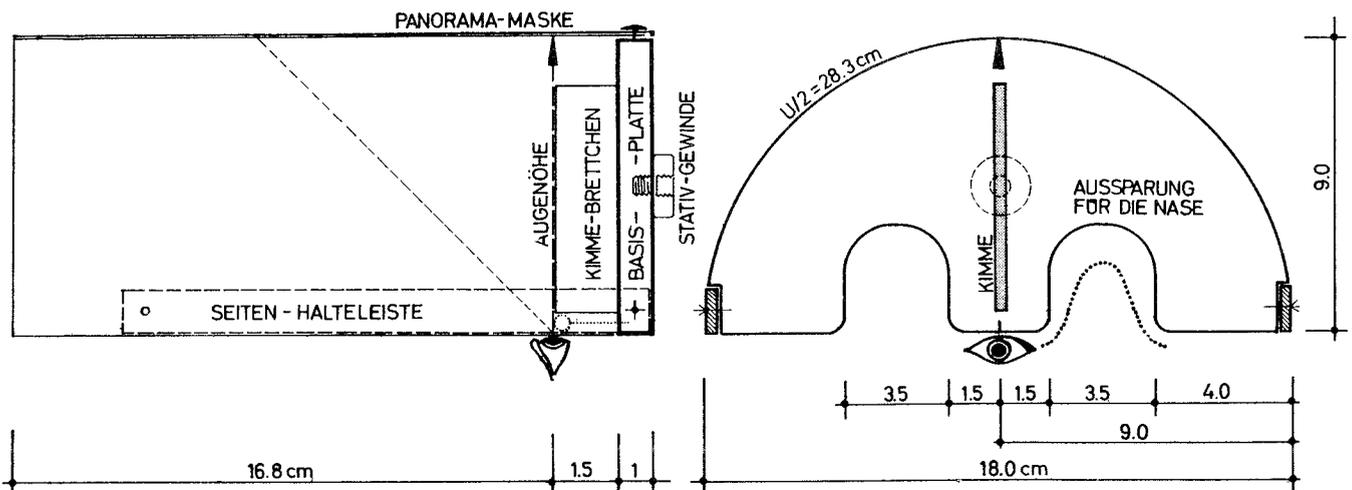
Mit diesem Verfahren kann die Horizont-, die Seiten- und die Überkopfverschattung von Fenstern verschiedener Himmelsrichtungen erfaßt und berechnet werden.

Die Basis-Scheibe des Panoramaskops besteht aus einer halbkreisförmigen Platte aus Holz o.ä., in welche zwei Ausbuchtungen für die Nase eingeschnitten und auf welche in der Mittelachse ein Kimme-Brettchen befestigt wird. Als Ständer für das Panoramaskop bietet sich ein Fotostativ an, für das an der Basis-Platte ein Gewinde befestigt werden muß. Notfalls genügt aber auch eine Kiste als Untersatz.

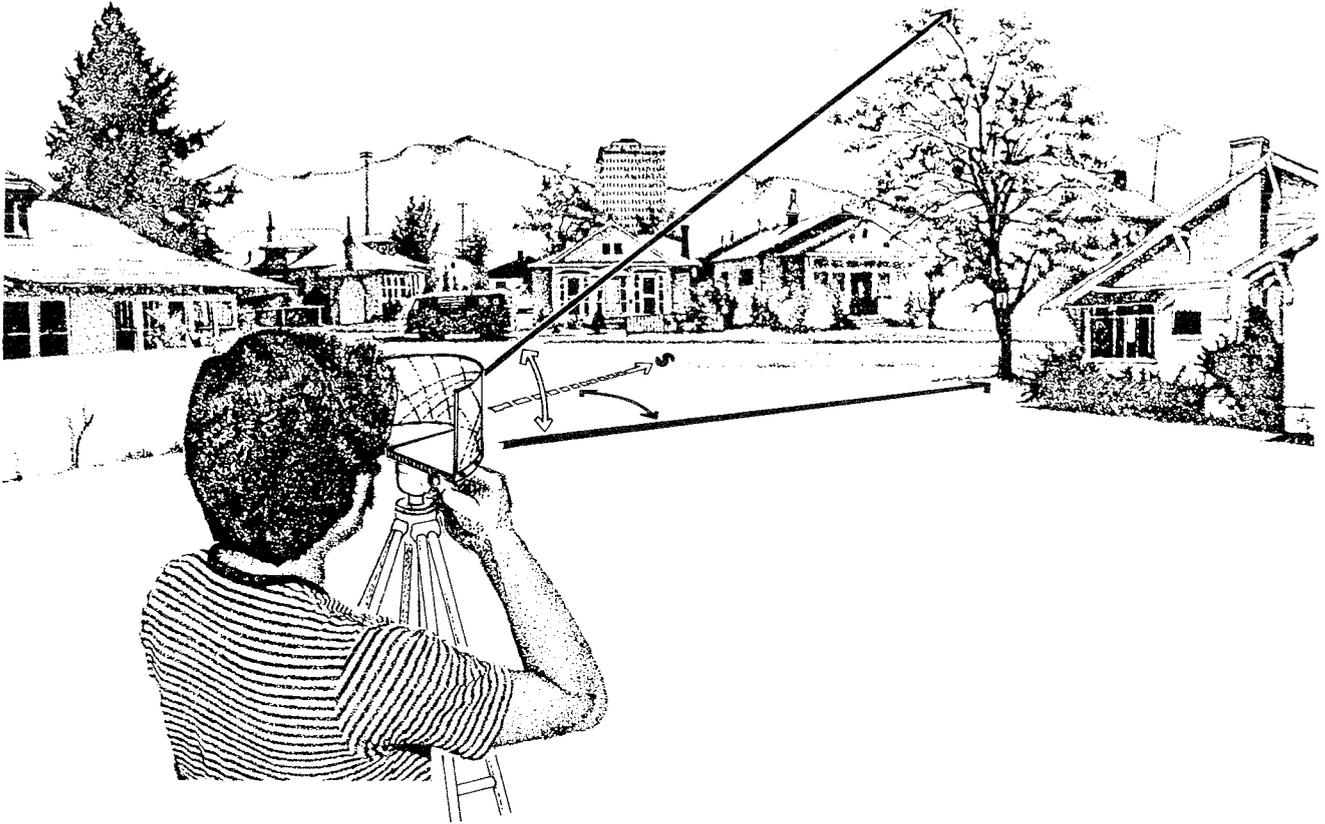
Panoramaskop mit Kimme-Brettchen oder Höhenwinkelmesser



PANORAMASKOP



Die Maße des Panoramaskops sind so gewählt, daß die Position des einen, beobachtenden Auges 1,5 cm oberhalb der Basis-Scheibe liegt. Durch einen Blick auf das Kimm-Brettchen und die auf der Panorama-Maske aufgetragene Horizontlinie zum wirklichen Horizont wird die Basis-scheibe in die Waagrechte gebracht. Ist der Horizont nicht sichtbar, muß die Justierung mit Hilfe einer Wasserwaage (Dosenlibelle) erfolgen.



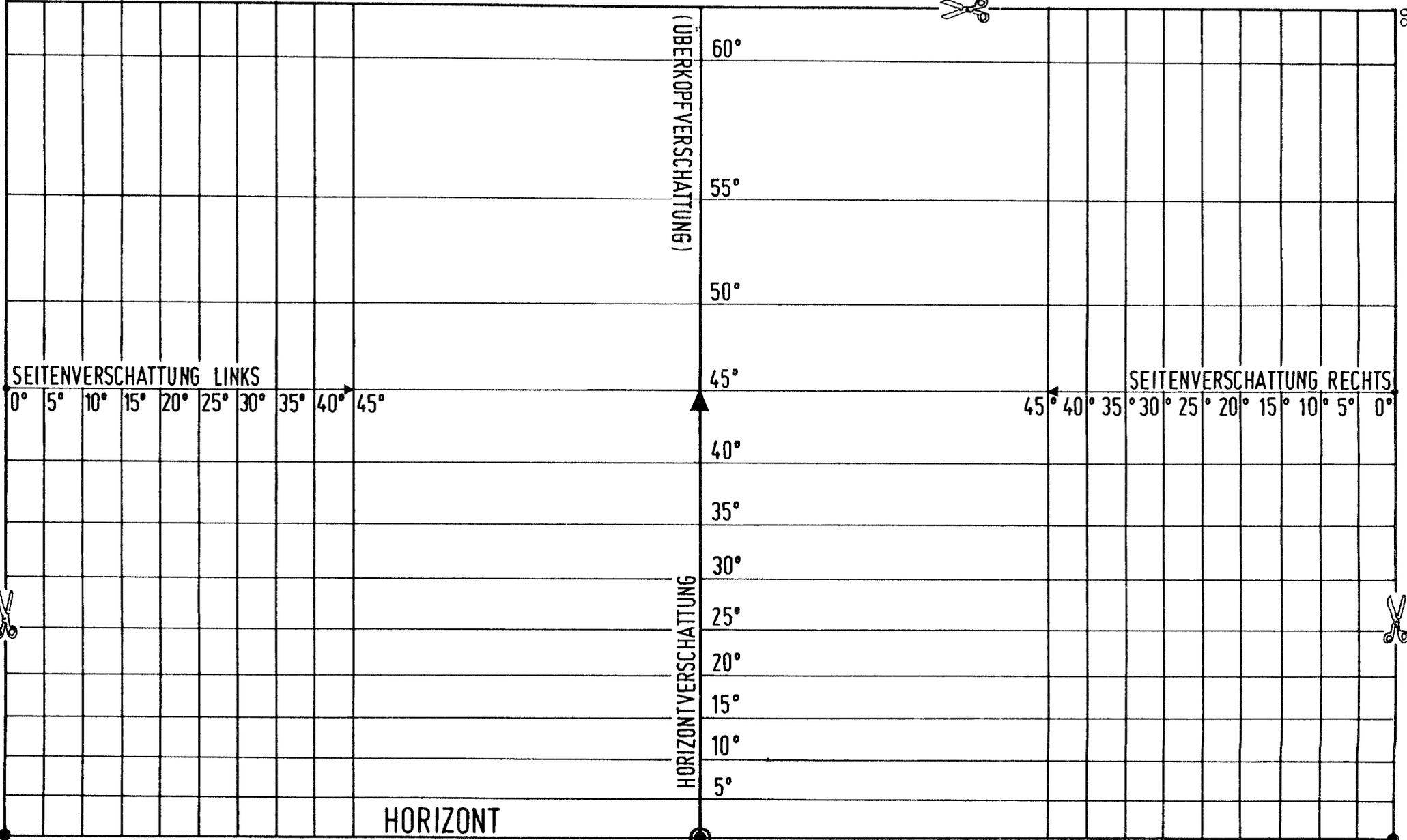
AUF DEM BAUPLATZ

(Variation eines Bildes von Mazria / Quelle 15)

Dort, wo auf dem Bauplatz sich später die Sonnenfenster oder andere Kollektorflächen befinden sollen, wird das Panoramaskop aufgestellt, in etwa 1.50 m Höhe über Erdboden einjustiert und die Mittelachse auf die Himmelsrichtung der geplanten Kollektorfläche ausgerichtet.

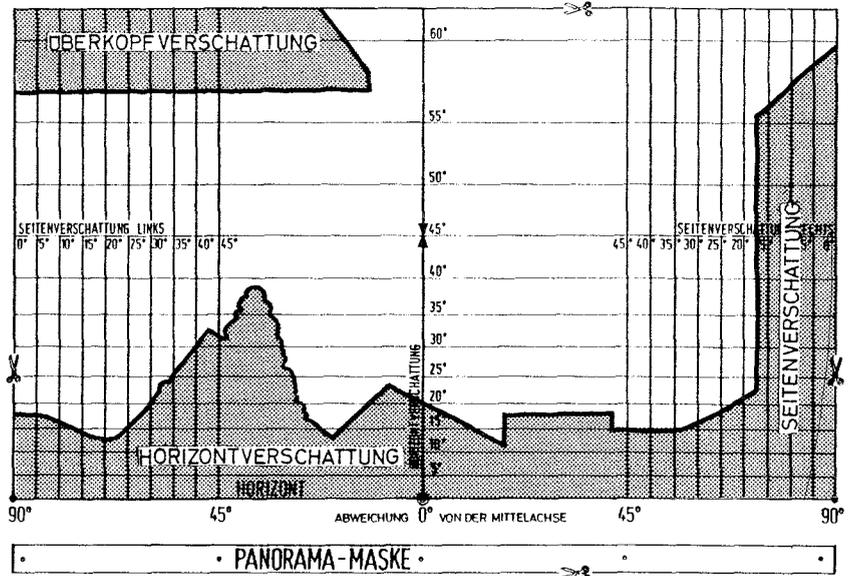
Während man durch die Panorama-Maske hindurchschaut, zeichnet man auf diese die Konturen der in der Umgebung befindlichen Gebäude, Bäume, Mauern. Dazu gehören auch Vorsprünge von Nachbarhäusern, die von der Seite in das Panoramabild hineinragen. Laubbäume können u.U. unberücksichtigt bleiben, da sie in den Wintermonaten (Okt-April) weitgehend ohne Blätter sind. Die unterschiedliche Entfernung der schattenwerfenden Objekte spielt für das Mass der Verschattung keine Rolle.

Nach der Eintragung der Schattenkonturen wird die Panorama-Maske abgenommen und dient nun zur Berechnung des Verschattungsfaktors für den direkten und diffusen Strahlungseinfall auf die Sonnenfenster.



90° 45° ABWEICHUNG 0° VON DER MITTELACHSE 45° 90°

M=1:1 • PANORAMA-MASKE •



Panorama-Maske mit eingezeichneten Schattenkonturen

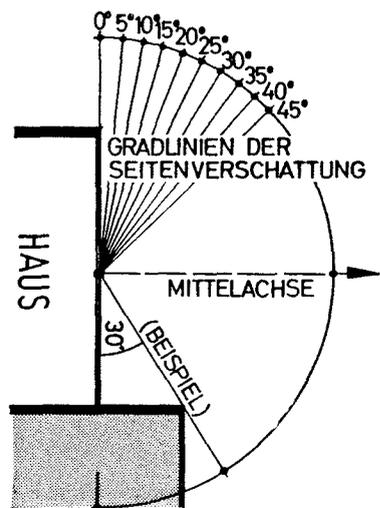
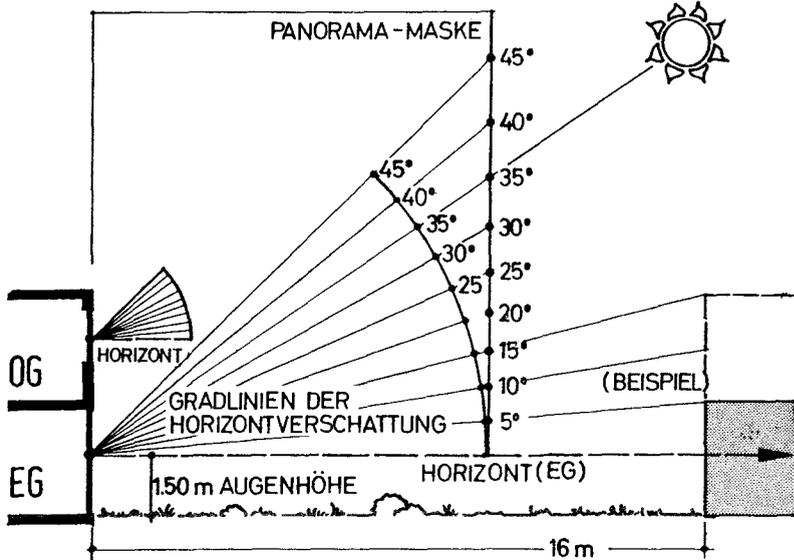
Die unteren waagerechten Linien dienen zur Ermittlung der Horizontverschattung, die senkrechten Linien zur Ermittlung der Seitenverschattung.

DIE BEDEUTUNG DER HORIZONT- UND SEITENGRADLINIEN.

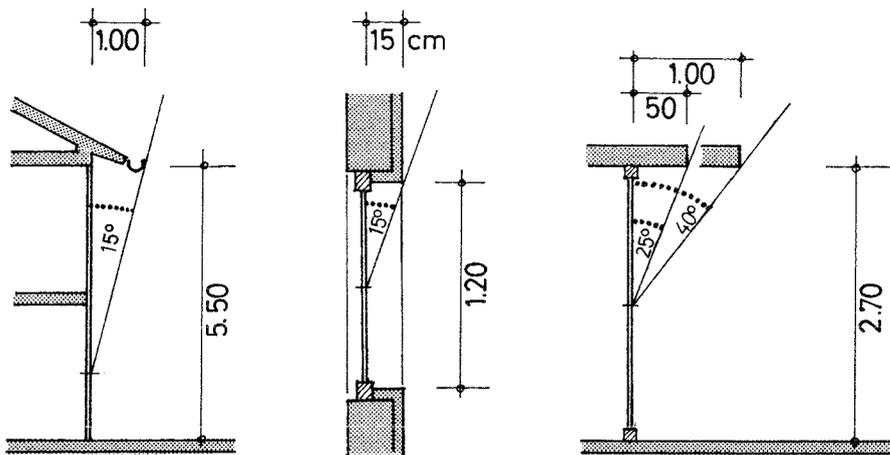
Beispiel zur Ermittlung der Horizontverschattung: Ein 3m hohes Bauwerk in 16m Entfernung verursacht eine Schattenkontur auf der 5°- Horizont-Gradlinie.

Für Fenster im Obergeschoss ist die Panorama-Maske entsprechend zu verwenden.

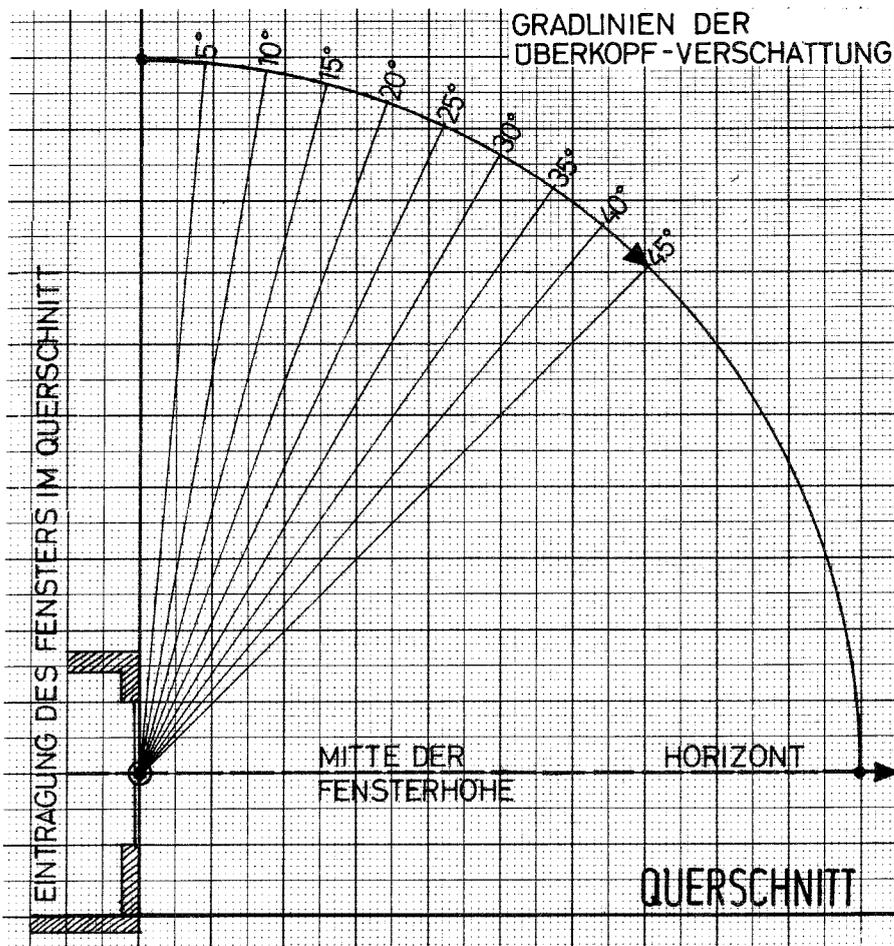
Auf den senkrechten Seiten-Gradlinien (Abb. rechts) bilden sich die seitlichen Schattenkonturen ab, z.B. die Kanten- oder Hausvorsprünge benachbarter Gebäude. Im gezeigten Beispiel liegt die Schattenkontur auf der rechten 30°-Seiten-Gradlinie.



DIE ERMITTLUNG DER ÜBERKOPF-VERSCHATTUNG



Die Überkopf-Verschattung kann wegen der nur zweidimensionalen Krümmung der Panorama-Maske nicht - wie die anderen Verschattungen - unmittelbar optisch auf die Panorama-Maske aufgezeichnet werden. Sie muß gesondert bestimmt werden. Das geschieht entweder durch das Ausmessen von auskragenden Balkonen oder Dachüberständen und die Bestimmung des Verschattungsgradwinkels mithilfe des folgenden Diagramms oder durch Benutzung eines Winkelmessers.

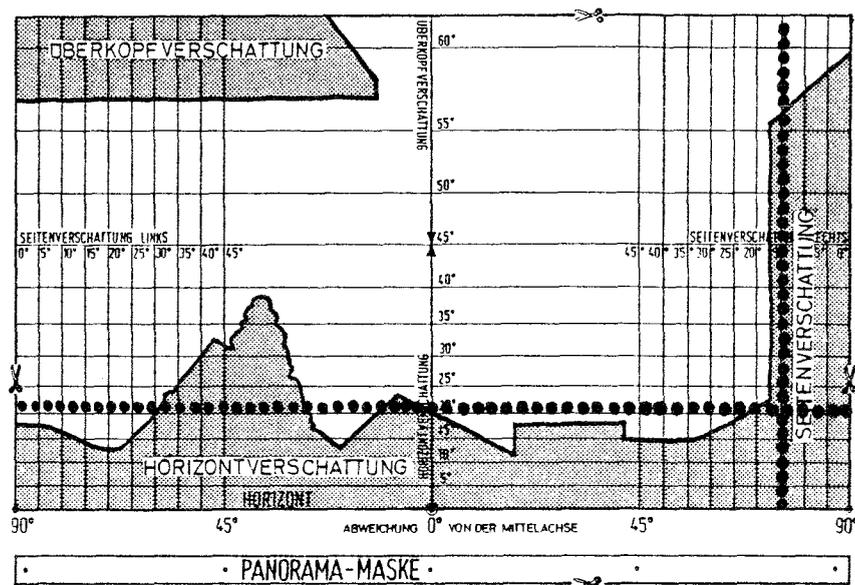


Meßdiagramm zur Bestimmung der Grade der Überkopfverschattung. Für die senkrechte und waagrechte Koordinate ist kein Größenmaß angegeben, so kann das Diagramm für verschiedene Maßstäbe benutzt werden.

DIE BERECHNUNG DES VERSCHATTUNGSFAKTORS

Die Berechnung des Verschattungsfaktors aus dem Verschattungsbild der Panorama-Maske erfolgt für jeden Monat getrennt für die Diffus- und die Direktstrahlung.

Zur Berechnung des Verschattungsfaktors für Diffusstrahlung werden die Konturen der schattenwerfenden Umgebung auf die Panorama-Maske separat für die Horizont-, die linke und die rechte Seitenverschattung, auf eine mittlere gerade Linie nivelliert (Linie der durchschnittlichen Verschattung).



Die Linien der durchschnittlichen Verschattung werden nun den Gradlinien zugeordnet (Im Beispiel für die Horizontverschattung zwischen 20 und 25°, für die Seitenverschattung rechts von 15°). Für die somit jeweils ermittelten Gradlinien ergeben sich aus den folgenden Tabellen die Wertfaktoren der Diffusstrahlung. Diese Wertfaktoren gelten für alle Monate und Himmelsrichtungen vertikaler Fensterflächen gleichermaßen.

(Beispiel: Für eine Horizontverschattung zwischen 20 und 25°, der gleichzeitigen Seitenverschattung rechts von 15° und einer angenommenen Überkopfverschattung von 5° ergibt sich nach der Tabelle ein Wertfaktor für die Diffusstrahlung von 0,66).

Bei Seitenverschattung auf beiden Seiten sind die Wertfaktoren für jede Seite einzeln zu ermitteln und dann miteinander zu multiplizieren. Dabei darf die Horizontverschattung aber nur einmal berücksichtigt werden, d.h. bei einer der beiden Rechnungen muß eine Horizontverschattung von 0° (=Faktor 1,0) zugrunde gelegt werden.

(Beispiel: beidseitig gleiche Seitenverschattung von 15°, bei 20° Horizontverschattung: $0,74 \times 0,84 = 0,62$)

Der ermittelte Wertfaktor für Diffusstrahlung ist -für alle Monate gleich- in Spalte 1 der Tabelle "Ermittlung des Gesamtverschattungsfaktors" einzutragen. (siehe Seite 81)

WERTFAKTOREN DER VERSCHATTUNG (DIFFUSSTRAHLUNG)

UEBER-KOPF-VERSCHATTUNG 0 GRAD										
		HORIZONT-VERSCHATTUNG (GRAD)								
		0-5	10	15	20	25	30	35	40	45
SEITEN-VERSCHATTUNG	0-5	0,93	0,89	0,86	0,82	0,77	0,73	0,68	0,63	0,57
	10	0,88	0,85	0,82	0,78	0,74	0,70	0,65	0,60	0,55
	15	0,84	0,81	0,78	0,74	0,71	0,66	0,62	0,57	0,52
	20	0,80	0,77	0,74	0,71	0,67	0,63	0,59	0,54	0,50
	25	0,76	0,74	0,71	0,67	0,64	0,60	0,56	0,52	0,47
	30	0,73	0,70	0,67	0,64	0,61	0,57	0,53	0,49	0,45
	35	0,69	0,67	0,64	0,61	0,58	0,54	0,51	0,47	0,43
	40	0,66	0,63	0,61	0,58	0,55	0,52	0,48	0,45	0,41
	45	0,63	0,60	0,58	0,55	0,52	0,49	0,46	0,42	0,39

UEBER-KOPF-VERSCHATTUNG 5 GRAD										
		HORIZONT-VERSCHATTUNG (GRAD)								
		0-5	10	15	20	25	30	35	40	45
SEITEN-VERSCHATTUNG	0-5	0,86	0,83	0,79	0,75	0,71	0,66	0,61	0,56	0,51
	10	0,82	0,79	0,75	0,72	0,68	0,63	0,58	0,53	0,48
	15	0,78	0,75	0,72	0,68	0,64	0,60	0,56	0,51	0,46
	20	0,74	0,72	0,68	0,65	0,61	0,57	0,53	0,49	0,44
	25	0,71	0,68	0,65	0,62	0,58	0,54	0,50	0,46	0,42
	30	0,67	0,65	0,62	0,59	0,55	0,52	0,48	0,44	0,40
	35	0,64	0,62	0,59	0,56	0,53	0,49	0,46	0,42	0,38
	40	0,61	0,59	0,56	0,53	0,50	0,47	0,43	0,40	0,36
	45	0,58	0,56	0,53	0,51	0,48	0,45	0,41	0,38	0,34

UEBER-KOPF-VERSCHATTUNG 10 GRAD										
		HORIZONT-VERSCHATTUNG (GRAD)								
		0-5	10	15	20	25	30	35	40	45
SEITEN-VERSCHATTUNG	0-5	0,79	0,76	0,72	0,68	0,64	0,59	0,54	0,49	0,44
	10	0,76	0,72	0,69	0,65	0,61	0,57	0,52	0,47	0,42
	15	0,72	0,69	0,66	0,62	0,58	0,54	0,50	0,45	0,40
	20	0,69	0,66	0,63	0,59	0,55	0,51	0,47	0,43	0,38
	25	0,65	0,63	0,60	0,56	0,53	0,49	0,45	0,41	0,36
	30	0,62	0,60	0,57	0,54	0,50	0,47	0,43	0,39	0,34
	35	0,59	0,57	0,54	0,51	0,48	0,44	0,41	0,37	0,33
	40	0,56	0,54	0,51	0,48	0,45	0,42	0,39	0,35	0,31
	45	0,54	0,51	0,49	0,46	0,43	0,40	0,37	0,33	0,30

UEBER-KOPF-VERSCHATTUNG 15 GRAD										
		HORIZONT-VERSCHATTUNG (GRAD)								
		0-5	10	15	20	25	30	35	40	45
SEITEN-VERSCHATTUNG	0-5	0,73	0,69	0,66	0,62	0,57	0,53	0,48	0,43	0,37
	10	0,69	0,66	0,63	0,59	0,55	0,50	0,46	0,41	0,35
	15	0,66	0,63	0,60	0,56	0,52	0,48	0,43	0,39	0,34
	20	0,63	0,60	0,57	0,53	0,50	0,46	0,41	0,37	0,32
	25	0,60	0,57	0,54	0,51	0,47	0,43	0,39	0,35	0,31
	30	0,57	0,54	0,51	0,48	0,45	0,41	0,37	0,33	0,29
	35	0,54	0,52	0,49	0,46	0,43	0,39	0,36	0,32	0,28
	40	0,51	0,49	0,47	0,44	0,41	0,37	0,34	0,30	0,26
	45	0,49	0,47	0,44	0,42	0,39	0,36	0,32	0,29	0,25

UEBER-KOPF-VERSCHATTUNG 20 GRAD										
		HORIZONT-VERSCHATTUNG (GRAD)								
		0-5	10	15	20	25	30	35	40	45
SEITEN-VERSCHATTUNG	0-5	0,66	0,63	0,59	0,55	0,51	0,46	0,41	0,36	0,31
	10	0,63	0,60	0,56	0,53	0,48	0,44	0,39	0,34	0,29
	15	0,60	0,57	0,54	0,50	0,46	0,42	0,37	0,33	0,28
	20	0,57	0,54	0,51	0,48	0,44	0,40	0,36	0,31	0,26
	25	0,54	0,52	0,49	0,45	0,42	0,38	0,34	0,30	0,25
	30	0,52	0,49	0,46	0,43	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24
	35	0,49	0,47	0,44	0,41	0,38	0,34	0,31	0,27	0,23
	40	0,47	0,44	0,42	0,39	0,36	0,33	0,29	0,26	0,22
	45	0,45	0,42	0,40	0,37	0,34	0,31	0,28	0,24	0,21

UEBER-KOPF-VERSCHATTUNG 45 GRAD										
		HORIZONT-VERSCHATTUNG (GRAD)								
		0-5	10	15	20	25	30	35	40	45
SEITEN-VERSCHATTUNG	0-5	0.35	0.32	0.28	0.24	0.20	0.16	0.11	0.05	0.00
	10	0.34	0.31	0.27	0.23	0.19	0.15	0.10	0.05	0.00
	15	0.32	0.29	0.26	0.22	0.18	0.14	0.10	0.05	0.00
	20	0.31	0.28	0.25	0.21	0.17	0.13	0.09	0.05	0.00
	25	0.29	0.26	0.23	0.20	0.17	0.13	0.09	0.05	0.00
	30	0.28	0.25	0.22	0.19	0.16	0.12	0.08	0.04	0.00
	35	0.26	0.24	0.21	0.18	0.15	0.12	0.08	0.04	0.00
	40	0.25	0.23	0.20	0.17	0.14	0.11	0.08	0.04	0.00
	45	0.24	0.22	0.19	0.17	0.14	0.11	0.07	0.04	0.00

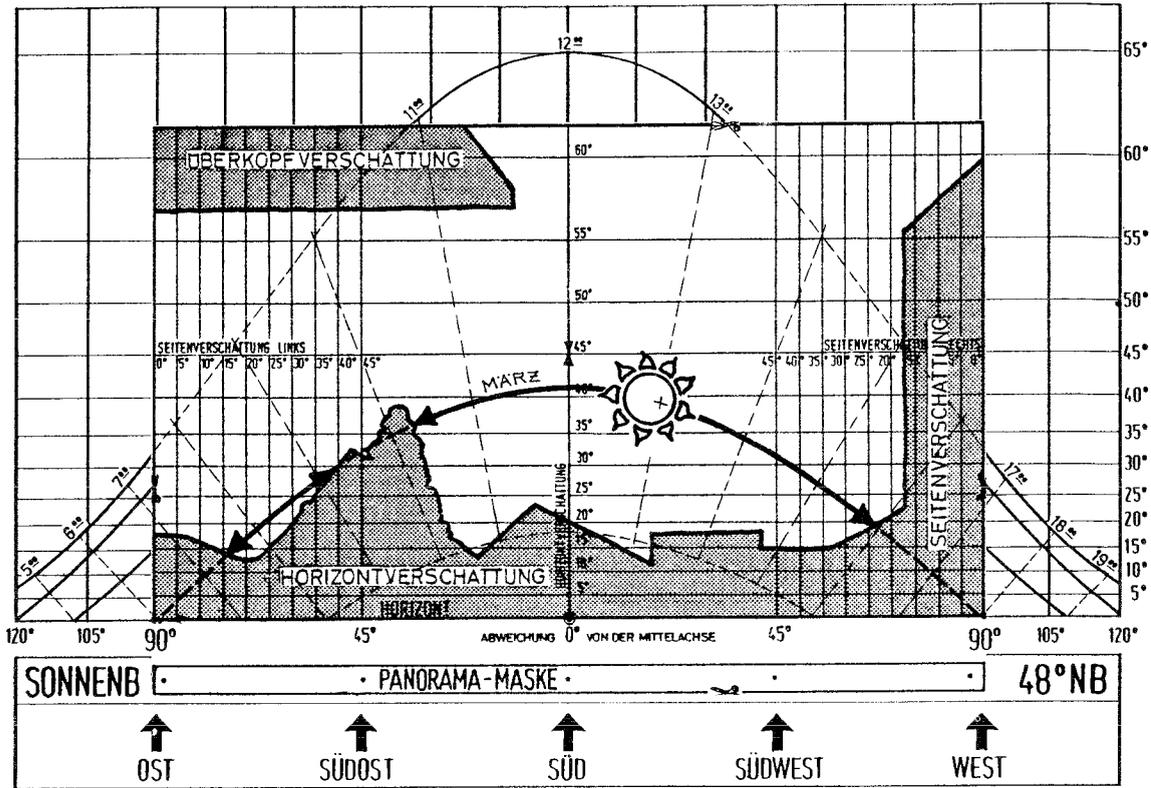
UEBER-KOPF-VERSCHATTUNG 40 GRAD										
		HORIZONT-VERSCHATTUNG (GRAD)								
		0-5	10	15	20	25	30	35	40	45
SEITEN-VERSCHATTUNG	0-5	0.41	0.38	0.34	0.30	0.26	0.21	0.16	0.11	0.06
	10	0.39	0.36	0.33	0.29	0.25	0.20	0.16	0.11	0.05
	15	0.37	0.34	0.31	0.27	0.24	0.19	0.15	0.10	0.05
	20	0.36	0.33	0.30	0.26	0.22	0.18	0.14	0.10	0.05
	25	0.34	0.31	0.28	0.25	0.21	0.18	0.13	0.09	0.05
	30	0.32	0.30	0.27	0.24	0.20	0.17	0.13	0.09	0.04
	35	0.31	0.28	0.25	0.23	0.19	0.16	0.12	0.08	0.04
	40	0.29	0.27	0.24	0.21	0.18	0.15	0.12	0.08	0.04
	45	0.28	0.26	0.23	0.20	0.18	0.14	0.11	0.08	0.04

UEBER-KOPF-VERSCHATTUNG 35 GRAD										
		HORIZONT-VERSCHATTUNG (GRAD)								
		0-5	10	15	20	25	30	35	40	45
SEITEN-VERSCHATTUNG	0-5	0.47	0.44	0.40	0.36	0.32	0.27	0.22	0.17	0.12
	10	0.45	0.42	0.38	0.34	0.30	0.26	0.21	0.16	0.11
	15	0.43	0.40	0.37	0.33	0.29	0.25	0.20	0.16	0.11
	20	0.41	0.38	0.35	0.31	0.28	0.24	0.19	0.15	0.10
	25	0.39	0.36	0.33	0.30	0.26	0.22	0.18	0.14	0.10
	30	0.37	0.34	0.31	0.28	0.25	0.21	0.17	0.13	0.09
	35	0.35	0.33	0.30	0.27	0.24	0.20	0.17	0.13	0.09
	40	0.33	0.31	0.28	0.26	0.23	0.19	0.16	0.12	0.08
	45	0.32	0.30	0.27	0.24	0.22	0.18	0.15	0.12	0.08

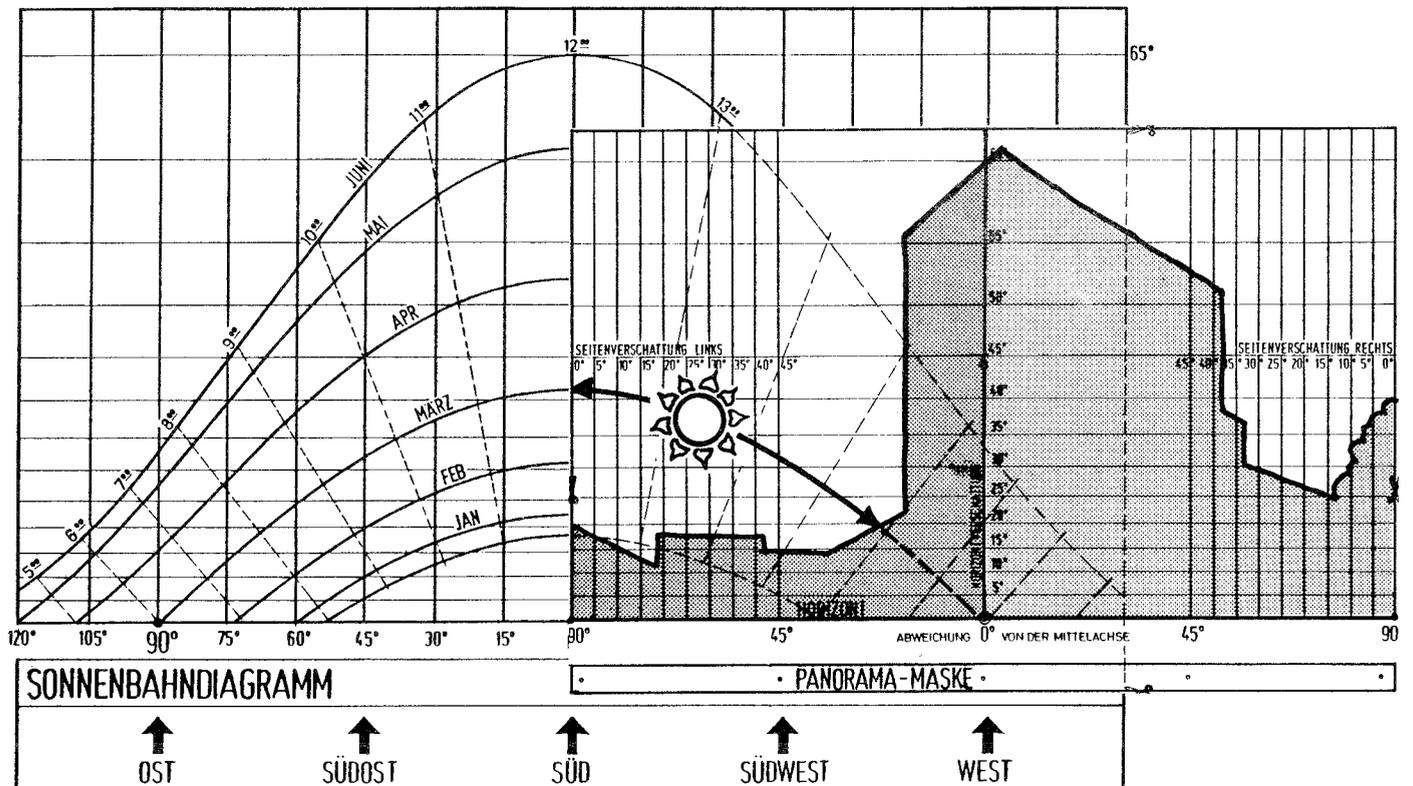
UEBER-KOPF-VERSCHATTUNG 30 GRAD										
		HORIZONT-VERSCHATTUNG (GRAD)								
		0-5	10	15	20	25	30	35	40	45
SEITEN-VERSCHATTUNG	0-5	0.53	0.50	0.46	0.42	0.38	0.33	0.28	0.23	0.18
	10	0.51	0.48	0.44	0.40	0.36	0.32	0.27	0.22	0.17
	15	0.48	0.45	0.42	0.38	0.35	0.30	0.26	0.21	0.16
	20	0.46	0.43	0.40	0.37	0.33	0.29	0.25	0.20	0.15
	25	0.44	0.41	0.38	0.35	0.31	0.27	0.23	0.19	0.15
	30	0.42	0.39	0.36	0.33	0.30	0.26	0.22	0.18	0.14
	35	0.40	0.37	0.34	0.32	0.28	0.25	0.21	0.17	0.13
	40	0.38	0.35	0.33	0.30	0.27	0.24	0.20	0.16	0.13
	45	0.36	0.34	0.31	0.29	0.26	0.23	0.19	0.16	0.12

UEBER-KOPF-VERSCHATTUNG 25 GRAD										
		HORIZONT-VERSCHATTUNG (GRAD)								
		0-5	10	15	20	25	30	35	40	45
SEITEN-VERSCHATTUNG	0-5	0.59	0.56	0.53	0.49	0.44	0.40	0.35	0.30	0.24
	10	0.57	0.54	0.50	0.46	0.42	0.38	0.33	0.28	0.23
	15	0.54	0.51	0.48	0.44	0.40	0.36	0.32	0.27	0.22
	20	0.52	0.49	0.46	0.42	0.38	0.34	0.30	0.26	0.21
	25	0.49	0.46	0.43	0.40	0.37	0.33	0.29	0.24	0.20
	30	0.47	0.44	0.41	0.38	0.35	0.31	0.27	0.23	0.19
	35	0.44	0.42	0.39	0.36	0.33	0.30	0.26	0.22	0.18
	40	0.42	0.40	0.37	0.34	0.31	0.28	0.25	0.21	0.17
	45	0.40	0.38	0.36	0.33	0.30	0.27	0.23	0.20	0.16

Zur Berechnung des Verschattungsfaktors für Direktstrahlung wird die Panorama-Maske so auf das für den Standort zutreffende Sonnenbahndiagramm gelegt, daß die Horizontlinien sich decken, und die Orientierung übereinstimmt: Bei Süd-fenstern liegen beide Blätter mit ihrer Mittelachse über-einander.



Bei Abweichung des Fensters von der Südrichtung muß die Panorama-Maske soweit seitlich verschoben werden, bis ihre Mittelachse über dem entsprechenden Himmelsrichtungspfeil des Sonnenbahndiagramms liegt.



Sofern weit auskragende Bauteile eine Überkopf-Verschattung auch für die winterliche Direktstrahlung verursachen, muß diese Überkopf-Verschattungskontur nachträglich in die Panorama-Maske eingetragen werden.

Die Länge der unverschatteten Sonnenbahn ist für jeden Monat auszurechnen und durch die Gesamtlänge der Sonnenbahn (von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang) zu dividieren. Dieses Verhältnis ergibt den monatlichen Wertfaktor für die direkte Sonnenstrahlung.

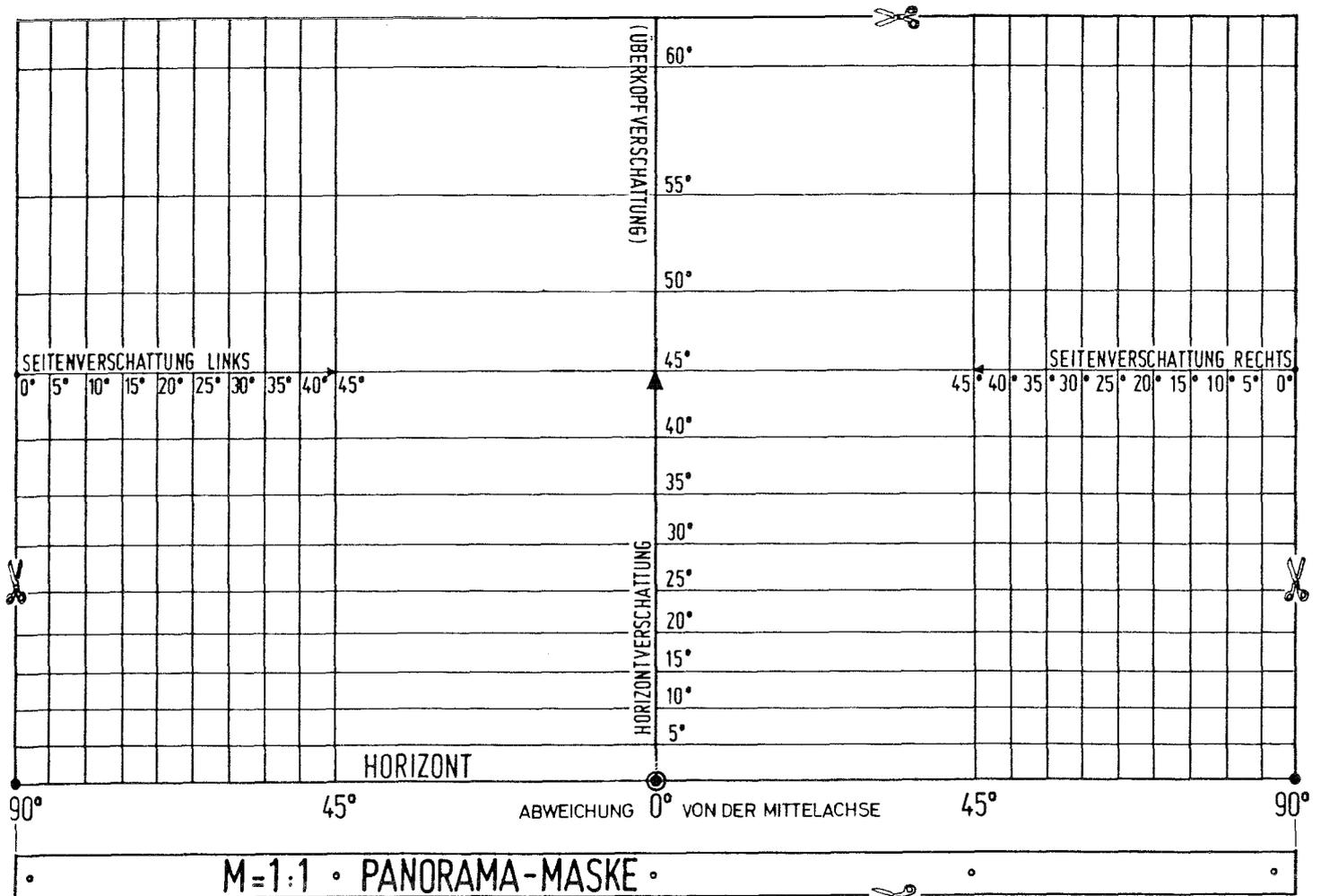
Beispiel (für März, entsprechend dem Bild):

$$\frac{\text{Dauer der unverschatteten Sonnenscheinstunden}}{\text{Gesamtdauer der Sonnenscheinstunden}} = \frac{7,6}{12} = 0,63$$

Dieser Wertfaktor wird in Spalte 4 der Tabelle "Ermittlung des Gesamtverschattungsfaktors" eingetragen.

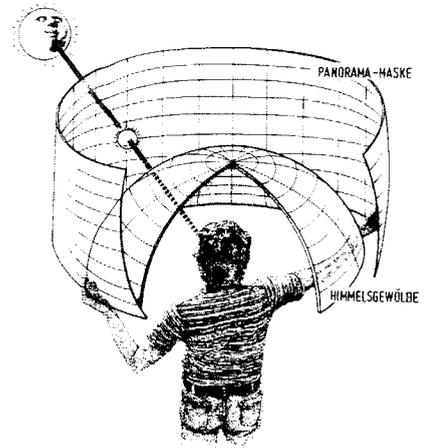
Für dieses Verfahren müssen Panoramaskop und Sonnenbahndiagramm die gleichen Größenmaßstäbe haben. Die auf den folgenden Seiten abgebildeten Sonnenbahndiagramme umfassen einen Azimutbereich von je 120° über Osten und Westen und sind damit breiter als die Panoramaskope mit ihrem Azimutpektrum von je 90°.

Die Panorama-Maske kann - wegen der optischen und handlichen Brauchbarkeit - nicht kleiner sein als in der auf S. 68 abgebildeten Originalgröße. Die Sonnenbahndiagramme (S. 77-80) sind damit zu klein für die Kombination mit der Panorama-Maske. Daher muss zur Ermittlung der Sonnenbahnverschattung entweder die Panorama-Maske auf 71 % verkleinert, oder das Sonnenbahndiagramm auf 140 % vergrößert werden. Die entsprechend verkleinerte Panorama-Maske geben wir im folgenden wieder:

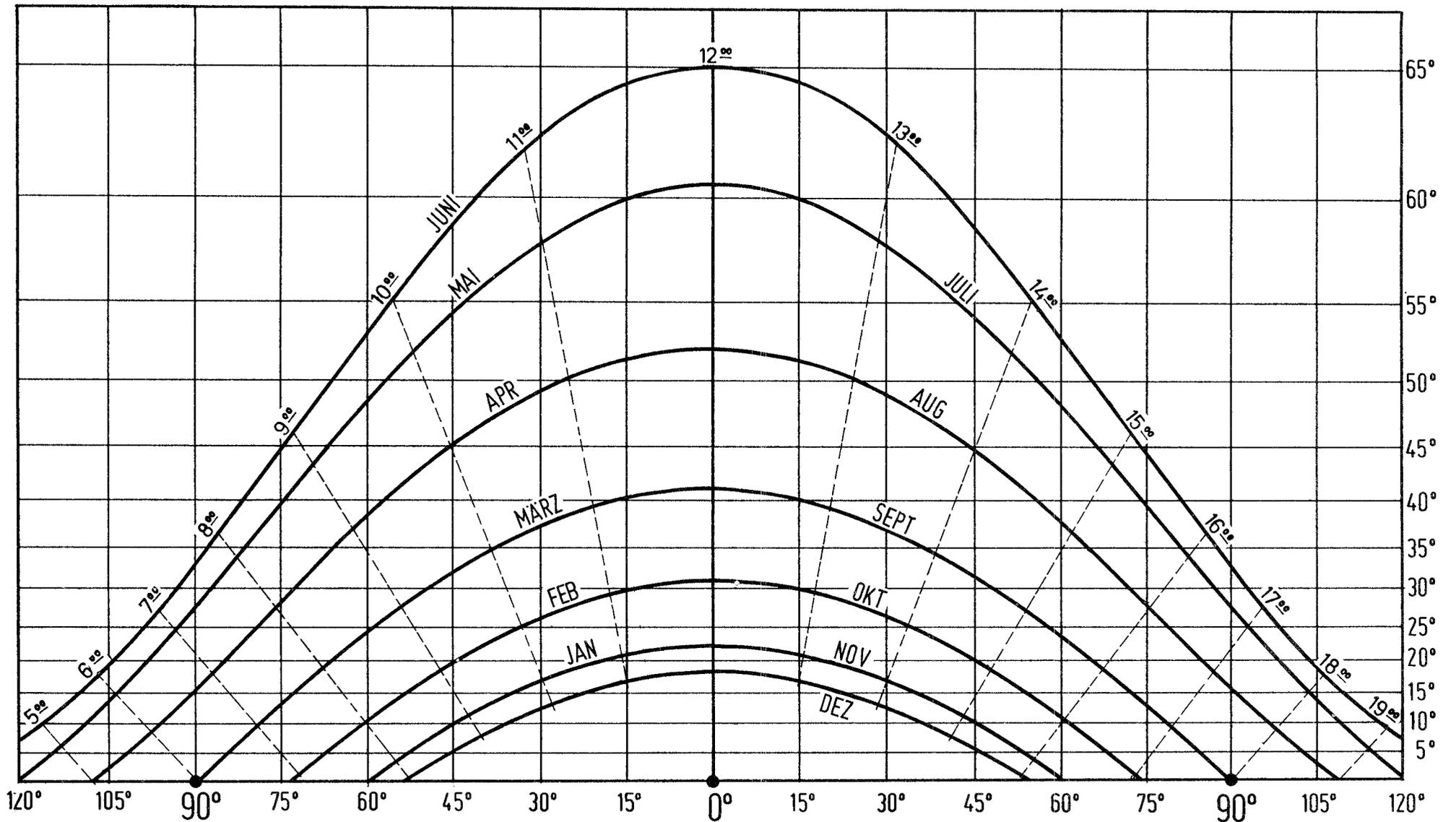


Die folgenden Sonnenbahndiagramme basieren auf Angaben von E. Mazria (Quelle 15). Die Form der Sonnenbahnlinsen ergibt sich aus der Projektion des kugelförmigen Himmelsgewölbes auf die wie die Panorama-Maske nur in einer Ebene gekrümmten Sonnenbahndiagramme.

Die angegebenen Sonnenbahnlinsen gelten jeweils für den 21. ten jeden Monats.



Wohnhausgruppe in Jönköping/Schweden
1981, Entwurf: Hidemark/Danielson,
(Quelle 44)



SONNENBAHNDIAGRAMM

48° NB



OST



SÜDOST



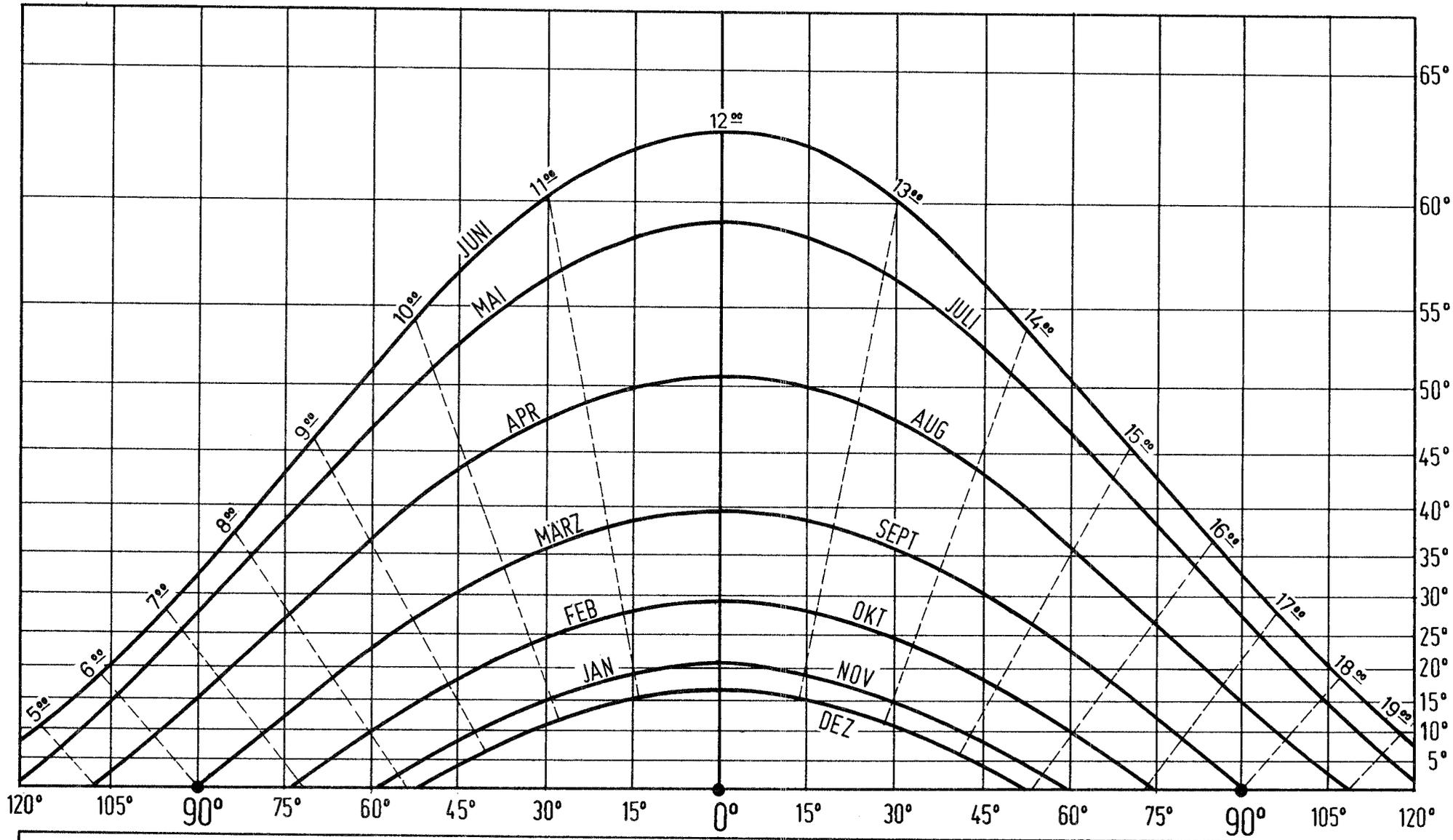
SÜD



SÜDWEST



WEST



SONNENBAHNDIAGRAMM

50°NB

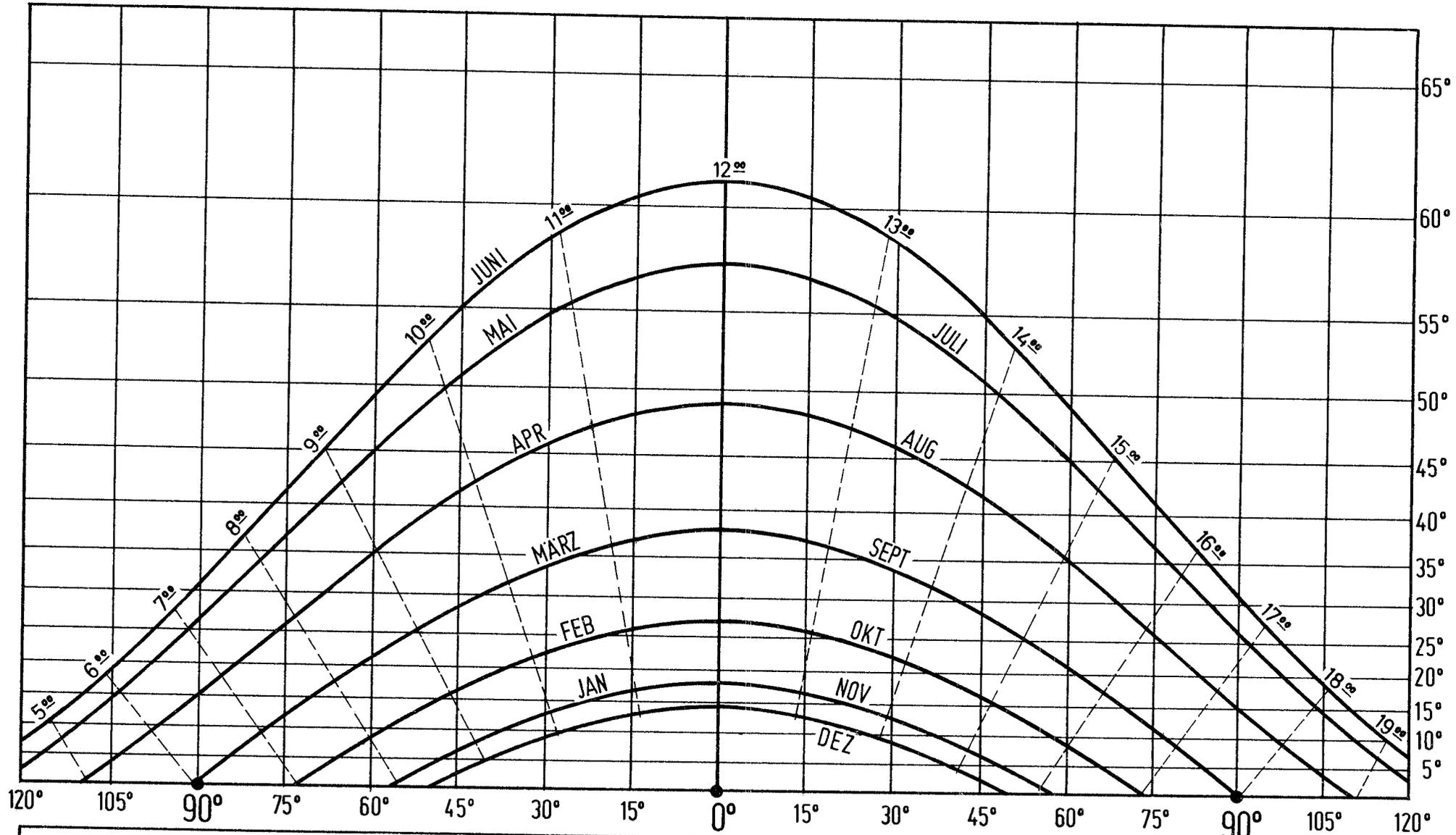
↑
OST

↑
SÜDOST

↑
SÜD

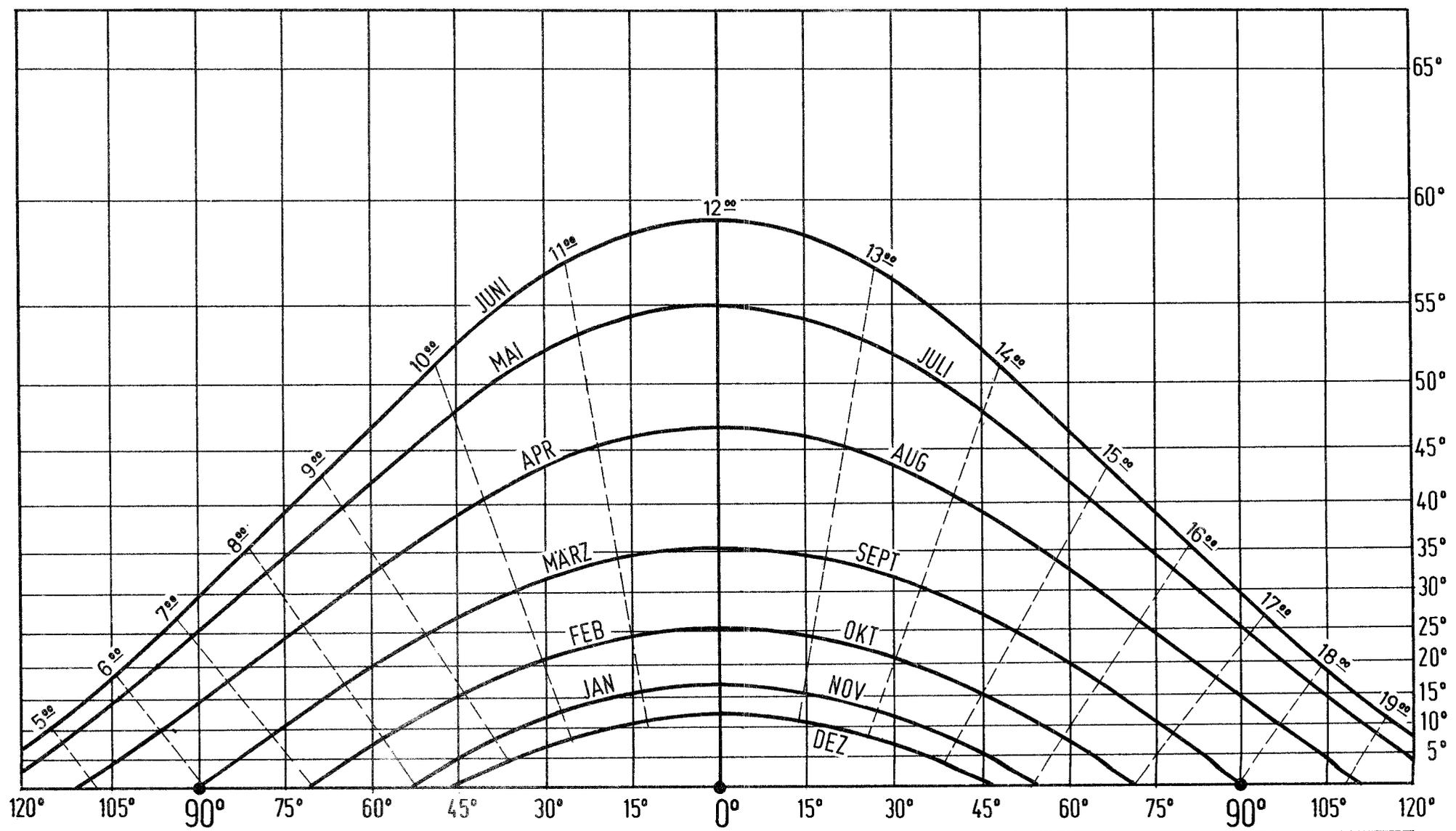
↑
SÜDWEST

↑
WEST



SONNENBAHNDIAGRAM **52°NB**

↑ OST ↑ SÜDOST ↑ SÜD ↑ SÜDWEST ↑ WEST



SONNENBAHNDIAGRAM **54° NB**



DIE ERMITTLUNG DES GESAMTVERSCHATTUNGSFAKTORS

Die in die Spalten 1 und 4 eingetragenen Wertfaktoren für die Verschattung der diffusen und direkten Strahlung sind mit den jeweiligen Anteilen der Diffus- und Direktstrahlung an der Gesamtstrahlung auf die vertikale Fensterfläche zu multiplizieren. Die Diffusanteile sind für 5 Himmelsrichtungen der folgenden Tabelle zu entnehmen; die Direktanteile ergeben sich aus der Differenz zu 100.

Anmerkung:

Bei der Berechnung der Verschattung bleibt die mögliche Reflexion durch gegenüberstehende Gebäude unberücksichtigt.

	Süd		Südost/Südwest		Ost/West	
	Nord-D.	Süd-D.	Nord-D.	Süd-D.	Nord-D.	Süd-D.
SEP	33	32	35	32	48	42
OKT	25	27	33	34	54	54
NOV	20	22	29	31	64	61
DEZ	28	25	39	36	82	70
JAN	22	26	31	36	71	66
FEB	22	21	30	28	53	48
MAR	36	36	40	39	55	52
APR	45	50	41	42	47	47
MAI	59	69	45	48	43	43

Die mittleren monatlichen Anteile der Diffusstrahlung an der Strahlung auf vertikale Flächen während der Heizperiode für Nord- und Süddeutschland.

Die Strahlungsanteile für das Fenster der jeweiligen Himmelsrichtung werden in die Spalten 2 und 5 eingetragen und daraus die Verschattungsfaktoren für die Diffus- und die Direktstrahlung (Spalten 3 und 6) errechnet. Beide zusammen ergeben den Gesamtverschattungsfaktor (in Spalte 7).

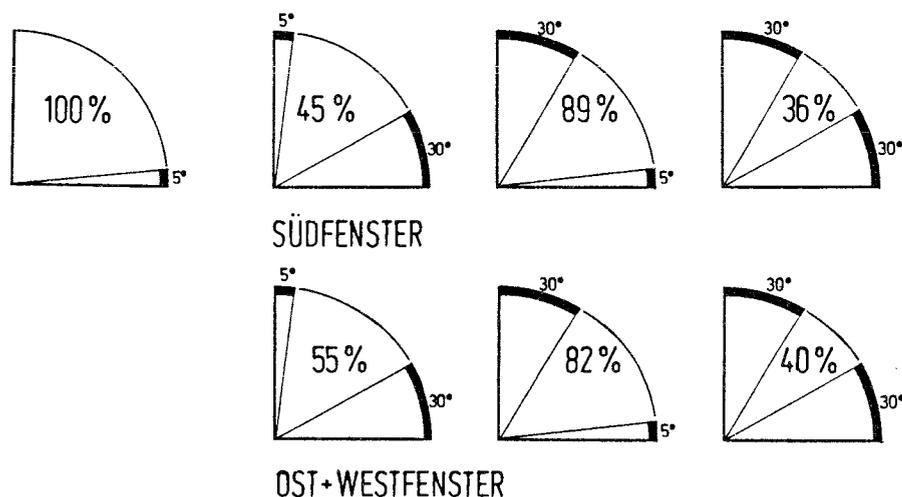
MONAT	VERSCHATTUNGSFAKTOR FÜR DIE DIFFUSSTRAHLUNG			+ VERSCHATTUNGSFAKTOR FÜR DIE DIREKTSTRAHLUNG			= GESAMTFAKTOR
	1	2	3	4	5	6	
	WERTFAKTOR diffus	STRAHLUNGS- ANTEIL \varnothing	= V-diffus	WERTFAKTOR direkt	STRAHLUNGS- ANTEIL \varnothing	= V-direkt	V-diffus+direkt
OKT	"						
NOV	"						
DEZ	"						
JAN	"						
FEB	"						
MÄRZ	"						
APR	"						
	"						

Zur Ermittlung der Verschattung von Nordfenstern ist allein der Rechengang für die Diffusstrahlung nötig. Der diffuse Strahlungsanteil beträgt dann immer 100 % und der Verschattungsfaktor ist für alle Monate gleich.

VERGLEICH VERSCHIEDENER VERSCHATTUNGSFORMEN

Überkopf- Verschattung (in Grad)	Horizont- Verschattung (in Grad)	Südfenster		Ost/Westfenster	
		48°	54°	48°	54°
0°	5°	100 %	100 %	100 %	100 %
0	15	87	78	81	79
0	30	52	47	58	58
5	5	98	98	97	97
5	15	85	76	78	76
5	30	45	45	55	54
15	5	94	94	91	90
15	15	81	72	72	69
15	30	47	41	49	48
30	5	89	89	82	81
30	15	76	67	63	60
30	30	41	36	40	39

Verminderung der Sonnenstrahlung auf vertikale Fensterflächen unterschiedlicher Himmelsrichtungen durch Horizont- und Überkopf-Verschattung. Vergleich der Strahlungssummen der 7-Monate-Heizperiode (in %) für den 48. und 54. Breitengrad.



Vergleich der Strahlungsanteile (in %), auf die sich die Strahlung auf vertikale Flächen infolge verschiedener Horizont- und Überkopf-Verschattung reduziert (Bezogen auf die Strahlungssummen der 7-Monate-Heizperiode, Mittelwerte für den 51° NB).

Aus diesen Bildern geht hervor, daß für die Heizperiode die Strahlungsminderung durch Horizontverschattung weitaus gravierender ist als durch Überkopfverschattung.

Horizont- Verschattung	Südfenster			Ost/Westfenster			Nordfenster		
	90°	60°	30°	90°	60°	30°	90°	60°	30°
5°	100 %	126	126	100 %	133	152	100 %	134	172
15°	100 %	129	135	100 %	138	168	100 %	132	168
30°	100 %	135	153	100 %	138	173	100 %	128	160

Verbesserung der Strahlung (Summen der 7-Monate-Heizperiode) durch Neigung der Kollektorflächen unterschiedlicher Himmelsrichtung bei verschiedenen Horizontverschattungen in % (Daten für den 51° NB, für die anderen Breitengrade der Bundesrepublik sind die Abweichungen von diesen Werten gering).

2.4 DIE REFLEXION DER UMGEBUNG

Je nach Reflexionswert kann die Bodenfläche und die übrige Umgebung vor einem Fenster die Sonneneinstrahlung mehr oder weniger verstärken. In den vorher dargestellten Korrekturfaktoren für Richtung und Neigung von Kollektorflächen ist eine Bodenreflexion mit dem Faktor 0,2 bereits enthalten.

Es ist also nur in besonderen Situationen z.B. an Standorten mit schneereichen Wintern nötig, einen speziellen Korrekturfaktor für Reflexion in die Berechnung der monatlichen Einstrahlungen mit einzubeziehen. Dies geschieht auf folgende Weise (Beispiel):

Reflexionswerte einiger Bodenoberflächen

Wasserfläche	ca. 10 %
Grünflächen	15 - 30 %
Sandboden	15 - 40 %
Ziegelboden	ca. 30 %
Schneedecke neu	80 - 90 %
Schneedecke alt	40 - 70 %

Der mittlere Reflexionswert von Neu- und Altschnee wird mit 70% (=0,7) angenommen. Hiervon wird der bereits in den Richtungs- und Neigungskorrekturfaktoren enthaltene Wert von 0,2 abgezogen: $0,7 - 0,2 = 0,5$. Für diesen Reflexionswert wird der Reflexionsfaktor nach der im Kapitel 4.5 angegebenen Methode berechnet. Die gleiche Rechnung ist durchzuführen bei der Verwendung spezieller Reflektoren vor Fensterflächen.

ANMERKUNG ZUR LUFTTRÜBUNG

Die Lufttrübung ist in den Meßwerten der Globalstrahlung enthalten. Sie braucht daher bei Bauplätzen mit gleichen Luftverhältnissen wie die Orte, für die die Globalstrahlungswerte angegeben sind, nicht besonders berücksichtigt werden.

Für die Meßstationen des Deutschen Wetterdienstes werden drei Trübungsklassen unterschieden:

Norderney	1
Hamburg	3
Berlin	3
Braunschweig	3
Braunlage	2
Würzburg	2
Trier	2
Weihenstephan	2
Hohenpeissenberg	1

Großflächige Globalstrahlungsangaben -wie in den Isokarten der Globalstrahlung- aber können sich zugleich auf Orte mit unterschiedlichen Lufttrübungen beziehen (Stadt-Land-Industriegebiet-Höhenlage-Flußniederungen).

In diesen Fällen müßten die Globalstrahlungsangaben mit einem lokalen Trübungsfaktor nach unten oder oben korrigiert werden.

Solche Trübungsfaktoren sind bisher aber nicht bekannt. Es muß daher dem Benutzer selbst überlassen bleiben, eventuell gravierend lokale Trübungsbesonderheiten nach eigener Erfahrung zur Korrektur der Globalstrahlungswerte einzusetzen (z.B. $G \times 0,9$ oder $G \times 1,0$).

(Für den wolkenlosen Himmel gibt die VDI-Richtlinie 2078 als Korrekturfaktoren gegenüber mittleren Lufttrübungsverhältnissen an: für reine Atmosphäre = 1,15 / für Industrieatmosphäre = 0,87.)

2.5 GLAS UND FENSTER

DER GLASFLÄCHENANTEIL

Von den Rohbaulichten der Fenster wird der Flächenanteil abgezogen, der durch Rahmen und Sprossen gebildet wird (z.B. 20 %). Die Differenz ergibt die Glasfläche der Fenster. Die Glasfläche geteilt durch die Rohbaulichte ergibt den Glasflächenanteil des einzelnen Fensters. Ein Beispiel:

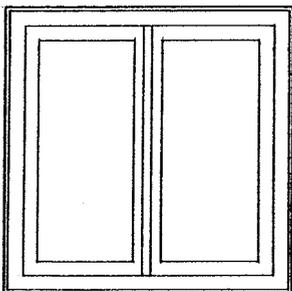
	Fenster 1	Fenster 2
Rohbaulichte	1,0x1,0 = 1,0 qm	2,0x2,0 = 4,0 qm
Rahmenfläche	- 0,3 qm	- 0,8 qm
Glasfläche	= 0,7 qm	= 3,2 qm
Glasflächenanteil	= 0,7	= 0,8

Um den Glasflächenanteil für alle Fenster einer Fenstergruppe (siehe Kapitel 2.6) zu bestimmen, werden alle Rohbaulichten und alle Glasflächen getrennt addiert. Dann wird die Gesamtglasfläche durch die Gesamtrohbaulichte geteilt. Daraus ergibt sich der Glasflächenanteil der Fenstergruppe. Ein Beispiel:

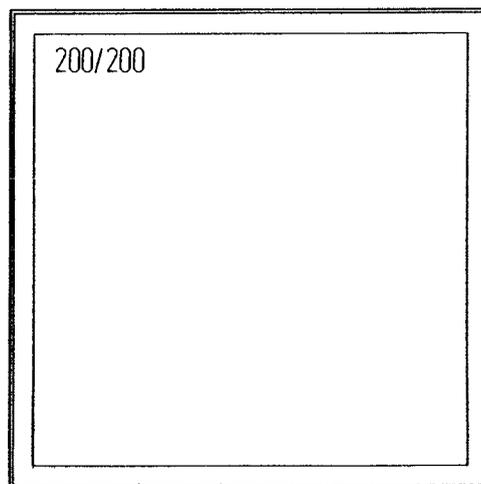
	Glasfläche	Rohbaulichte	
Fenster 1	0,7 qm	1,0 qm	
Fenster 2	+ 3,2 qm	+ 4,0 qm	
Fenstergruppe	= 3,9 qm	= 5,0 qm	
Glasflächenanteil	= 3,9	: 5,0	= 0,78 =====

GLASFLÄCHENANTEIL gf
(=ROHBAULICHTE-RAHMENFLÄCHE)

120/120



$gf = 50\%$



$gf = 80\%$

Der Glasflächenanteil zweier Fenster im Vergleich.

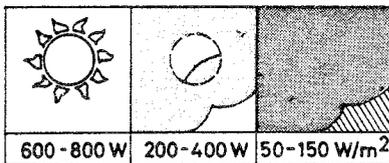
Fensterbauart	Beurteilungs-Kriterium	Größe des Fensters oder der Fenstertür (Rohbauöffnungen) in m ²								
		0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00	5,00	6,00
1 	Glasflächenanteil		0,50	0,55	0,57	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68
	Fugenlänge m/m ²		4,60	3,80	3,30	2,90	2,60	2,40	2,20	2,00
2 	Glasflächenanteil	0,50	0,57	0,60	0,63	0,65	0,67	0,68	0,70	0,73
	Fugenlänge m/m ²	4,70	3,70	3,20	2,80	2,50	2,20	1,90	1,70	1,60
3 	Glasflächenanteil			0,56	0,58	0,61	0,62	0,65	0,68	0,70
	Fugenlänge m/m ²			2,20	1,90	1,70	1,60	1,40	1,30	1,20
4 	Glasflächenanteil			0,58	0,62	0,64	0,56	0,68	0,70	0,72
	Fugenlänge m/m ²			1,80	1,60	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00
5 	Glasflächenanteil			0,56	0,58	0,60	0,61	0,62		
	Fugenlänge m/m ²			4,10	3,70	3,30	3,00	2,70		

Glasflächenanteil verschiedener Fensterbauarten (Quelle 70).

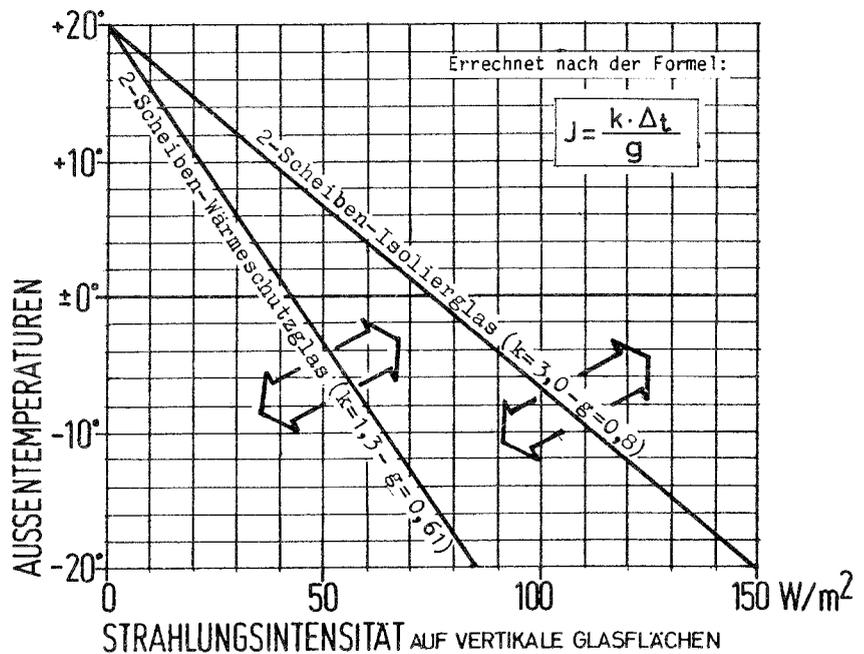
DER GESAMTENERGIEDURCHLASSGRAD

Der Gesamtenergiedurchlassgrad (g) bezeichnet das Maß der durch eine Glasscheibe hindurchdringenden Sonnenenergie, zusammengesetzt aus direkter kurzwelliger Einstrahlung und dem durch die teilweise Strahlungsabsorption der Glasscheibe entstandenen, nach innen gerichteten Teil der Wärmestrahlung. Die folgende Tabelle zeigt einige Werte (nach DIN 4108):

1-Scheiben-Glas	0,9
2-Scheiben-Doppelglas	0,8
2-Scheiben-Isolierglas	0,8
3-Scheiben-Isolierglas	0,7



Strahlungsintensität auf horizontale Flächen.



Die Kennlinien geben an, bei welchem Verhältnis von Außentemperatur und Strahlungsintensität keine Wärmeflüsse (Verluste oder Gewinne) durch das Glas stattfinden. Bei geringerer Einstrahlung oder tieferen Außentemperaturen geht durch das Glas Wärme verloren, bei stärkeren Einstrahlungen wird das Glas zum "Sonnenkollektor". (Temperatur im Innenraum 20°C. Quelle 26).

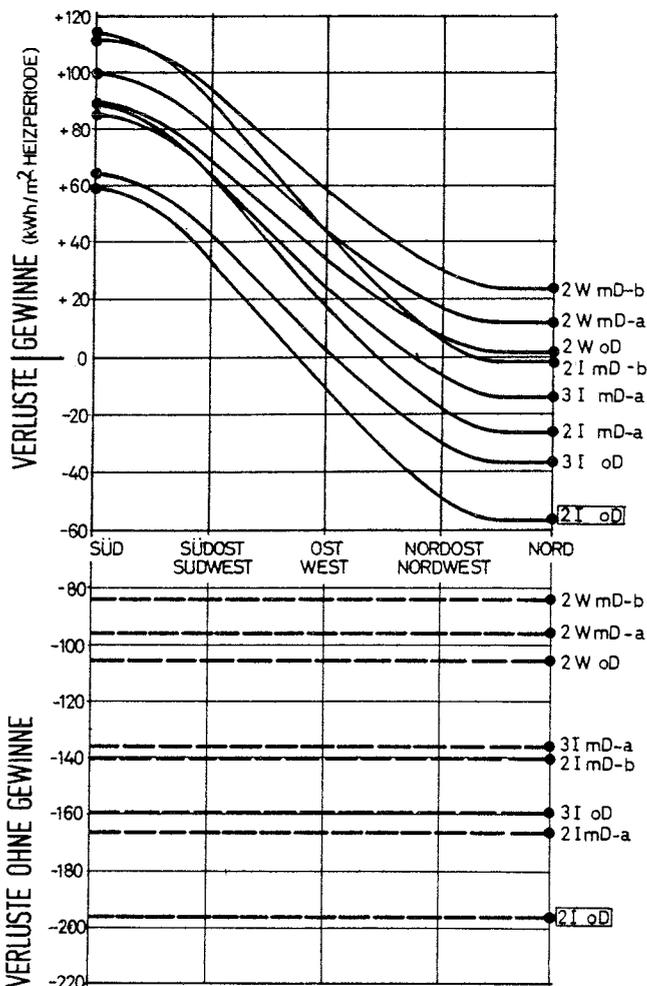
Aus dem Bild lässt sich u.a. ablesen, dass 2-Scheiben-Isoliertglas bei einer Aussentemperatur von 0° und Strahlungsin-
tensität von 75 W/m² also bei voll bedecktem Himmel bereits
Wärmegewinne erzielt.

WÄRMEBILANZEN VON GLÄSERN

Vergleicht man die Bilanzen von Einstrahlungen und Transmis-
sionswärmeverlusten verschiedener Glasarten über die Dauer
der Heizperiode (HP) bei unverschatteter Lage und einer mitt-
leren Innentemperatur von 19°, so ergibt sich folgendes Bild
(Werte in kWh/m² HP):

VERGLASUNGSART			HIMMELSRICHTUNG						
			g	k _m W/qmK	Süd	Südost Südwest	Ost West	Nordost Nordwest	Nord
1.	2-Scheiben-Isoliertglas	(2I) oD	0.8	2.6	+ 59	+ 34	- 12	- 48	- 57
2.	2-Scheiben-Wärmeschutzglas	(2W) oD	0.61	1.4	+ 89	+ 70	+ 35	+ 7	+ 1
3.	3-Scheiben-Isoliertglas	(3I) oD	0.7	2.1	+ 65	+ 43	+ 3	- 29	- 37
4.	2-Scheiben-Isoliertglas	(2I) mD-a	0.8	2.2	+ 89	+ 64	+ 18	- 18	- 27
5.	2-Scheiben-Wärmeschutzglas	(2W) mD-a	0.61	1.26	+ 100	+ 80	+ 46	+ 18	+ 12
6.	3-Scheiben-Isoliertglas	(3I) mD-a	0.7	1.81	+ 87	+ 65	+ 25	- 7	- 14
7.	2-Scheiben-Isoliertglas	(2I) mD-b	0.8	1.86	+ 115	+ 90	+ 44	+ 8	- 1
8.	2-Scheiben-Wärmeschutzglas	(2W) mD-b	0.61	1.09	+ 113	+ 94	+ 59	+ 31	+ 24

- + = Wärmegewinne
- = Wärmeverluste
- oD = ohne Nachtdämmung
- mD = mit Nachtdämmung (10 Std. geschlossen)
- a = Rollladenqualität
- b = Klappladenqualität



BILANZ DER EINSTRALUNGSGEWINNE UND DER
TRANSMISSIONSWÄRMEVERLUSTE VON FENSTERN
IN DER HEIZPERIODE (OKT-APR)

Bilanz der Einstrahlungsgewinne und
der Transmissionswärmeverluste - ver-
glichen mit den reinen Verlusten
verschiedener Verglasungsarten.

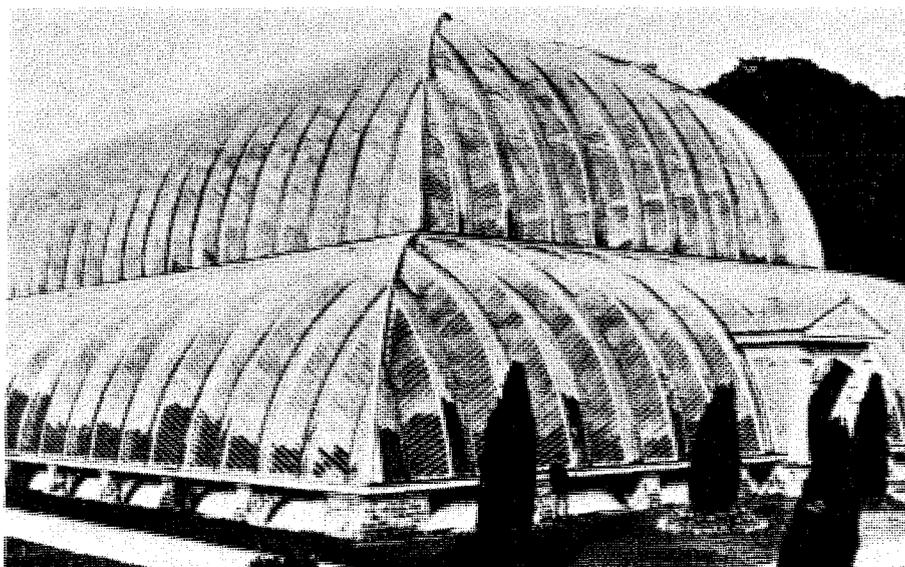
(Darstellung der Untersuchungsparameter siehe Anhang 6.2)

Tabelle und Grafik zeigen die Überlegenheit des Wärmeschutzglases über die normale 2- oder 3-Scheiben-Isolierverglasung, (wobei die letztere mit dem Wärmeschutzglas zur Zeit in etwa preisgleich ist.) Es zeigt sich auch, dass selbst auf der Nordseite positive Glasbilanzen entstehen können (Wärmeschutzglas) - eine unverschattete Lage und ein günstiges Klima vorausgesetzt.

Bei diesen Wärmebilanzen sind die Lüftungswärmeverluste und die Transmissionswärmeverluste durch die übrigen Flächen des Raumes nicht berücksichtigt! Daher können aus diesen Vergleichswerten keine Folgerungen für die Verwendung bestimmter Glasarten oder optimale Fensterflächenanteile abgeleitet werden. Diese sind erst aus dem Verhältnis der wirklich nutzbaren Strahlungswärmegewinne zum Wärmebedarf des Raumes oder Hauses bestimmbar.

Anmerkung:

Bei den derzeit im Handel befindlichen Gläsern wird ein abnehmender Wärmedurchgangskoeffizient (k-Wert) durch den zugleich abnehmenden Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) allerdings zum grossen Teil kompensiert, wenn man die Jahresbilanz der Gläser betrachtet (Quelle 72). Aus diesem Grund wird an der Entwicklung von Gläsern gearbeitet, die einen höheren Strahlungsdurchgang (zB. durch Entspiegelung und verringerter Absorption) mit einem reduzierten Wärmedurchgang (zB. durch Folienbeschichtung und Schwer gasfüllung) verbinden.



2.6 DIE BERECHNUNG DER MONATLICHEN SONNENEINSTRahlung INS HAUS

Mithilfe der nachfolgenden Tabelle, in die alle in den Kap. 2.1 bis 2.5 ermittelten Einflussfaktoren eingetragen werden, werden die monatlichen Einstrahlungen ins Haus berechnet.

Zunächst werden aus den vorhandenen Unterlagen im Kap 2.1 die Tagessummen der Globalstrahlung in Spalte 1 eingetragen, mit der Anzahl der Tage pro Monat (Spalte 2) multipliziert und ergeben so die Monatssummen der Globalstrahlung (pro m^2 horizontale Fläche) (Spalte 3).

Hierbei können Fenster, die die gleiche Himmelrichtung und Neigung, die gleiche Verschattung und Reflexion, sowie die gleiche Verglasungsart aufweisen, in einer Fenstergruppe zusammengefasst werden. Für jede Fenstergruppe wird die Berechnung mit einer gesonderten Tabelle durchgeführt. Die Flächen von Sonnenfenstern, Sonnenwänden, Glasvorbauten usw. dürfen nicht zu einer Fenstergruppe zusammengefasst werden, da ihre Ausnutzung (siehe Kap.3.1) unterschiedlich ist.

Für jede Fenstergruppe wird nun aus den Tabellen im Kap 2.2 der entsprechende monatliche Korrekturfaktor für Richtung und Neigung ermittelt und in Spalte 4 eingetragen.

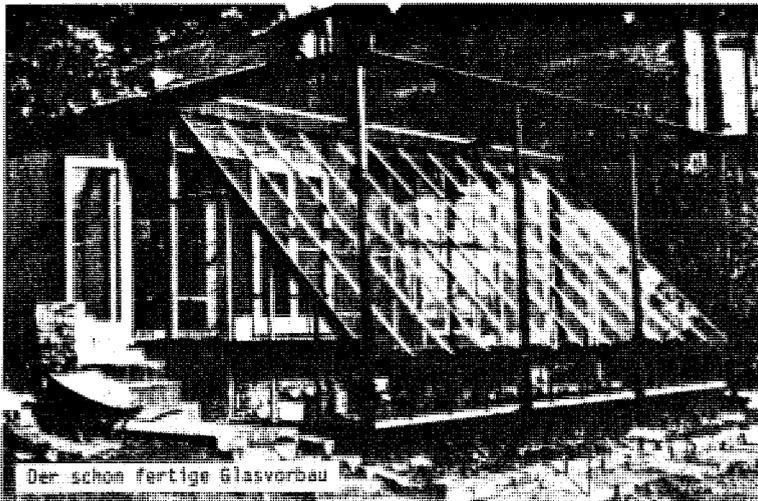
Der Verschattungsfaktor wird nach Kap.2.3 berechnet und in Spalte 5, der Reflexionsfaktor ggf. (nach Kap.2.4 und 4.5) in Spalte 6 eingetragen.

Der nach Kap 2.5 bestimmte Glasflächenanteil wird in Spalte 7 und der Gesamtenergiedurchlassgrad wird in Spalte 8 eingetragen.

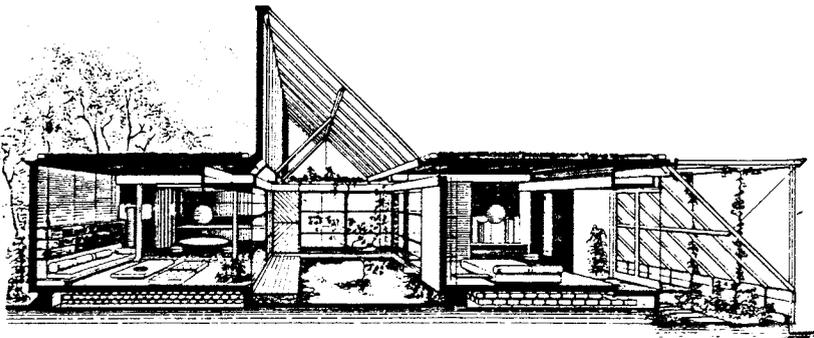
In die Spalte 9 werden die Flächen der Einzelfenster, der Fenstergruppen bzw. die Kollektorflächen von Sonnenwänden oder Luftkollektoren eingesetzt.

Aus der Multiplikation der Globalstrahlung mit den verschiedenen Korrekturfaktoren ergeben sich die monatlichen Einstrahlungssummen (Spalte 10). Die Addition aller Monatswerte einer Tabelle ergibt die Gesamteinstrahlung eines Fensters oder einer Fenstergruppe während der Heizperiode. Die Addition aller Fensterbzw.Fenstergruppenwerte für jeden Monat ergibt die monatliche Gesamteinstrahlung ins Haus.

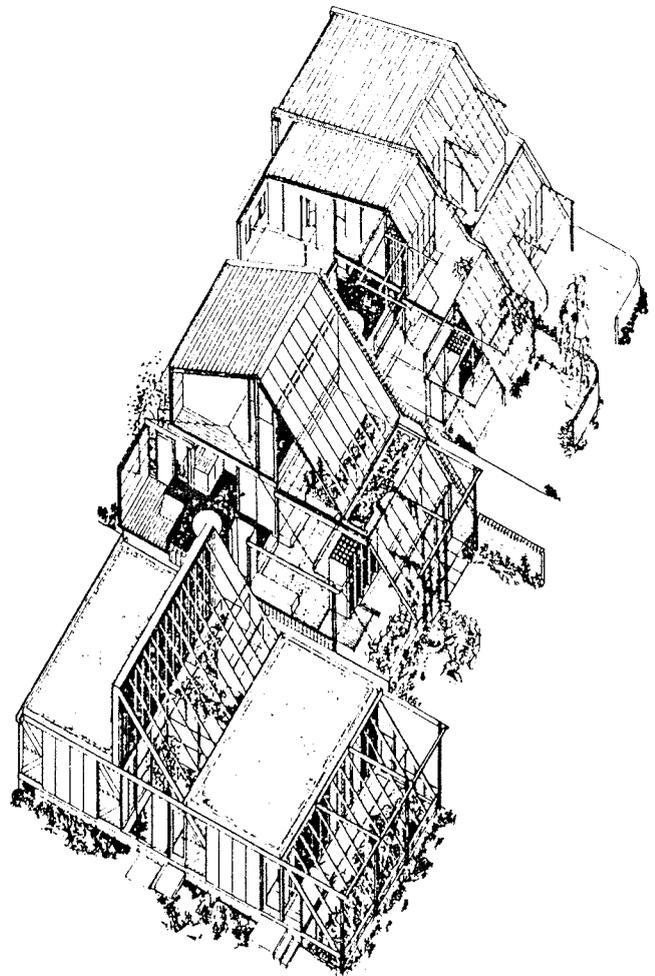
S.H.E.D. SOLARVERSUCHSHAUS DER UNIVERSITÄT SHEFFIELD/UK
(Entwurf C.Green)



Dieses Gebäude wurde vor allem zur praktischen Untersuchung verschiedener Speicherarten gebaut. Für die Erweiterung ist eine zweite Raumzeile vorgesehen, die über eine grosse Oberlichtglasfläche besonnt wird. So entsteht eine Pufferzone im Zentrum des Hauses. Diese ist thermisch dann zweckmässig, wenn diese Pufferzone über die Heizzeit eine positive Wärme bilanz aufweist.



Geplante Erweiterung (Stufe 1)



Geplante Erweiterung (Stufe 2)

3. KOLLEKTOR + SPEICHER- SYSTEME

DER PASSIVEN SONNENENERGIENUTZUNG

3.1

SONNENFENSTER UND SONNENRAUM

Die Nutzung normaler Fenster und Räume als Kollektor- und Speichersysteme ist die naheliegendste und einfachste Form passiver Sonnenenergienutzung.

Wir haben bereits über die Ursachen gesprochen, die die Menge der Einstrahlungen in Haus und Raum beeinflussen. Was uns hier interessiert, ist die Ausnutzung der Einstrahlung im Raum.

Die Ausnutzung der Sonnenenergie beschreibt den Anteil der unmittelbar im Sonnenraum nutzbaren Einstrahlungen und wird gekennzeichnet mit dem Ausnutzungsfaktor (w). Sie wird in starkem Maße von den Entscheidungen der Bauplanung mitbestimmt.

Je nach Himmelsrichtung des Fensters, nach Jahres- und Tageszeit und dem Bewölkungsgrad sowie der Aussentemperatur, der Fenstergröße und der thermischen Stabilität eines Raumes erzeugt die Sonneneinstrahlung im Innenraum Wärme unterschiedlicher und wechselnder Temperatur. Es gibt Räume, für welche diese Schwankungen solarer Wärmeangebote akzeptiert werden können.

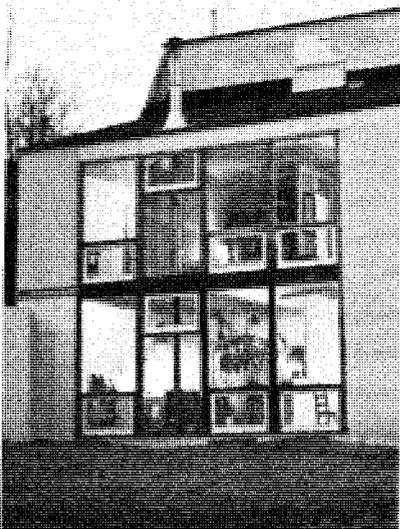
Für Aufenthaltsräume schränken die engen Grenzen der Behaglichkeit den tolerierbaren Umfang von Temperaturschwankungen auf den Bereich um 20° (z.B. zwischen $18-24^\circ$) ein. Reicht die Sonneneinstrahlung nicht aus, wird zugeheizt, liefert die Sonne aber bei wolkenlosem Himmel ein Wärmeangebot, das innerhalb der Toleranzgrenzen nicht mehr vom Raum aufgenommen ("verarbeitet") werden kann, dann wird es zu warm. Die überschüssige Wärme kann nicht mehr unmittelbar genutzt werden, man wird sie durch einen Sonnenschutz vermeiden oder durch Lüftung entfernen. So bewirkt ein zeitweiliges Überangebot an solarer Wärme im Raum, daß die Ausnutzung der Sonneneinstrahlung durch Südfenster im Sonnenraum auch während der Wintermonate nicht zu 100 % möglich ist.

DER EINFLUSS DES WÄRMEBEDARFS AUF DIE AUSNUTZUNG DER SONNENEINSTRALUNG IM INNENRAUM.

Die Ausnutzung der eingestrahltten Sonnenenergie ist umso höher, je größer der Wärmebedarf eines Raumes oder Hauses ist. Dieser ist abhängig:

- von der Bauform (Umfang der Außenflächen, Volumenverhältnis, freistehende oder angebaute Hausform)
- von den Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten
- vom Wetter (Unterschied von Innen- und Außentemperatur)
- vom Bewohnerverhalten (Lüftungs- und Heizgewohnheiten)

Je geringer der Wärmebedarf, desto größer wird die Gefahr der Raumüberwärmung bei intensiver Sonneneinstrahlung, die



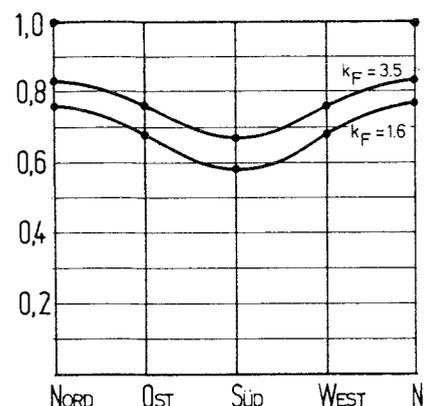
Kleine Südfenster verlängern, große Südfenster verkürzen die Heizperiode.

Ausnutzung sinkt. Je geringer der Wärmebedarf, desto größer aber wird das solare Wärmepotential, das für eine sekundäre Nutzung im Haus in Frage kommt. Wir gehen darauf später ein.

Die Ausnutzung der Sonneneinstrahlung hängt nicht vom Wärmebedarf absolut ab, sondern vom Verhältnis des Wärmebedarfs zur Einstrahlung. Bei sonst gleichen Einstrahlungsbedingungen spielt hier die Größe der Fenster bzw. der Fensterflächenanteil eine ganz entscheidende Rolle.

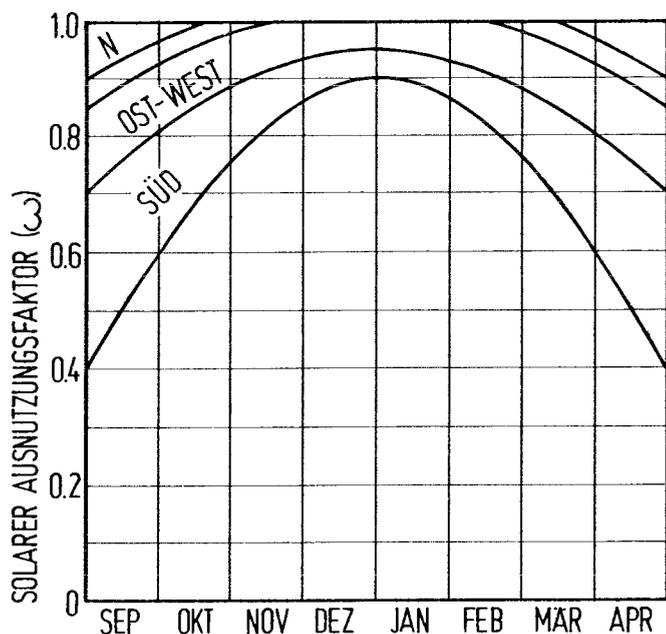
Als dritter Faktor beeinflusst die bauliche und technische Ausstattung im Inneren des Raumes bzw. Hauses zur Einspeicherung und Weiterverwendung momentaner, nicht unmittelbar brauchbarer Solarwärme die Ausnutzung der Sonneneinstrahlung (Sekundäre Strahlungswärmenutzung).

Die Kunst der Planung von Häusern zur passiven Sonnenenergienutzung besteht vor allem darin, zwischen Wärmebedarf, Einstrahlung und Ausnutzung im Haus eine optimale Balance herzustellen, d.h. einen größtmöglichen Teil der Sonnenenergie zur Deckung des Wärmebedarfs auf wirtschaftliche Weise heranzuziehen.



Der solare Beitrag zum Jahres-Heizwärmebedarf eines Raumes mit unterschiedlichen Himmelsrichtungen in Abhängigkeit vom k-Wert des Fensters (FFA 40%, mittlere Bauart, Quelle 40.2)

DER EINFLUSS DER HIMMELSRICHTUNG AUF DIE AUSNUTZUNG DER SONNENEINSTRALUNG



Die Ausnutzung der Sonneneinstrahlung im Sonnenraum bei verschiedenen Himmelsrichtungen. Die Werte entstammen einer Abschätzung nach Rouvel (Quelle 23/27) und eigenen Untersuchungen. Die Streubreite der Ausnutzung ergibt sich aus unterschiedlichen gebäudenutzungs- und heizungsspezifischen Einflußgrößen. Die Kurven gelten für einen Raum in Mittellage und mittelschwerer Bauweise mit dem Klima von Essen. Wärmeüberschüsse werden weggelüftet.

Bei Südräumen kann das Verhältnis von großer Einstrahlungsmenge und unzureichender Aufnahmekapazität des Raumes die krasseste Form annehmen. Daher ist hier die Ausnutzung niedriger als bei anderen Himmelsrichtungen.

Die gute Ausnutzung von November bis Februar wird durch die geringe Einstrahlung dieser Monate verursacht, die der Aufnahmekapazität des Raumes in etwa entspricht. Da diese aber unverändert bleibt, wird mit zunehmenden Strahlungsmengen (und abnehmendem jahreszeitlichen Wärmebedarf) in den Übergangszeiten ein immer größerer Teil der Einstrahlungen unbrauchbar.

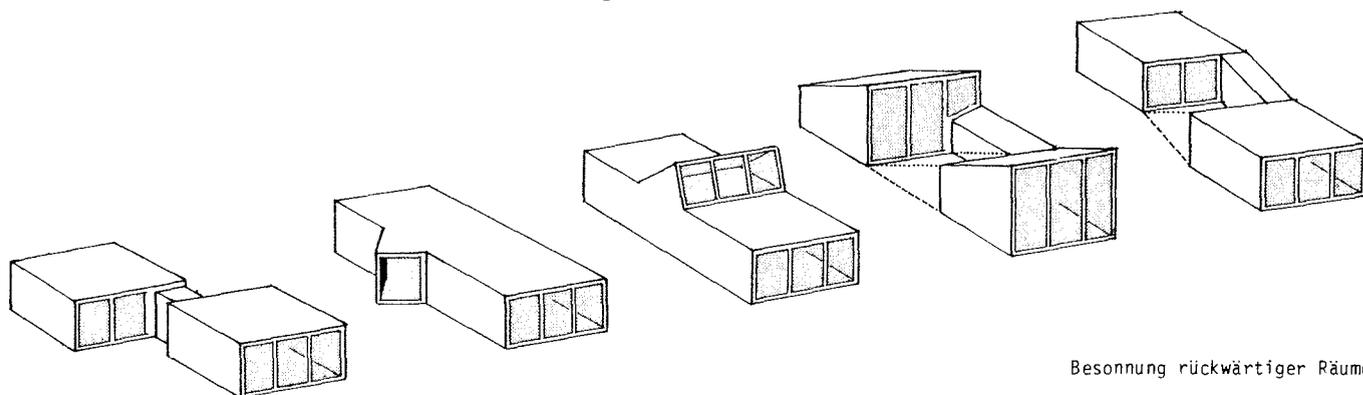
Auch Ost- und Westräume können in den Übergangszeiten Überwärmung erfahren. Osträume im Laufe des Vormittags und Westräume am späten Nachmittag, abhängig allerdings von der Verschattung durch die Umgebung. In der übrigen Tageszeit ohne direkte Einstrahlungen beträgt die Ausnutzung der Sonnenenergie bis zu 100 %. Insgesamt ergeben sich Ausnutzungsgrade von 70 - 90 % für Ost- und Westräume.

Bei Ost- und Westräumen sind also Speichermassen in der Einstrahlungsrichtung zweckmäßig, soweit sie sich aus der verwendeten Bauart ohnehin ergeben. Der Aufwand für besondere Speichermaßnahmen lohnt sich meist nicht.

Nordräume sind während der Heizperiode wegen der ausschließlich diffusen Einstrahlung nie in Gefahr, überwärmt zu werden. Die Einstrahlungen werden daher zu 90 - 100 % genutzt, unabhängig von der Fenstergröße, der Verglasungsart und der thermischen Raumausstattung.

Wenn die Nordräume nicht oder nur auf geringem Temperaturniveau beheizt werden, ist die Ausnutzung noch größer. Bei Raumtemperaturen von 20° wird man in den meisten Fällen kleine Fenster vorsehen, da in der Wärmebilanz die Verluste überwiegen. Bei unbeheizten Räumen mit Innentemperaturen von weniger als 20° aber können große Fenster, evtl. verbessert durch geeignete Verglasung zur Temperaturstabilisierung durch solare Einstrahlung beitragen. In diesem Fall ist eine gute Speicherfähigkeit von Vorteil.

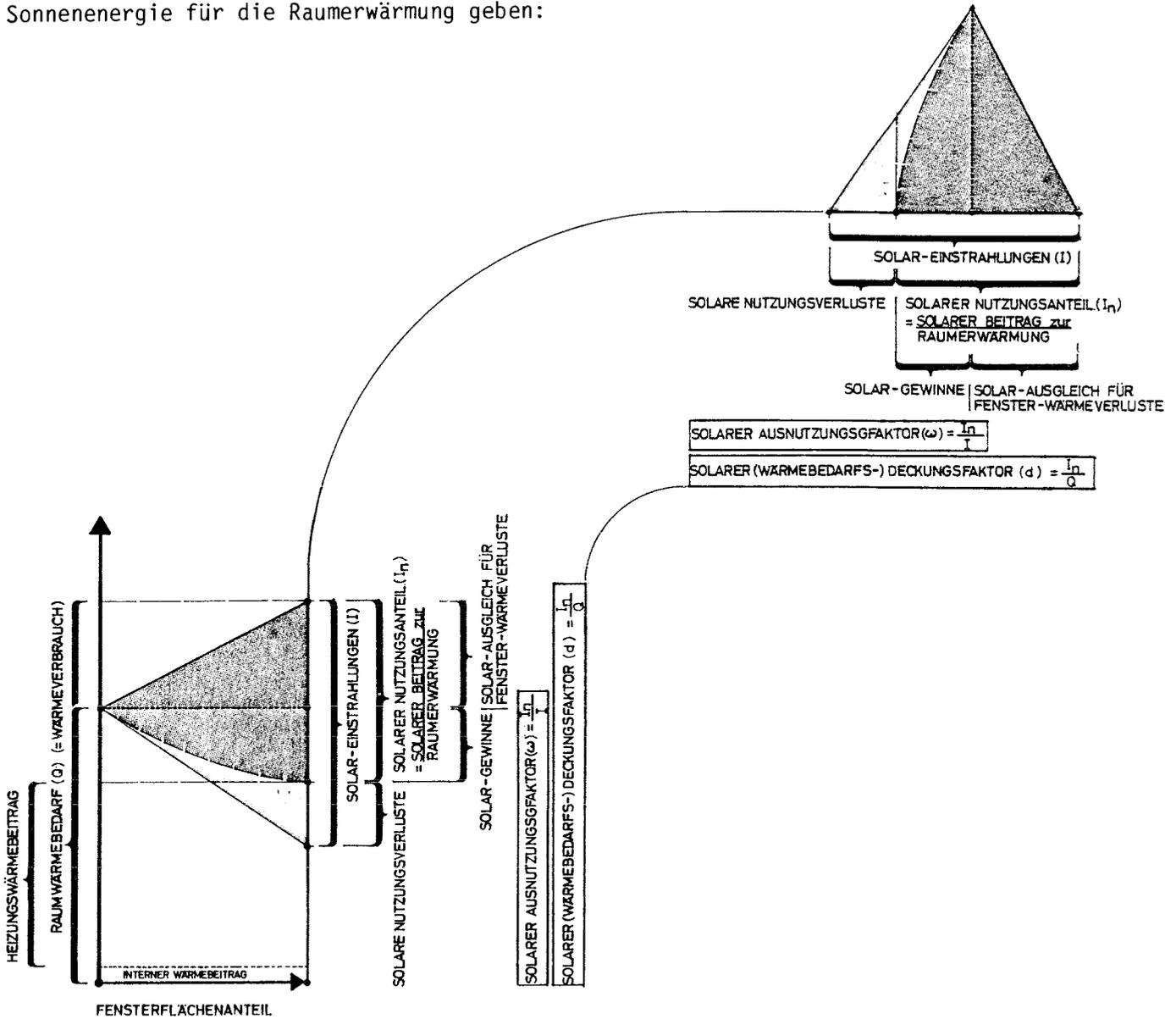
In Klimagebieten mit milden Wintern können auch Nordfenster in unverschatteter Lage eine - bezogen auf die 7 Monate Heizperiode - positive Wärmebilanz aufweisen, wenn die Verglasungskonstruktion eine hohe thermische Qualität hat (z.B. Wärmeschutzglas, Verglasungen mit temporärem Wärmeschutz, Quelle 33). Das Überwiegen der solaren Wärmegewinne ist in diesem Fällen allerdings allein auf das günstige Klima der Übergangszeiten zurückzuführen, für die Wintermonate selbst sind die Wärmeverluste immer größer. Aus diesem Grund wäre eine Teilabdeckung großer Nord-Fensterflächen mit einer (saisonalen) Wärmedämmung über die Winterzeit zweckmäßig.



Besonnung rückwärtiger Räume

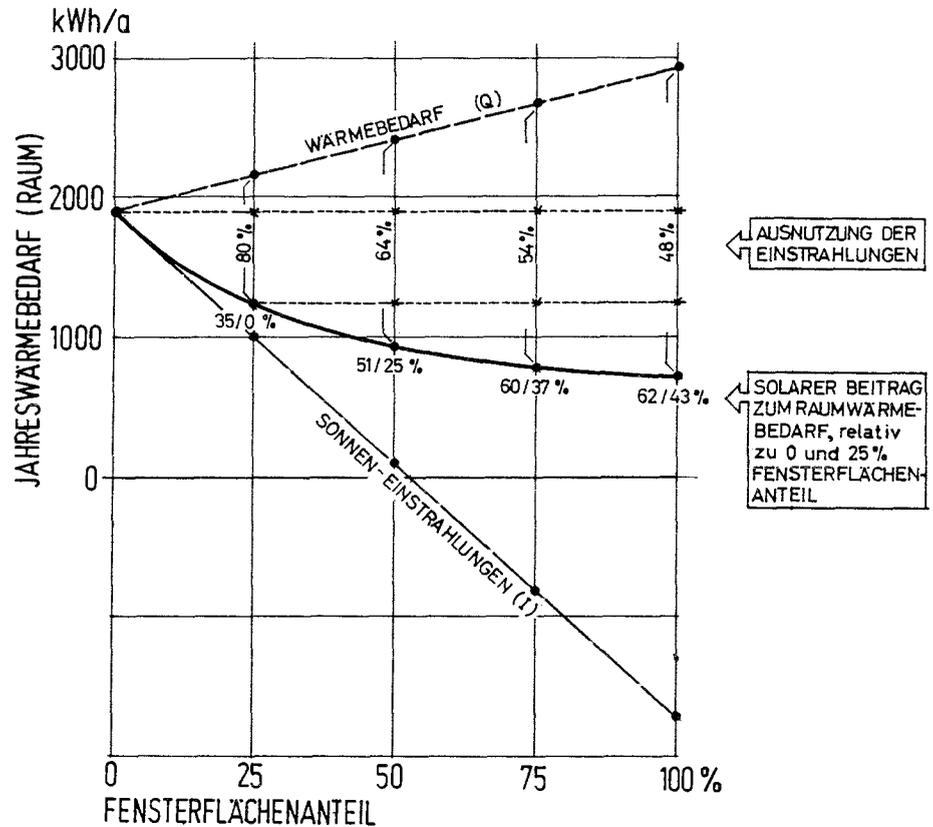
DER EINFLUSS DER FENSTERGRÖSSE AUF DIE AUSNUTZUNG DER SONNENEINSTRALUNG - IN ABHÄNGIGKEIT VON DER WÄRMEAUFNAHMEKAPAZITÄT IM RAUM.

Wir wollen zunächst einen Überblick über den Zusammenhang der verschiedenen Größen und Begriffe bei der Nutzung der Sonnenenergie für die Raumerwärmung geben:

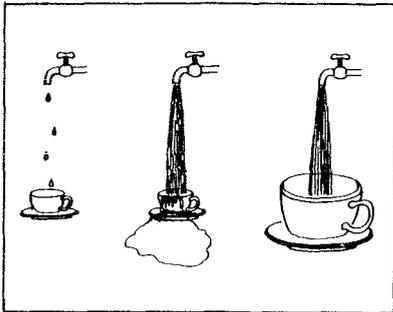


Im allgemeinen kann bei einer Vergrößerung der Fenster die Wärmespeicherkapazität im Raum nicht mit den zunehmenden Einstrahlungsmengen wachsen, sondern ist durch Materialeigenschaft und Oberflächenformat auf ein bestimmtes Strahlungsaufnahmevermögen begrenzt und kann darüber hinaus keine Strahlungsmengen mehr "verarbeiten". Es kommt zur Überwärmung der Raumluft.

Das folgende Bild zeigt die Ausnutzung und den solaren Beitrag zur Raumerwärmung bei unterschiedlichen Fensterflächenanteilen. Der solare Wärmebeitrag steigt mit zunehmender Fensterfläche - bei sinkender Ausnutzung - an.



Wärmebedarf, Einstrahlung, Ausnutzung und solarer Wärmebeitrag für einen Raum bei unterschiedlichen Fensterflächenanteilen (Beispiel).



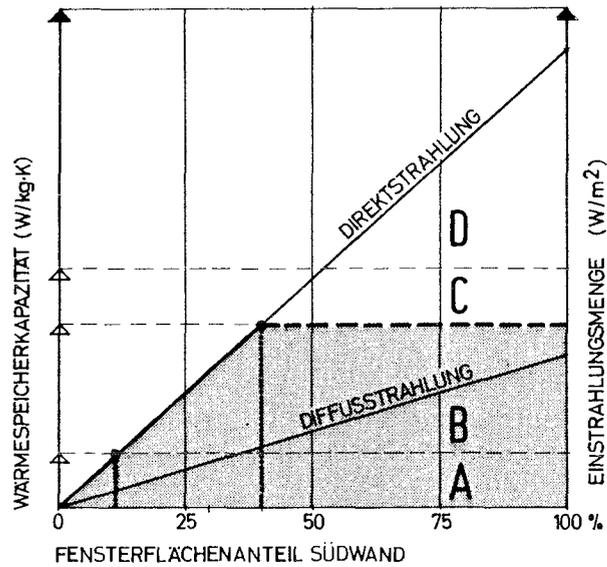
FENSTERGRÖSSE UND WÄRMEAUFNAHMEKAPAZITÄT IM RAUM BEI UNTERSCHIEDLICHEM STRAHLUNGSANGEBOT

Bei milder Außentemperatur und bedecktem Himmel kann die Diffuseinstrahlung von 100 W/qm einen Raum mit einem Fensterflächenanteil von 75 % ausreichend mit Wärme innerhalb des Behaglichkeitsbereichs versorgen, während bei wolkenlosem Himmel eine Strahlungsintensität von 500 W/qm dieselbe Wärmeleistung bei einem Fensterflächenanteil von nur 25 % erbringt. Untersuchungen in Holzkirchen ergaben, daß bei üblichen Fensterflächenanteilen von 30 % (das entspricht etwa 25 % Glasfläche) und üblicher Bauweisen (Massivwände und -decken, Isolierverglasung) bereits bei einer Einstrahlungsintensität von 250 W/qm eine volle solare Raumbeheizung gewährleistet ist. (Quelle 26)

Eine Überwärmung infolge von Diffusstrahlung ist auch bei Räumen mit sehr großen Fenstern und geringer Wärmespeicherfähigkeit zwischen November und Februar ausgeschlossen.

Für den April, den Monat mit der höchsten Überwärmungswahrscheinlichkeit innerhalb der Heizperiode, ergibt sich, dass bei einer oberen Raumtemperaturgrenze von 24° und einem Fensterflächenanteil von 75 % weder bei leichter noch schwerer Bauart eine Überwärmung infolge Diffusstrahlung zu erwarten ist, d.h. daß die Diffusstrahlung zu 100 % für die Raumwärmung genutzt werden kann. (Ausnutzungsfaktor 0,95 für leichte und 1,0 für schwere Bauweise).

Aus der Diffusstrahlung resultiert also während der 7-Monate-Heizperiode selbst bei hohem Fensterflächenanteil keine Raumüberwärmung, die Strahlungsnutzung beträgt praktisch 100 %. Dies gilt für Fenster aller Himmelsrichtungen. Für Nordräume die während der Heizperiode nur diffuse Strahlung erhalten, gilt es absolut. (Quelle Hauser/31)



Nichtquantifiziertes Modellbild der Abhängigkeit der Strahlungsausnutzung von den Einstrahlungsmengen und der Speicherkapazität eines Raumes bei unterschiedlichen Fensterflächenanteilen:

A. Bereich vollständiger Wärmenutzung der Sonneneinstrahlung bei sehr kleinen Fenstern unabhängig von der Speicherkapazität des Raumes.

A+B. Bereich vollständiger Wärmenutzung entsprechend der Speicherkapazität üblicher (mittelschwerer oder schwerer) Bauweisen.

C. Mögliche Erweiterung des Bereichs vollständiger Wärmenutzung durch zusätzliche und optimierte Ausbildung und Anordnung von Primärspeichermassen.

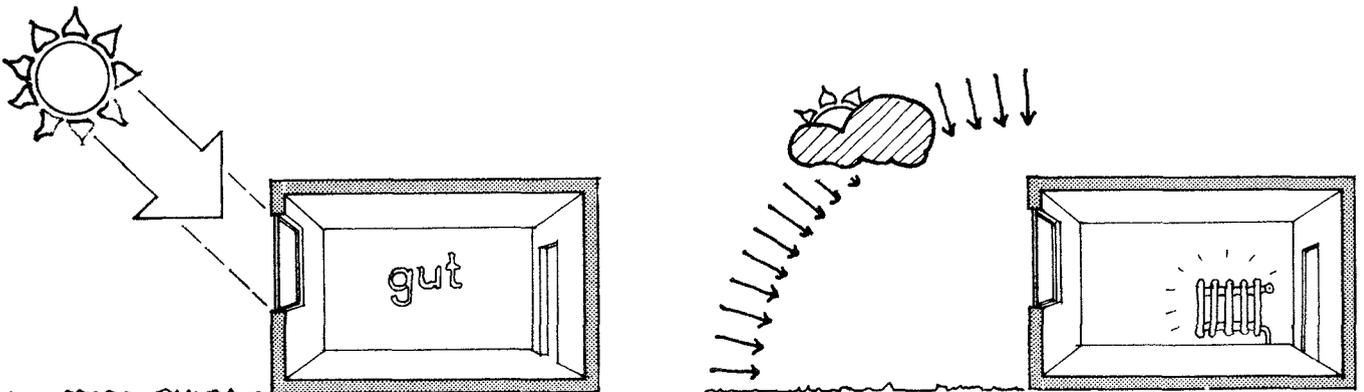
(C+D). Bereich nicht unmittelbar ausnutzbarer Einstrahlungswärme, die entweder weggeführt wird oder mithilfe zusätzlicher Zentralspeicher, Wärmetauscher o.ä. einer sekundären Wärmenutzung zugeführt werden kann.



Nutzbare Sonneneinstrahlung bei üblicher Bauweise.

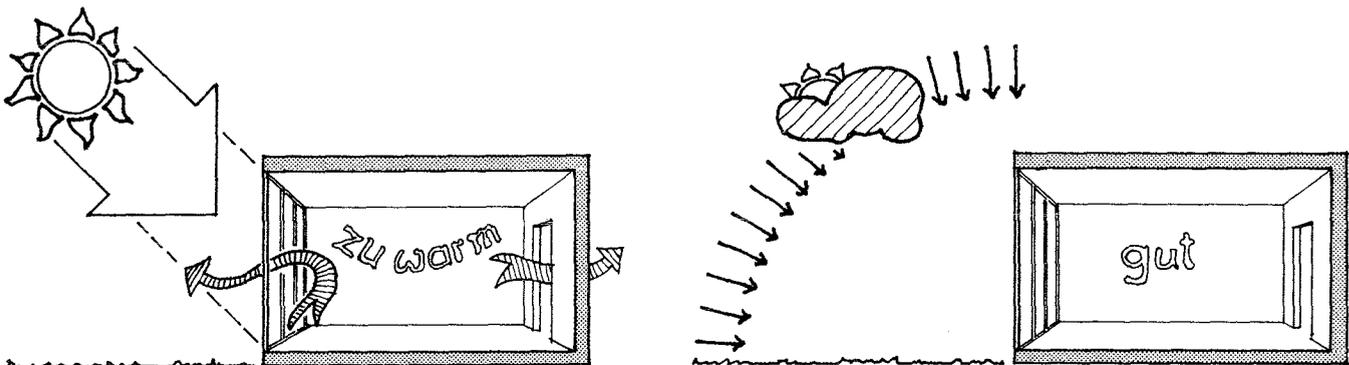
DIE WIRKUNG VERSCHIEDEN GROSSER FENSTERFLÄCHEN BEI UNTERSCHIEDLICHEM STRAHLUNGSANGEBOT, ABER KONSTANTER WÄRMESPEICHERKAPAZITÄT AUF DIE RAUMTEMPERATUR.

Bei kleinen Fenstern (Fensterflächenanteil von 10-20 %) treten auch an wolkenlosen Tagen keine Überwärmungen auf.



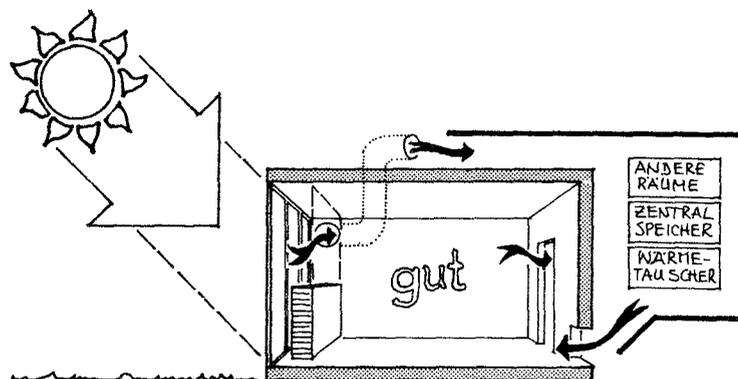
Zugleich bleiben aber durch den hohen Anteil geschlossener Außenwandfläche große Mengen an Sonnenenergie, die zur Raumwärmerwärmung an bewölkten und trüben Tagen gut nutzbar wären, ausgesperrt.

Bei einem Fensterflächenanteil von 25-40 % ist eine optimale Sonnenenergienutzung bei üblicher Bauweise möglich. Gelegentliche Überwärmungen an wolkenlosen Tagen werden durch Sonnenschutz und Lüftung vermieden. Allerdings bleibt auch hier - begründet durch die begrenzte Wärmekapazität im Raum - ein großer Teil der Sonnenenergie von der Einstrahlung und Nutzung ausgeschlossen.



Bei größtmöglichem Fensterflächenanteil (75-90 %) wird auch der größtmögliche Teil der Sonnenenergie gesammelt, d.h. auch bei trübem Wetter wird ein großer Teil oder die Gesamtheit der zur Raumerwärmung nötigen Wärmemenge von der Sonne geliefert.

Der Überhöhung der Innentemperatur an wolkenlosen Tagen kann durch Lüftung oder Sonnenschutz begegnet werden.

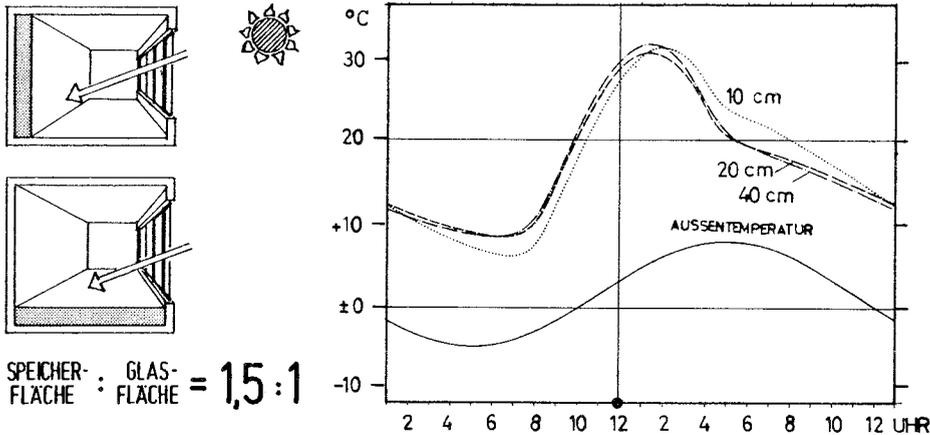


Eine Vollständige Ausnutzung der zeitweise überschüssigen Wärme erfordert allerdings spezielle bauliche oder technische Maßnahmen der sekundären Wärmenutzung im Haus.

TEMPERATURVERLAUF IN SÜDRÄUMEN AN WOLKENLOSEN TAGEN BEI UNTERSCHIEDLICHER FENSTERGRÖSSE UND SPEICHERKAPAZITÄT.

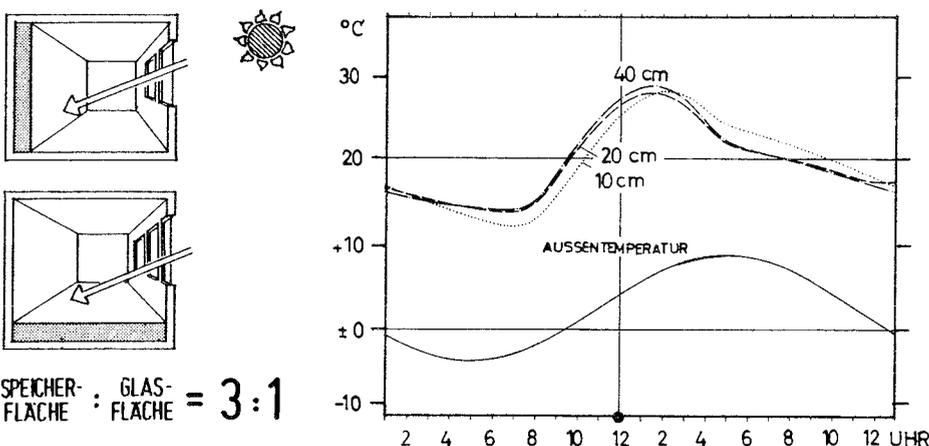
Vergleich von 3 Varianten: (Quelle Mazria/15)

1. Betonplatte, dunkel getönt, an der Rückseite oder am Boden des Raums. Die von der Sonne im Tagesverlauf direkt bestrahlte Fläche der Betonwand ist 1,5 mal so groß wie die Glasfläche.



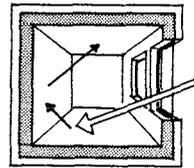
Ergebnis: Die Grafik zeigt die Raumtemperaturen an einem klaren Wintertag: Eine Verstärkung der Betonplatte von 10 auf 20 cm oder mehr bringt keine nennenswerte Verbesserung. Zwischen der 10 cm und der 20 cm dicken Wand gibt es kleine Unterschiede (Anstieg der Raumtemperaturen um 3° bei der 10 cm Wand). Bei allen Plattenstärken schwankt die Temperatur während des Tages um etwa 22 K.

2. Betonplatte, dunkel getönt, an der Rückseite oder am Boden des Raums. Die im Tagesverlauf direkt besonnte Speicherfläche ist jedoch 3 mal so groß wie die Glasfläche.

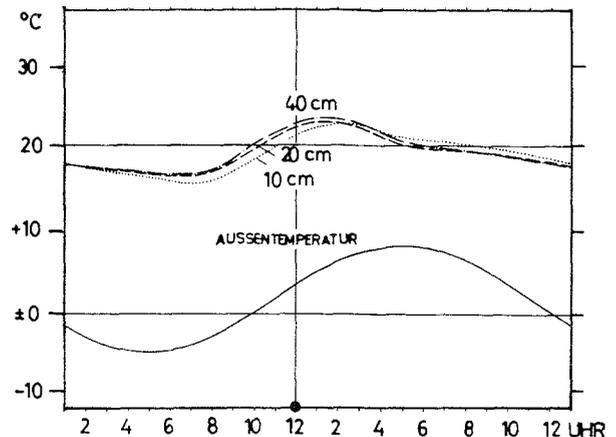


Die Grafik zeigt wieder den Verlauf der Raumtemperaturen bei 10, 20 und 40 cm dicken Betonplatten. Erneut ergeben sich nur kleine Unterschiede zwischen der 10 und der 20 cm dicken Platte, eine Verstärkung über 20 cm hinaus wird kaum noch wirksam. Die Temperaturschwankung im Tagesverlauf beträgt ca. 12 K.

3. Alle Flächen im Raum sind aus Betonplatten gebildet (Boden, Decke, Wände). Die im Tagesverlauf direkt besonnte Fläche ist 9 mal so groß wie die Glasfläche.



SPEICHER- : GLAS-
FLÄCHE : FLÄCHE = 9:1



Der Temperaturverlauf ist bei allen Plattenstärken sehr ähnlich. Die Temperaturschwankung beträgt lediglich 8 K (In Gipskartonplatten-Leichtbauweise würde die die Temperaturschwankung 21 K betragen).

Mit dieser Anordnung der Speichermasse ist also bei der geringsten Konstruktionsstärke (10 cm) der relativ größte Dämpfungseffekt gegen Temperaturschwankungen zu erreichen. Dazu kommt, daß die am Spätnachmittag gespeicherte Wärmemenge relativ hoch ist, was einer Senkung der Tages- und einer Erhöhung der Nachttemperaturen gleichkommt (größere Phasenverschiebung).

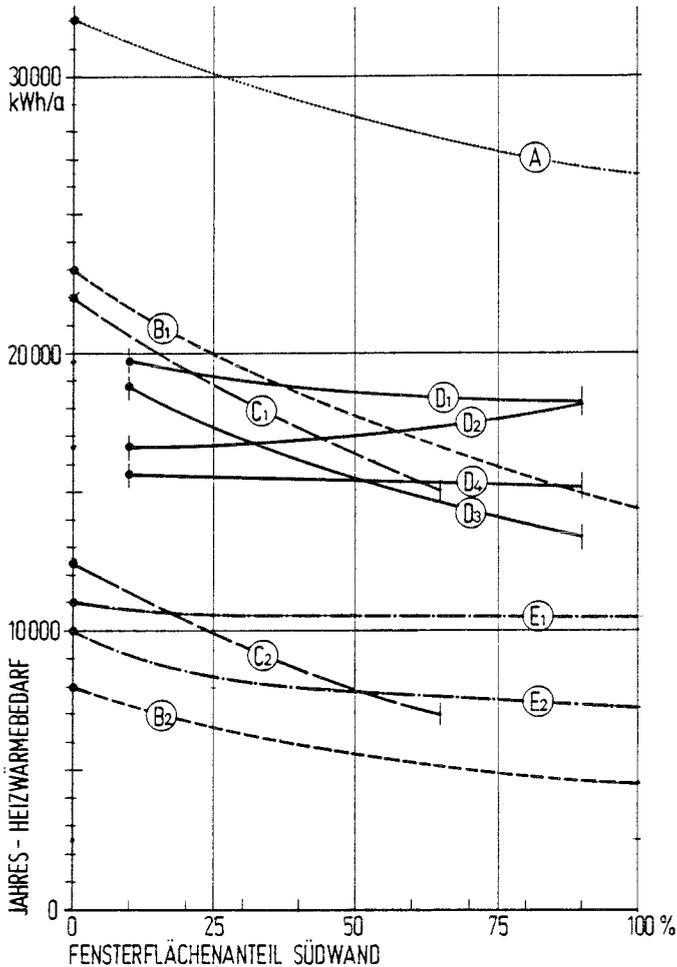
Übersicht über die Versuchsergebnisse im Vergleich:

	Dicke der Betonplatten		
	1 20 cm	2 20 cm	3 10 cm
Max. Raumlufttemperatur	32°	28°	23°
Min. Raumlufttemperatur	9°	13°	16°
Temperaturschwankung	23 K	15 K	7 K
Max. Wandoberflächentemp.	38°	29°	24°
Anteil der aus Speichermassen um 17 ⁰⁰ an den Raum abgegebenen Wärmestrahlung	55 %	55 %	60 %

Um an klaren Wintertag ein angenehmes Raumklima zu gewährleisten, müsste bei Verwendung von massiven Speicherflächen (Beton, Mauerwerk) jeder m² direkte Sonneneinstrahlung auf mindestens 9 m² Speicherfläche verteilt werden, sonst blockiert die relativ geringe Leitfähigkeit von Massivmaterial eine ausreichende Wärmeaufnahme.

Zur Temperaturstabilisierung an wolkenlosen Tagen muß man also entweder die Fenster der an diesen Tagen unzureichenden Speicherkapazität anpassen, also verkleinern (Sonneneinstrahlung aussperren), lüften (Sonneneinstrahlung wegwerfen), oder die Speicherkapazität im Innenraum verbessern.

DIE VERÄNDERUNG DES JAHRES-HEIZWÄRMEBEDARFS FREISTEHENDER
HÄUSER IN ABHÄNGIGKEIT VOM FENSTERFLÄCHENANTEIL UNVERSCHATTETER
SÜDWÄNDE. VERGLEICH VERSCHIEDENER BERECHNUNGEN



Vergleich der Ergebnisse verschiedener Berechnungen mit unterschiedlichen Parametern.

- A 140 qm-Haus/50 qm Südwand/mit 8 qm Nicht-Süd-Fensterfläche/
Wetterdaten Freiburg 1973 (Quelle 82)
- B Wetterdaten Freiburg 1973/ Schwere Bauweise (40 kWh/K)/
Doppelverglasung mit Rolläden ($k=2,8$) (Quelle 33)
B1 Basis-Wärmebedarf* 23000 kWh/a (400 W/K) /Luftwechsel 0,2
Außenwand $k=1,12$
B2 Basis-Wärmebedarf 8000 kWh/a (150 W/K) /Luftwechsel 0,1
Außenwand $k=0,37$
- C Wetterdaten Stuttgart 1980/ Schwere Bauweise (40 kWh/K) /
56 qm Südwand (gerechnet bis 62,5 % FFA) / 2-geschoß.-Haus
140 qm (Quelle 73)
C1 Basis-Wärmebedarf 22000 kWh/a (311 W/K)/ Dreifachverglasu-
ng ($k=2,2/g=0,7$)
C2 Basis-Wärmebedarf 12500 kWh/a (177 W/K)/ Wärmeschutz-
Doppelverglasung ($k=1,8/g=0,65$)
- D Wetterdaten Hamburg/Hohenpeissenberg 1973 / Haus 100 qm/
konstant 4 qm Fensterfläche = 10 % FFA auf allen Seiten
Außenwand $k=0,38$ (Quelle 83)
D1 Basis-Wärmebedarf 19800 kWh/a (Hohenpeissenberg), Dop-
pelverglasung $k=2,4$
D2 Basis-Wärmebedarf 16560 kWh/a (Hamburg), Doppelverglasu-
ng $k=2,4$
D3 Basis-Wärmebedarf 18700 kWh/a (Hohenpeissenberg), Dop-
pelverglasung mit Nachtdämmung $k=1,2$ (nachts)
D4 Basis-Wärmebedarf 15650 kWh/a (Hamburg), Doppelverglasu-
ng mit Nachtdämmung $k=1,2$ (nachts)
- E Wetterdaten: langjährige Mittelwerte von 15 Standorten /
128 qm Haus / Weitere Daten siehe Anhang / Eigene Berech-
nung)
Bezugszeit: 7-Monate Heizperiode (Okt-Apr)/Südwand 54 qm
E1 Basis-Wärmebedarf 221 W/K Doppelverglasung ($k=2,6 /$
 $g=0,8$)
E2 Basis-Wärmebedarf 194 W/K Doppel-Wärmeschutzverglasung
($k=1,4 / g=0,61$)

*Basis-Wärmebedarf = Wärmebedarf des Hauses bei geschlossener, fensterloser Südwand.

Die Verringerung des Heizwärmebedarfs durch Sonnenfenster beträgt nach diesen unterschiedlichen Berechnungen bei 100% Fensterflächenanteil der Südwand zwischen 5 und 40 % - verglichen mit dem Heizwärmebedarf bei fensterloser Südwand.

VERBESSERUNG DER WÄRMEAUSNUTZUNGSKAPAZITÄT IN RAUM UND HAUS

Es gibt mehrere Möglichkeiten, die Ausnutzung der solaren Einstrahlung durch bauliche und technische Maßnahmen zu verbessern:

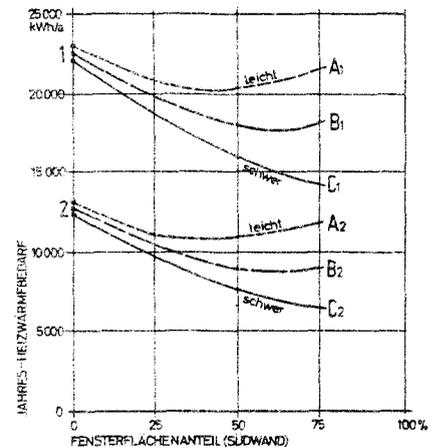
1. Durch Optimierung der Speichermasse im Raum sowie die Bevorzugung schwerer Bauweisen vor den leichten Bauweisen, insbesondere in den Raumzonen, die von der direkten Sonnenstrahlung unmittelbar erreicht werden, eine geeignete Oberflächenausbildung der Speichermassen und die Anordnung spezieller Speicherzonen in Fensternähe.

2. Durch die Folgenutzung von Wärmeüberschüssen aus den Südräumen wie die Weiterleitung in solar wenig oder nicht-versorgte Räume über Ventilationseinrichtungen, die Einleitung in zentrale Wärmespeicher (Stein- oder Latentspeicher) und die Gewinnung von Brauchwarmwasser mittels eines Wärmetauschers oder einer Wärmepumpe.

DIE ABHÄNGIGKEIT DES SOLAREN HEIZUNGSWÄRMEBEITRAGS VON DER SPEICHERKAPAZITÄT DES HAUSES

Vergleichsrechnung für zwei Haustypen mit unterschiedlichen Wärmeschutz-Standards. Wetterdaten Stuttgart 1973 (Quelle 73).

Bauweise/Wärmespeicherkapazität:
 A = 5 kWh/K (leichte Bauweise)
 B = 10 kWh/K
 C = 40 kWh/K (schwere Bauweise)

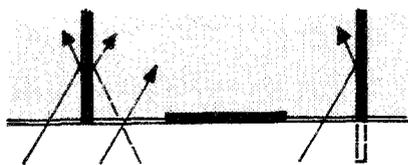


SPEICHERMASSEN IM SONNENRAUM - ANORDNUNG UND OBERFLÄCHEN

In allen Räumen, die die Sonneneinstrahlung zur Beheizung verwenden, besonders in Südräumen, sollten alle Speicherkapazitäten voll genutzt werden. Es sollten möglichst alle Oberflächen speicherfähig ausgebildet sein und besonders die direkt bestrahlten Flächen bis zu einer Tiefe von 10-20 cm massiv sein. Die Speicherwirkung von Flächen, die nur über Reflexion Sonnenstrahlung erhalten (z.B. Decken) beträgt nur etwa 1/4 der Wirkung direkt besonnener Flächen. Die wirksame Tiefe dieser Bauteile beträgt etwa 10 cm für eine 24-Stunden-Periode (siehe auch Kapitel "Wärmespeicherung").

In südorientierten Räumen sollten alle besonnenen Flächen von Böden und Wänden möglichst eine dunkle Oberfläche haben (dunkelblau, rot, grau usw.) sowie von anderen Einrichtungen möglichst wenig verdeckt sein. Große Teppiche z.B. behindern die Wärmeaufnahme. Wenn die besonnenen Flächen hell ausgeführt werden, dann sollten wenigstens die Flächen, die die reflektierte Strahlung empfangen, also z.B. Decken und Rückwände nicht allzu hell sein.

Leichte Bauteile mit geringer Speicherfähigkeit sollten helle Oberflächen erhalten, um die Strahlung auf speicherfähige Flächen mit hoher Absorption zu reflektieren. Leichte Wände mit dunkler Färbung würden rasch aufgewärmt, müßten wegen ihres geringen Speichervermögens die Wärme aber rasch wieder abgeben und könnten so zur Überwärmung des Raumes beitragen.



Die Anordnung der Fenster neben den Wänden verbessert Absorption und Speicherung der Direktstrahlung.

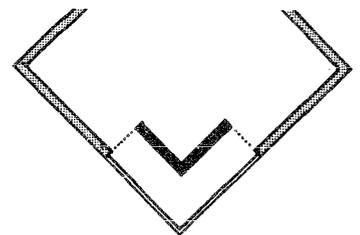
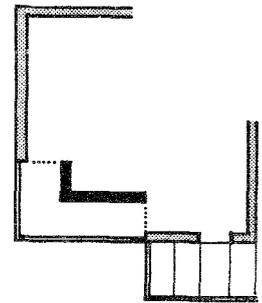
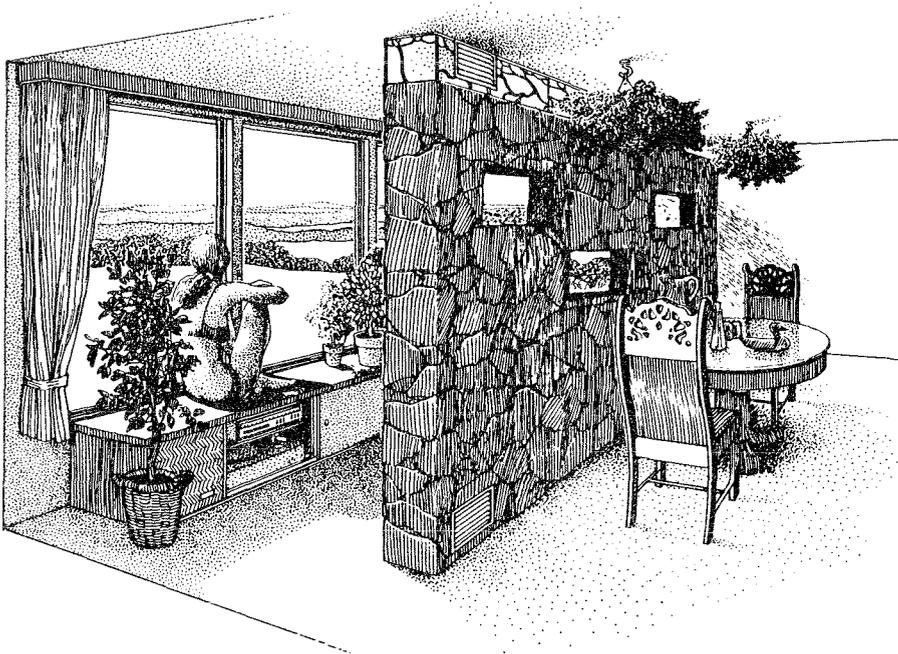
In Räumen mit kleinen Fenstern sollten die Oberflächen hell genug für eine ausreichende Lichtreflexion sein, sonst wirken diese Räume unbehaglich und der Stromverbrauch für die Beleuchtung steigt an. Räume mit großen Fensterflächen können dagegen ohne Helligkeitseinbuße tendenziell dunklere Oberflächen erhalten.

Für besonnte Räume nicht geeignet sind Fußbodenheizungen. Je kühler die Speichermasse, desto aufnahmefähiger für Sonneneinstrahlungen ist sie. Geheizte Fußböden sind aber schon ziemlich mit Wärme gesättigt. Es bleibt nur noch ein geringes Vermögen zur Aufnahme der Strahlungswärme, was zur Überhöhung der Raumtemperatur führen kann.

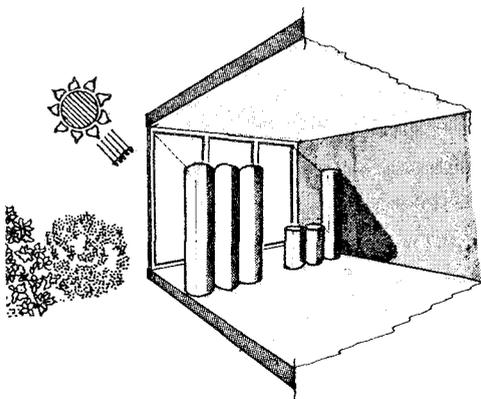
Holzverkleidungen vor massiven Wänden oder Decken behindern den Wärmeaustausch und damit die Speicherfähigkeit.

Möbel und andere Einrichtungsgegenstände sollten schwer sein. Wenn sie im Bereich der direkten Sonneneinstrahlung stehen, sollten sie dunkle Oberflächen haben. Nur leichte Möbel könnten heller sein.

ZUSÄTZLICHE SPEICHERMASSEN IM SONNENRAUM



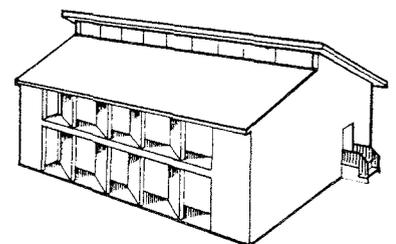
Die freistehende Speicherwand im Sonnenraum (Quelle 53).

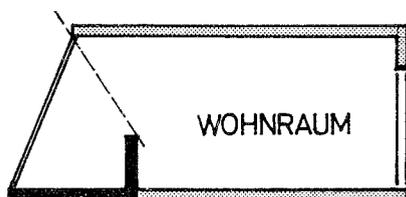


Speichermassen als Element der Raumgestaltung (Beispiel: Wassersäulen).



Schräggestellte Speicherwandelemente hinter der Verglasung ergeben große und wirksam platzierte Primärspeichermasse. Zugleich bleiben große Fensterflächen erhalten: eine Mischform von Sonnenfenster und Sonnenwand (Entwurf: J. Bier/Virginia/USA/ Quelle 78).



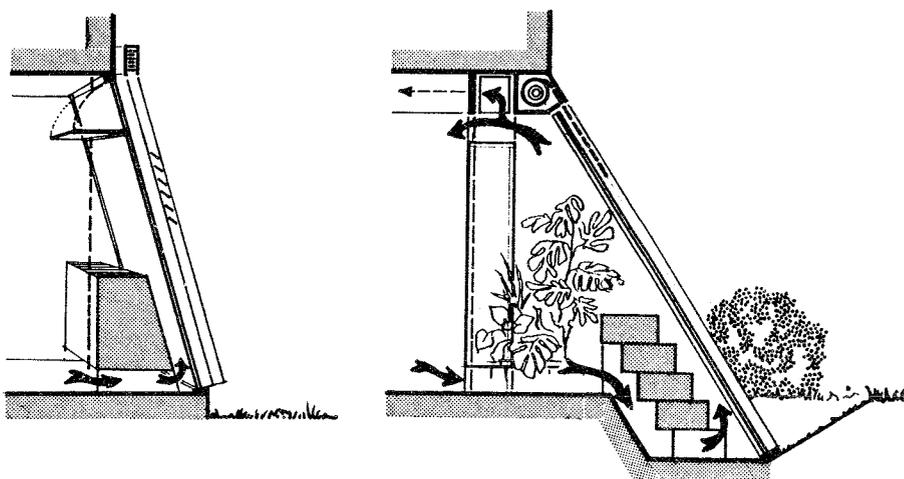


Vor allem in der Raumzone am Sonnenfenster sollten Bauteile mit hohem Absorptions- und Speichervermögen angeordnet sein (wirksam für Direkt- und Diffusstrahlung).

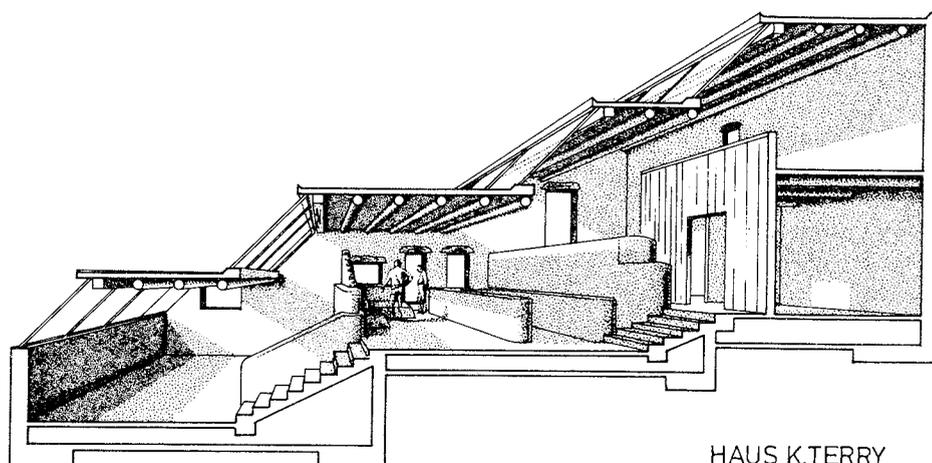
Solche Speicherwandelemente sind - im Unterschied zu Sonnenwänden - vom zugehörigen Raum thermisch nicht getrennt. Sie vergrößern die Speicherfähigkeit des Raums, wenn der Fußboden mit Teppichen belegt ist oder die Bauweise nicht schwer genug ist. Sie verhindern z.T. das unmittelbare Eindringen der direkten Sonnenstrahlung in den Raum. Sie stehen in der Nähe der Fensterflächen, speichern einen Teil der Strahlung und geben ihn mit einer Zeitverschiebung als Wärme an den Raum wieder ab (siehe auch Kap. 4.1).

Speicherwandelemente können auch zur Raumgestaltung herangezogen werden, wenn eine großflächige Verglasung zwar thermisch, aber nicht gestalterisch erwünscht ist.

Auch halbhohe Brüstungen oder Treppen können als Speichermassen eingesetzt werden.



Geneigte Sonnenfenster mit speziellen Speichermassen im Bereich der Fensterbrüstung (Übergangsformen zur Sonnenwand bzw. zum Glasvorbau).



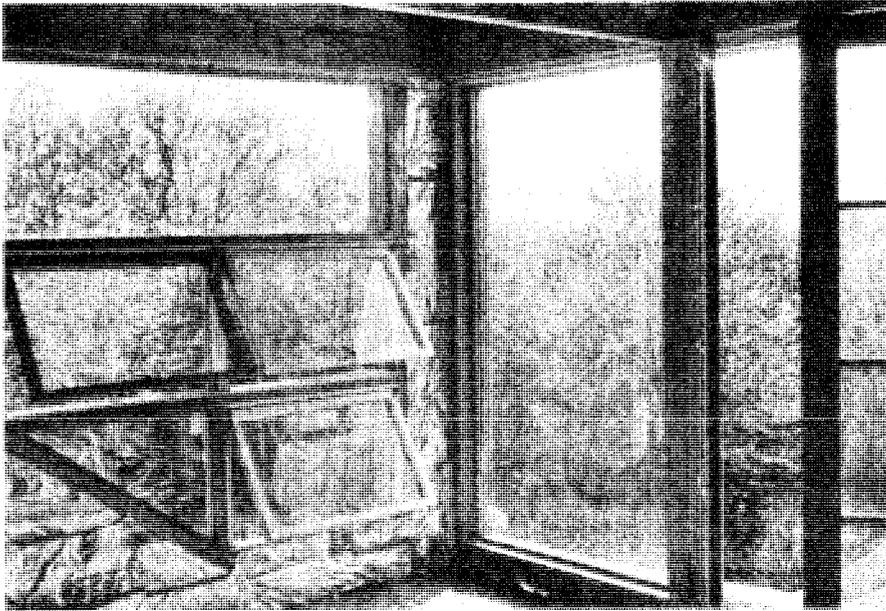
HAUS K.TERRY

Das Haus von Karen Terry in Santa Fe/USA (Quelle 15) zeigt mehrere Entwurfsprinzipien für Sonnenhäuser, die auch in unserem Klima von Nutzen sind:

- Die terrassenartige Staffelung erlaubt die Besonnung der Nordräume über Dachoberlichter
- Die Schrägstellung der Dachoberlichter verbessert den Gewinn von Diffusstrahlung
- Im ganzen Haus wirken Fußböden, Brüstungen und Wände als primäre Speichermassen.

GESTALTUNGSMÖGLICHKEITEN GROSSER FENSTERFLÄCHEN

Fenster im Erdgeschoß und Balkonen sollte man, mit Ausnahme der zur Lüftung notwendigen Fensterflügel, fest verglasen. Fest verglasungen sind dichter und billiger und haben einen größeren Glasflächenanteil als bewegliche Fenster.



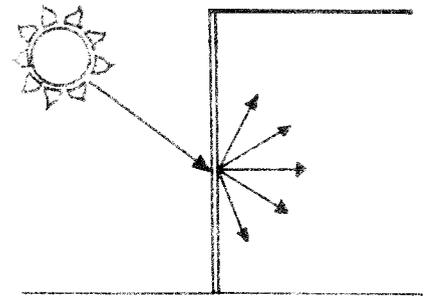
(Quelle 54)

Große Fenster führen bei strahlendem Sonnenschein zur unerwünschten Lichtüberflutung und zu Blenderscheinungen. Beides kann man mit Vorhängen oder Sonnenschutz teilweise oder ganz vermeiden. Auch ist eine Teilverglasung mit Milchglas oder anderen transluciden Materialien möglich, die Wärmegewinne ohne Blendungsprobleme bewirken. Schließlich kann ein Teil der Südfläche als Luftkollektor oder Sonnenwand (in Form von Brüstungen oder Wandscheiben) ausgebildet werden.

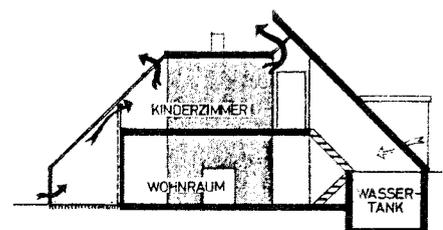


Haus von F. Seaman in Kanada (Quelle 54)

Je größer die Fensterfläche, desto wichtiger wird der Sonnenschutz, desto effektiver der temporäre Wärmeschutz.



Milchglas wandelt dichte Strahlung in streuende = diffuse Strahlung um. Dadurch wird eine mögliche Blendung verhindert, zugleich wird die Decke als Speicherfläche stärker aktiviert! Ebenso ist ein diffusierender Vorhang oder Folienrolle als temporärer Blendschutz und Aktivator der Deckenspeicherfläche möglich.



Durch differenzierte Planung der Fenster, durch Staffelung oder Drehung kann die Lichtführung ins Rauminnere abwechslungsreicher gestaltet und durch Schrägstellung die diffuse Einstrahlung vergrößert werden.

DER UMFANG DER WÄRMEÜBERSCHÜSSE IM SONNENRAUM

Aus der Differenz zwischen der Summe der Einstrahlung und der Summe der solaren Nutzungsanteile (Wärmebeiträge) ergibt sich die Summe der solaren Nutzungsverluste, die beim Fehlen von besonderen Einrichtungen zur sekundären Nutzung von Überschuwärme zwangsläufig entstehen.

	2-Scheiben- Isolierglas (2 N oD)	2-Scheiben- Wärmeschutzglas (2 S oD)	2-Sch.-Isolier- glas m. Dämmung (2N mD-b)
Einstrahlungssumme (I) (kWh/HP)	17734	13532	17734
Ausnutzungsfaktor (ω)	0.75	0.74	0.71
Solarer Nutzungs- anteil ($I_n=I \cdot \omega$)	13300	10007	12591
Nutzungsverluste ($I_v=I-I_n$) (kWh/HP)	4434 = 25 %	3516 = 26 %	5143 = 29 %

Die Tabelle zeigt den Umfang der nicht nutzbaren Sonneneinstrahlungen im Mittel für die Heizperioden von Okt-Apr. Nach unserer Modellrechnung für ein freistehendes Haus bei 100 % Fensterflächenanteil (=54 m²) Südrichtung und unverschatteter Lage. Es ergeben sich Nutzungsverluste, die eine Prüfung der Frage wert sind, mit welchen baulichen und technischen Massnahmen sie in Gewinne zur Wärmeversorgung des Hauses umgewandelt werden können.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Verringerung des Heizwärmebedarfs eines Hauses während der Heizperiode, wenn die Ausnutzung der Sonneneinstrahlung 90 % beträgt.

Fensterflächen- anteil der Südwand	2-Scheiben- Isolierglas (2 n oD)	2-Scheiben- Wärmeschutzglas (2 S oD)	2-Sch.-Isolier- glas m. Dämmung (2 N mD-b)
--	--	--	--

Haustyp A (freistehend)

25 %	0 %	17247 kWh	0 %	14205 kWh	0 %	15372 kWh
50 %	7 %	↓	14 %	↓	18 %	↓
75 %	15 %		28 %		35 %	
100 %	22 %	-13453 kWh	42 %	-8239 kWh	53 %	-7225 kWh
Max. Einsparung		= 3794 kWh		= 5966 kWh		= 8147 kWh

Haustyp B (Reihenhaus)

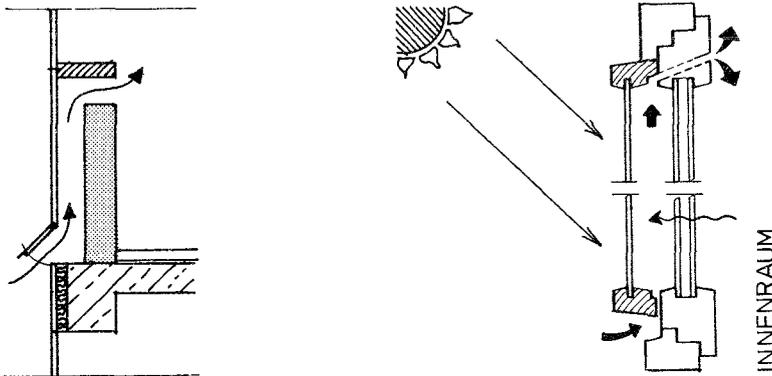
25 %	0 %	13561 kWh	0 %	11464 kWh	0 %	12267 kWh
50 %	9 %	↓	15 %	↓	20 %	↓
75 %	17 %		27 %		29 %	
100 %	26 %	-10035 kWh	47 %	-6076 kWh	59 %	-5029 kWh
Max. Einsparung		= 3526 kWh		= 5388 kWh		= 7238 kWh

Hier wird erneut die Bedeutung einer optimalen Ausnutzung der eingestrahltten Sonnenenergie ablesbar. Die Modellrechnung (Erläuterung siehe Anhang) zeigt, daß sich der Heizwärmebedarf je nach Verglasungsart auf 53 % beim freistehenden Haus und auf 59 % beim Reihenhaus verringert.

Im übrigen schneidet bei dieser Ausnutzung das 2-Scheiben-Isolierglas mit Nachtdämmung (Klappläden) besser ab als das 2-Scheiben-Wärmeschutzglas (ohne Nachtdämmung).

BELÜFTUNG VON SONNENRÄUMEN IM WINTER

Auch bei der Belüftung von Aufenthaltsräumen während des Winters kann man sich die passive Sonnenenergienutzung zunutze machen, indem man die Frischluft über Kollektorflächen vorwärmt.



Vorwärmung von Außenluft über ein Kollektorelement in der Fensterbrüstung.

Bei solchen Verbundfenstern mit Lüftungsschlitzen strömt die Frischluft zwischen Haupt- und Vorsatzfenster in den Raum, vorgewärmt durch Sonnenstrahlung und die Wärmeverluste des Fensters.

Zur Belüftung sind auch luftdurchlässige Dämmelemente ("Solpor") verwendbar, wie sie im Kap. 3.3 beschrieben sind.

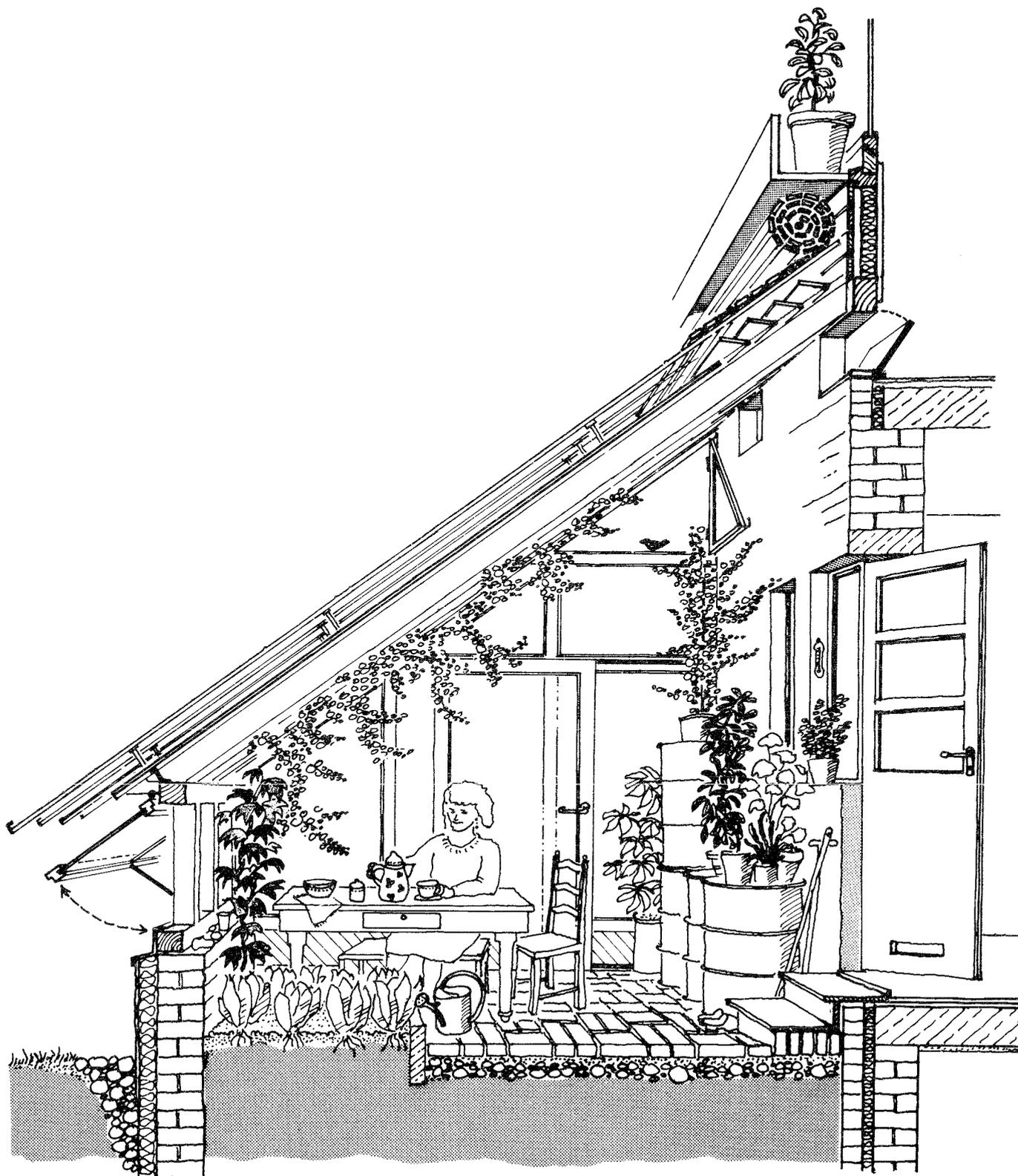
HEIZUNG IM SONNENRAUM

Die Heizung in Räumen, die der wechselnden Sonnenstrahlungsintensität infolge großer Fenster stark ausgesetzt sind, muß diesen Schwankungen so rasch wie möglich folgen können. Eine träge reagierendes Heizsystem fördert die Überwärmung der Räume und verringert so die Ausnutzung der Sonneneinstrahlung. Ebenso wird die Ausnutzung verringert, wenn Primärspeicherflächen -ganz besonders der Fußboden- durch die Heizungen aufgewärmt und damit in ihrer Speicherwirkung eingeschränkt werden.

Ebenso ungeeignet für Sonnenräume sind Elektro-Nachspeicherheizungen und Kachelöfen. Für Nordräume dagegen ist die Verwendung träge reagierender Heizsysteme ohne nennenswerten Einfluß auf die Ausnutzung der Sonneneinstrahlung.

3.2

DER GLASVORBAU



DER GLASVORBAU - PASSIVER SONNENKOLLEKTOR UND GRÜNE OASE IM HAUS.

Glasvorbauten sind "bewohnbare Kollektoren", die geschlossene Glashülle verursacht einen "Treibhauseffekt", durch welchen drei thermische Funktionen erfüllt werden.

- Der Glasvorbau wärmt sich mit der Sonnenstrahlung selbst.
- Als windstiller Pufferraum zwischen Haus und Umgebung verringert er die Wärmeabflüsse des Hauses (durch welche er auch selbst gewärmt wird).
- Es kann Wärmeüberschüsse als Beitrag zur Raumerwärmung an die angrenzenden Räume liefern.

Glasvorbauten sind unbeheizte Räume. Ihre besondere Wirkung als passive Sonnenkollektoren liegt darin, daß sie mit ihren großen Glasflächen starke Einstrahlungs- und Temperaturschwankungen erfahren und diese mithilfe von Wärmespeichern thermisch nutzbar machen.

Ausser diesen thermischen Funktionen erfüllt der Glasvorbau zugleich eine Vielzahl anderer Funktionen, die ihn zum attraktiven Zusatzraum eines Hauses machen.

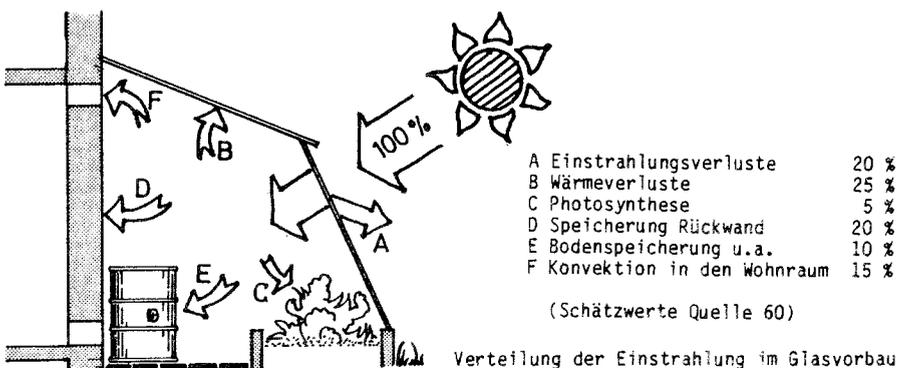
Glasvorbauten können genutzt werden als Frühstückstisch, als Spielraum bei Regenwetter, für Kräutergärten, als Hausarbeitsbereich, Werkstatt, Abstellraum oder zur Kleintierhaltung, aber auch als vergrößerter Wohnraum, der noch im Herbst und Frühjahr behagliche Temperaturen hat, ohne beheizt zu werden. Glasvorbauten können auch zur Pflanzenzucht, zum Anbau von Nahrungspflanzen (Treibhaus) oder als exotische Wintergärten genutzt werden.

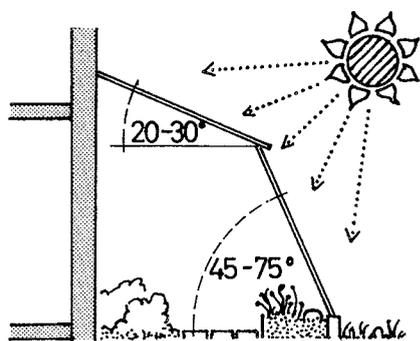
Der große Spielraum der Temperaturschwankungen wird durch Sonnenschutz und Lüftungsanlagen nach oben (gegen Überhitzung) und durch eine zeitweise Wärmezufuhr aus den Wohnräumen nach unten (gegen Frost) begrenzt.

Die Kollektorwirkung und das thermische Verhalten von Glasvorbauten wird entscheidend durch die Orientierung, Anordnung, Bauform und Konstruktion bestimmt. Diese Einflußgrößen müssen daher beim Entwurf hinsichtlich ihrer thermischen Auswirkung beachtet werden.

Was geschieht mit der Wärme im Glasvorbau, wenn die Sonne scheint?

An einem wolkenlosen Wintertag könnte die Verteilung der Sonneneinstrahlung -über den Tag gemittelt- etwa so aussehen:





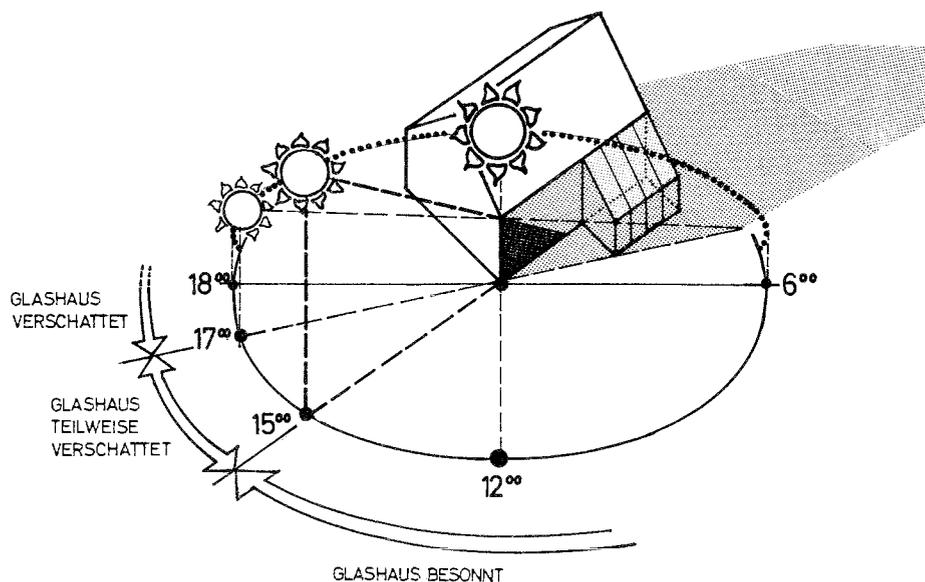
Optimale Neigungswinkel von Glasflächen.

Auf die optimale Richtung und Neigung von Kollektorflächen haben wir im Kapitel 2.2 bereits hingewiesen.

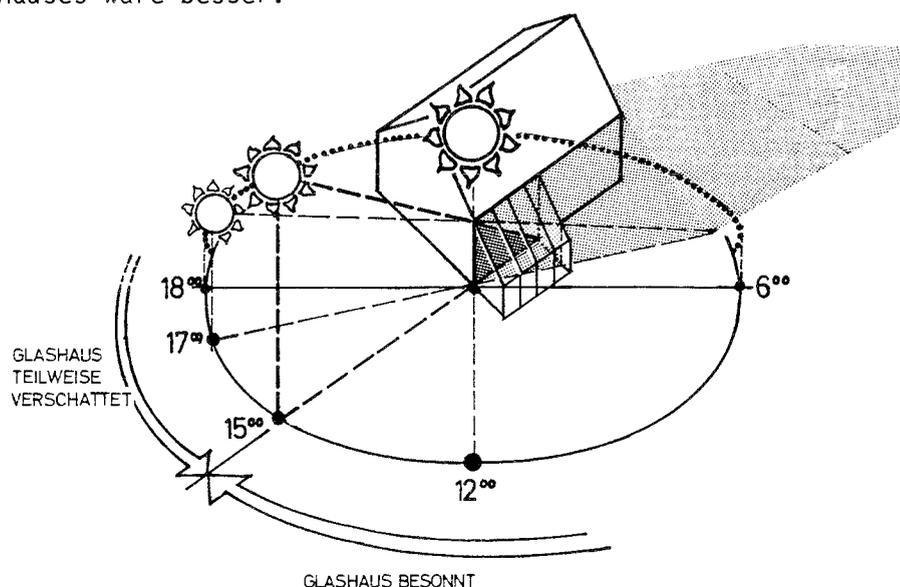
DIE VERSCHATTUNG DES GLASVORBAUS

Die Einstrahlungsgewinne von Glasvorbauten können durch Verschattung sehr beeinträchtigt werden. Zu der Verschattung durch die Umgebung kommt die Verschattung durch das Gebäude, an das der Glasvorbau sich anlehnt und die Eigenverschattung durch geschlossene Seitenwände oder Dachüberstände, die allerdings weniger die Glasflächen (Folge: Einstrahlungsminderung) als vielmehr die inneren Speicherflächen betrifft (Gefahr: Temperaturüberhöhung).

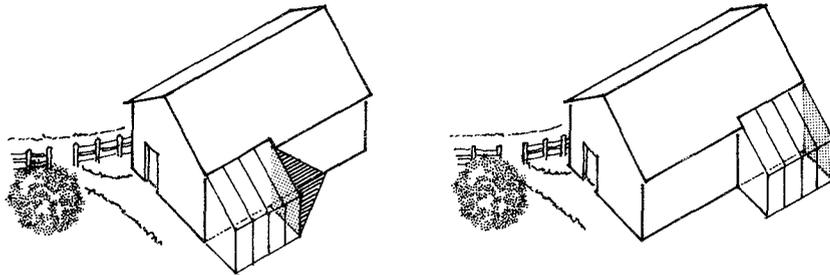
Bei der Situierung des Glasvorbaus am Gebäude muß die mögliche Verschattung der Direktstrahlung berücksichtigt werden. Der Glasvorbau soll deshalb an der Südseite oder Südspitze des Gebäudes liegen. Eine leichte Südost-Orientierung führt zu einer rascheren Erwärmung am Morgen und verringert die mögliche Überwärmung am Nachmittag.



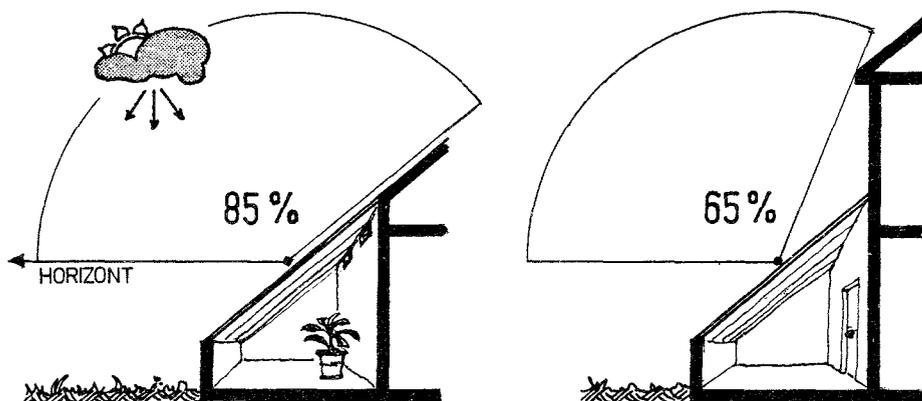
In dieser Position kann ein Glasvorbau nachmittags vollständig verschattet sein. Die Anordnung an der Südecke des Hauses wäre besser:



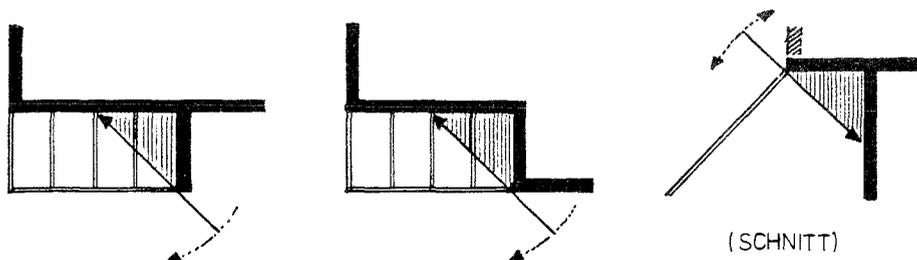
Allerdings kann eine nordorientierte und geschlossene Seitenwand des Glasvorbaus das Gebäude selbst verschatten.



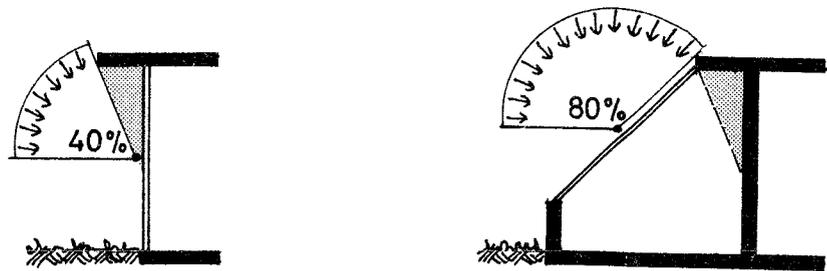
Je mehr das Gebäude den Glasvorbau überragt, desto größer wird die Abschattung der Diffusstrahlung - unabhängig von der Himmelsrichtung.



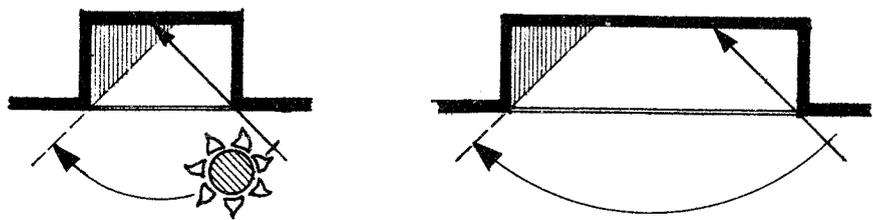
Die Ausbildung der Seiten- oder Dachflächen des Glasvorbaus als geschlossene, wärmegeämmte Bauteile reduziert die Glasfläche. Je nach der Orientierung wird damit der Einstrahlungsgewinn gemindert oder an Nordseiten die Wärmebilanz verbessert.



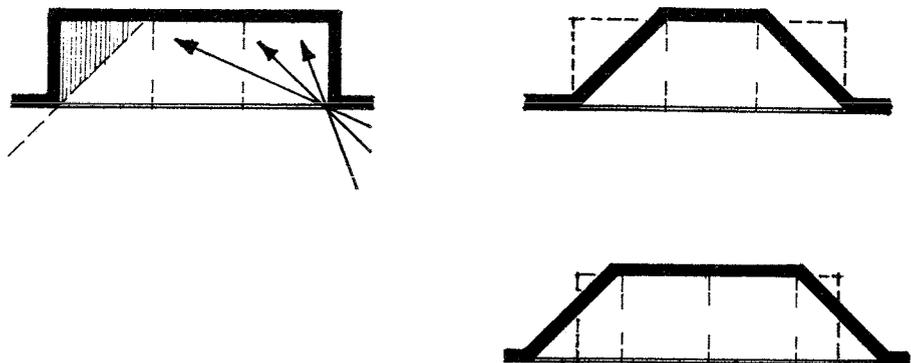
Von der Verschattung solcher geschlossener Flächen sind nicht so sehr die Kollektor-(Glas-)flächen, sondern vor allem die Speicherflächen betroffen, die für die Ausnutzung der Sonneneinstrahlung und die Temperaturstabilisierung wichtig sind.



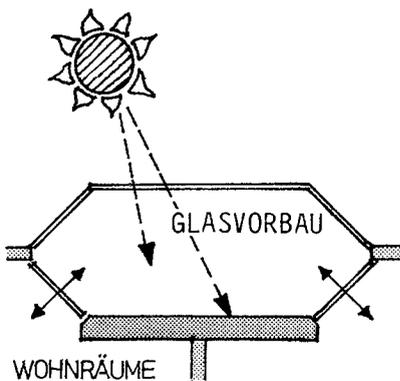
Anders als beim Sonnenfenster oder der Sonnenwand spielt die Verringerung der Diffusstrahlung durch einen kleinen Dachüberstand beim Glasvorbau nur eine geringe Rolle: er verkleinert die Glasfläche, verschattet sie aber nicht.



Je breiter der Glasvorbau ist, desto geringer ist der Einfluss der Verschattung durch die Seitenwände.



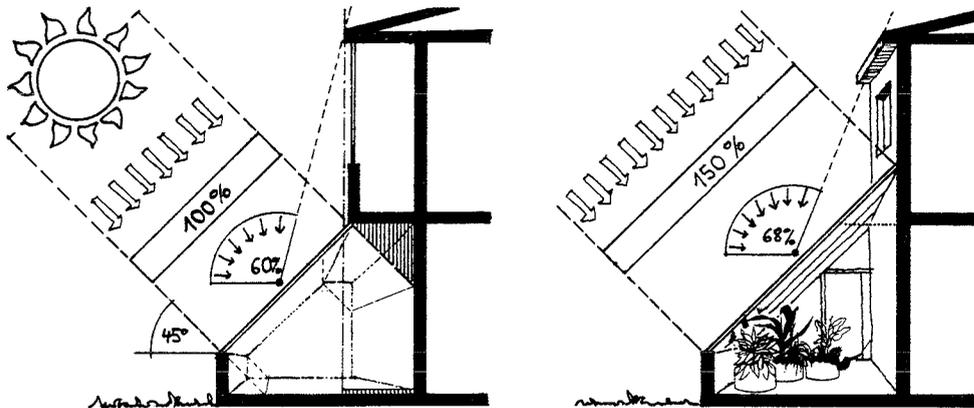
Durch die Grundrissform des Glasvorbaus kann die Eigenverschattung des Glasvorbaus beeinflusst werden. Dadurch entstehen zugleich unterschiedliche Verhältnisse von Kollektor- und Speicherflächen.



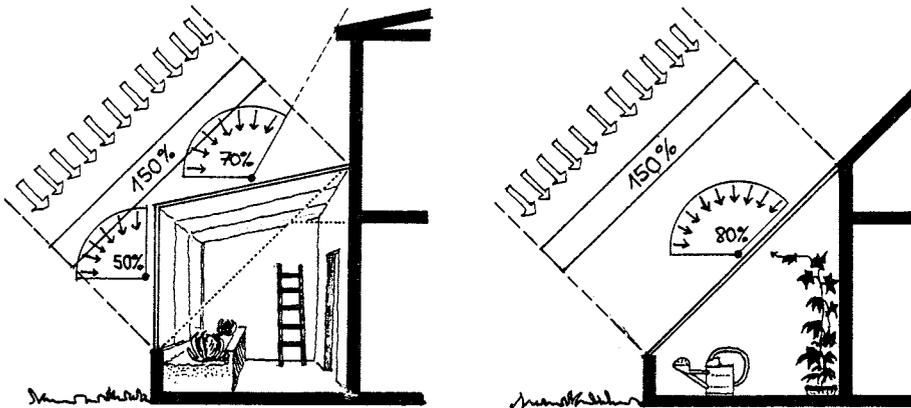
Große Boden+ Wandflächen zur direkten Einspeicherung von Strahlungswärme.

Nachstehend zeigen wir Glasvorbauten mit unterschiedlichen Querschnitten und Verschattungsbedingungen.

GLASHÄUSER MIT UNTERSCHIEDLICHEN QUERSCHNITTSFORMEN UND VERSCHATTUNGSBEDINGUNGEN IM VERGLEICH.



Strahlungsgewinne bei der Direktstrahlung (Pfeilschar) und der Diffusstrahlung (Pfeilekreis-Segment) werden durch grössere Glasflächen und geringere Verschattung vergrößert. (Für die Diffusstrahlung ist die Strahlung auf die horizontale Fläche als 100 % angesetzt.)

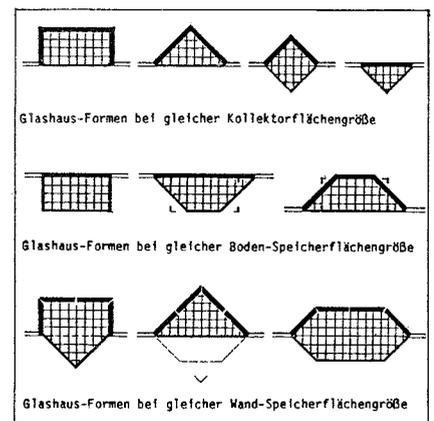


Die Vergößerung der Glasfläche im Querschnitt des Glasvorbaus bei dem gleichen Gebäude verbessert etwas die Diffuseinstrahlung. Diese wird umso größer, je weniger Schatten das rückwärtige Gebäude wirft.

FORMEN VON GLASVORBAUTEN UND TEMPERATURVERHALTEN

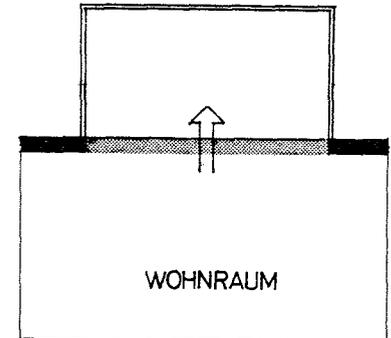
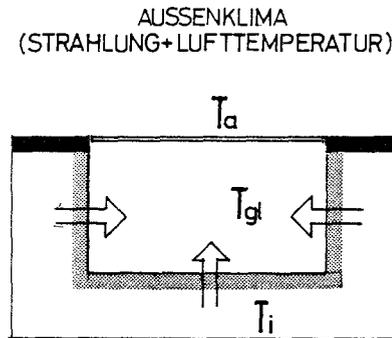
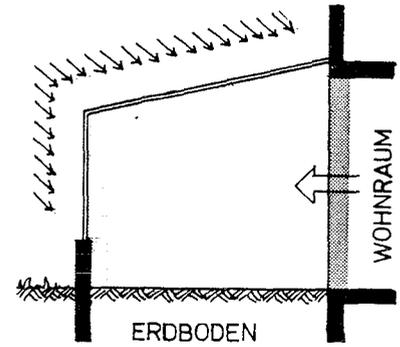
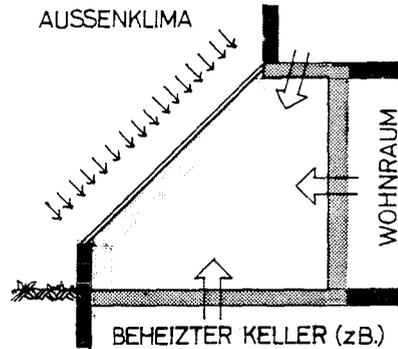
Bei Kombinationen von großen Kollektorflächen mit kleinen Speicherflächen bewirkt große Temperaturschwankungen im Glasvorbau. Umgekehrt ist die Kombination großer Speicherflächen mit kleinen Kollektorflächen mit geringeren Einstrahlungsgewinnen und Temperaturschwankungen verbunden.

Um den Glashaus als Kollektor zu optimieren, muß man beides anstreben: große Kollektorfläche und große Speicherfläche.



Das Temperaturverhalten von Glasvorbauten ist auch von der thermischen An- oder Einbindung in das Gebäude abhängig.

An zwei Beispielen wollen wir das gegensätzliche thermische Verhalten verschiedener Glasvorbauten verdeutlichen:



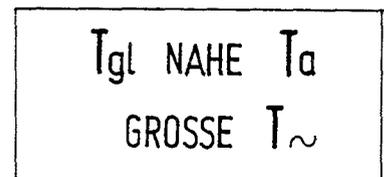
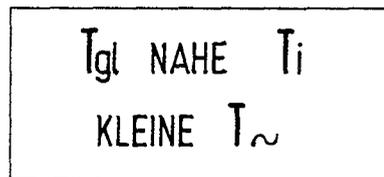
Integrierter Glasvorbau

Großer Anteil von Flächen, die an beheizte Räume grenzen, kleiner Anteil von Flächen, die an die Außenluft grenzen, und von Kollektorflächen: Das Glashaus ist wärmer, die Temperaturschwankungen sind gering.

Exponierter Glasvorbau

Kleiner Anteil von Flächen, die an beheizte Räume grenzen, großer Anteil von Flächen, die an die Außenluft und an den Boden grenzen, und von Kollektorflächen: Das Glashaus ist kälter, die Temperaturschwankungen sind größer.

TEMPERATURVERHALTEN:

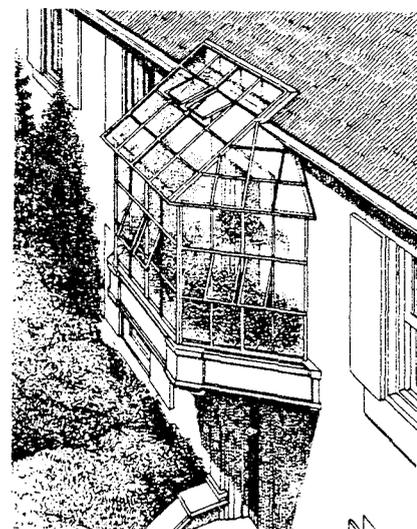


Dieses Temperaturverhalten kann durch die Wahl der Konstruktionen (k-Werte) verstärkt oder abgeschwächt werden.

So werden die Temperaturunterschiede noch größer, wenn die Flächen zwischen Glasvorbau und angrenzenden Raum im linken Beispiel wenig wärmegeklämmt, im rechten Beispiel gut wärmegeklämmt sind. Umgekehrt würden die Temperaturunterschiede verringert.

Der exponierte Glasvorbau (rechts) erzielt zugleich höhere Strahlungsgewinne. An strahlungsreichen Tagen sind somit die Überwärmungen und die Wärmelieferungen an den angrenzenden Raum größer. Dieser Glasvorbau arbeitet also mit größeren Temperaturschwankungen, d.h. tendenziell als Kollektor besser als der andere Typ.

Der integrierte Glasvorbau wird dagegen geringeren Wärmeschwankungen ausgesetzt, an kalten Tagen wärmer und für Pflanzen und Menschen besser nutzbar sein. Zugleich arbeitet er als Sonnenkollektor weniger effizient.

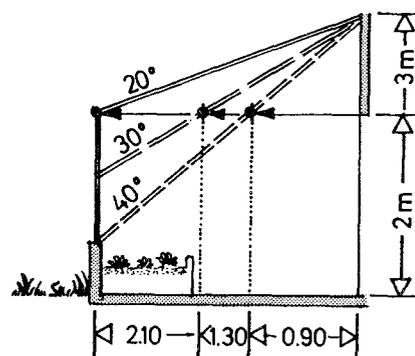


Wintergarten - Veranda

DIE UMSCHLIESSUNGSFLÄCHEN DES GLASVORBAUS

Beim Entwurf von Glasvorbauten ist auf eine ausreichende Kopfhöhe zu achten. Überkopf-Verglasungen in Aufenthaltsbereichen dürfen nur bruchsticher ausgeführt werden. Dazu gehören Sicherheits- und Drahtglas, Kunststoff-Stegdoppelplatten o.ä. Bei anderen Glasarten müssen zum Schutz vor herabfallenden Scherben bei Glasbruch Unterspannbahnen aus Klarsichtfolie oder ein Gitternetz vorgesehen werden, das gleichzeitig als Rankgerüst während des Sommers dienen kann. Verglaste Dachflächen sollen einen Neigungswinkel von nicht weniger als 20° haben, am besten 25-30°, damit Regenwasser abfließt, Schnee abrutscht und Kondenswasser auf der Innenseite nicht abtropft, sondern abläuft.

Bei verschiedenen Neigungswinkeln muß man darauf achten, daß Zusatzkonstruktionen wie Sonnen- und Wärmeschutz einfach montierbar und funktionsfähig sind.



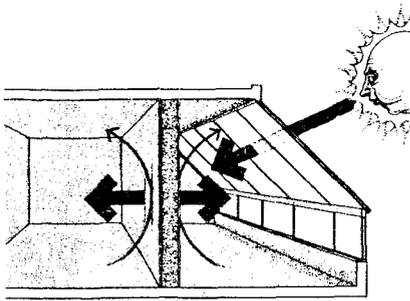
Bereich mit Kopfhöhe bei Schrägverglasungen

WAND UND WÄRMEÜBERTRITUNG ZWISCHEN GLASVORBAU UND WOHNRAUM

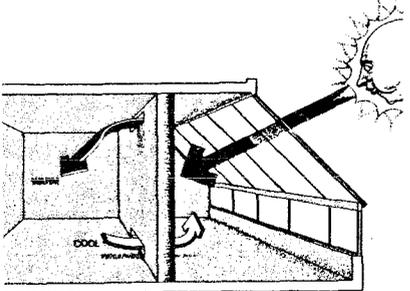
Die Wand zwischen Glasvorbau und angrenzenden Raum hat verschiedene Funktionen zu erfüllen. Sie soll eine ausreichende Belichtung und Besonnung zulassen, die Aussicht nicht versperren und den Zugang zum Glasvorbau enthalten. Zugleich soll sie als südorientierte Haupteinstrahlungsfläche ebenso wie der Fußboden einen größtmöglichen Teil der Sonnenenergie einspeichern und an den Wohnraum abgeben.

Die Wärmeübertragung aus einem Glashaus kann auf zwei Wegen erfolgen:

1. Wärmedurchgang: Die direkt angestrahlte Wand (ohne Wärmedämmung) zwischen Glasvorbau und angrenzendem Raum gibt die Wärme mit zeitlicher Verzögerung an den Raum weiter. Die Wirkung dieser Wärmeübertragung ist von der Einstrahlungsintensität abhängig, weniger von den Temperatur der Außenluft im Glasvorbau. Der Wärmedurchgang erfolgt gleichermaßen an kalten, klaren Januartagen wie bei Sonnenschein im Oktober oder März.



Wärmeaustausch durch Strahlung

Wärmeaustausch durch Konvektion
(Quelle Mazria/15).

2. Konvektion: Das setzt voraus, daß die Temperatur der Warmluft im Glasvorbau höher ist als im angrenzenden Raum, also über 20°. Diese Wärmeübertragung hängt also von der Sonneneinstrahlung und von der Außentemperatur ab. Bei milder Außentemperatur an bewölkten Tagen z.B. im April oder Oktober kann die Temperatur im Glasvorbau über 20° ansteigen. Damit ist eine Wärmelieferung an den angrenzenden Raum möglich.

Daraus kann gefolgert werden: Die erste -transmissive- Form der Wärmeübertragung wird besser in Klimazonen mit hoher Direktstrahlung (dabei auch niedriger Außentemperatur z.B. in Gebirgsgegenden) genutzt. Die zweite -konvektive- Form der Wärmeübertragung ist für Klimazonen mit milden Wintern und hoher Diffusstrahlung (z.B. im Ruhrgebiet) besser geeignet.

Die transmissive Durchlässigkeit für eingestrahelte Sonnenwärme (Wand ohne Wärmedämmung!) bedeutet aber auch, daß während der kalten Jahreszeit mehr oder weniger Wärme vom angrenzenden beheizten Raum in den kühlen Glasvorbau abfließt, dieser also vom angrenzenden Raum aus mitbeheizt wird. Der Wärmeabfluss nimmt zu, je niedriger die Temperaturen im Glasvorbau sind.

Deshalb kann für unser Klima eine thermische Trennung, d.h. wärmedämmende Wand zwischen Glasvorbau und angrenzenden Raum zweckmäßig sein, vor allem, wenn im Glasvorbau auch zeitweise niedrige Temperaturen toleriert werden.

Die Wärmeübertragung bei einer dämmenden Wand ist dann nur konvektiv möglich, also mithilfe von Luftöffnungen. Diese sollten vertikal möglichst weit auseinander liegen (z.B. am Fußboden und unter der Decke) und einen Querschnitt von je 3 % der Wandfläche haben.

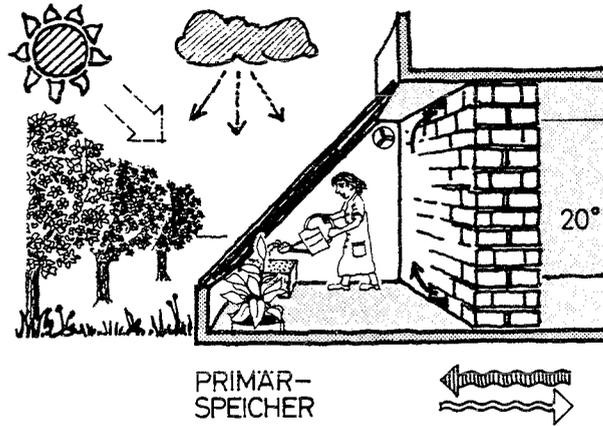
Auf Speichermasse im Glasvorbau sollte aber auch bei einer dämmenden Wand in keinem Fall verzichtet werden, da sie zusammen mit einem speicherfähigen Fußboden einen wichtigen Beitrag zur Temperaturstabilität im Glasvorbau leistet.

WÄRMEDURCHGANG DURCH DIE SPEICHERWAND AN EINEM WOLKENLOSEN WINTERTAG

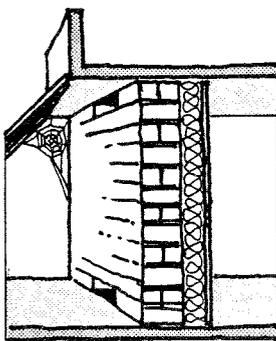
Die Wärmemenge, die an einem wolkenlosen Wintertag durch die Wand vom Glasvorbau in den angrenzenden Raum dringt, in Prozent der eingestrahelten Sonnenenergie (Wand mit schwarzer Oberfläche, direkt besonnt, Verhältnis Wandfläche: Glasfläche = 1:1), beträgt bei einer 30 cm Betonwand 14 bis 22 %, bei einer 30 - 50 cm Wasserwand 21 bis 30 % der eingestrahelten Sonnenenergie. (Erfahrungswerte Quelle 15).

Die Streuung der Angaben beruht auf der unterschiedlichen Ausführung der Glasvorbauten.

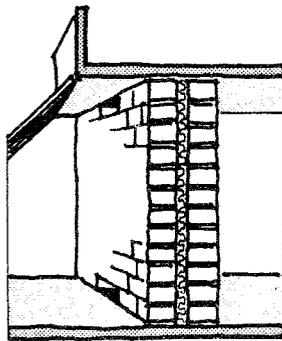
VERSCHIEDENE KONSTRUKTIONEN DER WAND ZWISCHEN WOHNRAUM UND GLASHAUS



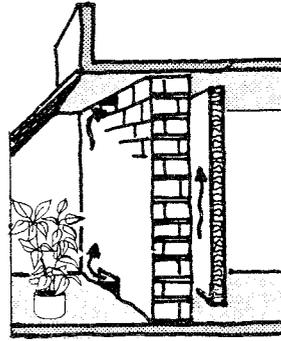
Speicherwand für transmissive Wärmeübertragung mit zusätzlicher Luftzirkulation. Bei den folgenden Speicherwänden mit Wärmedämmschicht erfolgt die Wärmeübertragung ausschließlich über Luftzirkulation:



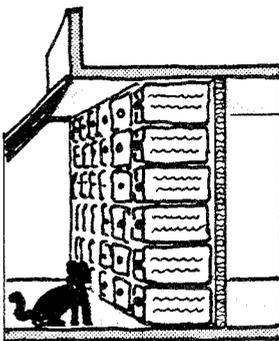
Speicher-Vorsatzschale vor der wärmedämmenden Leichtbauwand



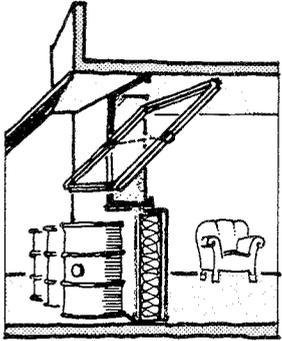
Wärmedämmschicht mit beidseitigen Speicherschalen



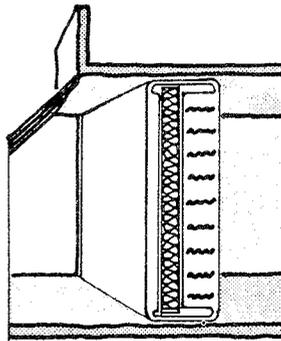
Speicherwand mit rückseitigem Luftspalt zum verbesserten Wärmeaustausch



Wände mit Wasser als Speichermasse



Ganzverglasung oder Leichtbauwand mit Wassertonnen als Speichermasse



Wasserabsorber mit raumseitiger Speicherwand und selbstregelnder Wasserzirkulation (siehe hierzu auch Kap. 2.3)

WÄRMESPEICHERUNG IM GLASVORBAU

An sonnenreichen Tagen kann ein Glasvorbau mehr Energie gewinnen als im Augenblick für ein behagliches Temperaturniveau gebraucht wird. Die wirksamste Weise, diese Wärmeüberschüsse für kommende strahlungsarme und kühle Tage aufzubewahren und zugleich eine übermäßige Erwärmung der Luft im Glasvorbau zu vermeiden, ist die unmittelbare Einspeicherung der Sonnenstrahlung in Wärmespeicher im Glashaushaus.

Dazu sollten die Speichermassen im Glasvorbau so angeordnet werden, daß sie von der Diffusstrahlung, besonders aber von der Direktstrahlung unmittelbar erreicht werden ("Primärspeichermassen").

Als Speichermassen wirken **Steine, Mauern, Erde, Wasser, Kies, Ziegel, Beton und Metalle**: Alle Baustoffe mit hohem Gewicht. Zur Verbesserung der Absorption sollten diese Stoffe eine dunkle Oberfläche sowie eine möglichst gute Wärmeleitfähigkeit haben, damit die aufgenommene Strahlungswärme rasch in die Tiefe dringen kann. (Siehe hierzu auch S. 137 und 162).

Die wichtigste Speicherfläche ist der Fußboden, danach kommt die rückwärtige Wand des Glasvorbaus. Zusätzlich zu diesen Flächen sollte im Glasvorbau soviel Speichermasse wie möglich untergebracht werden; hierfür eignen sich besonders wassergefüllte Tonnen oder Kanister, z.B. als Ständer für Tische.



Die als Wärmespeicher wirkende Bodenfläche (Erdmasse) sollte durch eine an den Fundamenten des Glasvorbaus umlaufende Wärmedämmung gegen unerwünschte Wärmeabflüsse geschützt werden (siehe auch Kap. 1.4).

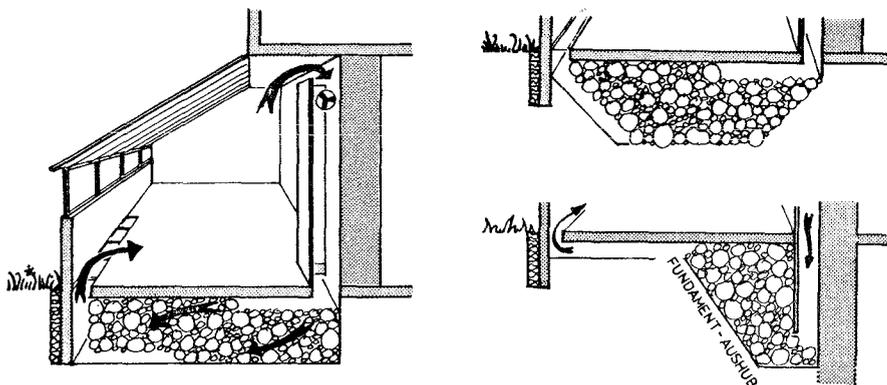
ZUSATZSPEICHER

Die Primärspeichermassen im Glasvorbau dienen vor allem dem Ausgleich der Temperaturschwankungen von Tag und Nacht und der "Abfederung" klimatischer Veränderungen innerhalb weniger Tage. Die Effizienz der Wärmespeicherung läßt sich durch zusätzliche, unbesonnte Speichermassen (Tertiärspeicher) vergrößern. Der Wärmetausch der Tertiärspeicher mit dem Glasvorbau erfolgt ausschließlich über Luftzirkulation mithilfe eines Ventilators.

Tertiärspeicher, die häufig als Steinspeicher ausgebildet werden, können auch verwendet werden, wenn nicht genug Primärspeichermasse angeordnet werden kann. Als Richtwert für die Größe solcher Steinspeicher können 1-3 m³/m² südorientierte Glasfläche gelten.

Je nach Sonnenenergieangebot pendeln die Temperaturen von Glasvorbau und Tertiärspeicher auf verschiedenen Niveaus. Steigt die Temperatur im Glasvorbau über die des Speichers an, dann beginnt ein von Hand oder themostatisch gesteuerter Ventilator die Warmluft in den Speicher zu blasen, bis die Temperaturen ausgeglichen sind. Sinkt die Temperatur im Glasvorbau unter die des Speichers, dann kann die Wärmeentnahme aus dem Speicher einsetzen.

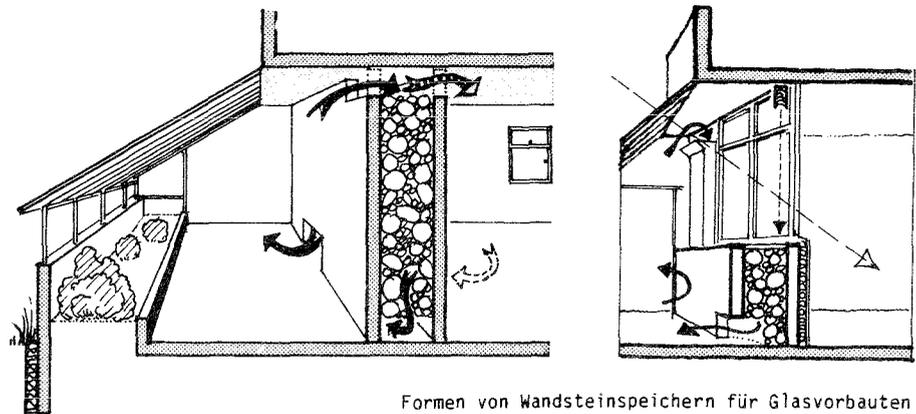
Dieser Prozeß der Temperaturstabilisierung dürfte sich in unserem Klima während des Winterhalbjahres ausschließlich im Bereich unter 20° abspielen, sodass eine Wärmeversorgung angrenzender Aufenthaltsräume nur sporadisch möglich ist. Speicher dieser Art dienen also vor allem der Temperaturstabilisierung des Glasvorbaus selbst. Sie können unter dem Fußboden angeordnet werden (Unterflur-Speicher):



Formen von Unterflur-Steinspeichern für Glasvorbauten

Solche Speicher können aber auch in der Wand zum angrenzenden Raum untergebracht werden. Sie stellen dann - ebenso wie bei der Unterfluranordnung - eine Kombination von Primär- und Tertiärspeicher dar. Wegen des Temperaturunterschieds ist eine Wärmedämmung zwischen Raum und Speicher zweckmäßig, sonst wirkt die Speicherwand als Heizfläche für den Glasvorbau. Die Speicherwand kann in den Übergangszeiten auch im Temperaturbereich unter 20° arbeiten, sie kann dann auch Wärmeüberschüsse aufnehmen, wenn der Wärmebedarf des angrenzenden Raums zeitweise voll solar gedeckt ist.

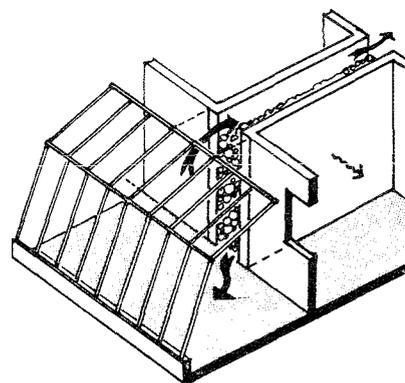
Auch die nur brüstungshohe Ausbildung der Wand als Stein-
speicher ist möglich.



Formen von Wandsteinspeichern für Glasvorbauten

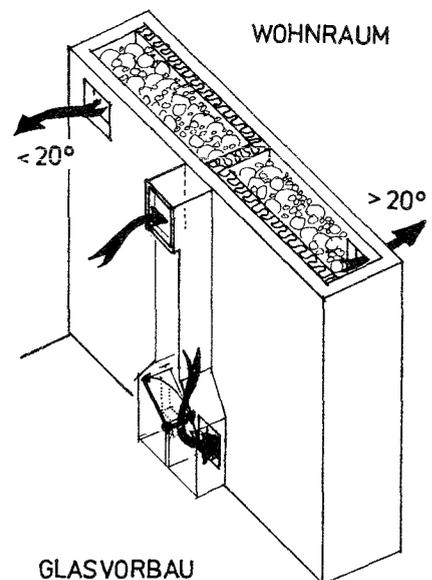
Liefert der Glasvorbau in den Übergangszeiten nennenswerte Wärmeüberschüsse über 20° , dann können sie in Speicherwänden eingelagert werden, die vom Aufenthaltsraum thermisch nicht getrennt sind, und deren Temperatur daher auch nicht unter 20° absinkt, da sie von den Wohnräumen aus mitbeheizt werden.

Solche Speicher können zwischen Glasvorbau und Aufenthaltsraum, besser aber als "Wärmetoast" zwischen zwei Räumen untergebracht werden (Bild unten links). Für einen Wärmetausch mit dem Glasvorbau sind sie nicht geeignet, da sie dann entwärmt werden und mit der nachfließenden Wärme der Aufenthaltsräume den Glasvorbau heizen.

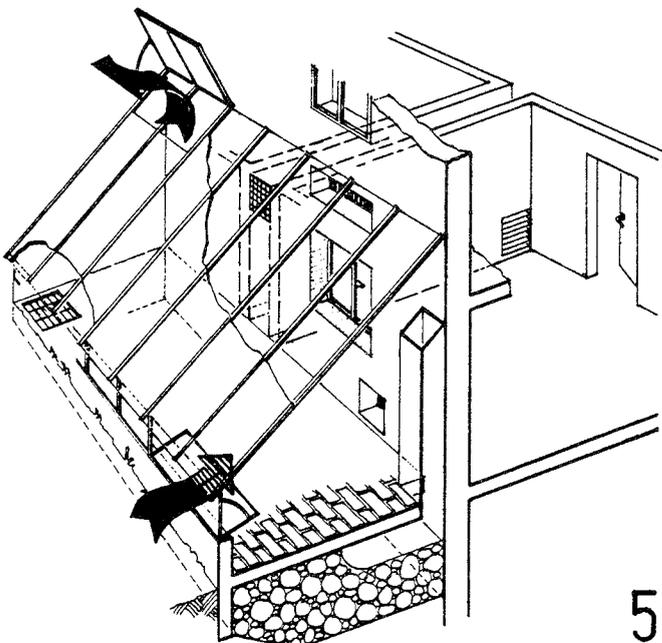
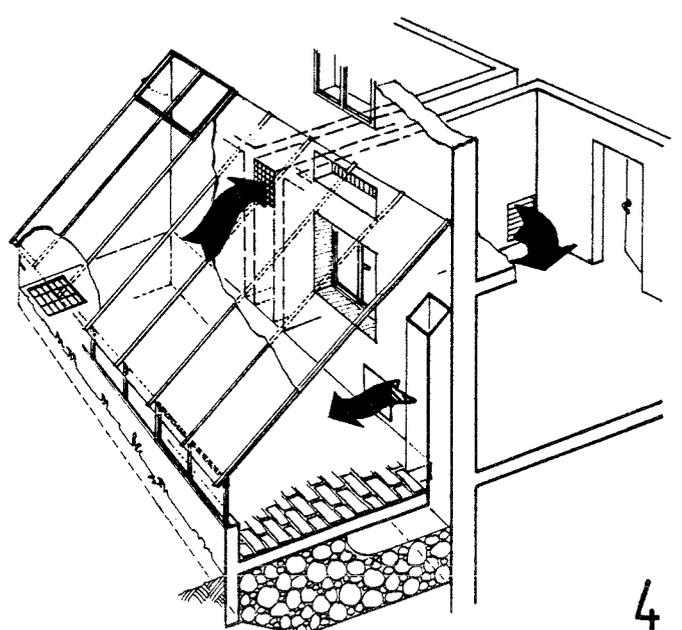
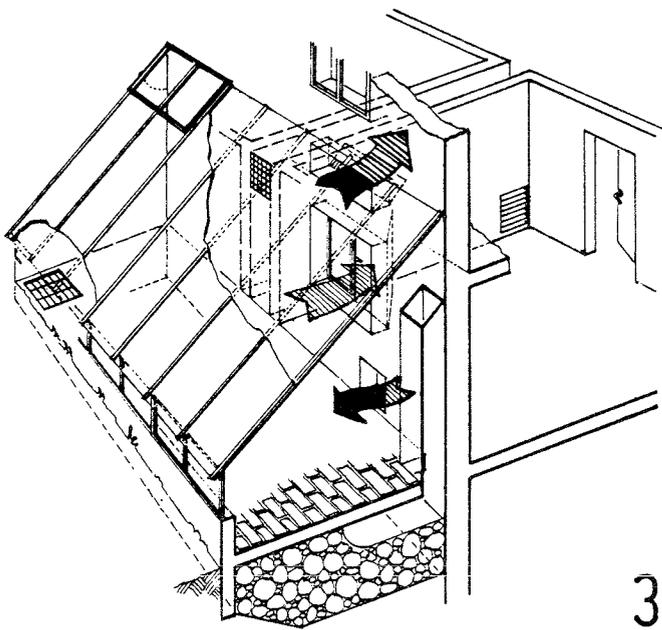
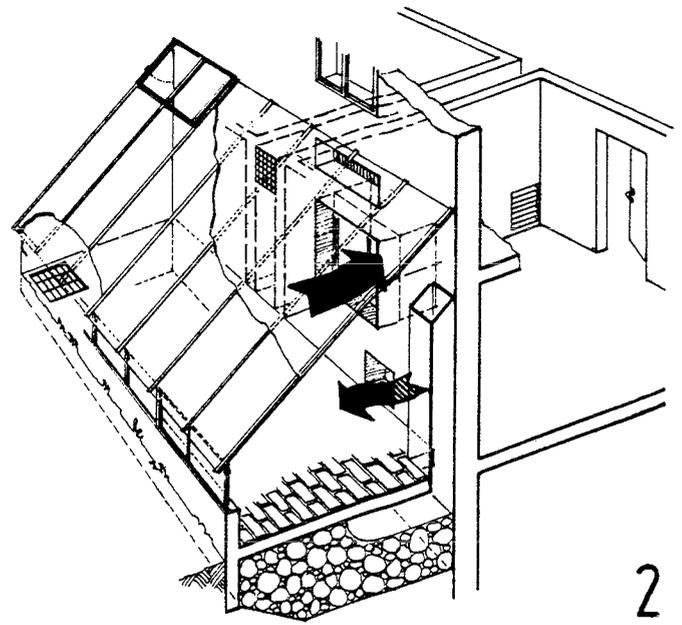
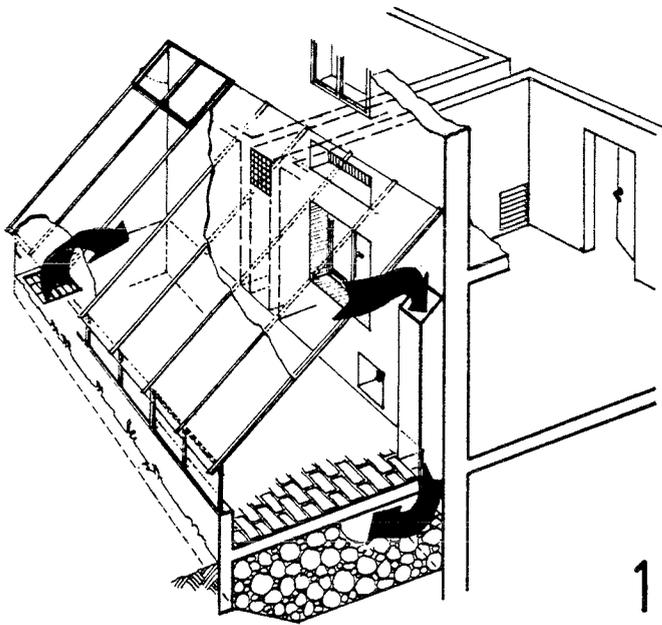


Speicherwand für Solarwärme über 20° .

Kombination von zwei Speicherwandelementen für verschiedene Temperaturbereiche.



Die Wärme kann aus solchen Speicherwänden mit Verzögerung als Strahlungswärme oder forciert als Luftwärme abgegeben werden. Im Sommer können sie mit ihren großen Tauscherflächen und mechanischer Luftzirkulation auch zur Kühlung der Wohnräume herangezogen werden. Das Bild rechts zeigt die Kombination von 2 Speichern mit unterschiedlichen Arbeitstemperaturen ($<20^{\circ}$, $>20^{\circ}$). (Siehe hierzu auch Kap. 4.1)



Beispiel für eine vollständige Nutzung der im Glasvorbau entstehenden Wärme auf unterschiedlichen Temperaturniveaus:

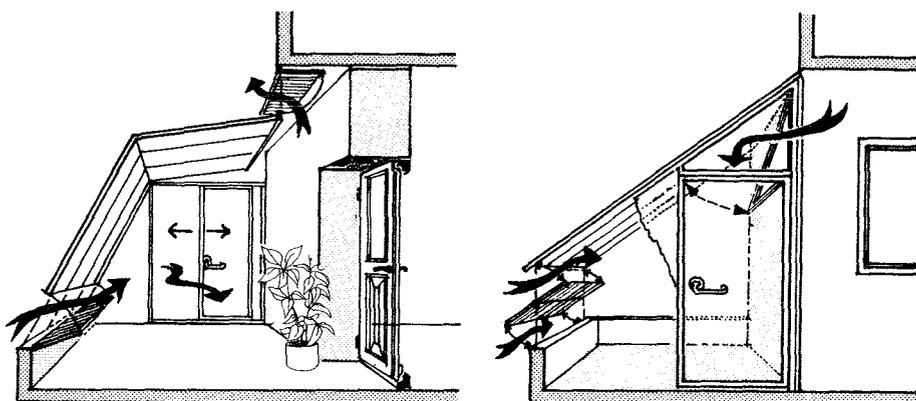
1. Winter. Temperaturstabilisierung im Glasvorbau selbst mit Unterflurspeicher im Bereich zwischen 0-18°
2. Direkte Einleitung von Warmluft über 20° aus dem Glasvorbau in den angrenzenden Raum im Erdgeschoss
3. Bei zunehmender Wärmeleistung des Glasvorbaus können zusätzlich auch angrenzende Räume im Obergeschoß mit Luft über 20° mitversorgt werden
4. Bei voller solarer Wärmedeckung der angrenzenden Räume im EG oder/und OG: Einspeicherung von Wärmeüberschüssen über 22-24° in einem Tertiärspeicher (Beispiel Speicherwand zwischen zwei Wohnräumen)
5. Sommer: Wärmeüberschüsse im Glashauss ohne Wärmebedarf im Haus (Wärmeabfälle) werden weggelüftet. Speicher können zur Kühlung benutzt werden.

Die Steuerung der verschiedenen Wärmezirkulationen ist in Abhängigkeit von den jeweiligen Temperaturdifferenzen der unterschiedlichen Wärmezonen (Außenluft-Glasvorbau-Unterflurspeicher-Wohnräume) mithilfe von Mehrwege-Luftklappen zum Teil thermostatisch möglich.

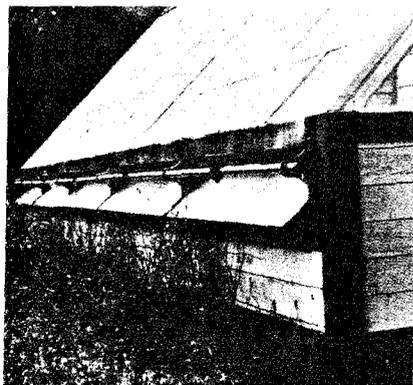
LÜFTUNG IM GLASVORBAU

Die Be- und Entlüftung des Glasvorbaus dient der Abfuhr von Wärme und Feuchtigkeit. Sie ist durch natürlichen Wärmehauftrieb mithilfe von Schiebe- oder Klappenelementen möglich oder, forciert, mit Ventilatoren. Sowohl Klappen wie Ventilatoren können mit Thermoautomaten gesteuert werden. Die Lüftungsöffnungen müssen einen vollen Luftzug zulassen. Sie sollen in möglichst großen, vertikalem Abstand (zwischen Boden und Decke) und diagonalem Abstand auseinander liegen.

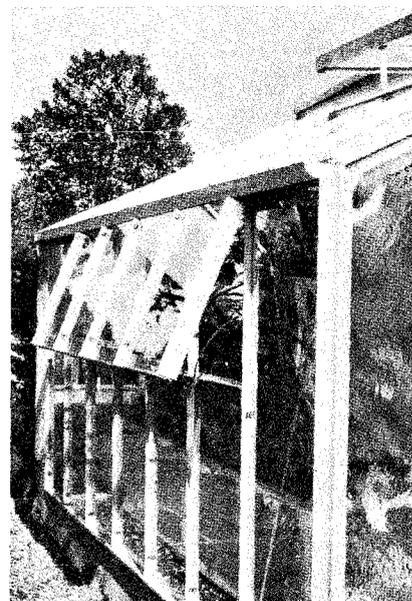
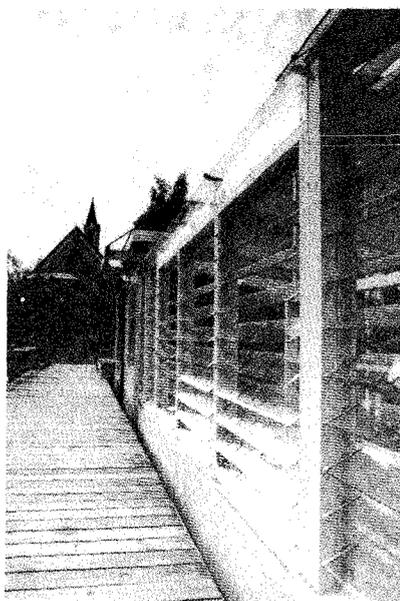
An heißen Tagen sollten Glasvorbau und angrenzender Raum thermisch getrennt bleiben, die Lüftung soll möglichst nur nachts erfolgen, um die Speichermassen im Haus abzukühlen. Den Glasvorbau dagegen wird man auch tagsüber entlüften müssen. Der Entwärmungseffekt ist größer, wenn die Luft aus kühlen Räumen entnommen wird, z.B. aus Kellerräumen oder Kühlkanälen, die im Erdreich liegen.



Lüftungsmöglichkeiten für Glasvorbauten.



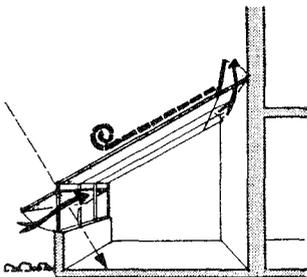
Lüftungsklappen in einem Glasvorbau.



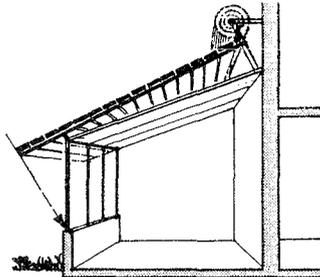
Für die automatische Regelung der Glasvorbau-Lüftung sind Thermostate auf dem Markt, die bei festen oder einstellbaren Temperaturgrenzen die Lüftungsklappen öffnen oder schließen (Öffnungsbreite je nach Klappengewicht 10-18 cm, Preis ca. 40.- bis 70.- DM / bei einstellbaren Temperaturgrenzen bis 180,- DM).

SONNENSCHUTZ VON GLASVORBAUTEN

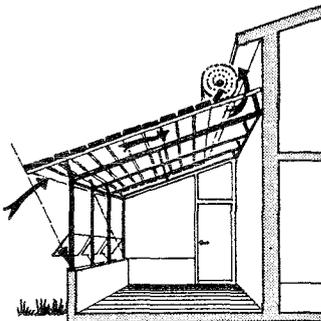
Der Sonnenschutz beim Glasvorbau muß so angebracht werden, daß die Lüftung nicht behindert wird.



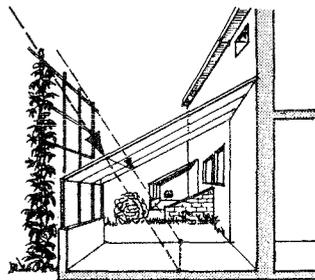
Sonnenschutz ohne Hinterlüftung, außenliegend



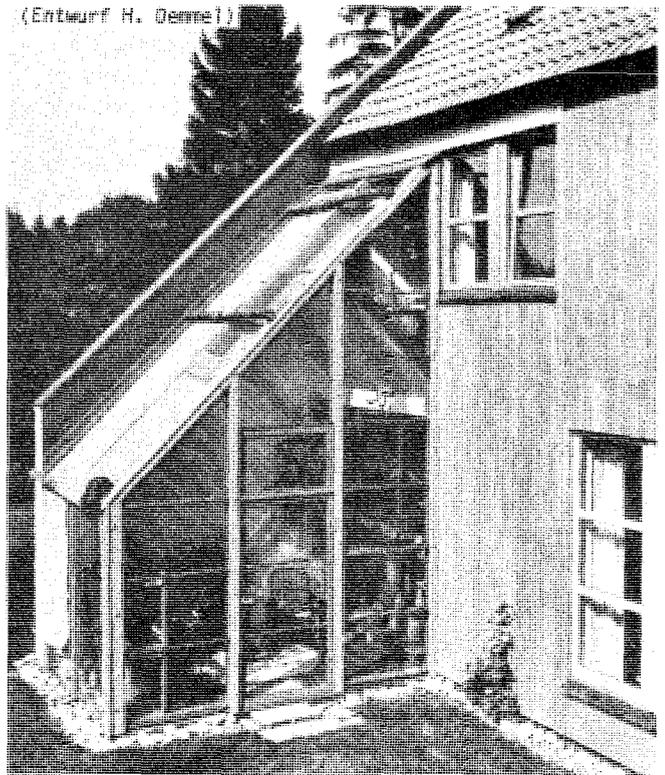
Obliche Gewächshauskonstruktion



Sonnenschutz, außenliegend, mit voller Hinterlüftung



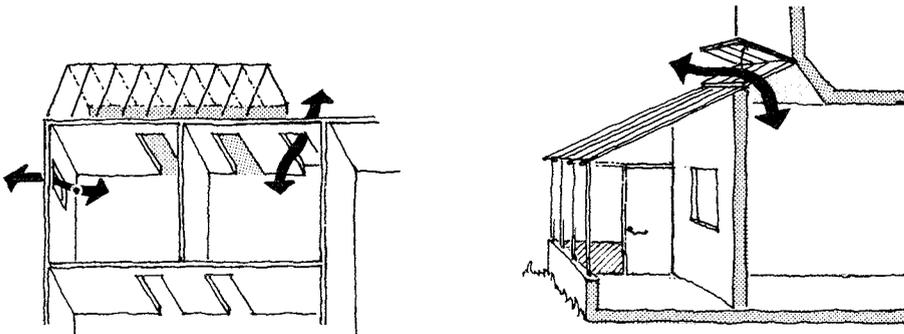
Sonnenschutz durch Rank-Bepflanzungen: Eine volle Verschattung ist so nur schwer erreichbar. Die Spaliergitter sollten besser dem Glasverlauf folgen.



Selbstlaufende Schattieranlage

BELICHTUNG UND BELÜFTUNG DER AN DEN GLASVORBAU GRENZENDEN RÄUME

Aufenthaltsräume müssen laut Bauordnung mindestens ein direkt ins Freie führendes Fenster haben, das zur Belüftung geöffnet werden kann. Aus diesem Grund dürfen Aufenthaltsräume nicht vollständig von Glasvorbauten umgeben sein. Eine vom Glashaus unabhängige Belüftung der Wohnräume ist vor allem im Sommer nötig.



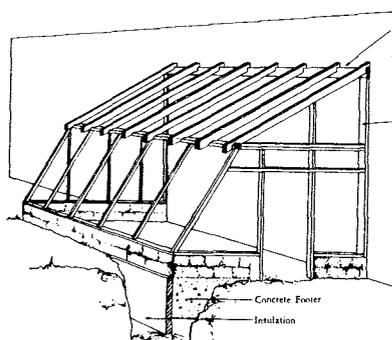
Ein direkt ins Freie führendes Fenster ist auch zur Belichtung nötig, wenn die Wand zwischen Raum und Glasvorbau weitgehend geschlossen ausgeführt wird.

DER GLASVORBAU ALS PFLANZEN- UND TREIBHAUS

Für die Nutzung des Glasvorbaus als Pflanzen- und Treibhaus sind andere thermische Bedingungen zu beachten als für eine Nutzung als Wohn- oder Kollektor-Raum: Die Temperatur darf 30° nicht überschreiten und nur kurzzeitig unter 0° fallen. Viele Pflanzen überstehen zwar 1 bis 2 Frosttage, aber keine längeren Frostperioden.

Bei subtropischen Pflanzen, die sich besonders für Glasvorbauten mit relativ großen Temperaturschwankungen eignen, soll eine Mindesttemperatur von 8° nicht unterschritten werden. Rechnerische Untersuchungen ergaben, daß ein Glasvorbau mit einer Tag-Nacht-Speichermasse zwischen Anfang November bis Mitte März allein durch Sonneneinstrahlung eine mittlere Temperatur von 8° aufweist. Von Ende November bis Ende Februar ist er ohne Zusatzheizung frostfrei ($+2^{\circ}$) zu halten (Quelle 47).

Sonnenschutz und Lüftung sind stets notwendig, eine Nachtdämmung ist zweckmässig. Bei einer Wärmeabgabe an die angrenzenden Räume ist die hohe Luftfeuchte des Pflanzen-Treibhauses -besonders bei Doppelverglasung- zu beachten. Wir verweisen hierzu auf die Quellen 45, 47, 86.



VERGLASUNGSARTEN

GLAS

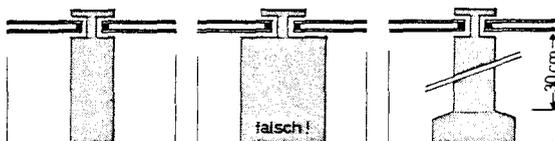
Für Glasflächen über Aufenthaltsbereichen sind als Einfachgläser nur Drahtglas und Verbundsicherheitsglas (bestehend aus 2 Scheiben mit Folieneinlage ohne Luftzwischenraum) zulässig. Die Verwendung von Einfachglas ohne Bruchsicherheitseinlagen ist möglicherweise (d.h. mit besonderer Genehmigung) mit einer untergespannten Folie oder einem dünnen Gitternetz (Maschenweite 20-50 mm) erlaubt.

Die Verwendung von Isolierglas über Kopf ist nur in aufwendigen Sonderausführungen mit Sicherheitsglas zulässig. Sie bestehen z.B. aus 2-Scheiben-Verbundsicherheitsglas mit 10-12 mm Luftzwischenraum und einer Sicherheitsglasscheibe auf der Aussenseite.

Für vertikale Verglasungen sind alle Glasarten zulässig. Die billigste Ausführung in Gartenblankglas (durchsichtig) oder Gartenklarglas (genörpelt, durchscheinend). Aus zwei Scheiben kann auch eine Doppelverglasung hergestellt werden, die allerdings nicht ganz dicht ausgeführt werden darf. Daher muß mit einer zeitweisen Trübung durch Dampfniederschlag und auf die Dauer mit einer Verschmutzung gerechnet werden, die die Lichtdurchlässigkeit mindert.

Liefergrößen von
Gartenblankglas
(d = 3 oder 4 mm)

44 x 144 cm
46 x 144
48 x 120
60 x 174
73 x 143
73 x 160
73 x 165

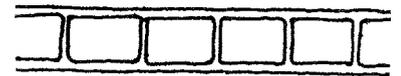


Bei der Einfassung von 2-Scheiben-Verglasungen ist darauf zu achten, daß beide Scheiben in gleicher Breite abgedeckt sind. Unterschiedliche Erwärmung kann infolge von Temperaturspannungen zum Bruch der Scheiben führen.

STEGDOPPELPLATTEN

Stegdoppelplatten aus Acrylglas, Polyester oder Polykarbonat sind wasserdampfdurchlässig und müssen daher mit Gefälle in Stegrichtung verlegt werden. Sie dürfen an den unteren Plattenenden nicht völlig abgedichtet sein, damit das Kondenswasser ablaufen kann.

Acryl-Stegdoppelplatten der gebräuchlichen Stärke von 16 mm benötigen bei einer Plattenbreite von 120 cm einen Pfettenabstand von 120 cm, bei einer Breite von 60 cm keine Pfetten, wenn die Plattenanschlüsse mit Profilsprossen hergestellt werden. Wegen der großen Temperaturdehnungen sollten Stegdoppelplatten nicht über mehr als 3,30 m in einem Stück verlegt werden. Ausserdem muss das Befestigungssystem Dehnungen zulassen. Stegdoppelplatten aus Acrylglas sind auf Dauer lichtbeständig, aus PVC (unvergütet) nicht auf Dauer lichtbeständig: nach 5 Jahren ist ihre Lichtdurchlässigkeit etwa auf die Hälfte gesunken.



Lieferlängen von Stegdoppelplatten (Acrylglas 16 mm)

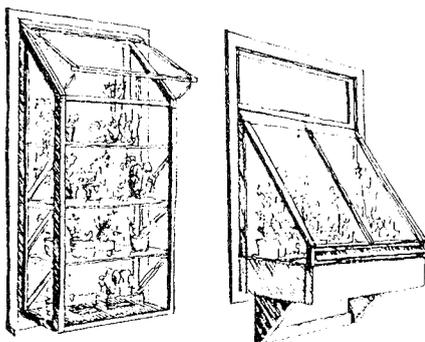
1,60 m	3,50 m
2,00 "	4,00 "
2,50 "	5,00 "
3,00 "	6,00 "

PVC-PLATTEN

PVC-Platten sind als Well- oder Trapezprofilplatten erhältlich, sowohl durchsichtig (glasklar) oder durchscheinend ("klarfrost"). Es sind nur lichtbeständige Fabrikate zu empfehlen. Sie sind auch als raumseitige Sicherheitsschicht unter Einfachglas über Kopf verwendbar. So sind sie auch vor UV-Strahlung geschützt.

KUNSTSTOFF-FOLIEN

Die meisten Kunststoff-Folien sind nicht UV-beständig und können dauerhaft nur als raumseitige Ergänzung z.B. zu Einfachglas verwendet werden. Da die Lichtdurchlässigkeit der meisten Folien im Lauf der Zeit nachlässt, sind sie kein Glasersatz, sondern eher zur zeitweisen Verminderung von Wärmeverlusten geeignet. Die Folie muß so befestigt werden, daß zwischen Glas und Folie eine ruhende Luftschicht entsteht. Dabei sind die z.T. beträchtlichen Dehnungen bei Wärmeeinwirkung zu beachten.



Das Fenster als Miniatur-Glasvorbau

EIGENSCHAFTEN VERSCHIEDENER VERGLASUNGSARTEN

(Angaben z.T. aus Quelle 45)

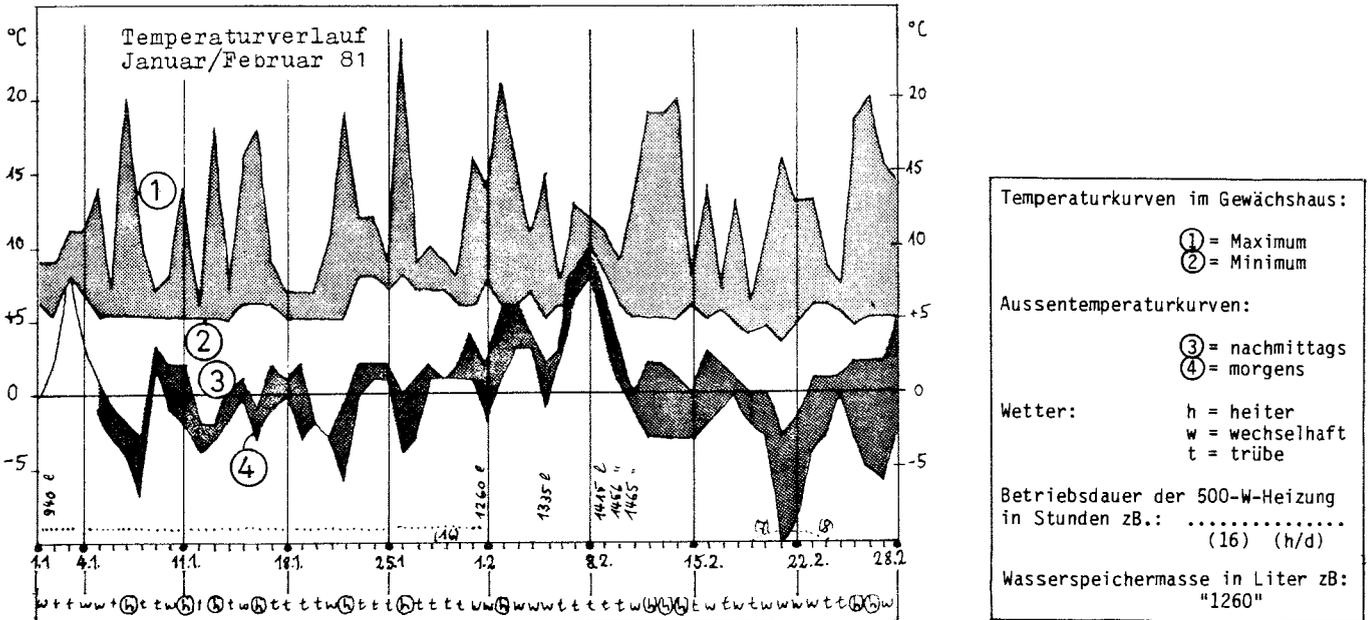
Die nachstehenden Glaspreise sind Orientierungswerte. Sie sind nicht auf die Preise für komplette Fenster übertragbar (so beträgt z.B. der Preisunterschied von Fenstern mit 2- und 3-fach-Verglasung bei einigen Herstellern nur etwa 20%).

Baustoff	Optische Qualität	Wärmedurchgangszahl (k)	Gesamtenergie-durchlaßgrad (g)	Größe, Abmessung	Dicke d	Gewicht	Eignung für Glas-Dächer	Preis (Richtwerte Stand 1981)
		W/m ² K	%	m	mm	kg/m ²		DM/m ²
Sonnenkollektorglas (Gussglas)	unklar	5.8	91	1.65 x 3.06 1.86 x 4.50	4 - 6	8.3-10.3	-	30.-
Gartenklarglas und Gartenblankglas	klar unklar	5.8	89 - 93	gesonderte Tabelle	3 - 4	6.8-10.0	-	10- 20.-
Fensterglas (geschliffen)	klar	5.8	84 - 86	Anfertigung nach Maß	3 - 4	7.5-10.0	-	45.-
Verbund-Sicherheitsglas	klar		bis 90	"			x	110.-
Drahtglas (Gussglas)	unklar	(5-6)	bis 88	"	5,7,9		x	70- 80.-
2-Scheiben-Isolierglas	klar	3.0	80	"		20.0	-	105.-
2-Scheiben-Wärmeschutzglas	klar	bis 1.3	ca 60	"		20.0	-	200.-
3-Scheiben-Isolierglas	klar	2.3	70	"		30.0	-	210.-
2-Scheiben-Verbund-Sicherheits-Isolierglas	klar	3.0		"			x	275.-
2-Scheiben-VS-Isolierglas m.kapillarer Dämmplatte	milchig	1.9-1.0	75 - 77	"	20-50		x	200- 300.-
Polyester-Stegdoppelplatten	unklar	(3.2)	83	"	16	4.0	x	120.-
Acryl-Stegdoppelplatten	unklar	3.2	83	1.20 x 3.00 u.a. Maße		5.0	x	50- 70.-
Polycarbonat-Hohlkammerplatte	unklar	2.9		1.50 x 2.40 1.20 x 2.40	16	1.2	x	35.-
glasfaserverst. Polyesterplatte (GF-UP)	milchig	5.5		Rollenware max.b= 2.00	1 - 3	1.5-4.5	x	15- 45.-
Hart-PVC-Platten gewellt o. Trapezprofil	halbklar	5.8	75 - 85	1.09 x 6.00	1 - 1.5	2.0		15.-
Polyesterfolie (nicht UV-stabil)	milchig			Rollenware max.b= 1.40	0.1	0.14	-	8.-
Polyvinylfluorid PVF			94 - 95	Rollenware max.b= 1.40	0.1	0.14		15.-
PVC - Folie (Unterspannfolie)	klar			Rollenware max.b= 2.00	0.2	0.25	-	2.-
PE - Folie uv-stabilisiert			92 - 93	Rollenware max.b= 8.10 L=25,35,50m	0.1	1.80	-	2.-
Luftbläschen-Folie	unklar		88 - 92				-	

WELCHE TEMPERATUREN STELLEN SICH WÄHREND DES WINTERS IM GLASVORBAU EIN ? (3 Beispiele)

Um eine Vorstellung vom Temperaturverlauf in einem Glasvorbau zu vermitteln, stellen wir das Ergebnis sowohl von Temperaturmessungen vor Ort als auch von Simulationsrechnungen vor:

Das nachfolgende Diagramm zeigt den Verlauf der Innen- und Außentemperaturen im Januar und Februar 1981 in einem freistehenden Gewächshaus. (Messwerte Quelle 45)



Betrachtet man die heiteren Tage (h) (7.1./11.1. usw.) so sind sie regelmässig von einem Abfall der Außentemperatur (4) begleitet.

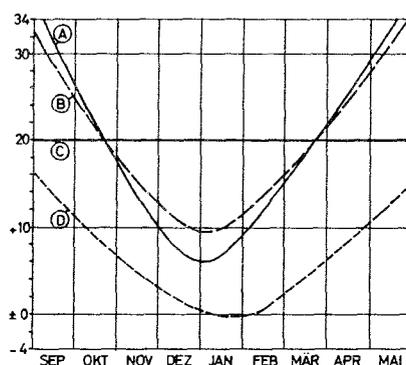
Dennoch steigt die Lufttemperatur im Innenraum infolge der direkten Sonneneinstrahlung explosionsartig an (siehe hierzu auch "Thermische Eigenschaften der Luft" im Kap. 4.2). Wegen der Seltenheit der heiteren Tage wird diese Temperaturerhöhung von den Speichermassen im Gewächshaus kaum mitvollzogen. Die Speichermassen stabilisieren die Temperaturen (nur) auf niedrigem Niveau. Das ist an der relativen Konstanz der Minimum-Temperaturen (Kurve 2) während der Zeit ohne Zusatzheizung ablesbar. Die mittlere Innentemperatur im Gewächshaus liegt in beiden Monaten etwa um 10°.

Die nachfolgende Tabelle stellt das Ergebnis einer Simulationsrechnung dar. Es wurden die täglichen mittleren Temperaturschwankungen - ohne Berücksichtigung von Wärmespeicherung und ohne Wärmezufüsse aus der Wand zum angrenzenden Raum sowie ohne Zusatzheizung ermittelt. (Gerechnet mit den Klimadaten von Hannover, Quelle 47)

	Minimum (4-6 Uhr)	Maximum (13 Uhr)
SEP	9,4°C	33,6°C
OKT	6,5	27,5
NOV	3,0	15,5
DEZ	0,0	10,2
JAN	-1,5	9,7
FEB	-2,0	13,8
MÄR	0,0	23,1
APR	3,1	33,4
MAI	6,7	37,3

Bei Berücksichtigung der Speichermassen im Glasvorbau werden die Mindestemperaturen höher, die Höchsttemperaturen niedriger sein und die Temperaturspitzen nicht um 13 Uhr, sondern erst im Lauf des Nachmittags eintreten.

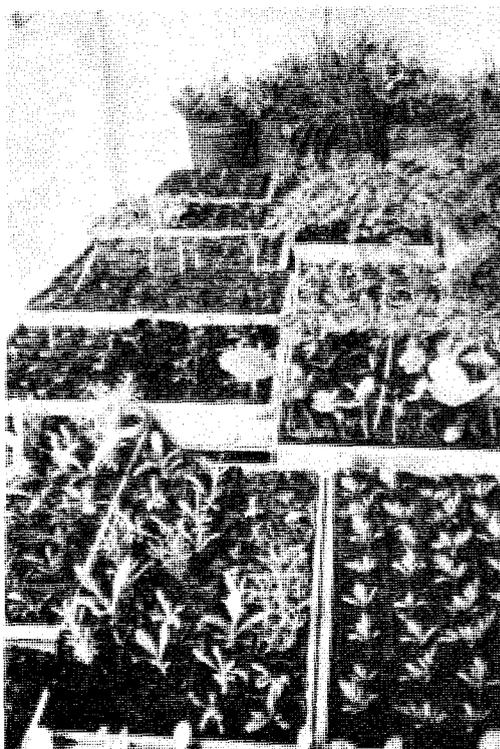
Eine weitere Berechnung gibt den mittleren Temperaturverlauf in einem Glasvorbau während der Heizzeit wieder:



Verlauf der mittleren monatlichen Temperaturen im Glasvorbau.

Die Kurve A zeigt den Temperaturverlauf im Glasvorbau, wenn die Wand zum angrenzenden Raum einen k-Wert von 0 (ohne Wärmeabfluß und-zuflüsse), die Kurve B, wenn sie den k-Wert 2,0 hat (Wärmezufüsse im Winter, Wärmeabflüsse in der Übergangszeit). Die Linie C gibt die mittlere Temperatur im angrenzenden Raum, die Linie D die mittlere monatliche Außentemperatur an.

(Erläuterungen zu dieser Berechnung befinden sich im Anhang 6.2).



DER BEITRAG DER SOLAREN WÄRMEGEWINNE VON GLASVORBAUTEN FÜR DIE ERWÄRMUNG DES ANGRENZENDEN RAUMES

Die Vielfalt der Bauformen und Nutzungen von Glasvorbauten macht es schwer, verallgemeinbare Aussagen über die Verringerung des Heizwärmeverbrauchs zu machen.

Da Glasvorbauten zu den Räumen gehören, deren Temperatur zwischen 0 und 30° frei schwingen kann, ist die Ausnutzung der eingestrahlten Sonnenenergie sehr hoch. Zugleich aber verursachen die großen Glasflächen starke Wärmeabflüsse, insbesondere während der Nacht. So ist es zu erklären, daß der solare Beitrag von Glasvorbauten zum Jahreswärmebedarf der angrenzenden Räume, wie er durch mehrere rechnerische Untersuchungen (Quellen 44, 73) ermittelt wurde, relativ gering ist. Er beträgt, je nach Ausführung der Glasvorbaukonstruktion

15 - 30 %

Hierzu trägt die Verringerung der Wärmeabflüsse des Hauses ebenso bei wie die Einstrahlungsgewinne.

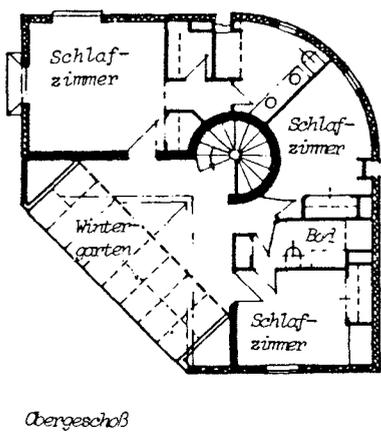
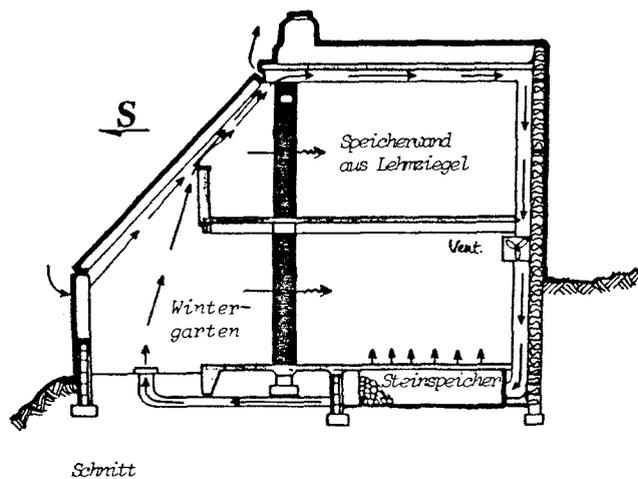
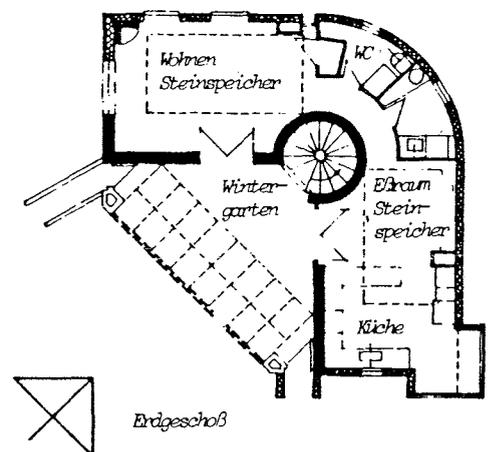
Jahreswärmebedarf in (kWh/a)	Standard- haus	Neubauhaus (mit gutem Wärmeschutz)	Schwedenhaus (mit sehr gutem Wärmeschutz)
Wärmebedarf - ohne Glasvorbau	38000 (100%)	19900 (100%)	10300 (100%)
- mit 40 m ² Glasvorbau, vertikal 1-fach verglast, Dachfläche geschlossen (!)	32300 (85%)	14900 (75%)	7400 (72%)
- zusätzlich mit 15 m ³ Stein- speicher	31000 (82%)	----	----

Zur Berechnung des solaren Beitrags von Glasvorbauten zur Raumerwärmung siehe Kap. 5.2.

DAS HAUS ALS INTEGRIERTES KOLLEKTOR- und SPEICHERSYSTEM
(Haus Balcomb in Santa Fe, USA)



Dieses Haus vereinigt in einfacher Form verschiedene Prinzipien der passiven Sonnenenergienutzung, wie günstige Glasflächenorientierung, kompakte Bauweise, Wärmezonung, Nutzung von Wärmeüberschüssen (Die Sonne liefert bei diesem Haus an einem strahlungsreichen Standort im Süden der USA 80% der benötigten Raumwärme).

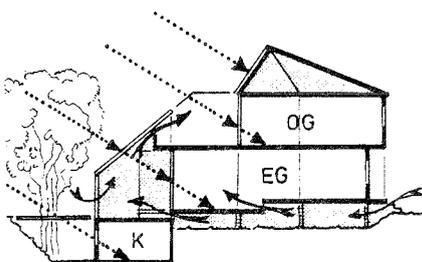
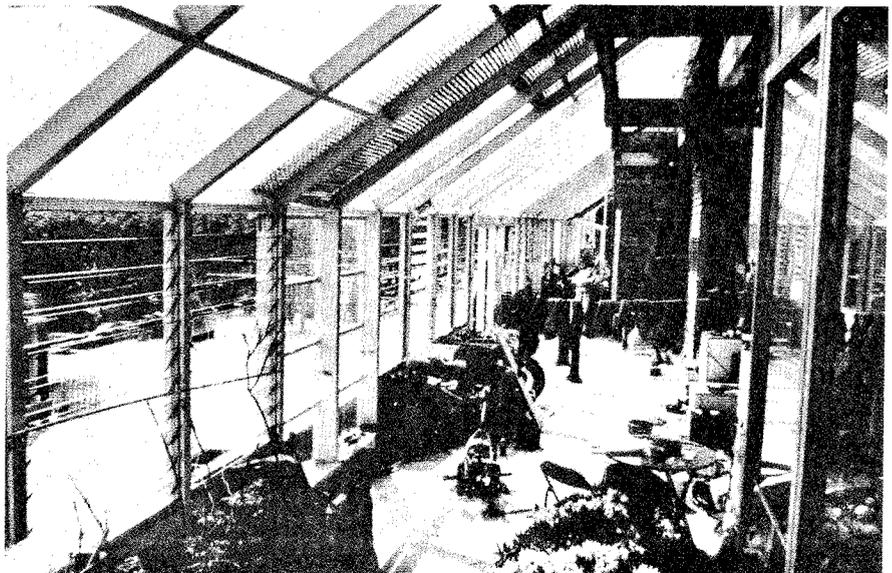
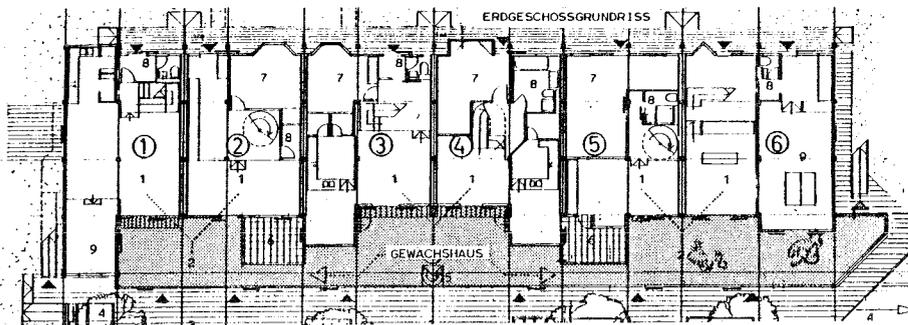


DER GLASVORBAU ALS GEMEINSCHAFTS-WOHNBEREICH.

(Reihenhausgruppe Neubiburgerstraße 30, München, 1978
Architekten: R. + D. Thut)

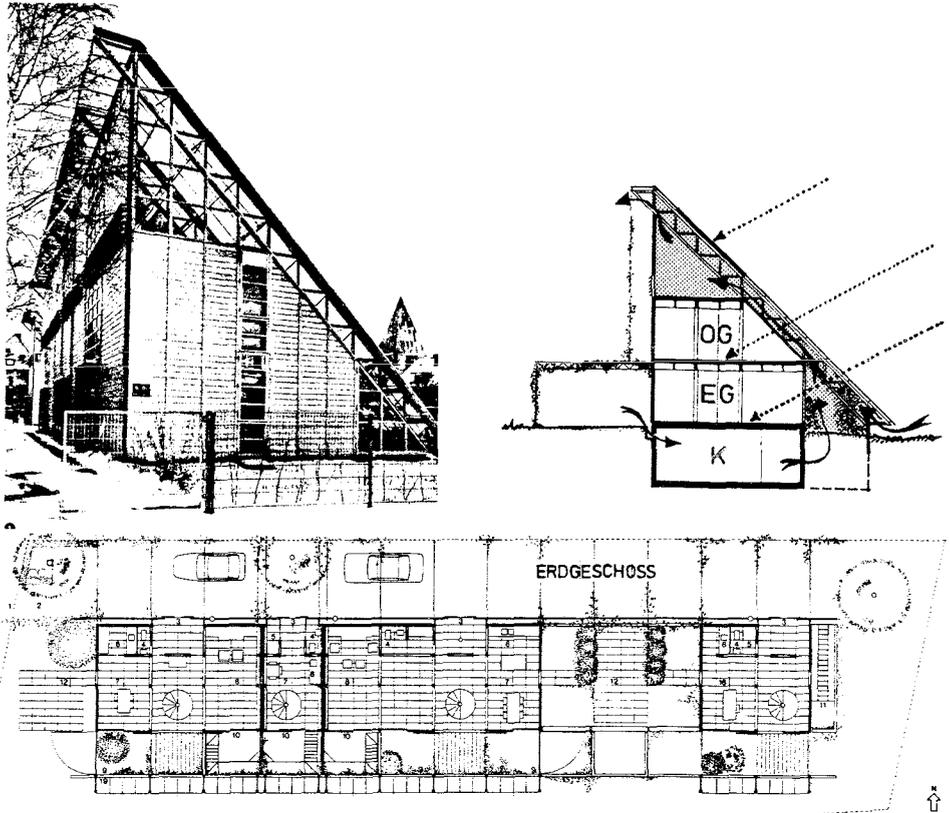


Diese Reihenhausgruppe wurde südseitig mit einem grossen Glasvorbau versehen, der ausser der Kollektor- und Pufferfunktion vor allem der Kommunikation der Bewohner und vielfältigen anderen Wohnfunktionen dient. Der grösste Teil der Südaussenfläche ist als Kollektorfläche genutzt, Pufferzonen sind so weit als möglich auf allen Seiten des Hauses angeordnet. Durch Luftführung über den Zwischenraum von Haus und Erdboden ist eine natürliche Vorwärmung (Winter) bzw. Vorkühlung (Sommer) der Zuluft möglich. (Quelle 71)

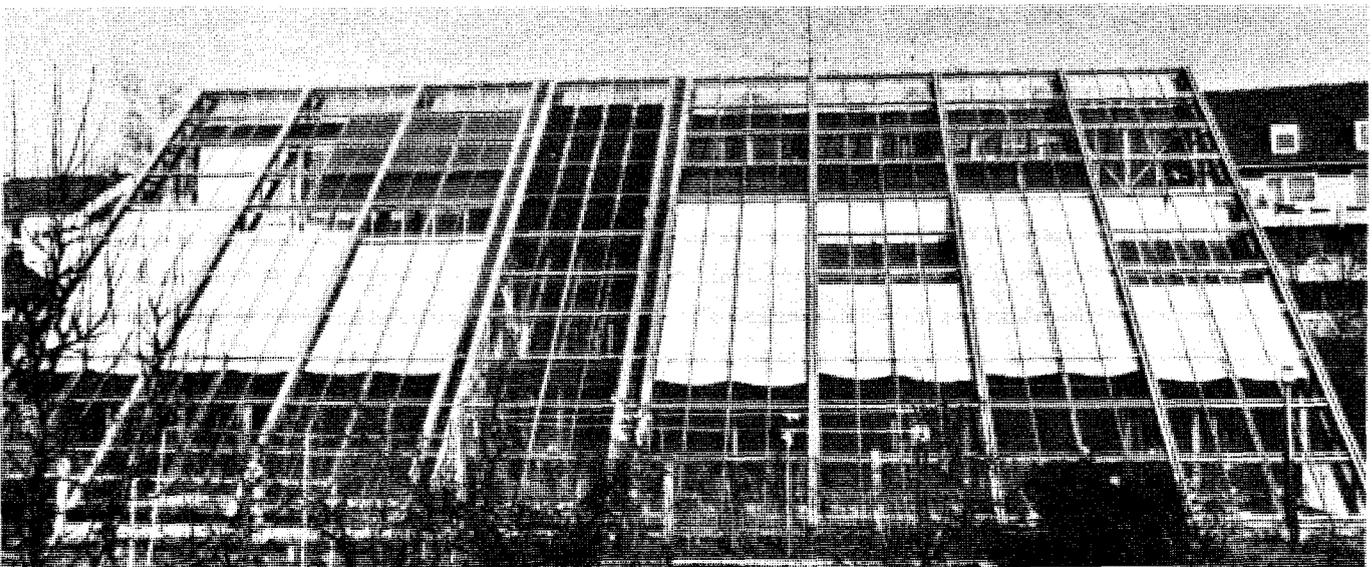


DAS HAUS ALS GROSSKOLLEKTOR

(Reihenhausgruppe Wilhelm Raabe Str.6 8 München 40, Entwurf Th.Herzog, 1982)

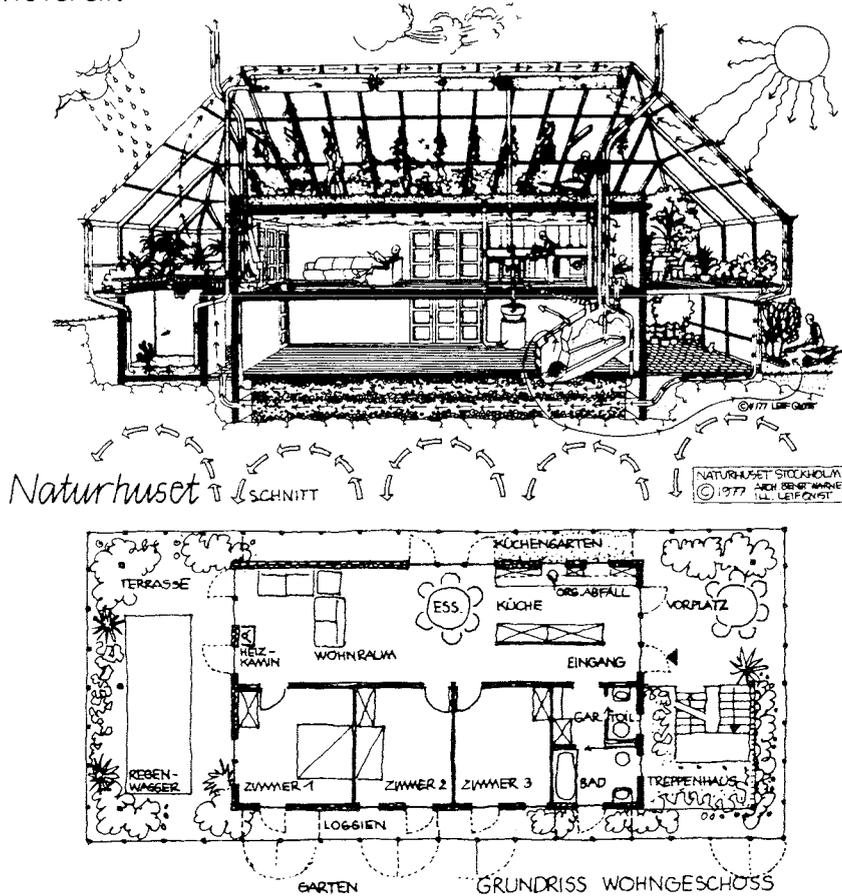


Reihenhauszeile (mit 4 Häusern), die in der äusseren Formgebung ganz nach der Kollektorfunktion der Südfläche ausgerichtet ist. Der Luftraum zwischen der äusseren Glasfläche und der inneren Verglasung der Wohnräume bildet eine durchgehende Pufferzone, die im Erdgeschoss als Wintergarten, im Dachraum als Zusatzfläche nutzbar ist. In diesem Zwischenraum ist auch der Sonnenschutz untergebracht. Im oberen Teil der Glasfläche sind Kollektoren zur Warmwasserbereitung sowie 60 m² Solarzellen eingebaut, die der Erprobung der privaten solaren Stromerzeugung im kleinen Maßstab dienen (mit der Möglichkeit der Rückspeisung von zeitweiligen Stromüberschüssen ins öffentliche Netz). Das Haus enthält eine Fussbodenheizung. Für die Nordseite ist eine Bepflanzung vorgesehen.

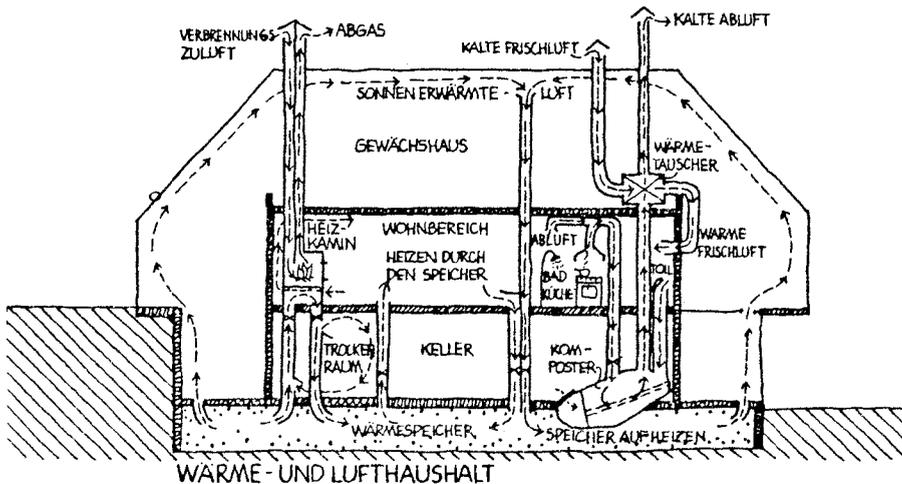


DAS "NATURHAUS" BEI STOCKHOLM : EIN HAUS IM GLASHAUS
 (Architekt: B. Warne)

Die Nutzung der Sonnenenergie ist bei diesem Haus Teil einer umfassenden Konzeption, alle hauswirtschaftlichen Energie- und Stoffwechselprozesse nach ökologischen Gesichtspunkten zu organisieren.



Dieses Haus ist auf allen Seiten mit einer Glashaut aus Isolierglas umgeben, welche eine thermische Kollektor- und Pufferzone - optimal für die allseitige Aufnahme der Diffusstrahlung - bildet. Das ganze Haus steht auf einem Steinspeicher, der auch Sommerwärme für den Winter speichern soll. Der Wärmetransport geschieht durch Luftzirkulation. Die Glashülle dient auch dem Anbau von Nahrungspflanzen, ein Abfall-Komposter (Clivus Multrum) ergänzt den ökologischen Kreislauf des Hauses. Die Wärme aus dessen Abluft wird mit einem Wärmetauscher wiedergewonnen.



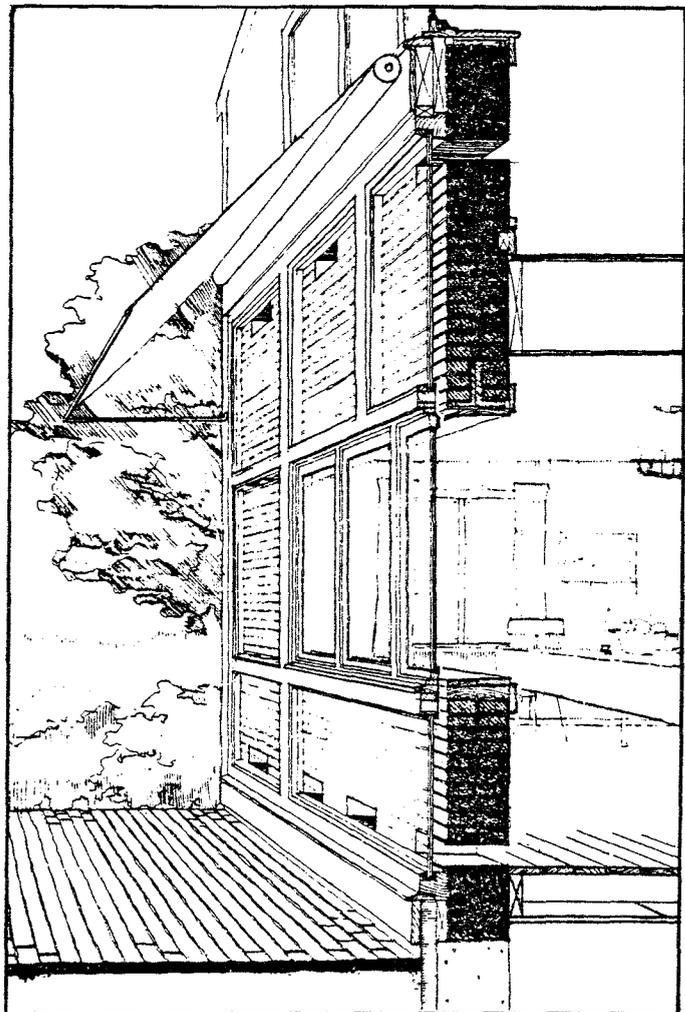
3.3

DIE SONNENWAND

Es gibt mehrere Arten von Sonnenwandsystemen. Das einfachste und bisher bekannteste System besteht aus einer verglasten Außenwand und wird nach seinem Erfinder als "Trombe-Wand" bezeichnet.

TROMBE-WAND-SYSTEME

Die Besonderheit von Sonnenwandsystemen des Trombe-Typs besteht darin, daß die Speichermassen zur Aufnahme der Sonnenstrahlung direkt hinter der Verglasung angeordnet sind. Sie nehmen damit den besten Platz ein, um möglichst viel Sonnenenergie unmittelbar einzuspeichern und so einer vorzeitigen Erwärmung des Raums zuvorzukommen.



Eine Trombe-Sonnenwand, kombiniert mit Sonnenfenster (Quelle 16/I).

Aus der Verglasung, der Luftschicht (10-15 cm) und der Speicherwand entsteht eine vom angrenzenden Wohnraum getrennte Kollektor- und Pufferzone, die größere Temperaturschwankungen aufnimmt und damit zur thermischen Behaglichkeit im Wohnraum beiträgt.

Diese Eigenschaften qualifizieren die Sonnenwand ganz besonders gut zur Einspeicherung von Sonnenwärme bei gleichzeitiger Vermeidung zeitweiliger Überhöhungen der Raumtemperatur, wie sie an sonnigen Tagen sonst entstehen. Die Sonnenwand ist also besonders geeignet als thermischer Puffer für ein Klima mit hohem Anteil an Direktstrahlung während der Heizperiode.

Über Luftklappen am unteren und oberen Ende der Speicherwand kann durch natürlichen Auftrieb eine Luftzirkulation mit dem Raum in Gang gesetzt oder unterbrochen werden. Die unmittelbare Wärmezufuhr in den Wohnraum wird somit je nach dem Strahlungsangebot einfach geregelt.

Infolge der Speicherung eines Teils der eingestrahnten Energie kann der Raum bei abnehmender Sonnenstrahlung durch die Luftzirkulation eine zeitlang mit Wärme versorgt werden. Teilweise geschieht das auch durch Wärmeabstrahlung der Speicherwand. Beide Formen der Wärmeübertragung setzen allerdings voraus, daß die Sonnenwand trotz der Wärmeverluste durch niedrige winterliche Außentemperaturen infolge Sonneneinstrahlung ein Temperaturniveau von deutlich über 20° erreicht. Das setzt ebenfalls ein strahlungsreiches Klima voraus.

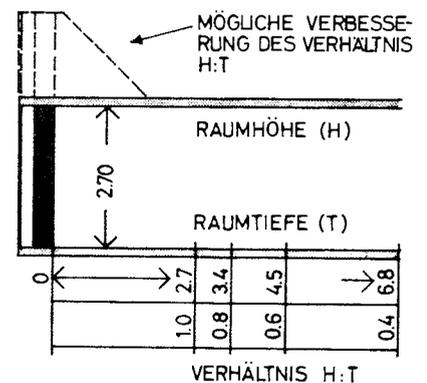
DIE GRÖSSE DER SONNENWAND

Um an wolkenlosen Wintertagen im angrenzenden Raum für 24 Stunden Temperaturen zwischen 18° und 24° zu halten, sind folgende Flächenverhältnisse nötig (den Werten liegt ein spezifischer Wärmebedarf des angrenzenden Raumes von 1,5/Wm²K zugrunde; Quelle 15):

Mittlere Außen- temperatur (°C)	Sonnenwandfläche in m ² pro m ² Grundfläche des angrenzenden Raums	
	Massivwand	Wasserwand
- 4	0,9	0,7
- 1	0,8	0,55
+ 2	0,6	0,45
+ 5	0,45	0,35

Von anderer Seite wird als Faustformel 1,5 l Wasser pro m² südorientierter Glasfläche empfohlen. Dieses Verhältnis ist in der Abbildung rechts dargestellt.

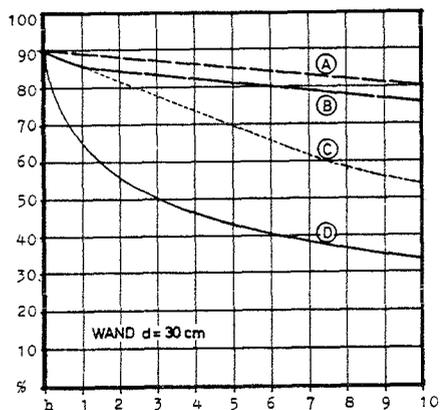
Kleine Sonnenwände können also nur in den wärmeren Übergangszeiten an sonnigen Tagen einen vollen Heizungsbeitrag für 24 Stunden erbringen. Bei der für unser Wetter typischen Bewölkung müßte die Größe von Sonnenwänden für die gleiche Leistung ein Vielfaches der oben angegebenen Werte betragen. Bei uns werden Sonnenwände also immer nur einen solare Teilbeitrag zur Raumerwärmung liefern können.



Zur Geometrie von Raum und Sonnenwand.

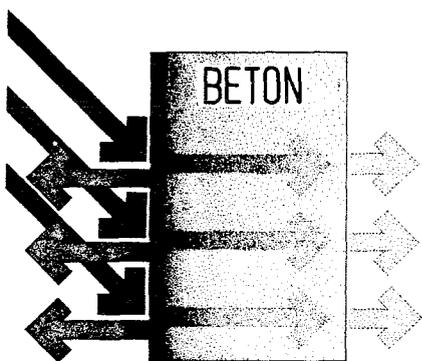
MATERIALIEN, WANDSTÄRKEN, WÄRMELEITFÄHIGKEIT UND SPEICHERVERMÖGEN

Die Wärmeaufnahmefähigkeit einer Speicherwand wird immer geringer, je mehr sie sich aufwärmt.

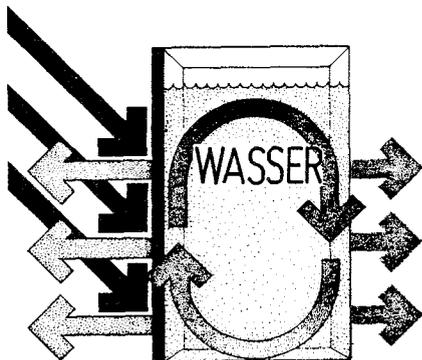


Wärmeaufnahme einer Wand (mit einer Oberflächenabsorption von 90 %) bei einer konstanten, direkten Sonneneinstrahlung in Abhängigkeit von der Einstrahlungsdauer: Auf der besonnten Seite wurden Wärmeverluste durch Abstrahlung und Konvektion an die Umgebung mit 12° Lufttemperatur berücksichtigt. Auf der beschatteten Seite sind die Wände voll gedämmt (Quelle 58).

- Wandmaterial:
 A) Wasserbehälter durchsichtig
 B) Wasserbehälter undurchsichtig
 C) Graphit
 D) Beton



Aus den Kurven geht hervor, daß Beton nach 3 Stunden nur noch 50 %, nach 6 Stunden nur noch 40 % der eingestrahlt Solarwärme aufnimmt, Wasserbehälter aber nach 10 Stunden noch 80 %, bzw. 70 %. Wände aus Beton oder Ziegelmauerwerk können zwar theoretisch eine Menge Wärme speichern, aber sie sind nicht in der Lage, die Sonneneinstrahlung schnell zu absorbieren und ins Wandinnere weiterzuleiten.

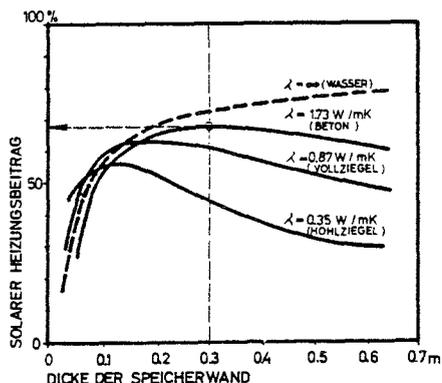


Stahl hat die gleiche Absorptionskurve wie Wasserbehälter, eine Speicherkapazität, die nur 15 % unter der des Wassers liegt, aber er ist etwa 8 mal so schwer wie Wasser und teurer.

Graphit hat eine um 25 % niedrigere Speicherkapazität als Mauerwerk, allerdings einen 100 mal höheren Absorptiongrad (3 mal höher als Stahl) und wiegt 20 % weniger als Beton. Graphit kann also Sonnenstrahlung schnell absorbieren.

Strahlungsaufnahme und Wärmedurchgang bei Beton und Wasser (Quelle 15)

Aus Optimierungsrechnungen zur Bemessung von Speicherwänden ergab sich folgende Abhängigkeit des solaren Wärmebeitrags von der Dicke und der Wärmeleitfähigkeit (λ) des Wandbaustoffs (Quelle 16):



Die Abhängigkeit des solaren Heizungsbeitrags einer Sonnenwand von Material und Wanddicke (Quelle 16).

Daraus kann entnommen werden:

Der Wirkungsgrad einer Sonnenwand steigt, je größer die Wärmeleitfähigkeit ist: umso mehr Strahlung kann aufgenommen und durch die Wand hindurch transportiert werden.

Je größer die Wärmeleitfähigkeit, desto größer sollte die Wanddicke sein. Eine Wand mit guter Wärmeleitfähigkeit kann die absorbierte Wärme rasch ins Innere leiten und auch wieder abgeben. Deshalb muß mit entsprechender Wandstärke verhindert werden, daß zur falschen Zeit zu viel Wärme freigesetzt wird.

Für die Wasserspeicherwand zeichnet sich keine Begrenzung in der Dicke innerhalb der untersuchten Wandstärken ab.

Betonwände ($\lambda = 1,73$ bis $2,0$ W/mK) haben ihre optimale Dicke bei 30 cm.

Für Vollziegelwände ($\lambda = 0,87$ bis $0,93$ W/mK) ergibt sich eine optimale Wandstärke von 25 bis 30 cm. Hohlziegel ($\lambda = 0,35$ W/mK) haben bei der konstruktiv erforderlichen Dicke von 25 cm bereits wesentlich schlechtere Werte.

EINFLUSS DER WANDSTÄRKE AUF DIE TÄGLICHEN SCHWANKUNGEN DER RAUMTEMPERATUREN (Quelle 16)

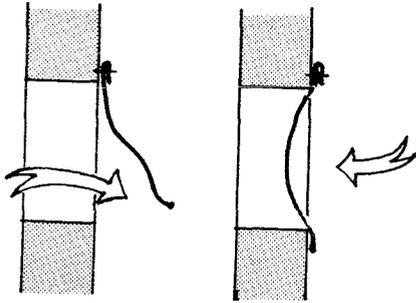
Material	Wärmeleitfähigkeit λ (W/m·K)	Empfohlene Wandstärke (cm)	Raumtemperaturschwankungen in Abhängigkeit von der Wandstärke				
			20	30	40	50	60 cm
Ziegel	0,63	25-35	13	6	4	-	- K
Beton	1,50	30-45	15	9	5	3	3 K
Klinker	3,3	40-60	19	13	9	7	5 K
Wasser	-	15 +mehr	10	7	6	5	5 K

Die Werte beziehen sich auf eine südorientierte Sonnenwand mit 2-Scheiben-Isolierverglasung an einem wolkenlosen Wintertag, sie gelten für Häuser in Leichtbauweise. Sind im Raum zusätzlich Speichermassen vorhanden (Fußboden, Decke, Wände), werden die Temperaturschwankungen geringer ausfallen. Für bewölkte oder gänzlich bedeckte Tage würde eine schwächere Dimensionierung der Speicherwand als in der Tabelle ausreichen. Sie wäre so auf das geringere Strahlungsangebot hin ausgelegt. Der dann in einer Schönwetterperiode und vor allem im Sommer zu erwartenden Überschreitung behaglicher Raumtemperaturen muß mit Sonnenschutz und Lüftung entgegengewirkt werden. Für unser Klima scheinen folgende Wandstärken der Speicherwand ausreichend:

Ziegel:	24 - 36,5 cm
Beton:	20 - 30 cm
Wasser:	20- 50 cm

VENTILATIONSÖFFNUNGEN

Die Temperatur auf der Außenseite der Speicherwand (Absorbertemperatur) kann bei dieser Sonneneinstrahlung innerhalb kurzer Zeit auf 60 bis 70° ansteigen, da die Energie durch den Baustoff auch bei guter Wärmeleitfähigkeit nicht so rasch eingespeichert bzw. an den Raum abgeleitet wird. Die Wärme kann jedoch durch Ventilationsöffnungen in Fußboden- und Deckennähe konvektiv an den Innenraum abgegeben werden. Solange die absorberseitige Oberfläche der Speicherwand wärmer als die Raumtemperatur ist, bleibt die Luftzirkulation in Betrieb.



Die einfachste Form einer sich selbst regelnden Luftklappe ist eine leichte Folie oder ein Tuch.

Während strahlungsarmer und kalter Tage und während der Nacht würde eine Luftzirkulation zum umgekehrten Effekt, zur Auskühlung des Raums führen, die Rezirkulation muß daher durch bewegliche Luftklappen verhindert werden. Sind keine Ventilationsöffnungen in der Sonnenwand vorgesehen, werden zwar die täglichen Raumtemperaturschwankungen bei Sonneneinstrahlung kleiner, aber der Wirkungsgrad der Sonnenwand geringer.

Der Wirkungsgrad der Sonnenwand kann mit Ventilationsöffnungen um 20 bis 30 % vergrößert werden. Der Querschnitt für Zu- und Abluft sollte je 3 % der Speicherwandfläche betragen.

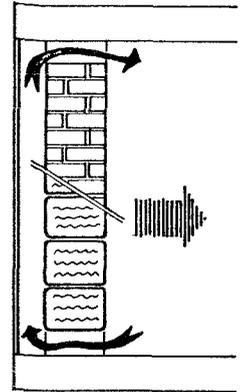


Haus von Trombe und Michel in Odeillo/Südfrankreich, eine Mischung von Sonnenwänden und Sonnenfenstern (Quelle 15)

UNTERSCHIEDLICHE AUSFÜHRUNGEN VON SONNENWÄNDEN

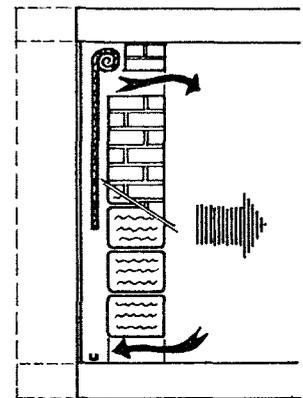
Grundform der Trombe-Sonnenwand

Die Nutzung einstrahlender Sonnenenergie wird durch die Luftzirkulation gegenüber der ventilationsfreien Ausführung verbessert. Die solar erwärmte Außenseite verliert auch besonders viel Wärme, nachts und bei kaltem Wetter. Ausführung der Speicherwand: Massiv oder mit Wasserbehältern.



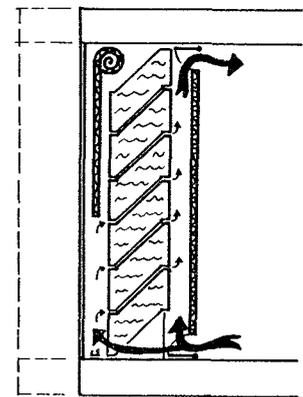
Trombe-Sonnenwand mit temporärem Wärmeschutz

Durch den Einbau beweglicher Dämmelemente können die Wärmeverluste aus gespeicherter Sonnenwärme und Heizwärme während der Nachtzeiten (Zeit der größten Temperaturunterschiede zwischen innen und außen) verringert werden. Dadurch wird die thermische Effektivität der Sonnenwand verbessert. Bei einer innenliegenden Dämmung sollte aber der Raum zwischen Verglasung und Speicherwand für Instandhaltung, Reinigungen und Reparaturen zugänglich sein: entweder durch offenbare Verglasung (Zugang von außen) oder eine für die Begehbarkeit ausreichende Breite des Zwischenraums. Der konstruktive Aufwand ist hoch. Es wurde auch vorgeschlagen, als Speichermasse eine Wand aus Glasbausteinen, gefüllt mit Latentspeichermittel (siehe Kap. 4.1) zu verwenden (Quelle 70).



Sonnenwand mit Wasserbehälter und zwei Dämmschichten

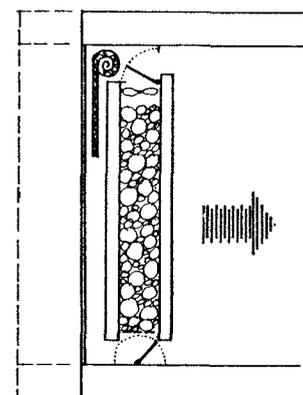
Die vorher dargestellten Sonnenwand-Typen geben die eingespeicherte Wärme zum großen Teil auch als Strahlungswärme an den Innenraum ab, wobei Zeitraum und Umfang der Wärmeabgabe nicht regelbar sind. Mit einer zusätzlichen raumseitigen Dämmschicht wird die Wärmeabgabe ausschließlich konvektiv und ist damit über Luftklappen leicht regelbar. (Während die äußere Dämmung eine Maßnahme der Energieeinsparung ist, dient die innere Dämmschale der thermischen Behaglichkeit im Raum (Darstellung der Speicherwand mit Wasserbehältern, die durch natürlichen Auftrieb das wärmere Wasser von außen nach innen fließen lassen).



SONNENWAND ALS STEINSPEICHER

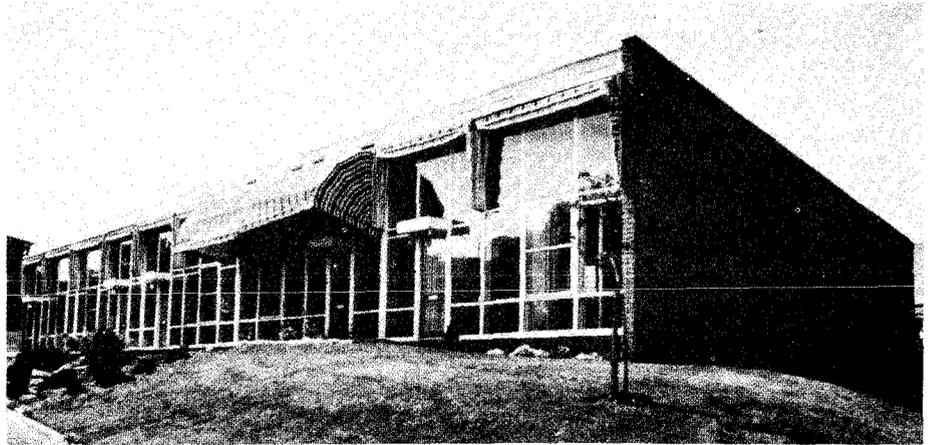
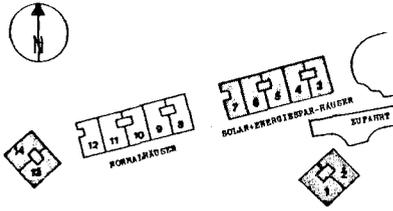
Dieses System ist eine Mischform von Primär- und Tertiärspeicher mit Luftzirkulation (Steinspeicherwand), das - wie die anderen Sonnenwände - im Temperaturbereich über 20° arbeitet.

Wie bei den anderen Sonnenwänden mit temporärem Wärmeschutz kann das Schließen der Wärmedämmung bei kaltem, trübem Wetter auch tagsüber zweckmäßig sein.

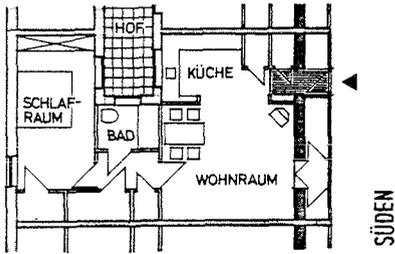


BEISPIEL FÜR DEN EINBAU EINER TROMBE-SONNENWAND

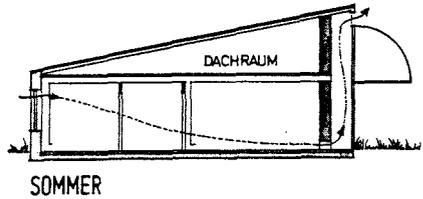
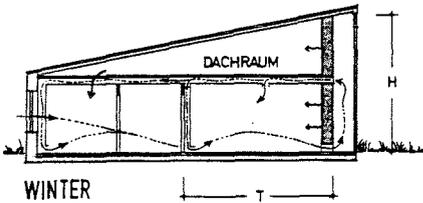
Wohnanlage für alte Menschen "Acorn Close" in Bebington, UK 1978 (Entwurf: Paterson, Greenwood, Ward)



Ansicht: Im Hintergrund die Gruppe der Normalhäuser, vorne ein Teil der Solar-und Energiesparhäuser



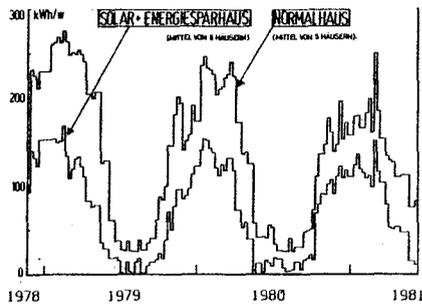
SÜDEN



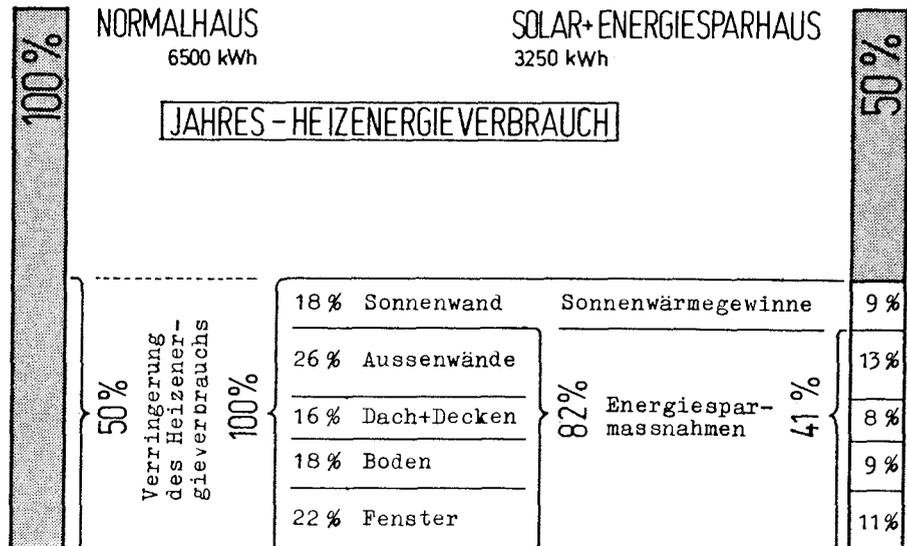
Die Anordnung eines Schrägdaches erlaubt eine Vergrößerung der Sonnenwand, d.h. eine Verbesserung des Verhältnisses Kollektorfläche zu Wohnfläche.

Diese Wohnanlage besteht aus 5 "Normal"häusern, die nach den englischen Baubestimmungen von 1976 gebaut, und 9 Solar-und Energiesparhäusern, die mit verbessertem Wärmeschutz und einer Trombe-Sonnenwand ausgestattet wurden. Über 2 Jahre (1978-80) wurden die thermischen Prozesse und das Bewohnerverhalten in beiden Hausgruppen untersucht und miteinander verglichen. Daraus ergab sich u.a., dass der Beitrag der Trombewand zum Jahresraumwärmebedarf der Solarhäuser im Mittel 9 % betrug (siehe Abb.unten). Dagegen trugen die zusätzlichen Energiesparmassnahmen mit 41 % zur Deckung des insgesamt halbierten Raumwärmebedarfs der Solarhäuser bei. (Hierbei ist zu bedenken, dass die englischen Wärmeschutzstandards von Normalhäusern niedriger sind als die der BRD, womit Verbesserungen in diesem Bereich sich stärker auswirken. Die Wintertemperaturen in England sind milder, die Sonnenstrahlung während der Heizzeit ist etwas geringer als in Norddeutschland).

Als Amortisationszeiten ergaben sich für die meisten Energiesparmassnahmen 5-10 Jahre, für die Trombewand etwa 80 Jahre. (Quelle 92)



Verlauf des Raumwärmebedarfs der beiden Haustypen im Untersuchungszeitraum. (Mittelwerte aus je 5 Häusern, Angaben in kWh/Woche)



Die Verringerung des Heizwärmebedarfs durch die Trombe-Sonnenwand und die Energiesparmassnahmen

ÜBER DEN BEITRAG SOLARER WÄRME VON TROMBE-SONNENWÄNDEN

Die solaren Wärmegewinne einer 40 cm dicken Sonnenwand (mit 2-Scheiben-Isolierglas, 10 cm Luftschicht und natürlicher Ventilation) betragen bei unterschiedlicher Strahlungsintensität (Quelle 62, ohne Angaben über Außentemperaturen):

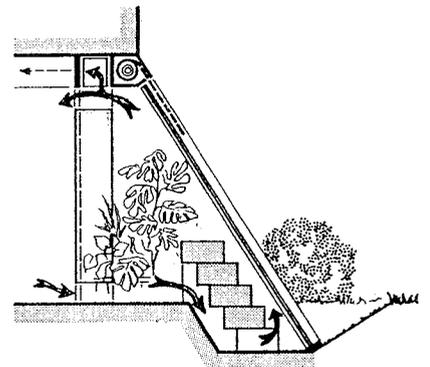
Strahlungsintensität (W/m ²)	Temperatur der äußeren Wandoberfläche	Anteil der zum Innenraum abgegebenen Wärme
535	60 °C	32,0 %
420	50	29,5
300	40	26,0
195	30	18,5
144	25	11,8
95	20	0

Simulationsrechnungen mit einer Trombe-Sonnenwand mit den Klimadaten von Stuttgart (Quelle 73) haben ergeben:

Haustyp und Jahreswärmebedarf	Verglasung Sonnenwand	Verringerung des Jahreswärmebedarfs
Standardhaus (38000 kWh/a)	1-fach	um 11 %
	2-fach	17 %
	3-fach	20 %
Neubauhaus (19900 kWh/a)	1-fach	17 %
	2-fach	23 %
	3-fach	28 %
Schwedenhaus (10300 kWh/a)	1-fach	22 %
	2-fach	30 %
	3-fach	36 %

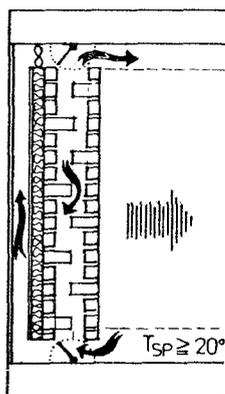
Berechnungsparameter: Die Südfassade des Hauses hat eine Gesamtfläche von 56 m² (100 %). Darin sind 8 m² Fenster enthalten (15 %). Die restlichen 48 m² (85 %) wurden als Sonnenwand ausgebildet. Diese besteht aus 20 cm dickem Beton mit einer Dämmschicht (innen). So weist sie den gleichen k-Wert auf wie die geschlossene Außenwand. Wärmegewinne werden dem Wohnraum mit Ventilationsöffnungen zugeführt.

Da in den Werten dieser Tabelle die direkten Wärmegewinne der 8 m² Fensterfläche mit enthalten sind, dürfte der Beitrag der reinen Sonnenwandfläche zum Jahreswärmebedarf geringer sein als angegeben.



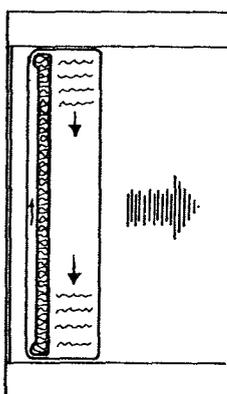
Integriertes Solar-Kollektorelement, bestehend aus einer begehbaren Sonnenwand und einem zusätzlichen Sonnenwand-Element im Brüstungsbereich. Durch die Schrägstellung der Verglasung wird die Glasfläche vergrößert und der Gewinn von Diffusstrahlung verbessert.

ANDERE ARTEN VON SONNENWÄNDEN



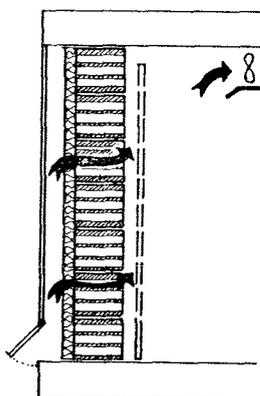
Luftkollektor-Sonnenwand

Diese Sonnenwand ist die Kombination eines Luftkollektors mit einer unmittelbar benachbarten, nach außen gedämmten Tertiär-Speicherwand. Die Aufnahme der Sonnenenergie geschieht ausschließlich über Luft (kein Primärspeicher), die Wärmezuführung zum Raum oder Speicher von einer Temperatur über 20° an. Die Speicherwand muß nicht parallel zur Außenwand, sie kann auch quer dazu stehen. Die Wärmeabgabe aus der Speicherwand geschieht über Strahlung und einen regelbaren Luftumlauf.



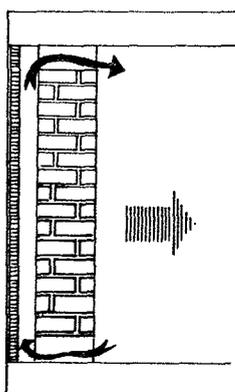
Wasserkollektor-Sonnenwand

Ähnlich wie die voranstehende Konstruktion stellt dieses System die Kombination eines Flachkollektors mit einem durch eine feste Dämmschicht getrennten Speicher dar, wobei hier Wasser als Wärmetransport- und Speichermedium genutzt wird. Ein spezielles Ventil sorgt dafür, daß die durch natürlichen Auftrieb in Gang gehaltene Zirkulation sich nachts nicht umkehren kann. Wegen des geringen Wasserinhalts des Absorbers bleiben die Wärmeverluste dann gering. Durch eine wellenförmige Ausbildung der raumseitigen Speicher Oberfläche wird der Wärmeaustausch mit der Raumluft verbessert.



"SOLPOR"-Lüftungs-Sonnenwand

Diese Sonnenwand besteht aus einer luftdurchlässigen Wärmedämmschicht und einer innenseitig benachbarten luftdurchlässigen Speicherwand. Mithilfe eines Unterdruck-Ventilators im Raum wird Außenluft durch diese beiden Schichten gesaugt. Beim Eintritt in den Luftspalt zwischen Verglasung und schwarze Absorberschicht der Wärmedämmung wird sie solar erwärmt. Die nach innen dringende Luft wirkt als thermischer Gegenstrom gegen die transmissiven Wärmeverluste der Wand. Warmluft mit einer Temperatur über der der porösen Speicherwand wird eingespeichert. Diese Wärmegewinnung ist nur gewährleistet, solange der Unterdruck-Ventilator in Betrieb ist (Quelle 77).



Sonnenwand mit transparenter Wärmedämmung

Die Bekleidung einer (z.B. vorhandenen) Massivwand mit einer lichtdurchlässigen Wärmedämmschicht (Faserplatten, Acryl-Schaumglas o.ä.) führt zu solaren Strahlungsgewinnen bei gleichzeitig hohem Wärmeschutz der Außenwand. Auf diese Weise sind für geschlossene Süd-, Ost- und Westwände positive Wärmebilanzen während der Heizperiode erzielbar. Sonnenwände dieser Art befinden sich zur Zeit in Erprobung (Quelle 87). Zur Vermeidung von Überwärmungen im Sommer ist ein regelbarer Sonnenschutz für solche Wände unabdingbar.

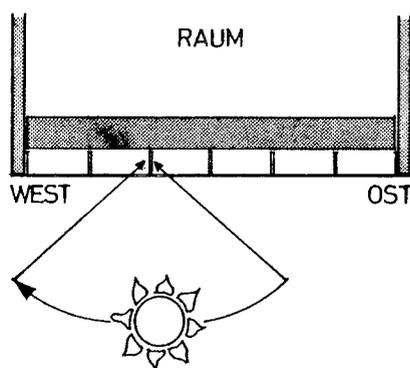
ANWENDUNG VON SONNENWÄNDEN

Über Zweckmäßigkeit und Wirkungsgrad von Sonnenwänden gibt es in unserem Klima bisher so gut wie keine Erfahrungen. Positive Einschätzungen der Trombe-Sonnenwand stammen aus Gegenden mit vielen sonnigen Wintertagen. Die häufige Bewölkung, d.h. der hohe diffuse Strahlungsanteil in unserem Klima gibt Anlass, die Brauchbarkeit von Sonnenwänden bei uns vorsichtig zu beurteilen. Da die Sonnenwand ein zusätzliches Bauelement ist, aber - anders als der Glasvorbau - keine zusätzliche Wohnfunktion enthält, sondern allein einen energetischen Nutzen aufweist, wird man mit der Empfehlung zum Einbau einer Sonnenwand vorsichtig sein müssen. Denn hier spielt der Standort eine besonders wichtige Rolle:

Nur in Gegenden mit viel Sonnenschein und milden Wintern und nur für unverschattete Südlagen kann die Verwendung von Sonnenwänden in Betracht gezogen werden. Sonnenwände sind keine gleichwertige Alternative für das Sonnen-Fenster oder den Glasvorbau. Wenn die Entscheidung über die Fenstergrößen und die Errichtung eines Glasvorbaus getroffen ist, dann stellt die Sonnenwand eine Alternative zur Ausbildung der übrigen Südfäche anstelle einer geschlossenen und gedämmten Außenwand dar.

Im Übrigen gelten für Sonnenwände folgende Grundsätze:

- Die Glasqualität soll ebenso gut sein wie die der Fenster.
- Wie bei den Fenstern wird durch Schrägstellung der Glasfläche die Einstrahlung verbessert.
- Ein temporärer Wärmeschutz ist ebenso für die Sonnenwand wie für die Fenster vorzusehen.
- Ist für die Fenster im Sommer ein Sonnenschutz nötig, so ist er es ebenso für die Sonnenwand.
- Auf jeden Fall ist eine regelbare Ventilation einzuplanen.
- Wenn zwischen Glas und Speicherwand bewegliche Teile eingebaut sind, so müssen sie zur Wartung und Instandhaltung zugänglich sein.
- Bei Nachweisen nach der Wärmeschutzverordnung gelten Sonnenwände als geschlossene Außenwände, d.h. Wärmegewinne werden nicht gerechnet, aber für die Wärmeverluste ist der entsprechende k-Wert ohne Berücksichtigung des temporären Wärmeschutzes einzusetzen.



Diese Sonnenwand wurde mit vertikalen Vorsatzblenden versehen, die auf der Ostseite eine mattschwarze Oberfläche haben, sodaß die Sonneneinstrahlung am Vormittag verstärkt in Luftwärme umgesetzt wird. So wird der Raum rasch erwärmt.

Die Westseite der Lamellen hat eine stark reflektierende Oberfläche, sodaß ein größerer Teil der Einstrahlung auf die Oberfläche der Primärspeichermasse gelenkt wird. Diese Anordnung ist charakteristisch für Klimazonen mit überwiegender Direktstrahlung (Quelle 78).

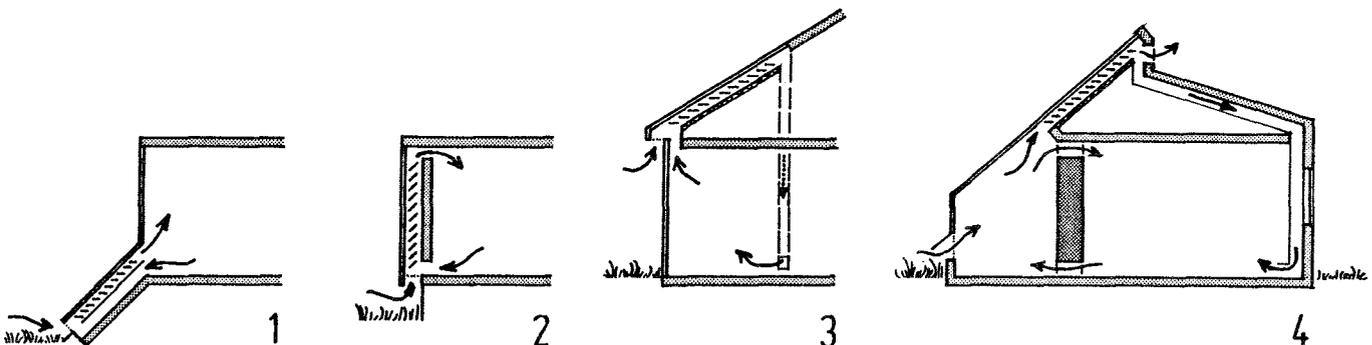
Verbesserungen von Sonnenwand-Systemen sind u.a. durch Entwicklung leitfähigerer (und billiger) Speichermaterialien und die Verwendung transparenter Wärmedämmungen möglich.

3.4 DER LUFTKOLLEKTOR

Die Eigenart von Luftkollektoren besteht darin, daß sie aus der Sonnenstrahlung unmittelbar Luftwärme gewinnen. Sie haben keine Speichermasse, sondern sind auf der Rückseite mit einer Wärmedämmung verbunden. Sie müssen nicht unmittelbar dem Raum zugeordnet sein, den sie mit Wärme versorgen sollen. Begünstigt durch ihr relativ geringes Gewicht können sie z.B. auf dem Dach angebracht werden. Ihr Wärmege-
 winn läßt sich zu Süd- wie zu Nordräumen gleichermaßen transportieren.

Je weiter andererseits der Verbrauchsort vom Luftkollektor entfernt ist, desto schwieriger wird die Unterbringung der verhältnismässig großen Luftkanäle. Auch die Antriebsleistung muß höher werden.

Der Einsatz von Luftkollektoren ist dort überlegenswert, wo Flächen zur Strahlungssammlung geeignet sind, die Wärme aber nicht im angrenzenden Raum nutzbar ist (Beispiel: Dachfläche-Dachboden) oder da, wo die zu wärmenden Räume nicht selber ausreichend Strahlung erhalten (z.B. Nordräume) oder, wo neben Sonnenfenstern noch Flächen für eine zusätzliche Strahlungsnutzung zur Verfügung stehen.

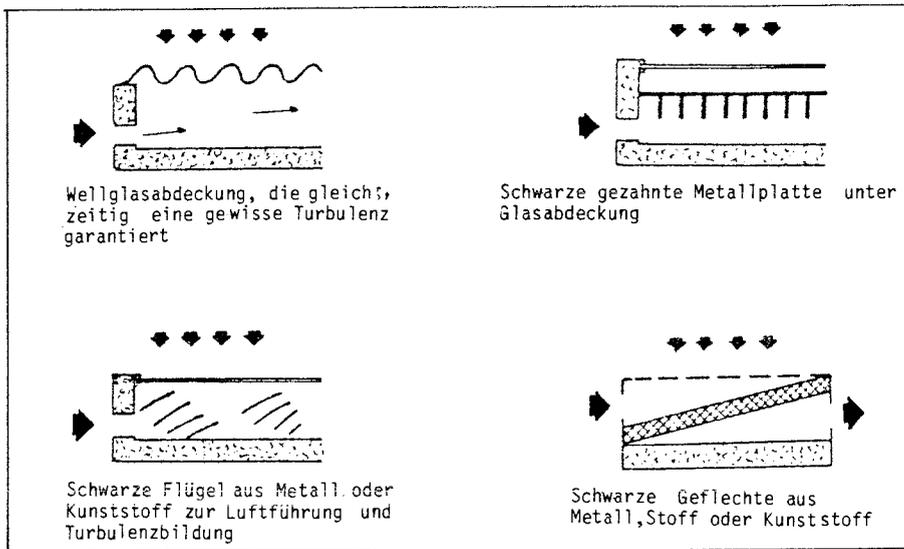


Beispiele für die Anordnung von Luftkollektoren. Luftzirkulation mit natürlichem Auftrieb (Bild 1,2) und mechanischem Antrieb (Bild 3,4).

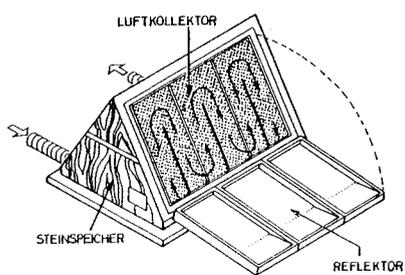
Bei Luftkollektoren gibt es weder Frost- noch Korrosionsgefahr (wie bei Flüssigkeitskollektoren). Außerdem sind sie preisgünstig. In den meisten Fällen brauchen sie eine mechanische Ventilation. Der Energiebedarf der Ventilatoren kann bis zu 10 % der gewonnenen Wärmeenergie betragen. Bei der Planung sind mögliche Geräusche und Geruchsemissionen (bestimmter Kollektorfabrikate aus Kunststoff) zu beachten.

Die Luftspalten von Luftkollektoren haben eine Weite von 1 und mehreren Zentimetern. Es gibt viele Bauarten von Kollektoren auf dem Markt.

Um die Absorption zu erhöhen, sind bei vielen Kollektortypen zusätzlich Lamellen eingebaut, die sowohl die absorbierende Oberfläche vergrößern, als auch für eine Turbulenz der durchströmenden Luft sorgen. Dadurch wird die Wärmeübertragung zwischen Absorbern und der Luft verbessert.

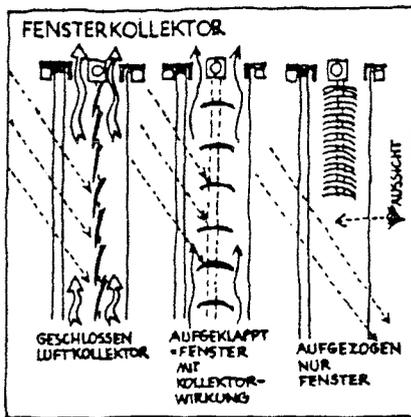


Verbesserung der Strahlungsaufnahme durch zusätzliche Absorberelemente im Luftspalt (Quelle 65).



Ein kleiner Solarofen mit Luftkollector und Steinspeicher (Quelle 81).

BEIWEISE UND BEITRAG ZUR RAUMERWÄRMUNG



Feste Dreifachverglasung mit schwarzer, verstellbarer Blechjalousie wirkt je nach Wunsch als Luftkollektor, als Abschattung oder als Fenster (Quelle 46).

Außer bei Anordnung unterhalb des zu erwärmenden Raums, bei welcher die Luft durch thermischen Auftrieb zirkuliert, muß die Luftzirkulation von Luftkollektoren mechanisch betrieben werden. Als Zuluft wird entweder die warme Raumluft (Umluftbetrieb), die kalte Außenluft (Frischluftbetrieb) oder eine Mischung aus beiden (Mischluftbetrieb) genutzt. Je kühler die Zuluft, desto größer muß die Strahlungsintensität bzw. die Kollektorauslegung sein, um eine Temperatur von über 20°C zu erreichen. 20° sind üblicherweise die Schaltgrenze für Betrieb oder Stillstand des Kollektors. Der Luftdurchsatz soll $10\text{--}30\text{ kg/h je m}^2$ Kollektorfläche betragen.

Die einfachste Ausführung ist ein Außenluft-Direktsystem ohne Steinspeicher, mit dem bei einer Kollektorfläche von 20% der Wohnfläche ein jährlicher solarer Beitrag zur Raumerwärmung von etwa 10% erzielbar ist.

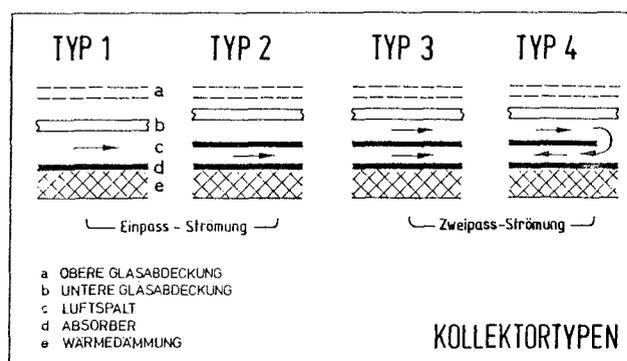
Eine aufwendigere Ausführung ist das Umluft-System mit Alternativschaltungen zum Raum direkt oder zu einem Speicher, oder zwischen Raum und Speicher. Bei einer (optimalen) Kollektorfläche von 25% der Wohnfläche ist hiermit ein jährlicher solarer Wärmebeitrag von ca. 20% im Jahr zu erzielen.

Die geringe Ausnutzung der Sonnenenergie ist nicht zuletzt durch die hohen Wärmeverluste im Kollektor selbst verursacht (ca. 50%). Daher sind ein gutes Absorptionsvermögen des Kollektors sowie eine thermisch gute Abdeckung wichtige Voraussetzungen für einen hohen Wirkungsgrad: Die Zweifachverglasung bringt doppelt soviel wie die Einfachscheibe (Quelle 68).

1981/82 wurden in Stuttgart Simulationsrechnungen mit verschiedenen Luftkollektorsystemen durchgeführt (Quelle 68).

Der Berechnung war - mit den Wetterdaten von Stuttgart 1979 (48°NB) - ein Gebäude mit einem spezifischen Wärmebedarf von 125 W/K , ein Raumvolumen von 400 cbm , einem Jahreswärmebedarf von 11.100 kWh/a und Innentemperaturen 20° , mit Kollektoren mit 48° Neigung in Südrichtung zugrunde gelegt.

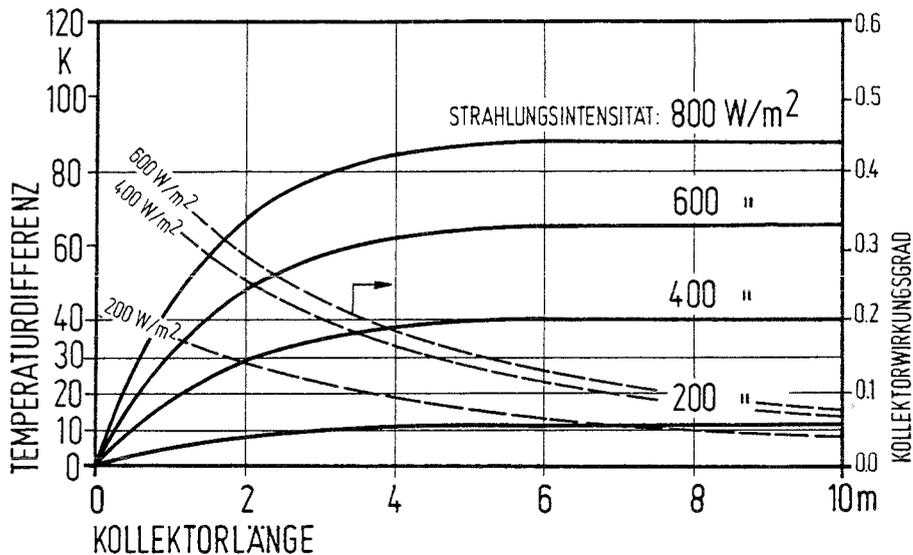
Variiert wurden Kollektortypen, Kollektorflächengröße, Betriebsart und Steinspeichervolumen.



Luftkollektoren mit unterschiedlichem Schichtenaufbau. Verglasung einfach ($n=1$) oder zweifach ($n=2$).

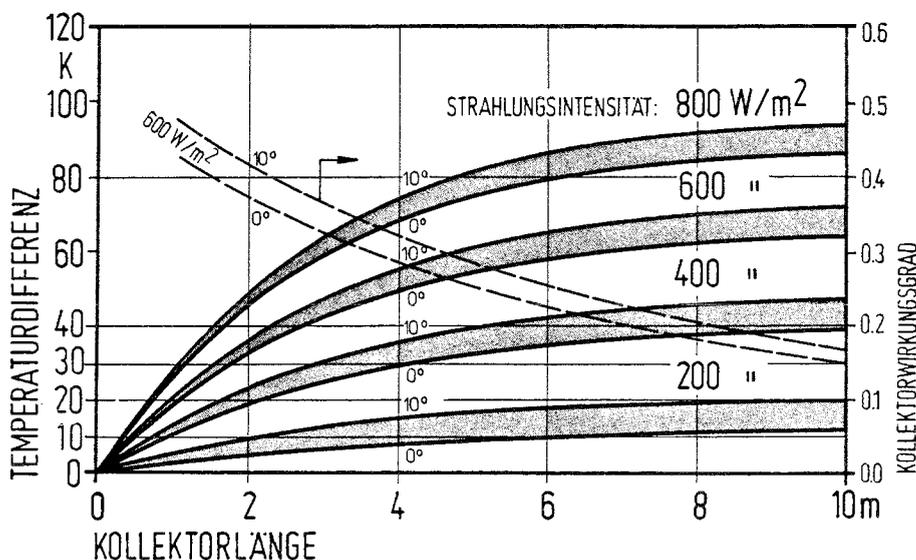
WÄRMELEISTUNG UND WIRKUNGSGRAD IN ABHÄNGIGKEIT VON DER KOLLEKTORLÄNGE UND DER STRAHLUNGSINTENSITÄT.

①



KOLLEKTORTYP 1, 2 FACH VERGLAST, LUFTDURCHSATZ 2175 m³/h·m², AUSSENTEMPERATUR 0°C

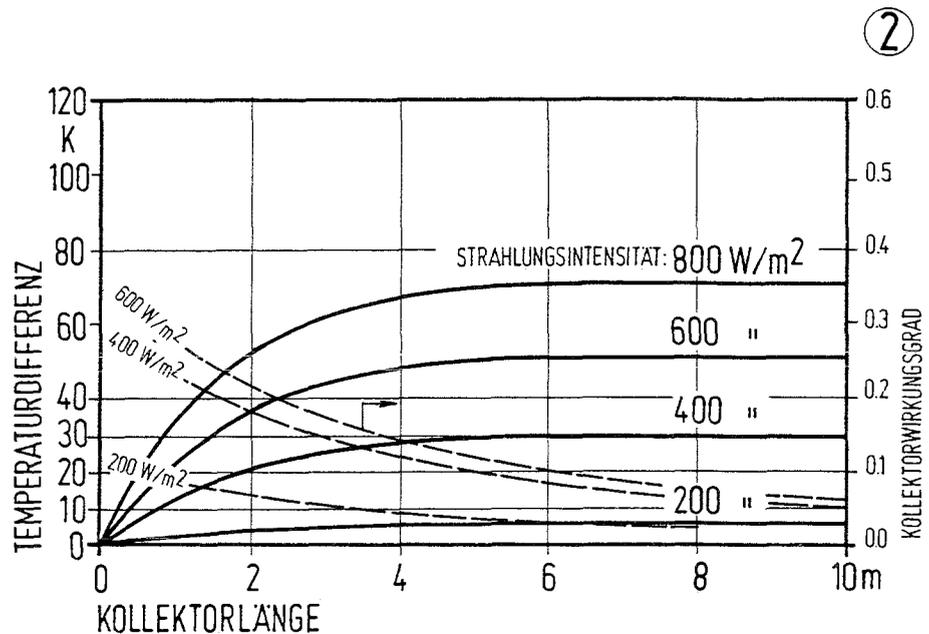
③



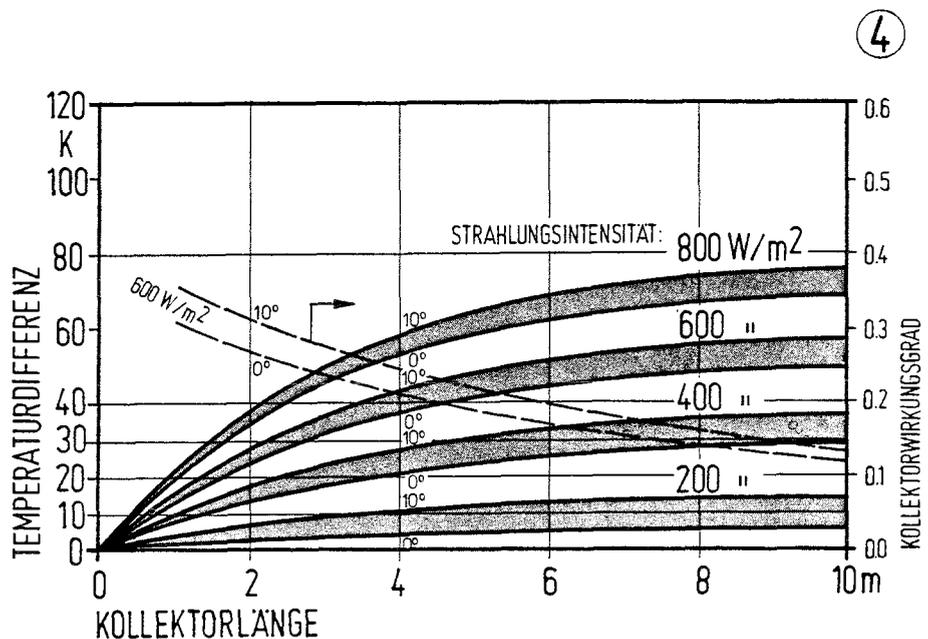
KOLLEKTORTYP 1, 2 FACH VERGLAST, LUFTDURCHSATZ 4350 m³/h·m², AUSSENTEMPERATUR 0-10°C

Die Diagramme zeigen die Erhöhung der Lufttemperatur im Kollektor infolge Sonneneinstrahlung, ausgedrückt als Temperaturdifferenz zwischen Ein- und Auslasstemperatur, bei unterschiedlicher Kollektorlänge und Strahlungsintensität für zwei unterschiedliche Luftdurchsätze (=Luftmenge, die stündlich den Öffnungsquerschnitt des Kollektors mit 1 cm Luftspaltweite und 100 cm Luftspaltbreite passiert).

Bild 1 und 2 zeigen die Kennlinien von 2 Kollektortypen für 0° Außentemperatur. Die gestrichelten Linien geben die Wirkungsgrade des Kollektors an (rechts abzulesen).



KOLLEKTORTYP 2, 1 FACH VERGLAST, LUFTDURCHSATZ $2175 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$, AUSSENTEMPERATUR 0°C



KOLLEKTORTYP 2, 1 FACH VERGLAST, LUFTDURCHSATZ $4350 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$, AUSSENTEMPERATUR $0-10^\circ \text{C}$

Bild 3 und 4 zeigen die Kennlinien für 0 bis 10° Außentemperatur. Dies ist ein für die tagsüber bei uns herrschenden Aussentemperaturen während der 7-monatigen Heizperiode typisches Spektrum.

Als Einlasstemperatur ist in allen Fällen 20° (Raumtemperatur) angenommen (Umluftbetrieb).

Ergebnisse aus den Diagrammen:

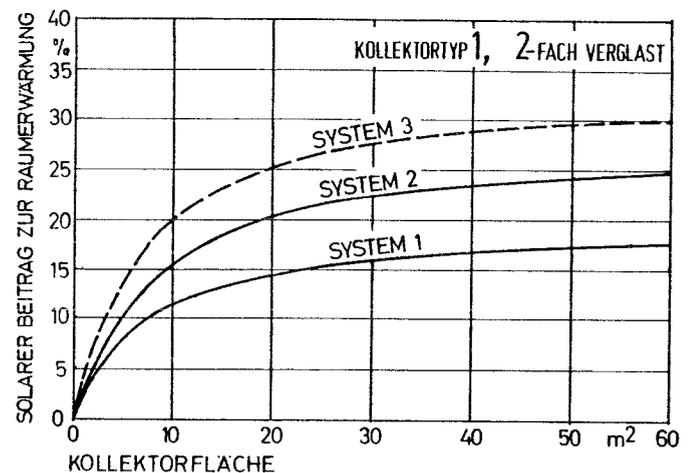
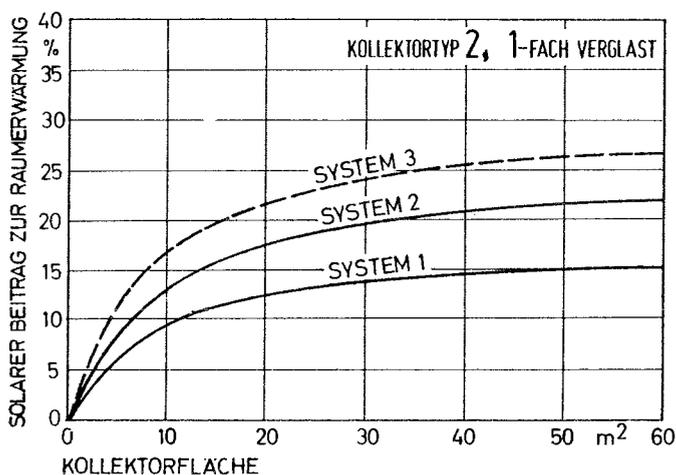
Aus Bild 3 ist beispielsweise ablesbar, daß eine Strahlungsintensität von 400 W/m^2 bei einem Kollektor des Typs 1 (mit zweifacher Verglasung, einem Luftdurchsatz von $4350 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ und einer Kollektorlänge von 4 m eine Temperaturerhöhung um 30 K erbringt. Die beim Einlaß 20° warme Luft hat also beim Auslaß 50° .

Die Bilder zeigen, daß der Kollektor mit dem höheren Luftdurchsatz ab 8 m Länge bzw. Kollektoren mit dem halbierten Luftdurchsatz ab 4 m Länge keine nennenswerten Mehrleistungen mehr erbringen. Beim Vergleich der Bilder ist zu beachten, daß sich die sehr ähnlichen Kurvenverläufe auf unterschiedliche Luftmengen beziehen.

Ebenso ist aus den Bildern das deutlich bessere Abschneiden der Kollektoren mit zweifacher Verglasung ablesbar.

DIE GRÖSSE VON KOLLEKTORFLÄCHEN

Die folgenden Diagramme zeigen den jährlichen solaren Wärmebeitrag verschiedener Luftkollektorsysteme in Abhängigkeit von der Kollektorfläche bei 2 unterschiedlichen Kollektortypen.



- System 1: mit Kollektor mit Frischluftzufuhr (offen) und direkter Warmluftnutzung im Innenraum, (+Zusatz-Lufterwärmung)
- System 2: Kollektor mit Umluftbetrieb mit Steinspeicher (+Zusatzheizung)
- System 3: Bezieht man den solaren Beitrag auf den jährlichen Gesamtwärmebedarf (Raumheizung und Warmwasser), so würde sich bei einer Zuschaltung eines Luft-Wasser-Wärmetauschers zur Warmwasserbereitung beim System 2 eine Erhöhung des solaren Beitrags um 15-20% ergeben (gestrichelte Linie).

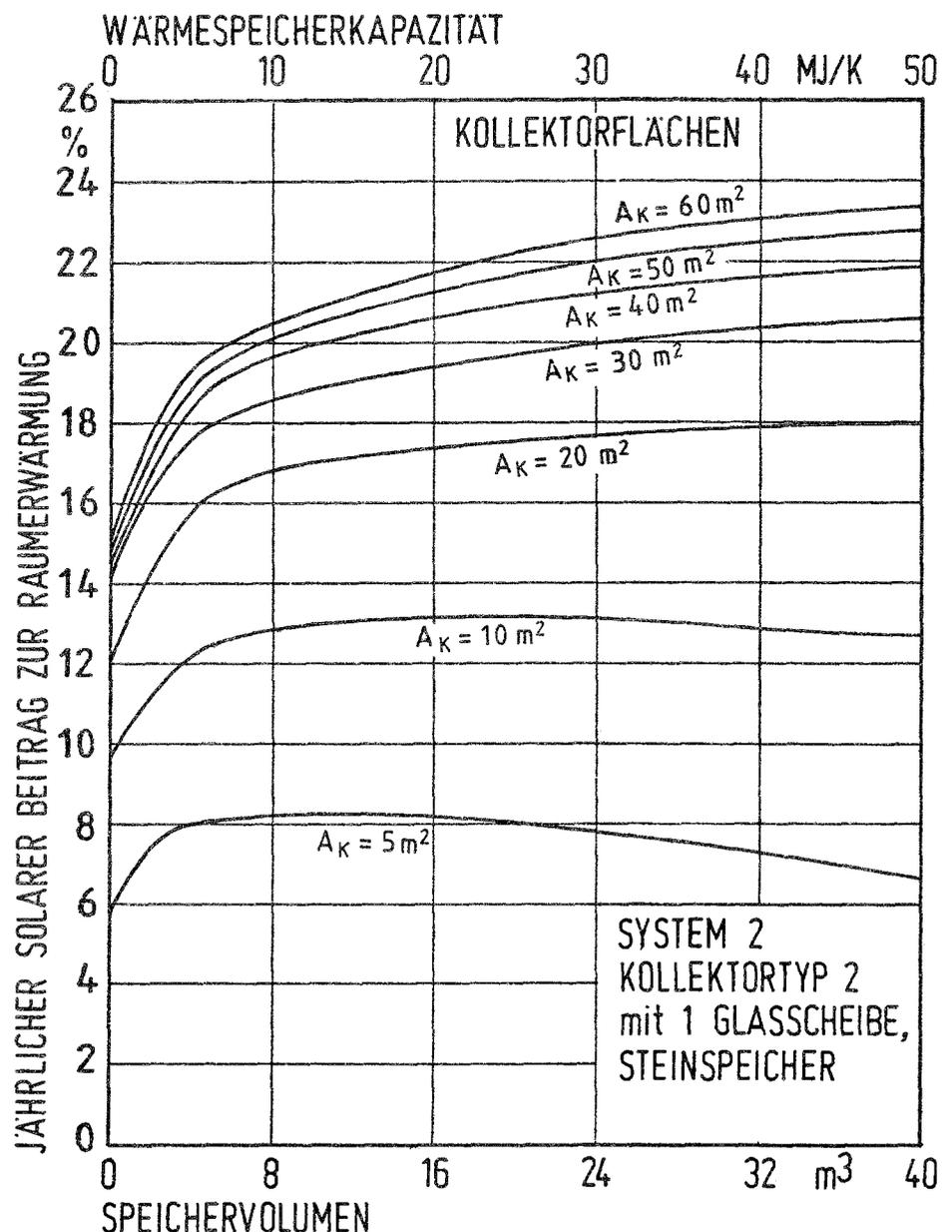
FAUSTREGEL FÜR DIE GRÖSSENBESTIMMUNG VON LUFTKOLLEKTOREN.

Die Fläche der Luftkollektoren (A_k) für ein Wohnhaus sollte etwa 20-30 % der Wohnfläche betragen, um ein gutes Ausnutzungsverhältnis zu erreichen. Sie läßt sich nach der folgenden Formel bestimmen:

$$A_k = \frac{\text{Jährlicher Wärmeverbrauch (kWh/a)}}{\text{Jährl. Sonneneneegieeinstrahlung (kWh/m}^2 \text{ a)}} \times C$$

Dabei bezeichnet C eine "Auslegungskonstante", die für Wohngebäude etwa 1,8 - 2,2 beträgt (das bedeutet, daß der solare Beitrag der Luftkollektoren zur Raumerwärmung im Jahresdurchschnitt bei etwa 20 % liegt).

WÄRMESPEICHERUNG MIT ZENTRALEN STEINSPEICHERN



Der jährliche solare Wärmebeitrag eines Kollektorsystems mit Steinspeicher in Abhängigkeit von der Kollektorflächengröße und der Speicherkapazität.

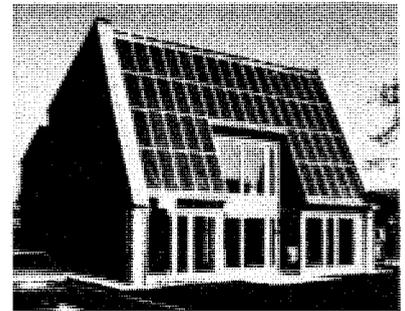
Das Diagramm zeigt, daß bei der untersuchten Anlage eine Vergrößerung der Kollektorfläche über 30 m² nur noch geringe Verbesserungen des solaren Wärmebeitrags erbringt. Ebenso wird ablesbar, daß die Verdoppelung der Kollektorfläche den solaren Wärmebeitrag weit mehr erhöht als die Verdoppelung des Speichervolumens (oberhalb einer Größe von etwa 4-5 cbm).

Als Faustregel für die zweckmäßige Größe von Steinspeichern in Abhängigkeit von der Luftkollektorfläche gilt:

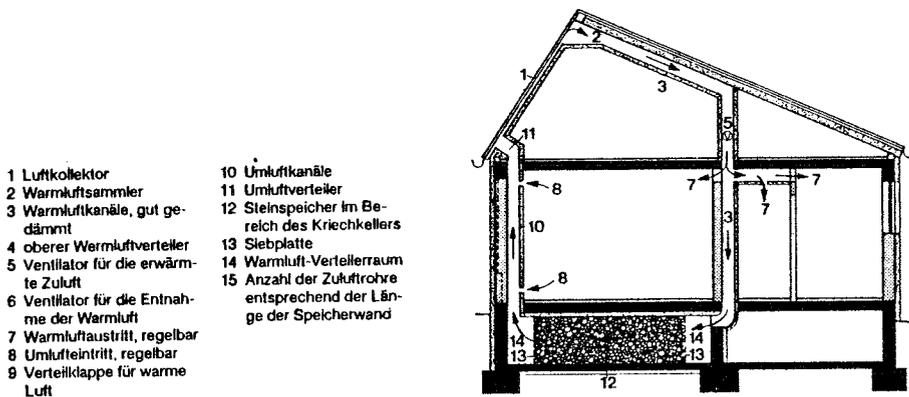
$$\frac{\text{Speichervolumen (cbm)}}{\text{Kollektorfläche (m}^2\text{)}} = \frac{1}{4}$$

In diesem Verhältnis arbeitet der Speicher mit optimaler Ausnutzungsrate. In den Speicher gelangen im Mittel etwa 25-30 % der täglich eingesammelten Sonnenenergie.

Luftkollektoren werden immer in Kombination mit bzw. als Ergänzung zu Sonnenfenstern eingesetzt. In vielen Fällen wird der Wärmetransport nur mit mechanischer Luftzirkulation möglich sein, besonders, wenn der Luftkollektor im Dachbereich (strahlungsgünstige Lage und Neigung) mit einem Steinspeicher im Erdbodenbereich (Gewicht) verbunden wird (siehe hierzu auch Kap. "Luftzirkulation").

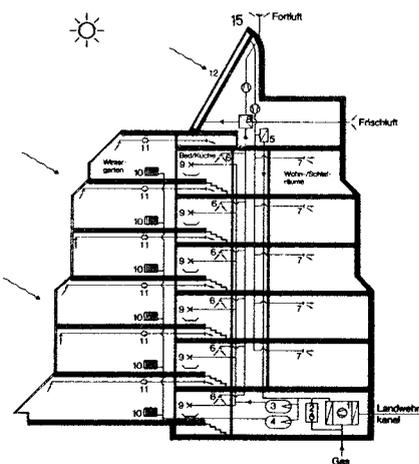
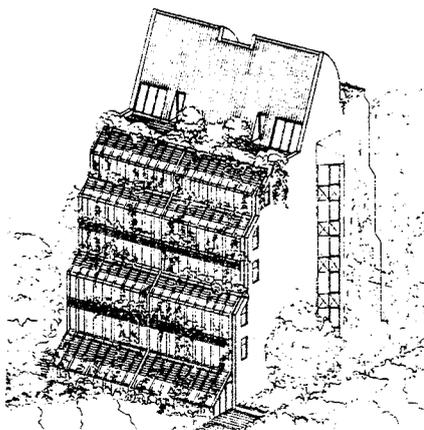


Solar-Versuchshaus der Stadt München. Das Haus wurde Anfang 1984 fertiggestellt. Es steht auf dem Gelände des Bauzentrums München und soll 2 Jahre lang in Betriebsweise und Leistung getestet werden. Es ist mit 38 m² Luftkollektoren und 2x 12 m³ Wasserspeichern ausgerüstet, die mit Luft-Wasser-Wärmetauschern be- und entladen werden. Die Zusatzheizung ist elektrisch. (Entwurf: Dietrich/Muchowski)



- 1 Luftkollektor
- 2 Warmluftsammler
- 3 Warmluftkanäle, gut gedämmt
- 4 oberer Warmluftverteiler
- 5 Ventilator für die erwärmte Zuluft
- 6 Ventilator für die Entnahme der Warmluft
- 7 Warmluftaustritt, regelbar
- 8 Umlufteintritt, regelbar
- 9 Verteilkappe für warme Luft
- 10 Umluftkanäle
- 11 Umluftverteiler
- 12 Steinspeicher im Bereich des Kriechkellers
- 13 Siebplatte
- 14 Warmluft-Vertellerraum
- 15 Anzahl der Zukuftröhre entsprechend der Länge der Speicherwand

Die Kombination eines Luftkollektors mit einem Unterflur-Steinspeicher erfordert eine mechanische Luftzirkulation (Beispiel aus Quelle 70).



- Komponenten**
- 1 GASMOTOR-WASSER-WASSER-WÄRMEPUMPE nutzt Umwärme des Landwehrkanals, 40 kW Heizleistung
 - 2 HILFSKESSEL übernimmt Fremdenheizung bei Absenken der Temperatur des Landwehrkanals unter + 5 °C
 - 3 BRAUCHWASSER-SPEICHER 3 m³, solar beheizt falls den Heizbedarf überschreitendes Solarenergie-Angebot (Frühjahr/Herbst/Sommer)
 - 4 HEIZUNGS-SPEICHER für Wärmepumpe
 - 5 LUFT-WASSER-WÄRMETAUSCHER für solare Warmwassererzeugung
 - 6 ABLUFTÖFFNUNGEN in allen Küchen u. Sanitärräumen
 - 7 ZULUFTÖFFNUNGEN in allen Wohn- und Schlafräumen (Zuluft bei Heizbetrieb solar erwärmt)
 - 8 LUFT/LUFT-WÄRMETAUSCHER zur Rückgewinnung Abluftwärme
 - 9 WARMWASSER-ZAPFSTELLE
 - 10 RADIIATOR Warmwasserheizung
 - 11 VENTILATOR zum Transport solar erwärmter Luft aus dem Wintergarten ins Hausinnere, Förderleistung 10 W
 - 12 LUFTKOLLEKTOR ins Dach integriert, 70 m²
 - 13 LUFTSAMMEL-VERTEILERKASTEN mit Schließdämmung
 - 14 VENTILATOR für Zu-Abstr., je 150 W Förderleistung
 - 15 ENTLÜFTUNGSKLAPPE, offen bei Anlageneinstand oder solarem Überangebot

Luftkollektor auf dem Dach eines Wohnhauses, kombiniert mit Glasvorbauten in den Geschossen (Quelle 67).

3.5 DAS SOLARE WASSERDACH

("Roof-Pond-System")

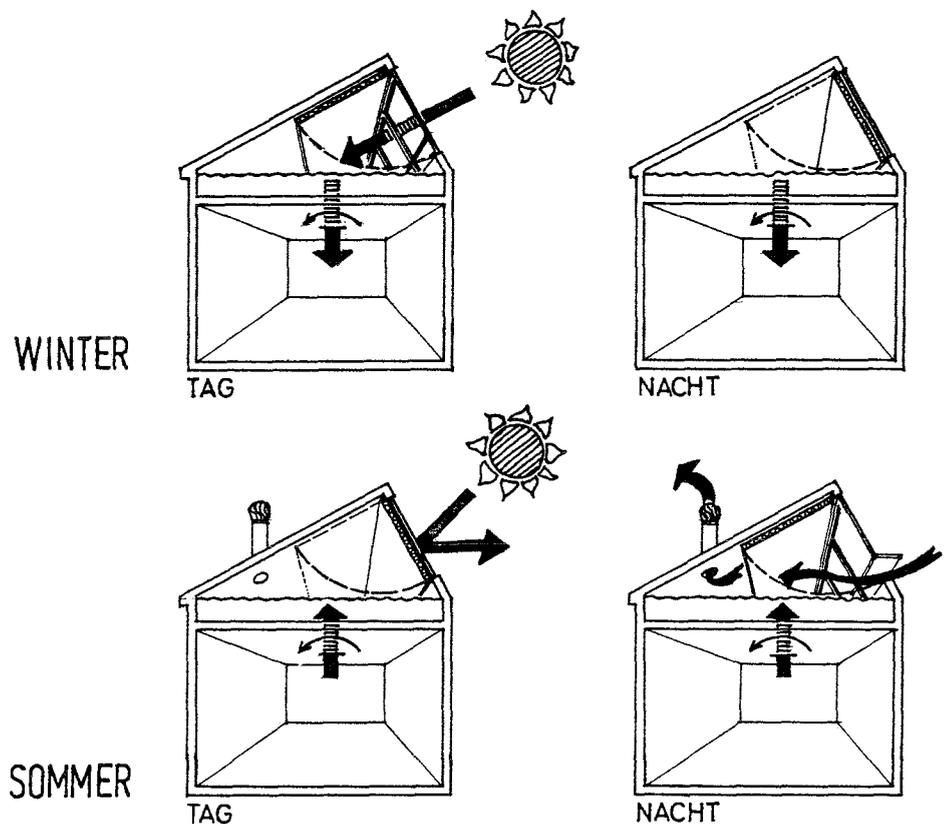
Das Flachdach über dem Wohnbereich wird mit einer Speichermasse aus wassergefüllten Kunststoffbehältern versehen, die mit beweglichen Dämmelementen kombiniert ist. Daraus ergeben sich vier Möglichkeiten der thermischen Steuerung:

1. An sonnigen Wintertagen werden die Dämmelemente weggeklappt oder weggeschoben (z.B. über die Garage).

2. Während der kalten Nächte wird der Wärmespeicher mit den Dämmelementen geschlossen. Die eingespeicherte Wärme wird dann nur nach unten an die Wohnräume abgegeben.

3. Im Sommer wehren die geschlossenen Dämmelemente die Sonneneinstrahlung ab.

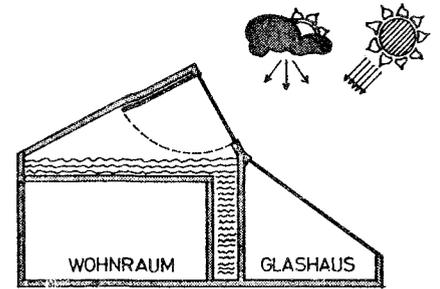
4. In den Sommernächten kühlt die Speichermasse bei geöffneten Dämmelementen aus und bildet so ein Reservoir zur Aufnahme von Raumwärme während des Tages, wirkt also als passive Kühlanlage ("Natürliche Klimatisierung").



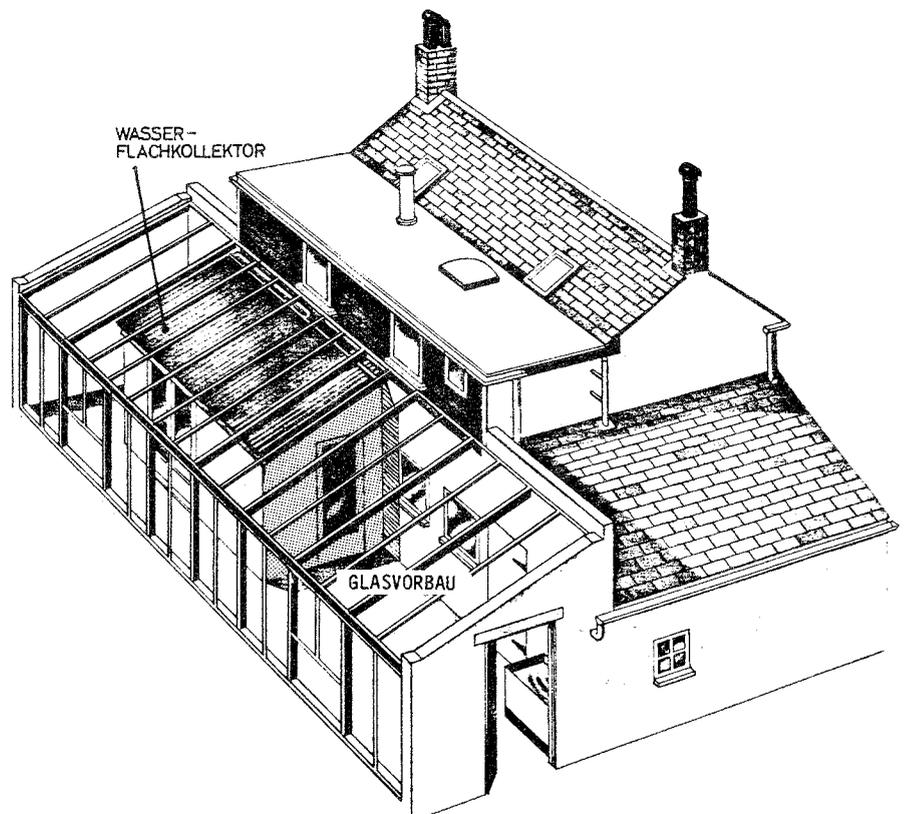
Mit solaren Wasserdächern kann für alle Räume (also auch die Nordräume) eines eingeschossigen Hauses Sonnenenergie passiv genutzt werden. Für unser Klima (geringes Strahlungsangebot und niedriger Sonnenstand im Winter) müsste das System mit einem verglasten Dachaufbau versehen sein (siehe obenstehendes Bild), der als Pufferzone den Wärmeabfluß verringert. Auf diese Weise entsteht ein Glasdachkollektor.

Das Wasserdach-System wirft Fragen der Dichtigkeit und der (psychologischen) Behaglichkeit auf. Außerdem muß die Effektivität durch besondere technische Vorkehrungen gewährleistet sein: der in unserem Winter hohe Anteil bewölkter Tage erfordert für die Dämmelemente eine strahlungsabhängig gesteuerte Stellautomatik. Entsprechend der Heiztemperatur im Wohnbereich wird das Speicherwasser immer Temperaturen von mindestens 20° haben. Solange die Sonneneinstrahlung die Wärmeverluste übersteigt, müssen die Dämmelemente geöffnet sein, die Speichertemperatur steigt langsam an und die Heizung in den Wohnräumen kann gedrosselt werden. Aber schon die nächste Wolke kann die Einstrahlung so verringern, daß die Wärmeverluste aus dem Dachspeicher überwiegen und die Dämmelemente wieder geschlossen werden müssen.

Der Nutzen dieses Systems scheint für unser Klima zweifelhaft.



Kombination von Wasserspeicher- Wand und -Dach.



Wasserkollektor zur Warmwasserbereitung - in einem Glasvorbau integriert (Quelle 61).

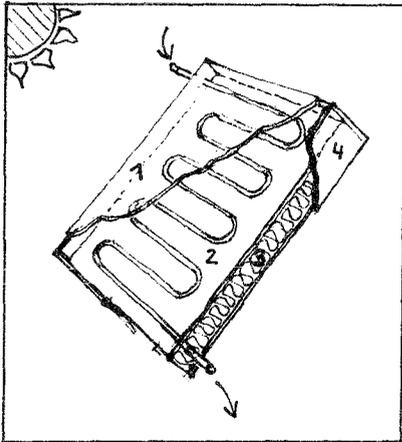
3.6 DER WASSERKOLLEKTOR

Bei Wasserkollektoren (Flachkollektoren üblicher Bauart) wird die Sonneneinstrahlung über gut absorbierende, schwarze und wärmeleitende, meist metallische Flächen auf das in Kanälen durchströmende kühlere Wasser übertragen. Das Wasser (oder ein anderes "Kühlmittel") transportiert die aufgenommene Sonnenwärme als warmes Wasser zur Verbrauchsstelle (Raumerwärmung oder Warmwasserbereitung). Da Flüssigkeiten in der Lage sind, große Wärmemengen bei relativ geringem Volumen aufzunehmen und schnell abzutransportieren, ist nur eine kleine Wassermenge für den Durchlauf durch den Kollektor nötig und der Kollektor kann von der Verbrauchsstelle entfernt liegen.

Bei zu geringer Einstrahlung wird der Wasserdurchlauf gestoppt und der Wärmeverlust im Kollektor bleibt gering. Dem entspricht die Bauweise von Kollektoren: Sie haben eine dicke Dämmschicht auf der Rückseite und benötigen keine beweglichen Dämmelemente.

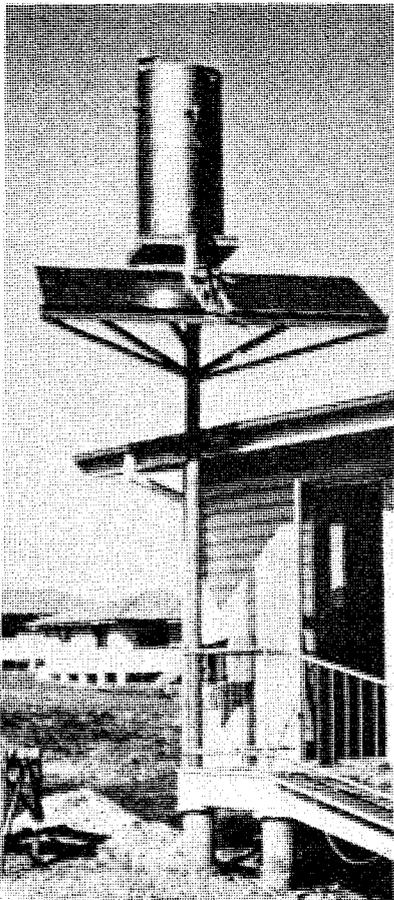
Wasserkollektoren sind seit mehreren Jahren in großer Produktvielfalt auf dem Markt. Zur Herstellung von Brauchwarmwasser im Sommer haben sie sich bewährt. Zur Raumerwärmung sind sie bisher nicht wirtschaftlich einsetzbar.

Kollektorsysteme mit Flüssigkeiten als Wärmeträger sind zur Kombination mit anderen passiven Systemen der Sonnenenergienutzung weniger geeignet, da diese zur Wärmezirkulation zumeist die Luft nützen.

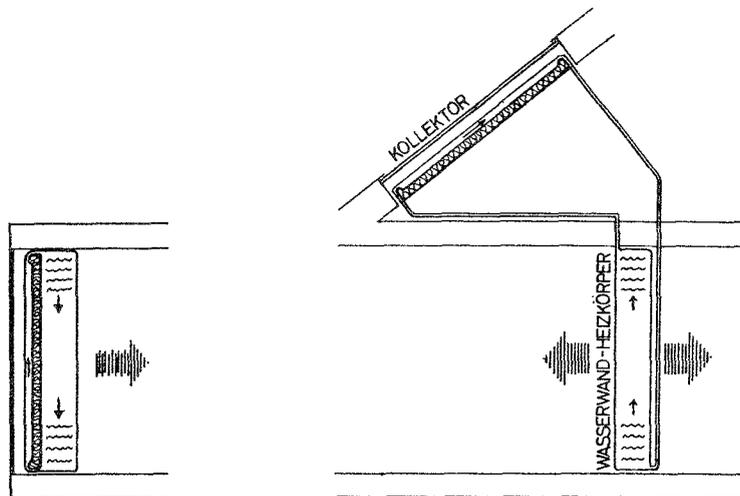


Aufbau eines typischen Wasser-Flachkollektors

1. Kollektor-Glasfläche
2. Absorber-Platte mit integrierten Leitungsrohren
3. Dämmschicht
4. Rahmen



Wasserkollektor mit Speicher zur Warmwasserbereitung - mit natürlicher Umwälzung.



Das voranstehende Bild zeigt die Verbindung eines Wasserkollektors mit einem Wasserspeicher als großflächigem "Niedertemperatur-Heizkörper". Der "Heizkörper" könnte auch in einem weiter entfernt liegenden Raum (z.B. Nordraum) aufgestellt sein, was lediglich eine längere Rohrleitung und eine Umwälzpumpe erfordert. Damit wird deutlich, was dieses System eigentlich ist: eine schlecht regelbare Warmwasserheizung mit passiver Sonnenenergiegewinnung durch Flachkollektoren. Als solche ist sie für unser Klima nicht geeignet.



4.

ZUSATZSYSTEME

ZUR PASSIVEN
SONNENENERGIENUTZUNG

4.1

WÄRMESPEICHERUNG

Baumassen zur Speicherung von Wärme sind überall dort nützlich, wo zwischen Außentemperaturabhängiger Schwankung des Wärmebedarfs und unregelmäßiger oder periodischer Wärmelieferung der Sonne oder einer anderen Wärmequelle die Innentemperatur im Raum zu stabilisieren ist.

Wenn es möglich wäre, die Wärmelieferung in Menge und Zeitverlauf immer genau an den Wärmebedarf anzupassen, dann wäre eine thermische Speichermasse nicht nur überflüssig, sie würde dann auch als unerwünschter Verzögerer der Wärmeregelung wirken. So bietet sich folgerichtig die Kombination von gut regelbarer Heizanlage und Leichtbauweise für Räume an, die nur kurzzeitig genutzt werden (d.h. schnell aufgeheizt werden müssen und dann wieder längere Zeit unbeheizt bleiben), sowie für Räume, die für eine Nutzung der Sonnenenergie nicht in Frage kommen.

Mit der Sonnenenergienutzung muß man die Unregelmäßigkeit dieser Wärmelieferung mit in Kauf nehmen. Sie kann durch eine schnell reagierende Zusatzheizung ausgeglichen werden, solange der Wärmebedarf des Raumes nicht von der Sonnenenergie gedeckt wird.

Wenn man die über den augenblicklichen Bedarf hinaus einstrahlende Energie nutzen will - man kann sie vielleicht schon nach kurzer Zeit wieder zur Raumerwärmung brauchen - dann muß sie für den Bedarfsfall eingespeichert werden. Diese Situation ergibt sich täglich durch Veränderung der Einstrahlungsintensität zwischen Bewölkung und Sonnenschein, mit dem ewigen Wechsel von Tag und Nacht, mit der Folge von Schön- und Schlechtwetterperioden und mit dem Rythmus von Sommer und Winter.

UNTERSCHIEDUNG VERSCHIEDENER BAUWEISEN HINSICHTLICH IHRER WÄRMESPEICHERKAPAZITÄT

Um das Wärmespeichervermögen speicherfähiger Bauteile gezielt für die Nutzung der Sonnenenergie und die Schaffung eines behaglichen Raumklimas einsetzen zu können, müssen wir die Wärmespeicher nach ihren thermischen Eigenschaften definieren:

- Ⓐ Speichermassen, die von der Sonnenstrahlung (direkt und diffus) unmittelbar oder über Reflexion erreicht werden ("Primär-Speicher"). Die Wärmeabgabe an den Raum geschieht über Wärmeabstrahlung und über Luftzirkulation. Diese Speicher haben möglichst große Oberflächen für die Wärmefaufnahme und -abgabe, die auf Wände, Decken und Böden verteilt sind. Sie dienen vor allem der Aufnahme der Wärmemengen strahlungsreicher Tage und deren Speicherung für 24 Stunden oder wenige Tage. Es sind die Speicher, die sich für die Nutzung des geringen Strahlungsangebots im Winter lohnen, für die Aufnahme der stärkeren Sonneneinstrahlung der Übergangszeiten aber häufig nicht mehr ausreichen.



Je größer die direkt oder diffus bestrahlte Oberfläche der Speichermasse ist (richtige Orientierung, geringe Verschattung), je besser das Absorptionsvermögen der Oberfläche (dunkle Färbung, matt statt glänzend), je höher die Wärmeleitfähigkeit und je größer das Wärmespeichervermögen des Speichermaterials ist, desto mehr Sonnenenergie kann eingespeichert werden. Bei einseitiger Bestrahlung beträgt die nutzbare Dicke massiver Primär-Speicherwände 20 - 25 cm (Quelle 78).

Ⓑ Speichermassen, die nicht von der Sonnenstrahlung erreicht werden ("Sekundärspeicher"), wie innenliegende Wände oder Decken.

Der Wärmetausch geschieht fast ausschließlich über die Luft. Wieviel Wärme zwischen Masse und Luft ausgetauscht werden kann, hängt von der Luftbewegung, der Temperaturdifferenz zwischen Luft und Masse und dem Oberflächenumfang der Speichermasse ab. Als Anhaltswert gilt eine Wärmeübergangszahl (α_i) von 8 W/m²K im Raum. Sekundärspeicher bewirken - zusammen mit Primärspeichern - eine Stabilisierung der Innenraumtemperatur gegenüber den Schwankungen zwischen Tag und Nacht. Auch werden plötzliche Wetterwechsel im Innenraum nur schwerfällig nachvollzogen. Im Winter ist das wegen der Beheizung der Räume auf 20° weniger deutlich als im Sommer.

In der warmen Jahreszeit ist die Speicherfähigkeit aller Bauteile zur Temperaturstabilisierung unerlässlich. Sie kommt voll zur Entfaltung, wenn die Bauteile während der Nacht bei offenem Fenster auskühlen können und damit für den kommenden warmen Tag ein "Kühlpotential" bilden. Im Winter sorgt die Speichermasse dafür, daß nachts die Heizung abgeschaltet werden kann und die Raumtemperatur dennoch nur um wenige Grade bis zum Morgen absinkt.

Die mittleren Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht betragen ca. 5 K im Winter und 10 K im Sommer. (Siehe hierzu auch Anhang 6.1)

Bei diesen Schwankungen sind am Prozeß der Wärmespeicherung und Wärmeabgabe innerhalb einer 24-Stunden-Periode nur die äußeren Materialschichten speicherfähiger Bauteile beteiligt. Als hierfür ausreichende Materialstärken gelten:

Bei einseitiger Beanspruchung (z.B. Außenwände mit äußerer Wärmedämmung):

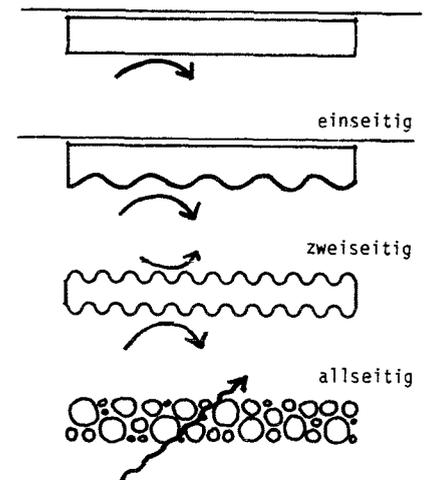
Beton	10	cm
Mauerwerk	11,5	cm

Bei zweiseitiger Beanspruchung (Innenwände):

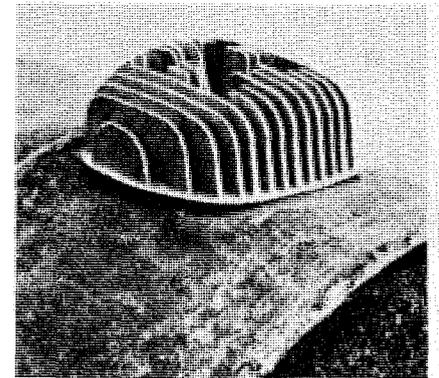
Beton	15	cm
Mauerwerk	17,5	cm
Gasbeton	14	cm
Massivholz	8	cm

Bei längeren Temperaturwechselperioden (etwa mehrtägige Kälte- oder Hitzeperioden) werden auch die tieferliegenden Schichten wärmespeichernder Baumassen wirksam, sodaß die Planung der oben angegebenen Bauteil-Stärken nur als Mindestwerte angenommen werden können.

(Zur Strahlungsaufnahme von Primärspeichern siehe auch Kap.3.3 "Sonnenwand")

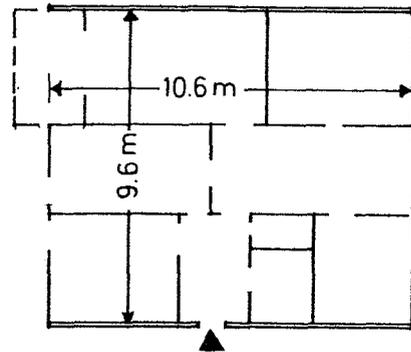


Vergrößerung der Berührungsflächen zwischen Luft und Masse zur Verstärkung des Wärmeaustauschs



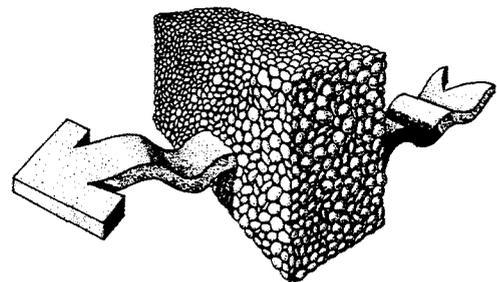
Vergleich der Mengen von zur Wärmespeicherung geeigneten Bauteilen in einem Wohnungsbeispiel (Raumhöhe 2,50):

Decke und Boden (einseitig)	200 m ²	(46 %)
Außenwände o.F. (einseitig)	40 m ²	(9 %)
Innenwände (beidseitig)	140 m ²	(33 %)
Wohnungstrennwände (einseitig)	50 m ²	(11 %)
Gesamtoberflächen:	430 m²	(100 %)



© Unbesonnte Speichermassen außerhalb der Wohnräume ("Tertiärspeicher"). Hier findet der Wärmetausch nur mithilfe zu- und abgeführter Luft als Wärmeträger statt. Diese Speicher können mit allen Kollektorsystemen verbunden werden, die auch mit Luftzirkulation arbeiten. Für Luftkollektoren bilden sie die einzig mögliche Form der Wärmespeicherung. Für Glashäuser oder andere passive Kollektorsysteme sind sie zusätzlich zu den Primärspeicher einsetzbar.

Als Zusatzspeicher sind sie besonders dann zweckmäßig, wenn es gelingt, die Wirkungsdauer der Wärmespeicherung auf einen größeren Zeitraum (5 - 8 Tage) auszudehnen und sich so die Temperaturänderungen beim Wechsel von Großwetterlagen zunutze zu machen. Das könnte auch zu einer besseren Ausnutzung des Sonnenenergieangebots in den Übergangszeiten beitragen.



Tertiärspeicher werden gewöhnlich als Steinspeicher ausgebildet. Sie können aus loser Kies- oder Steinschüttung bestehen (Körnung nicht unter 10 cm) oder aus Formsteinen in luftdurchlässiger Schichtung.

Hinsichtlich der Wärmespeicherfähigkeit gibt es noch andere Unterscheidungen:

1. Die VDI 2078 unterscheidet 2 Bauarten nach der wirksamen Masse, bezogen auf die Fußbodenfläche:

Bauart 1 (wenig speichernd) mit einer spezifischen Baumasse von 100 - 350 kg/m² (Fußbodenfläche) oder - bei höheren Baumassewerten, wenn die für die Speicherung wesentlichen Bauteile (Boden und Deckel) durch Isolierschichten (Teppich, schwimmender Estrich, untergehängte Decke u.a.) abgedeckt sind.

Bauart 2 (stärker speichernd) mit spezifischen Baumassen von mehr als 350 kg/m² Fußboden bei nicht abgedeckten Decken und Böden. Ist der Fußboden mit Teppich belegt, wird nur die halbe Fußbodenfläche bei der Rechnung berücksichtigt.

2. Die DIN 4108/Teil 2 unterscheidet 2 Bauarten nach der wirksamen Masse, bezogen auf die Außenwandfläche (Wand und Fenster):

Leichte Bauart mit einer wirksamen Masse von 600 kg/m² (Außenwandfläche)

Schwere Bauart mit einer wirksamen Masse von über 600 kg/m² (Außenwandfläche)

Als wirksame Masse gilt bei Innenbauteilen ohne Wärmedämmschicht (Innenwand, Decken) die halbe Masse. Bei Innenbauteilen mit Wärmedämmschicht die Masse zwischen Oberfläche und Dämmschicht, jedoch max. 50 % der Gesamtmasse. Für Holz und Holzwerkstoffbauteile kann die doppelte Masse angerechnet werden. (Diese Definition bezieht sich auf den sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden und kann nur für die veralteten, schlecht gedämmten Außenwände als zweckmäßig angesehen werden).

leichte Bauweise: Holz-, Holzwerkstoff-, Gipskarton-, Gips-, Blech-, Dämmstoff-, Gasbeton- Konstruktionen.

schwere Bauweise: Stahlbeton-, Vollziegel- Konstruktionen mit Estrich, Ziegeldeckung, Kiesschüttung.

3. In den österreichischen Schulbaurichtlinien sind erforderliche Mindestgrößen für Speichermassen festgelegt, die vernünftigerweise auf die Fensteroberflächengrößen bezogen sind: Sie sollen mindestens 2500 kg/m² Glasfläche der Außenwand betragen.

4. Andere Definitionen unterscheiden die Wärmespeicherfähigkeit verschiedener Bauweisen nicht durch ihre Masse, sondern durch ihr spezifisches (temperaturabhängiges) Wärmespeichervermögen. Dieses beträgt bei:

sehr leichter Bauart: z.B. 5 kWh/K
sehr schwerer Bauart: z.B. 40 kWh/K

Ebenso kann nach der definierten Auskühlzeit unterschieden werden:

sehr leicht	30 Stunden	(Auskühlzeitkonstante T)
mittel	50 Stunden	
sehr schwer	100 Stunden	(Quelle 23)

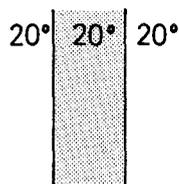
5. Wärmespeicher können auch nach der Zeitdauer der mit der Wärmespeicherung überbrückbaren Klimaschwankungen unterschieden werden:

- Kurzzeit-Speicher (24 Stunden bzw. 1-2-Tage-Speicher). In diesem Wirkungsbereich liegen die üblichen Primär- und Sekundärspeichermassen im Winter und Sommer.

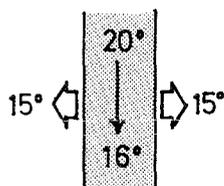
- Mehrtage-Speicher (5 - 8 Tage) zur Temperaturstabilisierung der wechselnden mehrtägigen Großwetterlagen. Hierzu eignen sich die Sekundärspeichermassen im Sommer und in den Übergangszeiten. Im Winter sind als Mehrtages-Speicher nur Tertiärspeicher geeignet.

- Langzeit-Speicher (Saison-, Sommer- und Winterspeicher). Hierzu kommen nur große Tertiärspeicher in Frage oder die Speicherung in umgewandelten Energieformen.

ÜBER DEN ZUSAMMENHANG VON WÄRMEFLÜSSEN UND TEMPERATURDIFFERENZEN BEI DER WÄRMESPEICHERUNG.

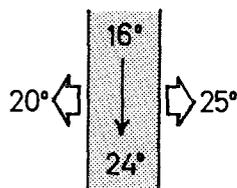
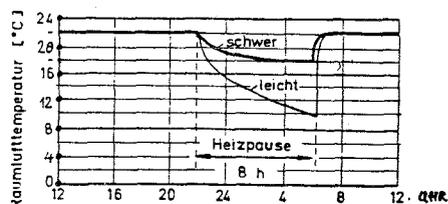


Speicherfähige Wand zwischen zwei Räumen mit gleichen Temperaturen (Innenwand). Keine Wärme fließt: Die Speicherwand gibt weder Wärme ab, noch nimmt sie welche auf. Sie ist in diesem Zustand thermisch ohne Nutzen. Erst bei Temperaturdifferenzen kommt die Speicherfähigkeit zur Wirkung.

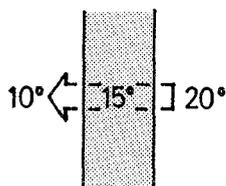


Die Raumtemperatur sinkt (z.B. infolge der nächtlichen Heizungsabschaltung) ab, die Speicherwand fängt an, Wärme abzugeben, sie beginnt zu "arbeiten", hierdurch verhindert die Speicherwand ein noch weiteres Absinken der Raumtemperatur. Je größer die Temperaturdifferenz zwischen Wand und Raumluft, desto stärker ist der Wärmefluß (pro m^2 Wandfläche).

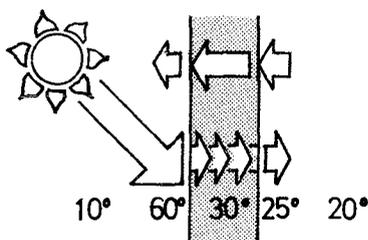
Einfluß der Speicherfähigkeit auf das Absinken der Raumtemperatur während der nächtlichen Heizabschaltung. (Schwere und leichte Bauweise).



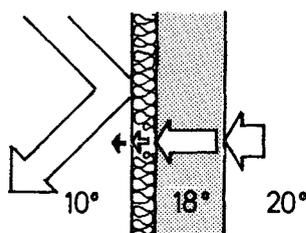
Steigt nun infolge Heizungseinschaltung die Raumtemperatur wieder an, beginnt die Wand, Wärme aufzunehmen. Je dicker die Wand, desto länger dauert dieser Tauschprozess, so schwankt bei einem Raumtemperaturwechsel von 15° auf 25° die Wandtemperaturen unter Umständen nur zwischen 17° und 23° .



Bei nicht besonnten Wänden zwischen Räumen mit unterschiedlicher Temperatur (z.B. Außenwand nachts) fließt kontinuierlich Wärme ab.



Der Wärmeabfluß wird nun bei Außenwänden ohne Wärmedämmung durch Sonneneinstrahlung, d.h. durch Wärmeeinflüsse von außen nach innen überlagert. Es hängt von der Sonnenintensität und der Außentemperatur ab, ob der Wärmeabfluß oder -Zufluß größer ist. Die häufige Bewölkung, die geringe Einstrahlung, die langen Nächte und die niedrigen Temperaturen unseres Klimas bewirken, daß der Wärmeabfluß aus den geheizten Innenräumen den solaren Wärmezufuß während des Winters drastisch übersteigt.



Je größer die Speicherfähigkeit der Wand, desto träger reagiert sie auf äußere Temperaturänderung.

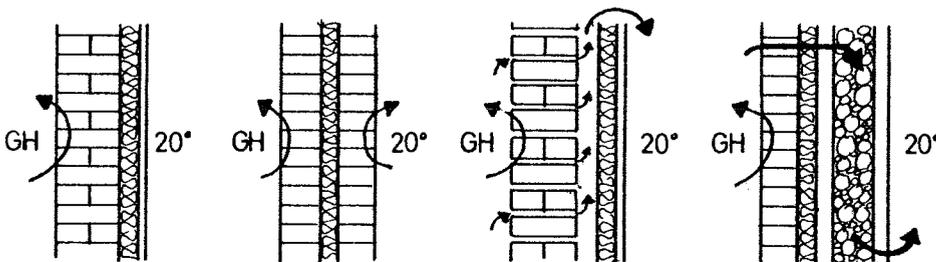
Durch gute äußere Wärmedämmung wird die Sonneneinstrahlung verhindert, und der Wärmeabfluß verringert. Aus der Außenwand wird hinsichtlich des Speicherverhaltens praktisch eine Innenwand mit einseitig ungehindertem Wärmehaushalt.

TEMPERATURNIVEAU VON WÄRMESPEICHERN

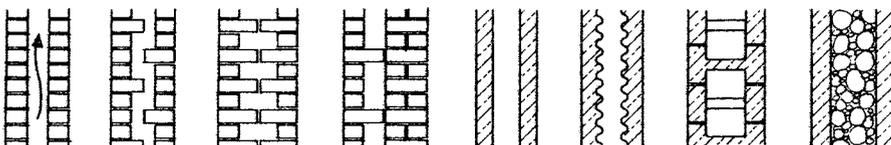
Ein weiteres wichtiges Merkmal von Wärmespeichern ist die große Spreizung ihres thermischen Arbeitsbereichs. Diese Spreizung muss dem Wärmebedarf und Temperaturniveau der verschiedenen Wärmezonen des Hauses entsprechen.

So bewegen sich die Speichertemperaturen in Pufferzonen während der Heizperiode in einem Bereich unter 20° (siehe Kap. 2.3). Dagegen ist die Temperatur von Speichermassen in den Wohnräumen am Wintertag mindestens 20° (siehe hierzu auch Kap. 3.1).

Die Zuordnung einer Speicherschicht zu einer Wärmezone wird durch die Anordnung der wärmedämmenden Schicht bestimmt und erkennbar (Beispiel: Glashaus-Wohnraum):



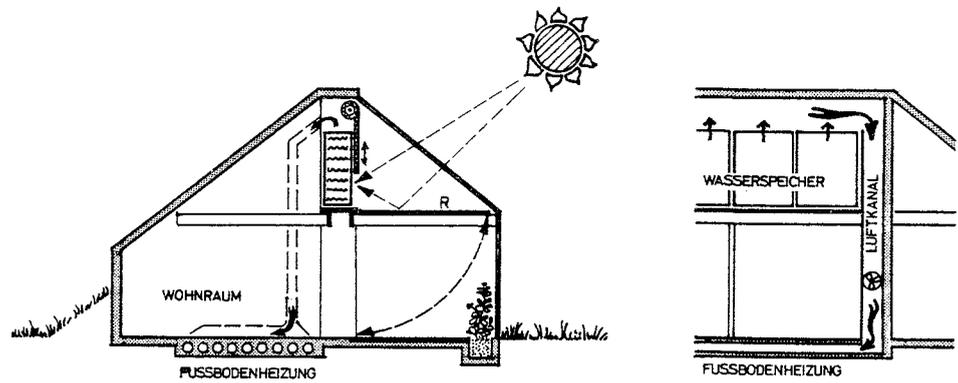
Speicher, die Wohnräumen zugeordnet sind (mit Temperaturen um 20°), können als Zwischenwand- oder Zwischendeckenspeicher (Tertiärspeicher mit Luftzirkulation) ausgebildet werden. Sie haben den Vorteil, dass alle Wärmeabflüsse den Wohnräumen zugute kommen, also keine Verluste entstehen, und dass die grossen Flächen einen guten Wärmetausch auch bei geringen Temperaturdifferenzen erlauben.



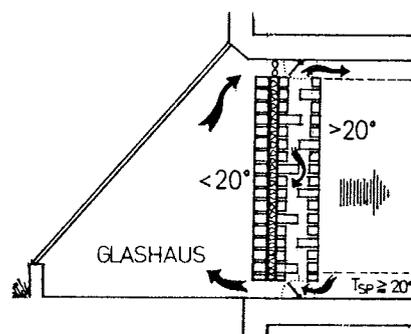
Varianten der Ausbildung von Zwischenwandspeichern

Allerdings ist der grosse Teil an solar erzeugter Luftwärme unter 20° nicht für einen solchen Speicher verwendbar, wenn nicht eine zusätzliche Aufheizung erfolgt. (Siehe hierzu auch S. 121).

Aus diesem Grund scheint die Kombination von Wärmespeichern über 20° mit Luftkollektoren, die relativ rasch Temperaturen über 20° erzeugen, günstiger als mit Glasvorbauten, die durch ihren größeren Eigenwärmeverbrauch das höhere Temperaturniveau nur langsam erreichen.

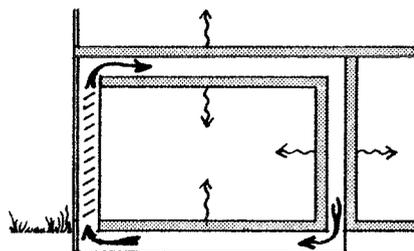


Die Sonneneinstrahlung durch das verglaste Schrägdach und die Auftriebs-Warmluft aus dem Glasvorbau und dem Haus hält den Wasserspeicher im Dachboden auf mindestens 20° . Die aufgestiegene Luft wird als Luftheizung in die Hohlräume der Bodenplatte rezirkuliert. Man achte auf das Verhältnis von Kollektorzone und Wohnzone in diesem für unser mitteleuropäisches Klima entworfenen Haus von C.Green (Quelle 59).

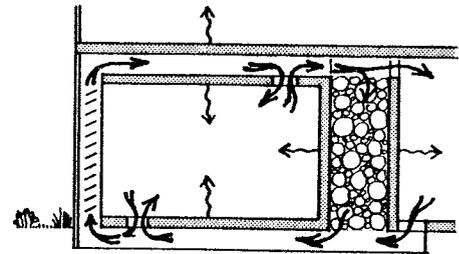


Zweischalige Wandspeicher nahe am Glasvorbau, aber thermisch von ihm getrennt.

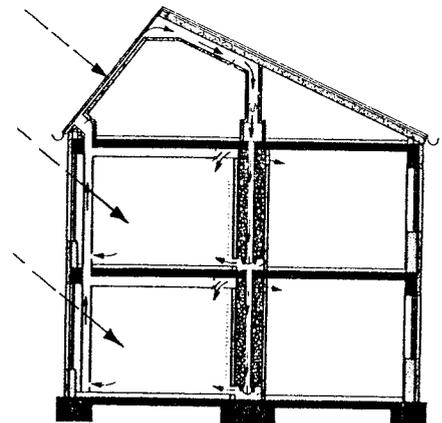
(T_{sp} = Speichertemperatur)



Luftkollektor mit zweischaligen Wand- und Deckenspeichern.



Luftkollektor mit Wand-Steinspeicher im Hausinneren.



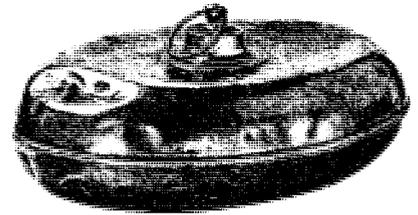
Senkrechter Steinspeicher in Gebäude-mitte für Warmluft aus Sonnenraum und Luftkollektor (Quelle 70).

Wärmespeicher mit Arbeitstemperaturen über 20° sind von Wohnräumen thermisch nicht getrennt.

Für die richtige Dimensionierung von solchen Speichern für die verschiedenen Kollektorsysteme in Abhängigkeit von den Einstrahlungssummen und dem Temperaturniveau der gespeicherten Wärme gibt es bisher keine zuverlässigen Regeln.

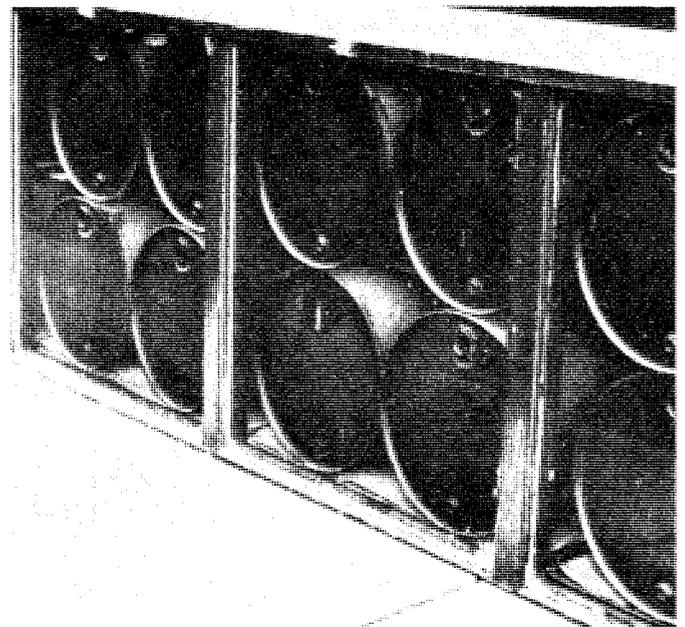
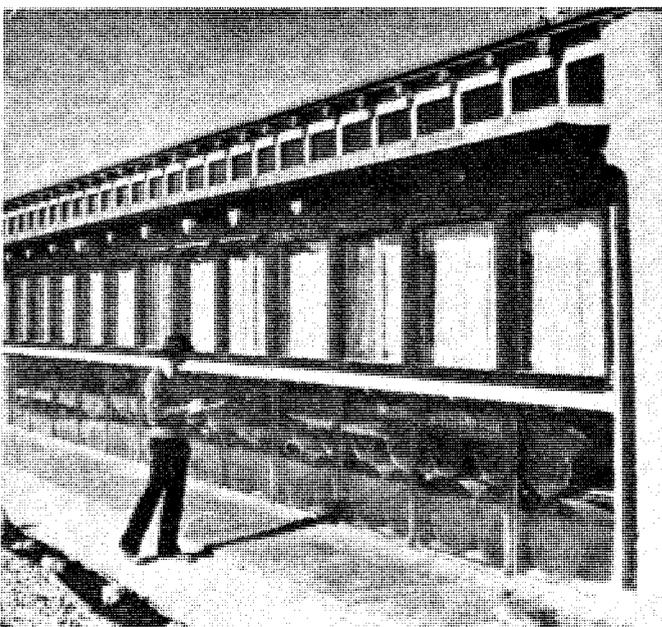
WASSERSPEICHER

Wasser hat als Speichermaterial gegenüber den üblichen Massivbaustoffen (Beton, Mauerwerk) Vorteile: Die Speicherkapazität ist pro Gewichtseinheit mehr als 4 mal so groß, pro Volumeneinheit etwa 2 mal so groß. Wasser hat nur das halbe Gewicht pro Volumeneinheit. Wasser hat bei freier Zirkulation eine unbegrenzte Wärmeleitfähigkeit, sodaß bei Sonneneinstrahlung kein Wärmestau auf der Oberfläche entsteht, der z.B. bei Massivbaustoffen nach 4 bis 5 stündiger Besonnung die Wärmeaufnahme auf etwa 50 % absinken läßt. Deshalb ist durch Wasserspeicher der solare Raumwärmegewinn beträchtlich zu verbessern.



Als Wasserspeicher können gebrauchte oder neue Behälter aus Blech (z.B. 200 l - Benzintonnen) oder Glas (Flaschen oder Glasballons) oder Kunststoff benutzt werden.

Kunststoffbehälter sind meist aus Niederdruck-Polyäthylen (weiß) und werden vom Handel in verschiedenen Ausführungen geliefert. Die Preise liegen zwischen 0.30-0.60 DM/l. Eine preisgünstige Ausführung ist der für standardisierte Transportpaletten genormte "Euro"-Kanister zu 5, 10, 20 und 30 l. Der 30 l-Kanister z. B. (0.30 DM/l) mit den Abmessungen 320 x 460 x 275 ist liegend bis zu 3 Stück, stehend bis zu 5 Stück stapelbar. Der Stapel muß gegen Umkippen gesichert werden. Temperaturerhöhungen sind bis 40° bedenkenlos, ab 60° wird das Material weich. Für eine Wand von 2,5 x 3,0 m (= 7,5 m²) wären 85 Kanister nötig (800.-- DM d.h. 105.-- DM/m²).



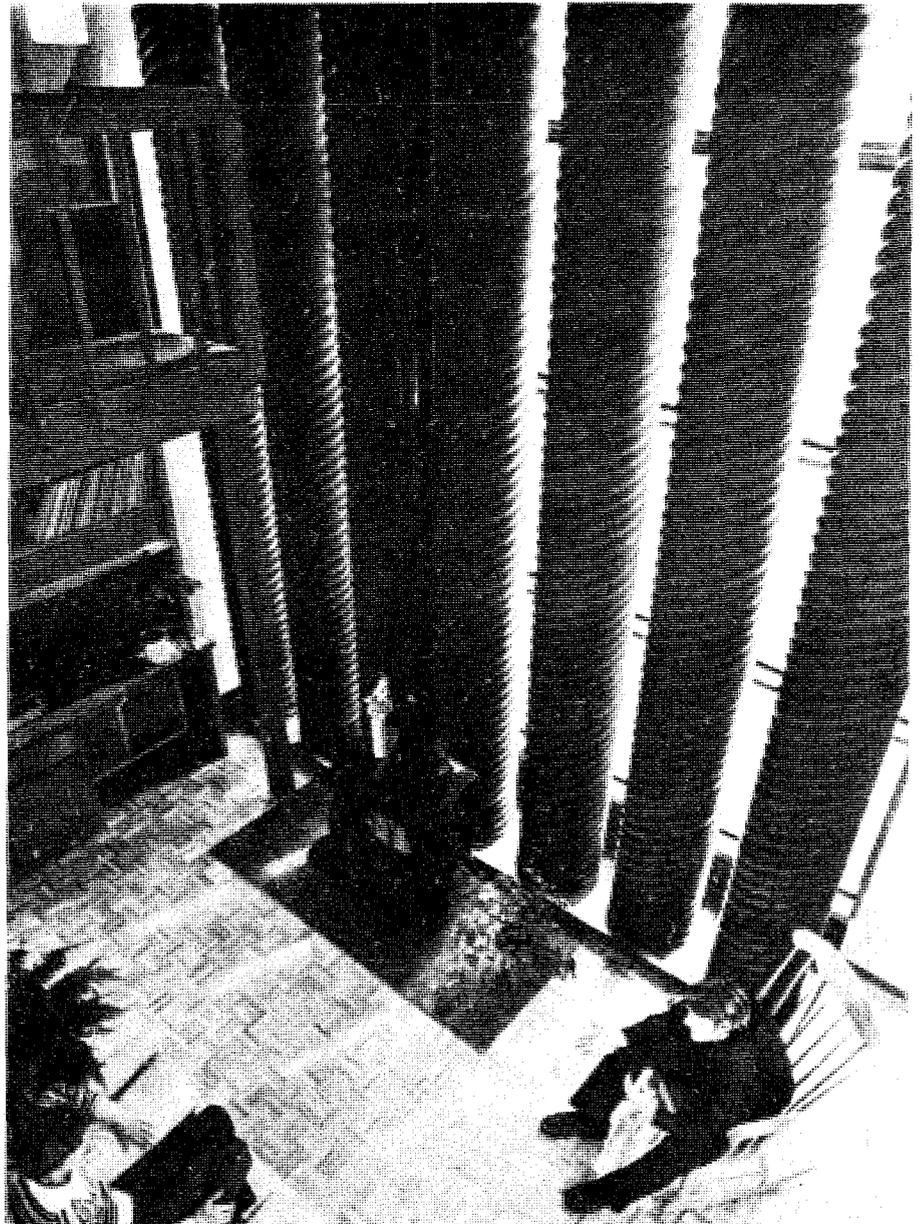
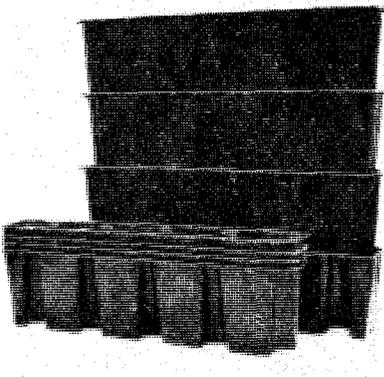
Kombination von Sonnenfenster und Sonnenwand mit Wasserbehältern als Primärspeicher im Brüstungsbereich (Quellen 15, 44).

1 Wassertonne (Ø1fass) fasst
55 Gallonen = 210 l Wasser

6-Kant-Kanister sind in beliebiger Höhe stapelbar (0,60 DM/l). Der Stapel muß seitlich gehalten werden. Um ausreichende Wasserbewegung zu ermöglichen, sollten zylindrische Behälter einen Durchmesser von nicht weniger als 25cm haben. Wegen der temperaturbedingten Volumenänderung des Wassers sollten die Behälter nicht randvoll gefüllt werden.



Wasser-Speicherwand, gestapelt aus Plastik (oder Glas-) Flaschen.



Wassergefüllte Blechsäulen als zusätzliche Speichermasse im Sonnenraum. Wasser hat sehr gute Wärme-Speichereigenschaften. Die Wellenform der Blechsäulen vergrößert die Oberfläche und verbessert damit den Wärmeaustausch zwischen der Raumluft und der Speichermasse (Quelle 44).

LATENT-SPEICHER

Bestimmte Stoffe haben die Eigenschaft, im Bereich der üblichen Raumtemperatur (z.B. 22°) bei Erwärmung vom festen in den flüssigen, bei Abkühlung wieder vom flüssigen in den festen Aggregatzustand überzugehen. Mit dem Vorgang der Verflüssigung ist eine starke Wärmeaufnahme in den Stoff (z.B. Glaubersalz) verbunden - andererseits wird bei der durch Abkühlung hervorgerufenen Verfestigung diese Wärmemenge wieder an die Umgebung abgegeben. Diese durch Veränderung des Aggregatzustandes aktivierte Wärme eines Stoffes nennt man Latentwärme.

Wenn man Stoffe, deren Aggregatzustand zwischen 21° bis 24° wechselt, an Stellen einbaut, die direkt besonnt werden (Primärspeicher), kann eine beträchtlich grössere Menge an Sonnenenergie rasch eingespeichert und später wieder an den Raum abgegeben werden, als dies bei den üblichen Baustoffen möglich ist.

Diese Technik, die eine beträchtliche Verbesserung der Wärmespeicherkapazität im Sonnenhaus bewirken könnte, befindet sich erst im Entwicklungsstadium. In einem Versuchshaus in Cambridge / USA (MIT V) wurde die Unterseite der Innendecke mit einer flachen Schicht aus Latentspeicherelementen ausgestattet. Die Sonnenstrahlung wird mit Hilfe von Jalousiereflektoren (siehe S.194) zur Decke hin umgelenkt: eine Anwendungsform, die nur für Standorte mit hohem Direktstrahlungsanteil während der Heizperiode richtig ist.

LANGZEIT-SPEICHER (SOMMER-WINTER)

Nachstehend sind die Ergebnisse einer Simulationsrechnung des Wirkungsgrads eines kompakten Langzeit-Großspeichers zur Nutzung der sommerlichen Sonneneinstrahlung für die Heizung im Winter wiedergegeben. Die Berechnung wurde für drei Reihenhäuser mit je 40 bis 60 m² Luftkollektorfläche und einem gemeinsamen 900 m³-Steinspeicher durchgeführt. (Quelle 66)

Luftkollektoren Typ und Fläche	Im Jahresverlauf in den Speicher eingeleitete Wärmemenge und Wirkungsgrad*	Wärmeversorgung während der 7-Monate Heizperiode (Okt-Apr). Wärmebeiträge in Summen (kWh) und Anteilen (%).		
		Luftkollektor direkt	Steinspeicher	Zusatz- heizung
1. 180 m ² Standard	42380 kWh 0,48	5820 kWh 12 %	20420 kWh 42 %	22880 kWh 46 %
2. 120 m ² hocheffizient	58900 kWh 0,46	7430 kWh 15 %	27100 kWh 55 %	14560 kWh 30 %
3. 180 m ² hocheffizient	80040 kWh 0,36	8960 kWh 18 %	28990 kWh 59 %	11160 kWh 23 %

* Der Wirkungsgrad bezeichnet das Verhältnis von gespeicherter Wärmemenge zur Einstrahlungsmenge

Außerdem ergab sich, daß die Vergrößerung der hocheffizienten Luftkollektorfläche von 120 auf 180 m² unnötig ist, wenn die Wärmedämmung des Speichers verbessert wird. Mit zunehmender Speicherdauer steigt die Bedeutung der Wärmedämmung.

Über die Effizienz von Langzeitspeichern in der Praxis, die als Stein- oder Wasserspeicher ausgeführt wurden, ist uns nichts bekannt. Dazu gehören Objekte mit Erd- oder Wasser-Großspeichern für ganze Wohnsiedlungen, die die Häuser den Winter über mit warmem Wasser versorgen, um damit Wärmepumpen als einzige Zusatzheizung wirtschaftlich betreiben zu können.

Andere Formen der Speicherung sommerlicher Sonnenenergie wie die photovoltaische Stromerzeugung zur Herstellung verlustfrei lagerbaren Wasserstoffs, mit dem im Winter geheizt werden kann, werden hier nicht behandelt.

THERMISCHE KENNWERTE VON BAUSTOFFEN (WÄRMESPEICHERFÄHIGKEIT)

DEFINITIONEN:

ρ = Rohdichte (kg/m³)

b = Wärmeeindringzahl (in Wh/m²·h^{0,5}·K)

Die Wärmeeindringzahl b gibt die Geschwindigkeit der Wärmeeindringung bzw. der Auskühlung eines Baustoffes an. Sie ist abhängig von der Rohdichte, der Wärmeleitfähigkeit und der spezifischen Wärmekapazität eines Stoffes ($b = \sqrt{\rho \cdot \lambda \cdot c}$). Je höher der b -Wert, desto besser ist ein Stoff als Primärspeicher Masse geeignet.

S = Wärmespeicherzahl (kWh/m³·K) (Volumenbezogene Speicherkapazität)

Die Wärmespeicherzahl S gibt die Wärmemenge an, welche pro m³ Aussenbauteil im Beharrungszustand gespeichert wird, wenn zwischen innen und aussen ein Temperaturunterschied von 1K besteht. Die Wärmespeicherzahl ist ein besonders aussagekräftiger Kennwert für die Wärmespeicherung, weil die im Bauteil von innen nach aussen dem Wärmewert entsprechend absinkenden Temperaturen Berücksichtigung finden. Je grösser die Wärmespeicherzahl S , desto besser ist die Wärmespeicherfähigkeit des betreffenden Bauteils.

c = Wärmespeicherkapazität (kWh/kg·K) (bezogen auf das spezifische Gewicht der Stoffe)

REFLEXION UND ABSORPTION VON WÄRMESTRAHLEN VERSCHIEDENER BAUSTOFF-OBERFLÄCHEN (in %).

	Reflexions- Grad %	Absorptions- Grad %
Weisse Keramikplatten	82	18
Weisser Lack auf Holz	80	20
Aluminium poliert	75 - 80	20 - 25
Aluminium matt, roh	40 - 50	50 - 60
Holz	65	35
Beton, Mörtel	30 - 40	60 - 70
Asbestzementplatten (neu)	50 - 55	45 - 50
Asbestzementplatten (1 Jahr alt)	30	70
Ziegelsteine, rot (n.Helligkeit)	30 - 40	55 - 70
Dachziegel, rot	35 - 55	45 - 65
Granit	45	55
Schieferplatten	10	90
Kupfer poliert	ca. 80	18 - 20
Kupfer, matt, roh	35 - 40	60 - 65
Zinkblech, neu	35 - 40	60 - 65
Zinkblech verschmutzt	10 - 15	85 - 90
Wasser	ca. 10	ca. 90
Erde		
Farbanstrich weiß	75 - 80	20 - 25
Farbanstrich hellgelb	55 - 70	30 - 45
Farbanstrich rot	20 - 40	60 - 80
Farbanstrich hellgrün	30 - 45	55 - 70
Farbanstrich mittelgrau	30 - 60	40 - 70
desgl. dunkelblau, dunkelgrün	5 - 15	80 - 95
Farbanstrich schwarz	5	95
Absolut schwarzer Körper	0	100

TABELLEN ZUR WÄRMESPEICHERUNG VON BAUSTOFFEN
(Quelle 70)

MASSIVBAUSTOFFE, SCHÜTTUNGEN

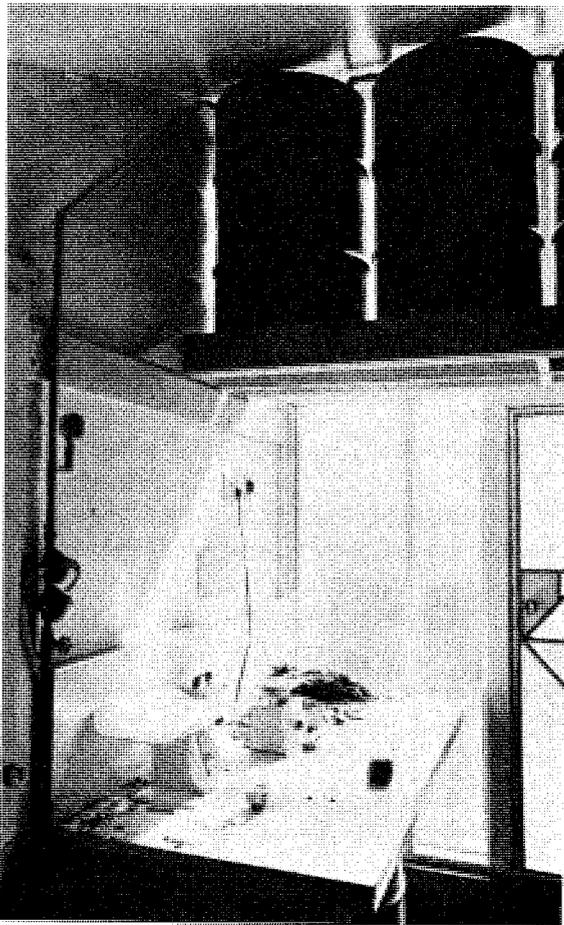
	Rohdichte ρ (kg/m ³)	Wärmeleit- fähigkeit λ (W/mK)	Spezifische Wärmekapa- zität c (2) (Wh/kgK)	Wärmeein- dringko- effizient b (Wh/m ² ·h ^{1/2} K)	Wärme- speicher- zahl S (Wh/m ³ K)
Normalbeton nach DIN 1405 (Kies- oder Splittbeton mit geschlossenem Gefüge; auch bewehrt)	2400	2.1	0.28	39	667
Leichtbeton und Stahlleichtbeton mit geschlossenem Gefüge unter Verwendung von Zuschlägen mit porigem Gefüge	1200 1600 2000	0.59 0.87 1.2	" " "	15 21 27	333 444 555
Leichtbeton und Stahlleichtbeton mit geschlossenem Gefüge ausschließlich unter Verwendung von Blähton	1000 1300	0.38 0.56	" "	11 15	278 361
Blähschiefer, Naturbims ohne Quarzsandzusatz	1600	0.73	"	19	444
Dampfgehärteter Dampfbeton nach DIN 4223	400	0.14	"	5	111
	600	0.19	"	6	167
	800	0.23	"	8	222
Gasbeton-Bauplatten, unbewehrt, dünnfugig verlegt	500	0.19	"	6	139
	800	0.27	"	8	222
	900	0.32	"	9	250
Wandbauplatten aus Leichtbeton	1200	0.47	"	13	333
Wandbauplatten aus Gips, auch mit Poren, Hohlräumen Füllstoffen oder Zuschlägen	600	0.29	"	7	167
	900	0.41	"	11	250

	Rohdichte ρ (kg/m ³)	Wärmeleit- fähigkeit λ (W/mK)	Spezifische Wärme- kapazität c (Wh/kgK)	Wärmeein- dringkoef- fizient b (Wh/m ² ·h ^{1/2} K)	Wärme- speicher- zahl S (Wh/m ³ K)
Mauerwerk aus Vollklinker	2000	1.0	"	25	555
Mauerwerk aus Vollziegel, Lochziegel, Leichtziegel hochfeste Ziegel	600	0.35	"	8	167
	800	0.41	"	10	222
	1400	0.60	"	16	389
	1800	0.79	"	21	500
Mauerwerk aus Poren-Leichtziegel mit Leichtmörtel (gemäß Einzelzulassung) (1)	700	0.20	"	7	194
	800	0.26	"	8	222
	1000	0.50	"	12	278
	1400	0.70	"	18	389
Mauerwerk aus Kalksandsteinen	1800	0.99	"	23	500
	2000	1.1	"	26	555
	500	0.22	"	6	139
	700	0.27	"	8	194
Mauerwerk aus Gasbeton-Blocksteinen	800	0.47	"	11	222
	1000	0.65	"	14	278
	1200	0.77	"	17	333
Mauerwerk aus Leichtbeton-Hohlblocksteinen mit porigen Zuschlägen ohne Quarzsandzusatz	600	0.35	"	8	167
	800	0.41	"	10	222
	1000	0.47	"	12	278
	1200	0.52	"	14	333
Mauerwerk aus Leichtbeton-Vollsteinen	600	0.22	"	6	167
	800	0.28	"	8	222
	1800	0.70	"	19	500
Mauerwerk aus Bimsbeton-Vollblöcken S-W	800	0.28	"	8	222
Schüttungen aus Sand, Kies, Splitt	1800	0.70	"	19	500
Steinschüttungen aus Granit, Basalt	2800	3.5	"	52	778

- 1) Diese Werte sind nicht in DIN 4108 enthalten
2) Gemäß DIN 4108, Teil 4, Tabelle 7, mit Rechenwerten der spezifischen Wärmekapazität; sie wurden für die Berechnung der Wärmeeindringkoeffizienten b und der Wärmespeicherzahlen S verwendet.

PUTZE, PLATTEN, BELÄGE, DÄMMSTOFFE, WASSER

Putze aus Zementmörtel	2000	1.4	0.28	29	555
Putze aus Kalkmörtel, Kalkzementmörtel	1800	0.87	"	22	500
Dispersionsputze	1700	0.58	"	18	472
Putze aus Kalkgipsmörtel, Gipsmörtel	1400	0.70	"	17	389
Gipsputz ohne Zuschlag	1200	0.35	"	11	333
Wärmedämmender Putz	600	0.20	"	6	167
Gipskartonplatten	900	0.21	"	8	250
Fliesen	2000	1.0	"	25	555
Glasmosaik, Keramik	2000	1.2	"	27	555
Asbestzementplatten	2000	0.58	"	19	555
Glas	2500	0.81	"	25	694
Ziegelplatten	1800	0.79	"	21	500
Klinkerplatten	2000	1.0	"	25	555
Sandstein, Muschelkalk	2600	2.3	"	43	722
Marmor, Granit, Basalt	2800	3.5	"	52	778
Betonwerksteinplatten	2400	2.1	"	39	667
Eichenholz	800	0.21	0.58	11	467
Fichte, Kiefer, Tanne, Sperrholz	600	0.14	"	7	350
Flachpreß-Spanplatten	700	0.14	"	8	408
Leichte Akustik-Spanplatten	300	0.06	"	3	175
Harte Holzfaserplatten	1000	0.17	"	11	583
Poröse Holzfaserplatten	300	0.06	"	3	175
Zementestrich	2000	1.4	0.28	29	555
Anhydritestrich	2100	1.2	"	28	583
Gußasphaltestrich	2300	0.90	"	25	639
Magnesiaestrich als Unterboden	1400	0.47	"	14	389
Linoleum	1000	0.17	0.42	9	457
Korklinoleum	700	0.08	0.36	5	253
Linoleum-Verbundbeläge	1000	0.12	0.42	8	417
Kunststoffbeläge, z.B. auch PVC	1500	0.23	0.42	13	625
Teppichböden, Nadelfilz geklebt	300	0.09	0.36	3	108
Teppichböden, Tufting geklebt	270	0.08	0.36	3	97
Holzwohle-Leichtbauplatten (b + S für 420 kg/m ³)	360-480	0.09	0.58	5	244
Polystyrol-Partikelschaum (b + S für 20 kg/m ³)	15- 30	0.04	0.42	1	8
Polyurethan-Hartschaum (b + S für 30 kg/m ³)	=> 30	0.04	0.42	1	22
Mineralfaser-Dämmplatten (b + S für 80 kg/m ³)	8-500	0.04	0.28	1	22
Mineralfaser-Akustikplatten	370	0.06	0.28	3	103
Bitumenfilzplatten	400	0.06	0.36	10	144
Stahl	7800	60.0	0.11	239	867
Aluminium	2700	200.0	0.22	364	600
Wasser	1000	0.58	1.17	27	1167



4.2

LUFTZIRKULATION

THERMISCHE EIGENSCHAFTEN DER LUFT

Luft kann praktisch keine Wärme speichern. Das wird im Vergleich mit anderem Material deutlich: Damit ein Stoff bei einer Wärmemenge von 1 Kilowattstunde um 1 Kelvin wärmer wird, braucht es bei Wasser ein Volumen von $0,86 \text{ m}^3$, bei Ziegelmauerwerk $3,3 \text{ m}^3$ und bei Luft ein Volumen von 3000 m^3 ! (siehe Zeichnung). Das zeigt andererseits: Luft kann schnell erwärmt werden, d.h. zur Erwärmung von Luft ist vergleichsweise wenig Energie erforderlich. Bei stärkerer Sonnenstrahlung schnell die Lufttemperatur in die Höhe, die Wärme kann sich aber ebenso rasch durch Wind und Ritzen wieder verflüchtigen.

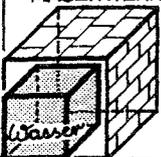
Die Lufttemperatur leistet einen wichtigen Beitrag für die Behaglichkeit im Raum, deren Toleranzbereich mit etwa 18 bis 24° relativ eng ist. So können wir einerseits die bei Sonneneinstrahlung rasch auf über 20° erwärmte Luft sogleich zur Raumerwärmung nutzen, was bei anderen Wärmeträgern nicht möglich ist. Andererseits kommt es leicht zu unbehaglicher Überhitzung. So tut uns bei der winterlichen Morgensonne und bei bedecktem Himmel die Luftwärme gut, bei stärkerer Sonneneinstrahlung aber muß die Warmluft abgeführt oder die Strahlungsenergie in thermische Masse eingespeichert werden.

Im Gegensatz zum Wärmetransport durch Strahlung, der gewöhnlich nur innerhalb eines Raumes möglich ist, kann Wärme mit Luft auch "um die Ecken", d.h. gezielt in andere Räume transportiert werden. Dazu braucht man allerdings große Luftvolumen. Die Querschnitte von Luftkanälen müssen deshalb um ein Vielfaches größer sein als die von Heizwasserleitungen.

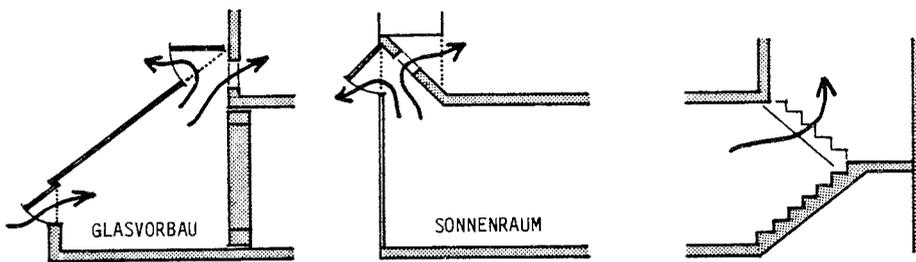
Infolge des geringen Wärmeaufnahmevermögens ist Luft hervorragend als Wärmedämm-Stoff geeignet. Zur Vermeidung von Wärmeübertragung durch Konvektion muß hierbei jedoch der Bewegungsspielraum der Luft eingeengt werden. So eingeschlossen in kleine Poren (Faser- oder Schaum-Dämmstoffe) oder schmale Spalten (Isolierglas) bildet Luft den Hauptwirkungsfaktor der Wärmedämmung.

LUFT

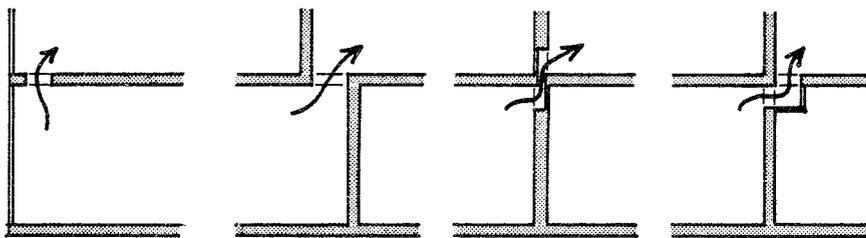
MAUERWERK



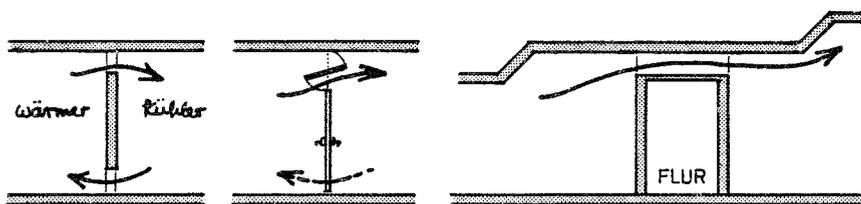
DIE LUFTZIRKULATION ZUR WÄRMEVERTEILUNG UND LÜFTUNG IM HAUS DURCH AUSNUTZUNG DES NATÜRLICHEN WÄRMEAUFTRIEBES.



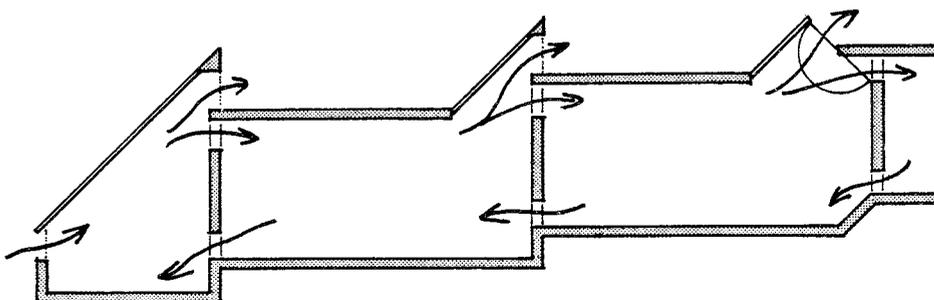
Ausbildung von "Wärmehüten", unter denen sich die warme Luft sammelt und von denen sie gut abgeleitet werden kann. Lüftungsöffnungen sollten möglichst an den höchsten Stellen angeordnet sein



Beispiele für Warmluftauftrieb ins Obergeschoß über regelbare Öffnungsklappen: bei südorientierten Räumen ist der vertikale Luftauftrieb nur dann sinnvoll, wenn das Obergeschoß selbst nicht zur Sonnenwärmegewinnung ausgerüstet ist



Warmluftverteilung in angrenzende Räume durch Luftzirkulation infolge der Temperaturdifferenz zwischen Süd- und Nordräumen bzw. durch Wärmeauftrieb



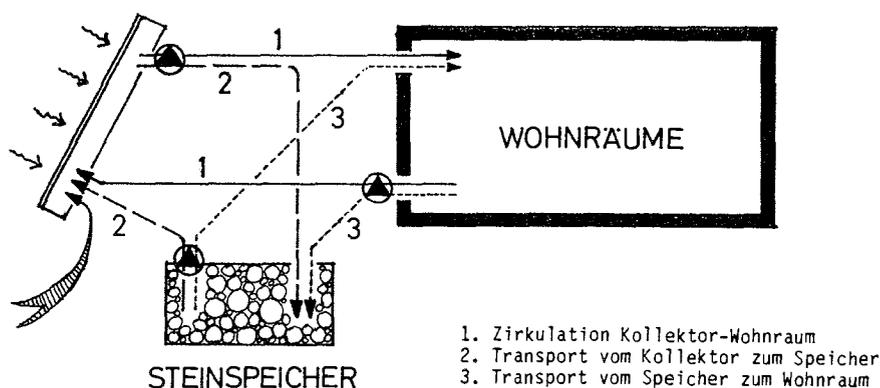
Möglichkeiten natürlicher Lüftung und Warmluftzirkulation

LUFTZIRKULATION UND WÄRMENUTZUNG AUF UNTERSCHIEDLICHEN TEMPERATURNIVEAUS MIT MECHANISCHER HILFE

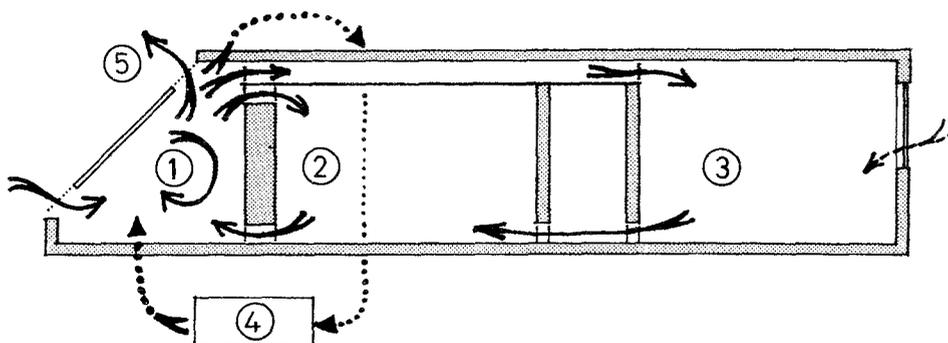
Wo der natürliche Wärmeeuftrieb zur Luftzirkulation nicht ausreicht, wo ein begrenzter Öffnungsquerschnitt die natürliche Luftbewegung hemmt, oder wo Warmluft aus Dachbodenkollektoren nach unten gebracht werden soll, muß man sich mechanischer Hilfe zur Luftzirkulation bedienen. Dazu gehören Ventilatoren, Luftkanäle, Luftklappen, Regeleinrichtungen. Mit diesen Mitteln kann die Luftzirkulation verlangsamt, forciert oder (evtl. bei Sommerbetrieb) auch umgekehrt werden. Der Betrieb kleiner Ventilatoren verursacht verhältnismäßig geringe Kosten, kann aber mit Geräuschen und einem u.U. starken Luftzug verbunden sein.

Beim Bau von Luftkanälen, Luftspalten- und Schächten oder von flächigen Hohlraumkonstruktionen muß auf Sauberkeit geachtet werden. Alle Teile solcher Luftanlagen sollten zur Reinigung zugänglich sein.

KOLLEKTOR (GLASVORBAU, LUFTKOLLEKTOR)



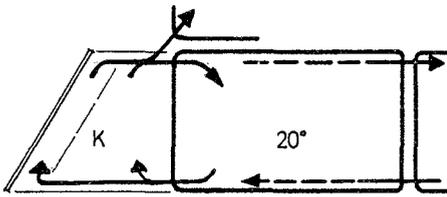
Das Schema macht deutlich, dass für ein solches System ein gewisser Aufwand für Ventilatoren, Wärmefühler, Luftklappen und Leitungskanäle erforderlich werden kann, um Wärmeangebot und Wärmebedarf jederzeit gut aufeinander abzustimmen.



Varianten der Luftzirkulation bei alternativer oder stufenweiser Luftwärmenutzung (Beispiel mit einem Glashauskollektor):

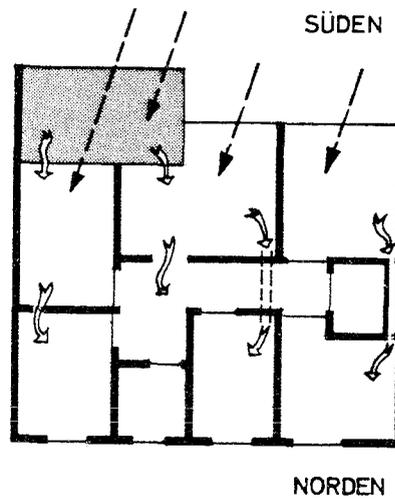
1. Wärmenutzung im Glashaus selbst
2. Luftzirkulation (natürlich oder mechanisch) mit dem angrenzenden Raum
3. Wärmeversorgung nicht benachbarter Räume (mechanisch und kanalisiert)
4. Einspeicherung von Wärme (in Abhängigkeit vom Temperaturniveau)
5. Abfuhr von Wärmeüberschüssen durch Lüftung nach außen (Sommer)

Transport solarer Luftwärme über 20° in angrenzende und andere Aufenthaltsräume:

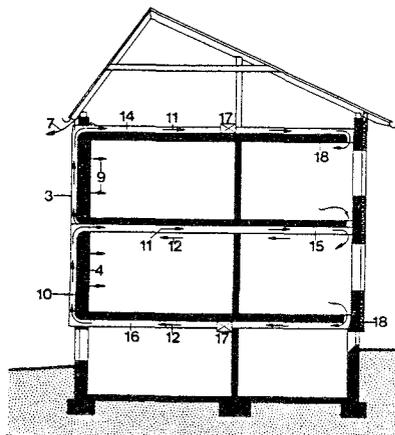


Der Kollektorraum ist als Sonnenwand, Glasvorbau oder als Luftkollektor interpretierbar.

Beispiel möglicher Formen der Weiterleitung von Wärmeüberschüssen im Wohnungsgrundriss.



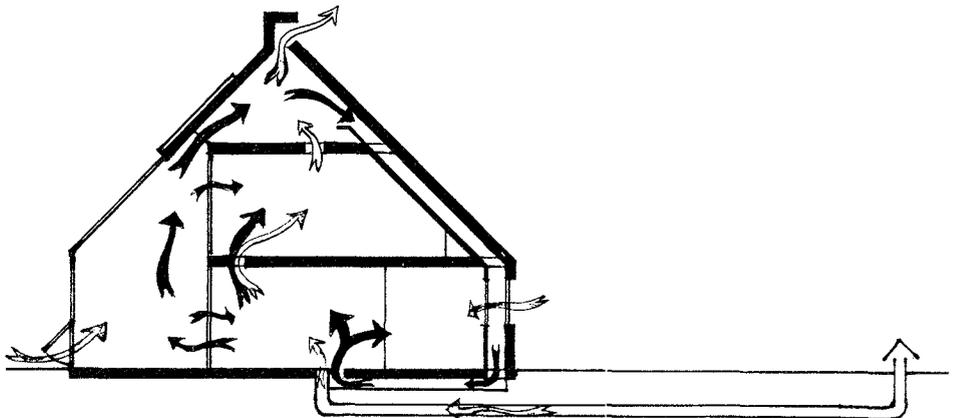
- 3 Doppeltes Isolierglas
- 4 Speicherwand (Beton, Natursteine, schweres Mauerwerk)
Auf der Außenseite dunkel gestrichen
- 5 Zuluftöffnung
- 6 Warmluftöffnung
- 7 Sommerlüftung
- 8 Dämmelement bei Dunkelheit, ggf. auch an sonnenlosen Tagen
- 9 Wärmestrahlung
- 10 10 bis 15 cm Luftschicht
- 11 Warmluft (Zirkulation)
- 12 Kaltluft (Zirkulation)
- 13 Frischluft im Sommer
- 14 Warmluftkanäle über der Decke
- 15 Warm- und Kaltluftkanäle in die Decke integriert
- 16 Kaltluftkanäle unter der Decke
- 17 Ventilator
- 18 Außenbauteile mit guter Wärmedämmung

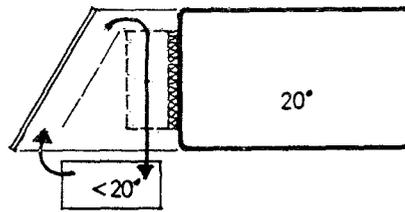


Verbesserte Luftwärmenutzung durch Transport von Wärmeüberschüssen aus Sonnenwänden in nicht angrenzende Räume (Beispiel aus Quelle 70).

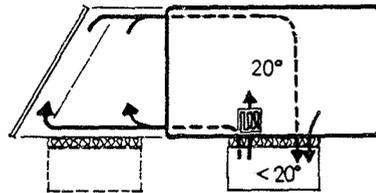
Transport solarer Warmluft unter 20° zur Wärmenutzung in den Pufferzonen des Hauses:

Im Doppelschalenhaus wird die ganze Außenwandfläche mit einer Luftspalten-Pufferzone ausgebildet. In dieser Zone zirkuliert Warmluft aus der Kollektorzone mit zumeist unter 20° während der Heizperiode, die auch durch Wärmeabflüsse aus den Wohnräumen miterwärmt wird.

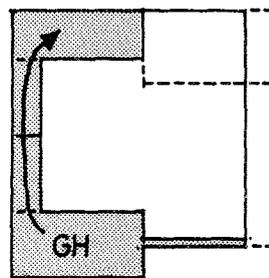




Speicher im bzw.nahe beim Glaskorbau für Warmluft unter 20° zur Temperaturstabilisierung des Glaskorbaus (Pufferzone) selbst.

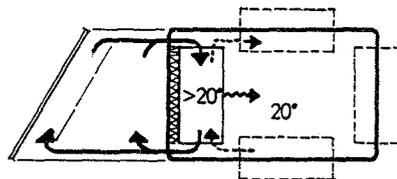


Transport solarer Warmluft unter 20° in einen zentralen Steinspeicher. Zur Wärmeversorgung der Wohnräume ist eine Zusatzheizung der Speicher-Warmluft nötig.

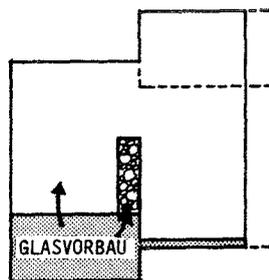


Pufferräume rings um das ganze (freistehende) oder halbe (angebaute) Haus. Sonnenwärmegewinne werden nach hinten abgeleitet. So werden auch die sekundären Speichermassen der Nord-Pufferräume aktiviert, die Temperaturen im Glaskorbau steigen nicht so rasch auf über 20° - das kommt einer Erwärmung der Pufferräume (auf einem niedrigeren Temperaturniveau) zugute.

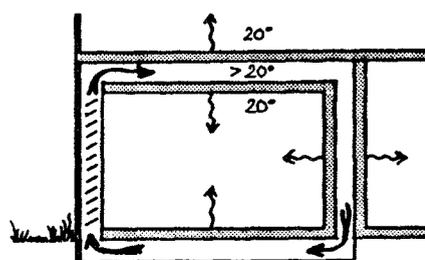
Transport solarer Wärmeüberschüsse über 20° in Speicher im Hausinneren.



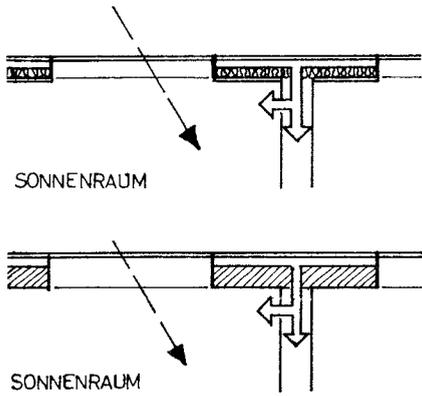
Speicher für Wärme über 20° liegen zentral im Haus und haben große Tauscherflächen zu den Wohnräumen.



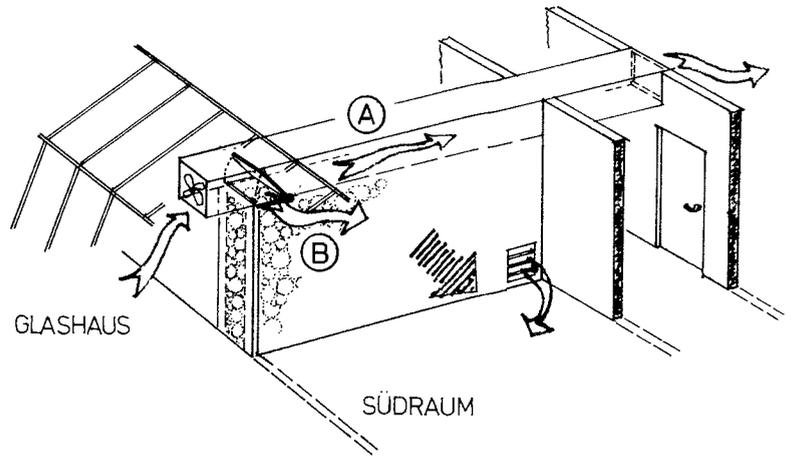
Bei sonnigem, warmem Wetter steigen die Temperaturen im Glashauss rasch auf über 20° an. Die über die Warmluftversorgung der angrenzenden Räume hinaus gewonnenen Wärmeüberschüsse können in einen zentralen Steinspeicher eingelagert werden.



Luftkollektor mit Warmluftzirkulation in doppelschaligen, speicherfähigen Decken und Wänden für Luft über 20° (Hypokaustensystem mit reiner Strahlungswärmeabgabe). Bei Luftkollektoren bauen sich Lufttemperaturen über 20° schneller auf als bei Sonnenwänden oder Glaskorbauten, die einen höheren Eigenwärmebedarf haben.

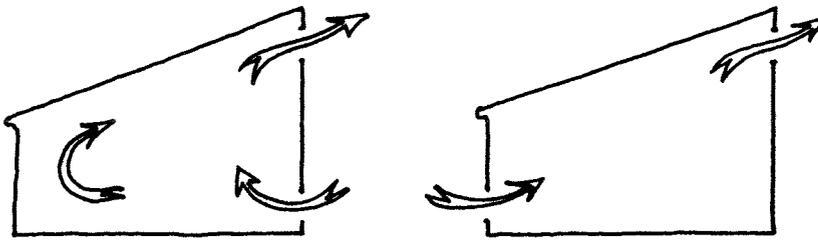


Kombination eines Sonnenfensters - in seiner Größe so bemessen, daß es keine Überwärmung verursacht - mit einer separaten Luftkollektor- oder Sonnenwandfläche, deren Wärmegewinne je nach Bedarf dem Raum unmittelbar, einem Speicher oder einem unbesonnten Raum zugeführt werden kann.

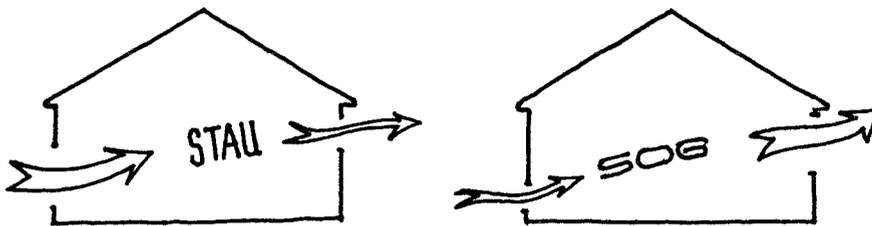


Zweischalige Rauntrennwand mit einem Luftkanal zur Durchleitung von Warmluft in die hinteren Räume (A) und einem großflächigem Steinspeicher (B)

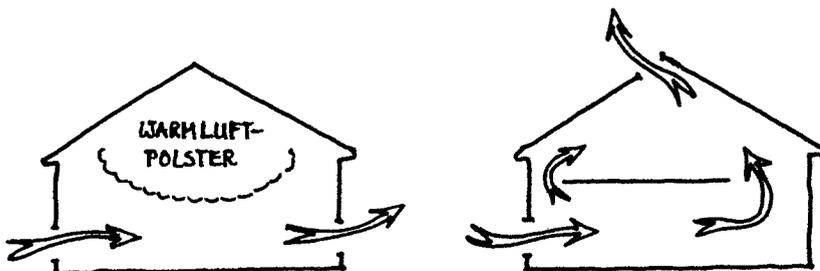
ABFUHR VON WÄRMEÜBERSCHÜSSEN UND NATÜRLICHE LÜFTUNG IM SOMMER DURCH WIND UND WÄRMEAUFTRIEB



Die Lüftung durch den Wärmeauftrieb ist wirksamer, wenn die Ein- und Auslassöffnungen einen großen Höhenunterschied aufweisen. Die Temperaturdifferenz ist optimal nutzbar und es bilden sich keine unerwünschten Wärmepolster außerhalb der Zirkulationswege.



Sommerliche Lüftung mit geringer (links) und hoher (rechts) Luftgeschwindigkeit.

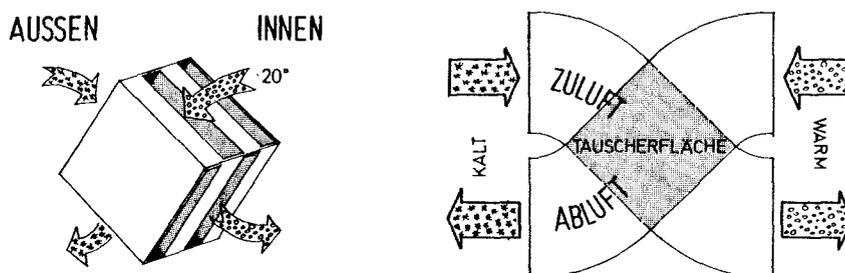


Links wird nur die untere Raumzone gelüftet. Rechts wird das ganze Haus durchlüftet.

4.3 WÄRMERÜCKGEWINNUNG

WÄRMETAUSCHER

Wenn man die in der Abluft enthaltene Wärme mithilfe von Wärmetauschern (oder Wärmepumpen für Luftheizung oder Warmwasserbereitung) zurückgewinnen will, muss man die gesamte Abluft des Hauses erfassen. Nur dann ist die Wärmerückgewinnung lohnend. Dazu muss die durch Wärmeeuftrieb in der Dachzone gesammelte Warmluft, die Abluft aus Entlüftungsanlage von Küche und Bad konzentriert durch einen Wärmetauscher geführt werden, bevor sie aus dem Haus entlassen wird. Der Wärmetauscher wird am besten im Dachraum untergebracht, die Frischluft über Kanäle zu den verschiedenen Räumen verteilt.



Schema einer typischen Bauart von Plattenwärmetauschern.

Der Wirkungsgrad (η) von Wärmetauschern hinsichtlich der Wärmerückgewinnung liegt zwischen 50 - 70 % (0,5-0,7).

Der Wirkungsgrad bezeichnet das Verhältnis der tatsächlich vom Wärmetauscher erreichten zur maximalen (nur theoretisch möglichen) Temperaturänderung der Ab-, bzw. Zuluft. ($\eta_{\max} = T_i - T_a = 1,0$).

So ergeben sich beispielsweise bei einer Raumlufttemperatur von 20° und Außenlufttemperatur von 5° durch unterschiedlichen Wirkungsgrad (η) des Wärmetauschers folgende Lufttrittstemperaturen (T_e):

$T_i - T_a = \Delta t$			η	T_e
20°	+5°	15 K	0,5	12,5°
20	+5	15	0,6	14,0
20	+5	15	0,7	15,5

(gerechnet nach der Formel:

$$\eta = \frac{T_e - T_a}{T_i - T_a})$$

Oder: Bei Raumlufttemperatur von 20° und einem Wirkungsgrad von 50 % ergeben sich bei unterschiedlichen Außenlufttemperaturen folgende Eintrittstemperaturen der durch den Wärmetauscher geleiteten Frischluft:

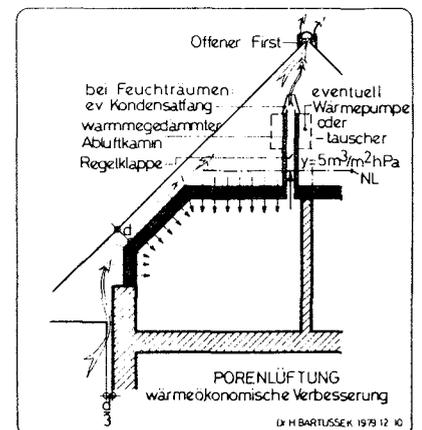
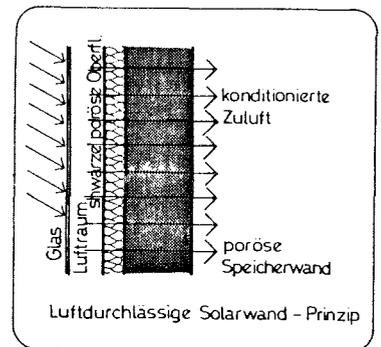
$T_i - T_a = \Delta_t$			η	T_e
20°	+10°	10 K	0,5	15,0°
20	± 0	20	0,5	10,0
20	-10	30	0,5	5,0

Die außentemperaturabhängigen Schwankungen der Eintrittstemperatur der Frischluft (T_e) können durch eine variable Zusatzheizung auf ein konstantes Temperaturniveau von z.B. 20° gebracht werden.

Den Einsatz von Wärmepumpen zur Wärmerückgewinnung rechnen wir nicht zu den passiven Verfahren zur Sonnenenergienutzung. Wir gehen daher nicht weiter darauf ein.

PORENLÜFTUNG

Eine andere Form der Wärmerückgewinnung ist mit dem Prinzip der Porenlüftung möglich. Hierbei wird mit einem Raumventilator Außenluft durch großflächige, luftdurchlässige Dämmelemente gesaugt. Im Gegenstrom der transmissiv nach außen fließenden Wärmeverluste erwärmt sich die Zugluft. Der k -Wert der Außenwand kann so auf 0 (Null) reduziert werden, darüber hinaus sind Wärmegewinne möglich. Dieser Prozess setzt eine dauernde Zwangslüftung voraus. Eine ausführliche Darstellung der Porenlüftung befindet sich in Quelle 77. - (siehe auch Kap. 2.3.)



4.4 TEMPORÄRER WÄRMESCHUTZ

Bei gut gedämmten Außenwänden verursachen die Fenster -auch mit Isolierverglasung- noch immer verhältnismäßig hohe Wärmeverluste. Diese entstehen vor allem während der Nacht, wenn die Fenster keinen Einstrahlungsgewinn mehr verbuchen und die Außentemperatur ihren täglichen Tiefstwert erreicht. Je größer die Fenster sind, um den solaren Gewinn tagsüber zu erhöhen, desto größer sind auch die nächtlichen Verluste. So ist es naheliegend die Fensterflächen während der Nacht mit Dämmelementen zu schließen, die morgens wieder geöffnet werden.

Ein solcher temporärer Wärmeschutz ist eine energiesparende Ergänzung besonders für große Glasflächen.

Verringerung der Wärmedurchgangswerte für Fenster mit temporärem Wärmeschutz (k-Werte in W/m^2K)

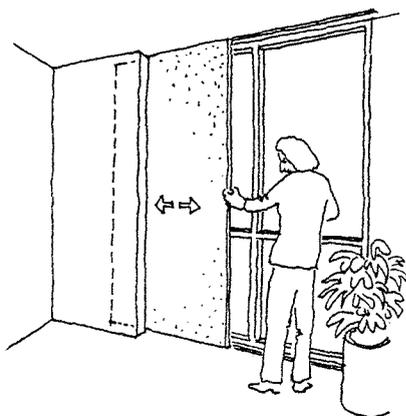
Fenster ohne bzw. bei geöffnetem temporärem Wärmeschutz (2-fach Isolierglas)	Fenster mit geschlossenem temporärem Wärmeschutz	Fenster mit temporärem Wärmeschutz im Tagesmittel (14 Std. geöffnet)
2,6	Vorhang 2,0	2,4
	Rolladen 1,7	2,2
	Vorhang + Rolladen 1,3	2,1
	Klappladen mit 3 cm Hartschaum 0,7	1,8

Bewegliche Dämmelemente (Vorhang, Rolladen, Klappladen usw.) können innen oder außen liegen. Wichtig ist, daß sie in beiden Fällen möglichst luftdicht an Fensterrahmen, Fensterflügel oder Glasscheibe anschließen, um den Wärmeabfluß durch Luftzirkulation zu drosseln. Das ist bei Klappladen am leichtesten erreichbar. Die Anordnung auf der Fensterinnenseite hat den Nachteil, daß sich Kondenswasser bilden kann. Das wird durch einen schmalen Luftspalt zwischen Glas und Dämmelement vermieden, der allerdings die Dämmwirkung wieder etwas vermindert. Thermisch besser ist daher die Anordnung des temporären Wärmeschutzes außen. Dann müssen die Dämmelemente allerdings witterungsbeständig sein. Auch sollten sie möglichst von innen bedient werden können, d.h. ohne daß man das Haus verlassen oder die Fenster öffnen muß.

HANDHABUNG

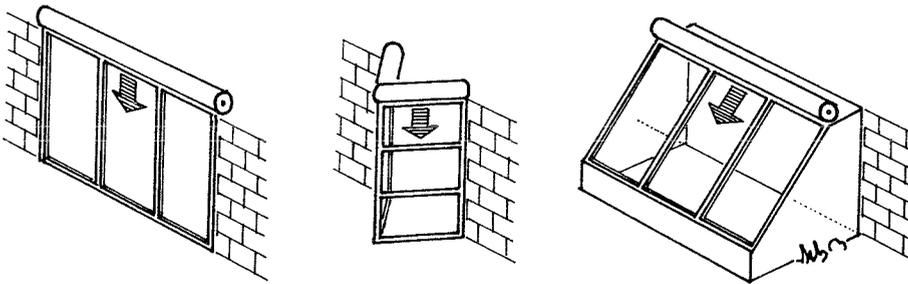
Je weniger lästig die Bedienung ist, desto eher wird der temporäre Wärmeschutz wirklich benutzt. Aus die Grunde empfehlen wir auch nicht den Einbau bei allen Fenstern des Hauses.

Es sei denn, das bewegliche Dämmelement hat zugleich die Funktion des Sichtschutzes oder der Einbruchsicherung, sodaß die Motivation zur Bedienung verstärkt ist. Bei den



kleinen Nordfenstern sollte hingegen auf temporären Wärmeschutz verzichtet und stattdessen Wärmeschutzglas verwendet werden, zumal sich bei kleinen Glasflächen die Mehrkosten in Grenzen halten.

Der Aufwand für Einbau und Handhabung beweglicher Dämmelemente ist umso geringer, je weniger Einzelflächen damit ausgestattet werden. So wird man mehrere nebeneinanderliegende Fenster als Gruppe mit einem gemeinsamen Element versehen, das gilt insbesondere für Glasvorbauten.



Wenige, rechtwinklige und zusammenhängende Fensterflächen verringern den Konstruktionsaufwand für den temporären Wärmeschutz.

PLATZBEDARF

Da bewegliche Dämmelemente besonders bei großen Glasflächen eingesetzt werden sollten, ist wichtig, wieviel Stauraum sie brauchen, wenn sie außer Betrieb sind.

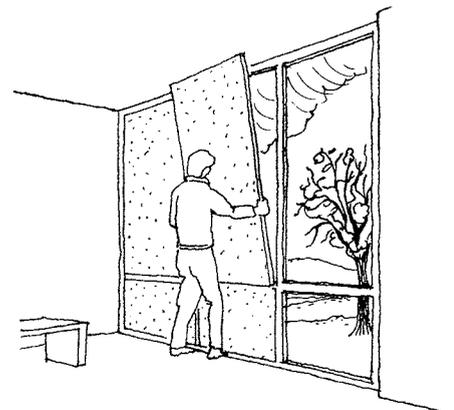
Den geringsten Platzbedarf haben Rolläden, Rollos und Jalousien. Mehr Platz benötigen Klappläden und Faltläden. Den größten Platzbedarf haben großflächige (z.B. raumhohe) Dreh- und Schiebeelemente. Bei großen Fensterflächen z. B. in der Südfassade ist darauf zu achten, daß der Stauraum für die Dämmelemente nicht etwa die Kollektorflächen verschattet.

SAISON-DÄMMUNG FÜR DEN WINTER

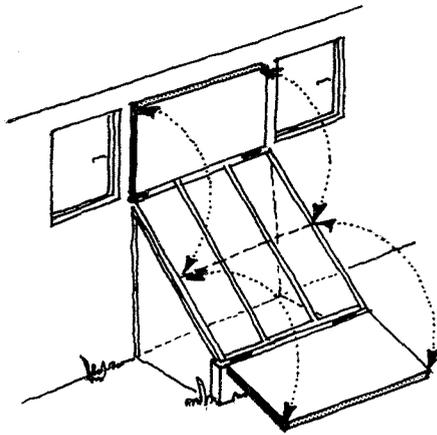
Bei einigen Verglasungsarten sind nur von Mitte November bis Mitte Februar die Wärmeverluste größer als die solaren Gewinne. Während dieser Zeit oder während anhaltender Frostperioden könnten Teile von großen Fensterflächen mit Dämmelementen geschlossen bleiben. Das bietet sich besonders bei großen Südfenstern in Gegenden mit geringer winterlicher Strahlung, niedriger Außentemperatur und Hauslagen mit stärkerer Verschattung an.

Aber auch größere Fenster, die z.B. wegen der schönen Aussicht nach Westen oder Norden orientiert sind, können während des Winters mit Dämmelementen teilweise geschlossen werden. Es bleibt dann nur die zur Belichtung und Belüftung notwendige Fensterfläche offen. Auch bei Seitenwänden von Glasvorbauten könnte solche Saison-Dämmung Anwendung finden.

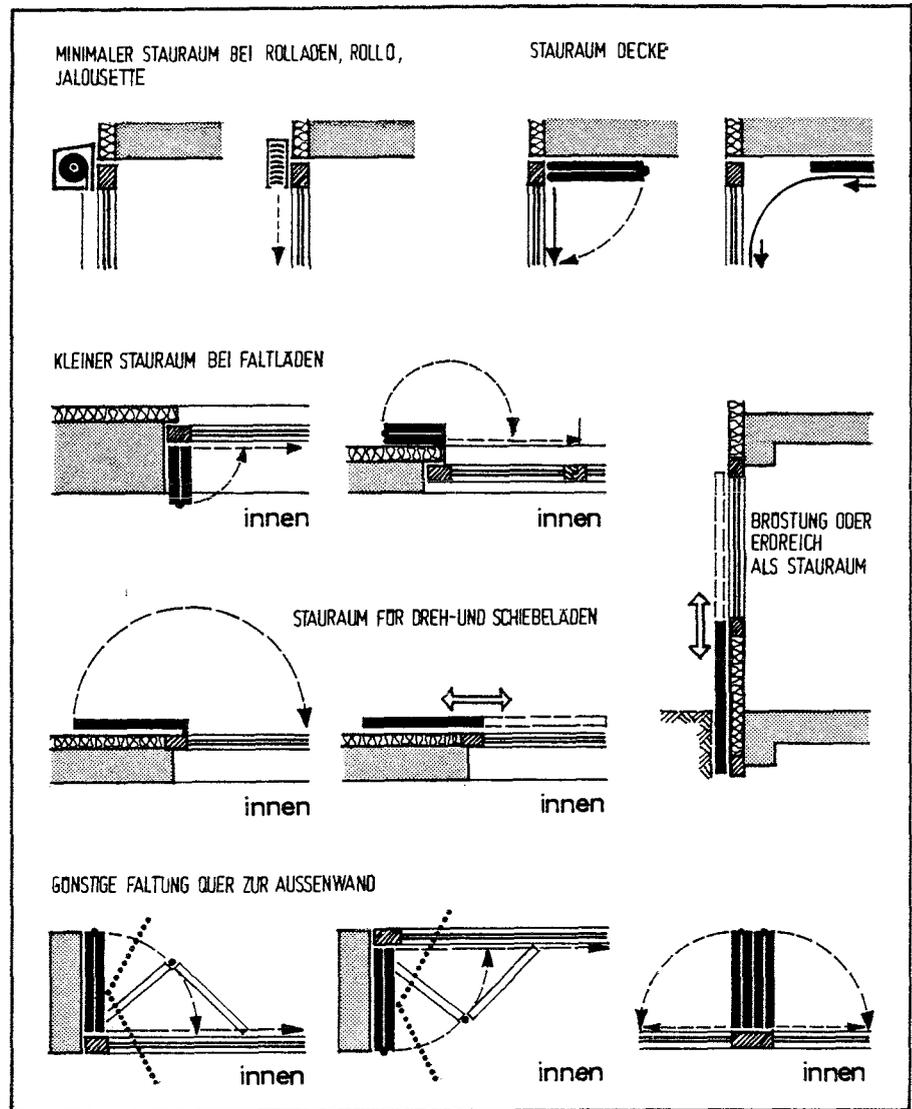
Die Elemente werden mit Vorreibern, Magneten, Haken, Schrauben oder Riegeln befestigt. Während der übrigen Jahreszeit müssen die Elemente an geeigneter Stelle gelagert werden.



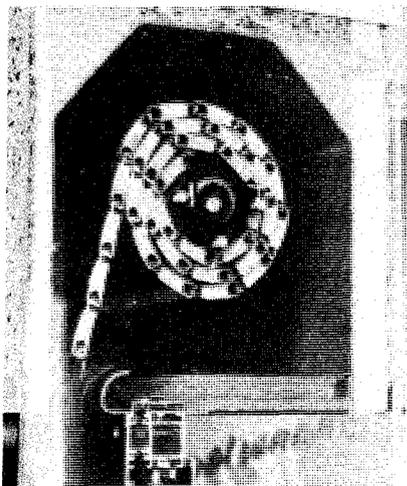
Wärmedämmende Teilabdeckung großer Fensterflächen während der Winterzeit.



Stauraum für Wärmedämmklappen bei einem Glasvorbau.



Bewegungs- und Stauraumbedarf verschiedener, beweglicher Dämmkonstruktionen.



Das Ausschäumen der Hohlkammerprofile bringt nur wenig Effekt, wenn nicht auch alle Anschlussfugen zugarm ausgebildet sind (Quelle 44).

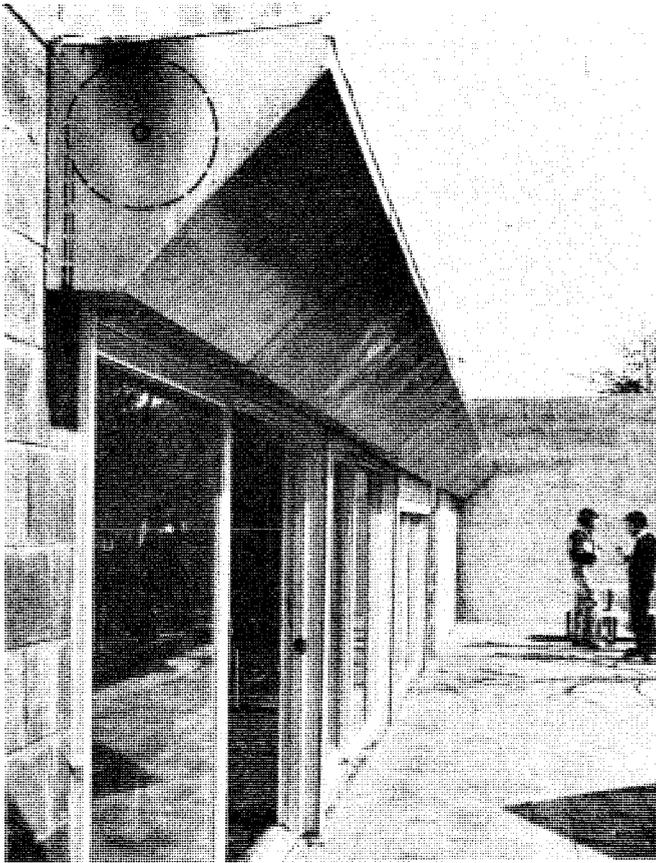
FORMEN UND KONSTRUKTIONEN BEWEGLICHER WÄRME-DÄMMUNGEN:

DER VORHANG

Die einfachste Form eines beweglichen Dämmelements ist ein an allen Seiten dichtschießender Vorhang. Der Vorhang sollte aber auf keinen Fall einen Heizkörper abdecken.

DER DÄMM-ROLLADEN

Der Dämm-Rolladen liegt am zweckmässigsten auf der Aussen-seite. Er ist leicht und von innen zu bedienen. Rolläden sind technisch ausgereift und langjährig erprobt. Das Problem eines luftdichten seitlichen Anschlusses ist bisher noch nicht gelöst. Mit Rolläden kann man den Lichteinfall regulieren, sie sind ebenso als Sonnenschutz (oder Einbruchssicherung bei erdgeschossigen Räumen) wirksam. Die möglichen Dämmstärken sind auf wenige Zentimeter begrenzt, der Platzbedarf der Rolladens ist vergleichsweise gering.



Gehäuse eines außenliegenden Dämmrolladens, der im Winter die Direktstrahlung ins Fenster reflektiert (Quelle 15).

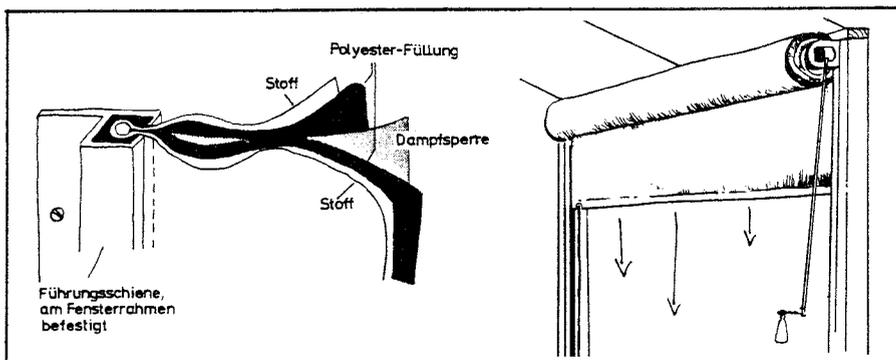


Innenliegendes Dämmrollo (Quelle 15).

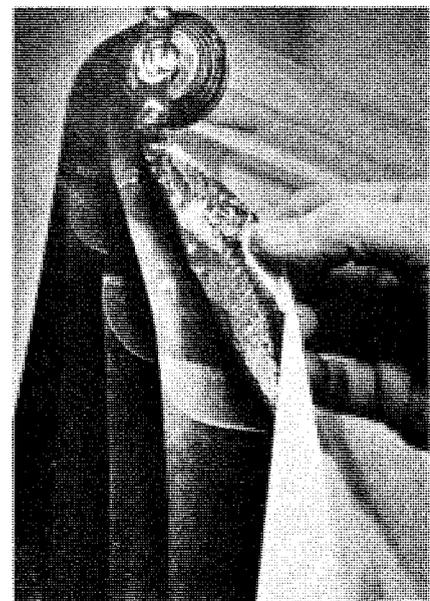
DÄMM-ROLLO

Bei Rollos läßt sich die Wärmedämmung durch Verstärkung des einlagigen Materials verbessern. An Stauraum brauchen Rollos etwa ebenso wenig wie Rolläden.

Bei Anordnung außerhalb der Glasscheiben sind sie als Sonnenschutz gut geeignet. Die Bedienung ist von innen möglich, auch ohne das Fenster zu öffnen. Mehrlagige Dämm-Rollos sind bisher nicht auf den deutschen Markt erhältlich.



Vorschlag zur Konstruktion luftdichter seitlicher Anschlüsse bei einem mehrschichtigen Dämmrollo.

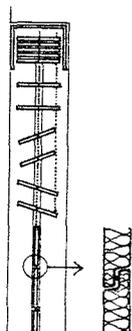


Vierschichtiges Folienrollo, das beim Abrollen selbsttätig Luftspalten bildet.

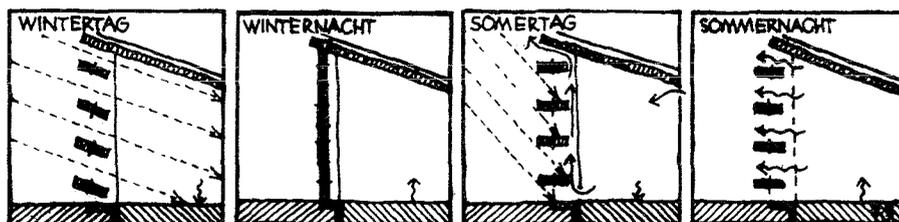
DÄMM-JALOUSETTEN

Jalousetten sind als Sonnenschutz und zur Lichtregulierung gut geeignet. Sie können außen liegen und zugleich von innen bedient werden. Sie brauchen wenig Stauraum. Ihre Verwendung für temporären Wärmeschutz ist denkbar.

Der besondere Reiz von Jalousetten liegt darin, dass sie verschiedene Kombinationen ihrer Funktionen (Sonnenschutz, Einsicht-Aussicht-Kontrolle, Regulierung des Lichteinfalls) ermöglichen. Die Kombination mit temporärem Wärmeschutz ist erst in der Entwicklung.



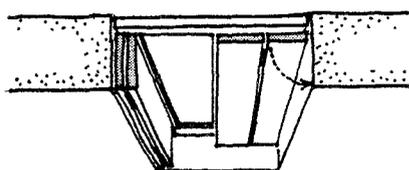
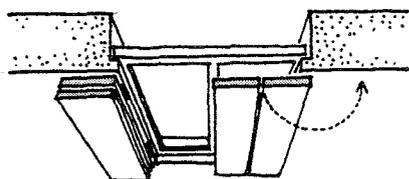
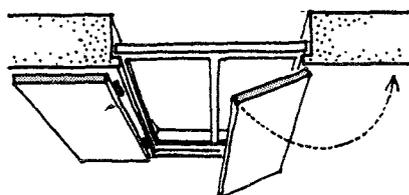
Funktion einer Dämm-Jalousette zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten (Quelle 46).



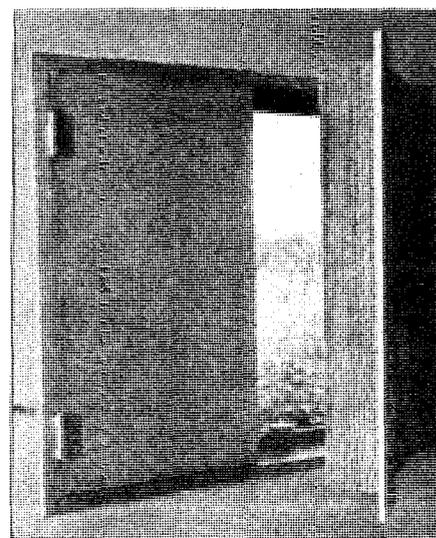
DÄMM-KLAPP- UND FALTLÄDEN

Klapp- und Faltläden sind als Sicht-, Sonnen- und Einbruchschutz seit langem in Gebrauch. Die Mechanik ist einfach, sie sind von innen -bei geöffnetem Fenster- bedienbar.

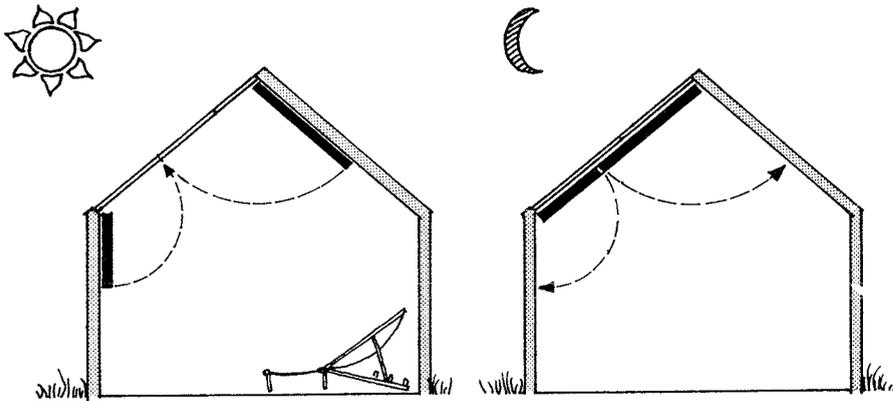
Klapp- und Faltläden sollten dicht schließen. Zur Verbesserung des temporären Wärmeschutzes müssen sie mit Dämmschicht und Dichtungsrand versehen werden. Thermisch günstig ist die Anordnung auf der Aussenseite des Fensters. Bei kleinen Fenstern brauchen sie wenig Aussenwandfläche als Stauraum. Um diesen und den Drehkreis zu verkleinern, können Klappläden auch als Faltläden ausgebildet werden. Wenn sie innen liegen, brauchen sie nicht witterungsfest sein. Der nachträgliche Einbau ist leicht möglich.



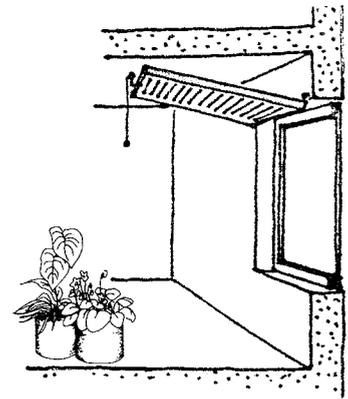
Mögliche Ausbildung von Klappläden für Fenster und Türen.



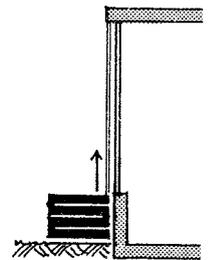
Bei vertikalen Klappläden wird die Decke als Stauraum genutzt. Allerdings ist eine aufwendige Mechanik nötig. Auch vertikale Faltläden, die unter den Decken geschichtet werden, sind vorstellbar.



Wärmedämm-Klappläden für eine Dachverglasung; sie können auch separat bedient werden (Entwurf: R.Lebens)



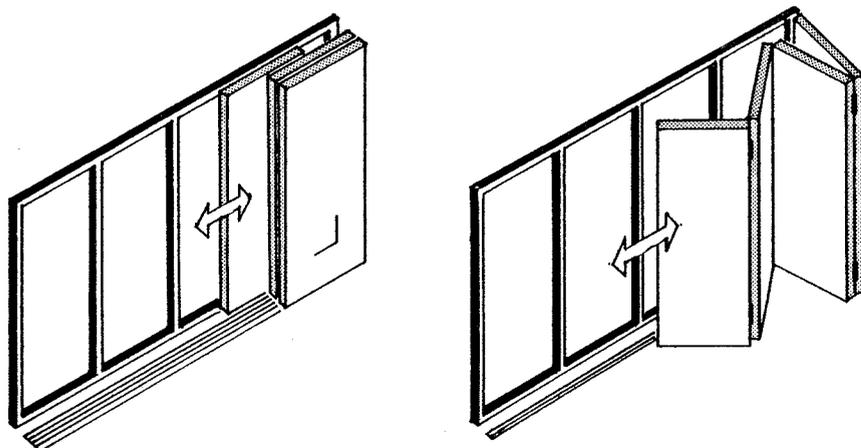
Solche Klappläden sind nur bei kleineren Formaten mit der Hand zu bewegen.



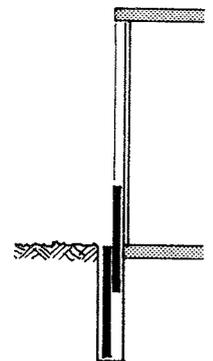
Platzsparende Stapelung von Klappelementen vor der Brüstung.

DÄMM-SCHIEBELÄDEN

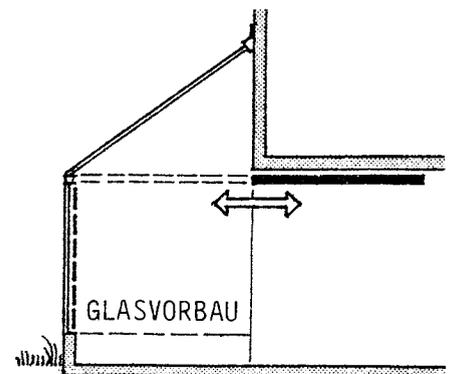
Schiebeläden brauchen zur Bewegung keinen Drehraum. Sie können für kleine Fenster wie für raumhohe Verglasung verwendet werden und sind von innen bei geöffnetem Fenster bedienbar. Die Herstellung zugdichter Anschlüsse ist nicht einfach, die Beschläge sind kostenaufwendig. Bei Außenlage dienen sie auch als Sonnenschutz und Einbruchssicherung. Die Sonnenschutzfunktion ist allerdings mit Verringerung von Belichtung und Aussicht verbunden. Beim Schiebeläden können die Blumen auf der Fensterbank immer stehenbleiben!

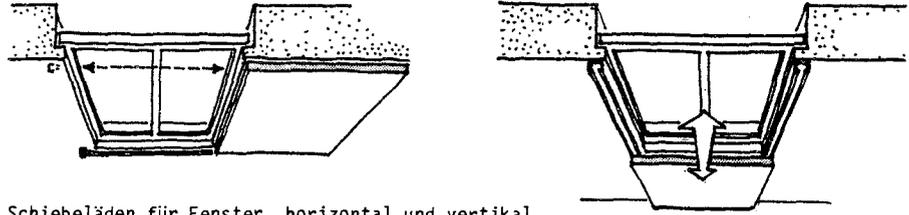


Großformatige Schiebe- und Faltläden für raumhohe Verglasung.



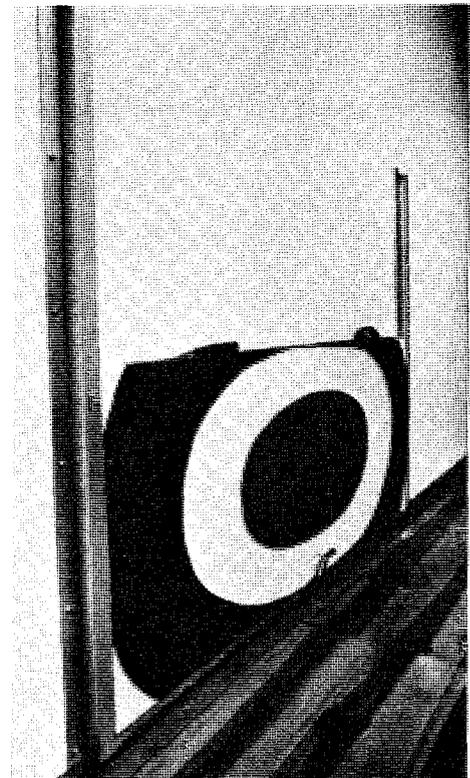
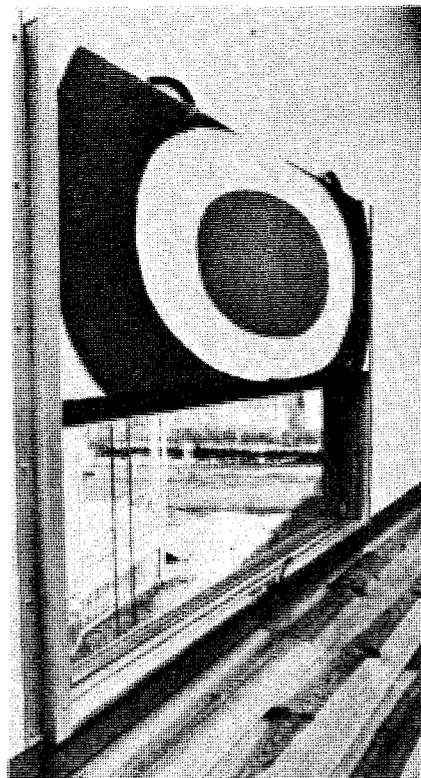
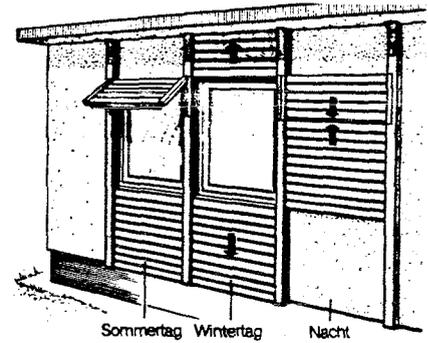
Günstige, aber aufwendige, versenkte Unterbringung von Dämmschiebeelementen (1- oder mehrteilig).





Schiebeläden für Fenster, horizontal und vertikal

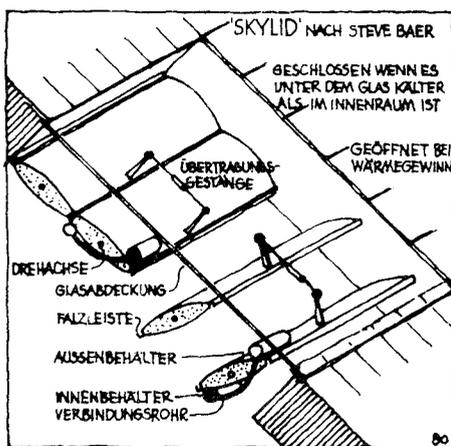
Schiebeläden als temporärer Wärmeschutz und Sonnenschutz der Fenster (Quelle 81).



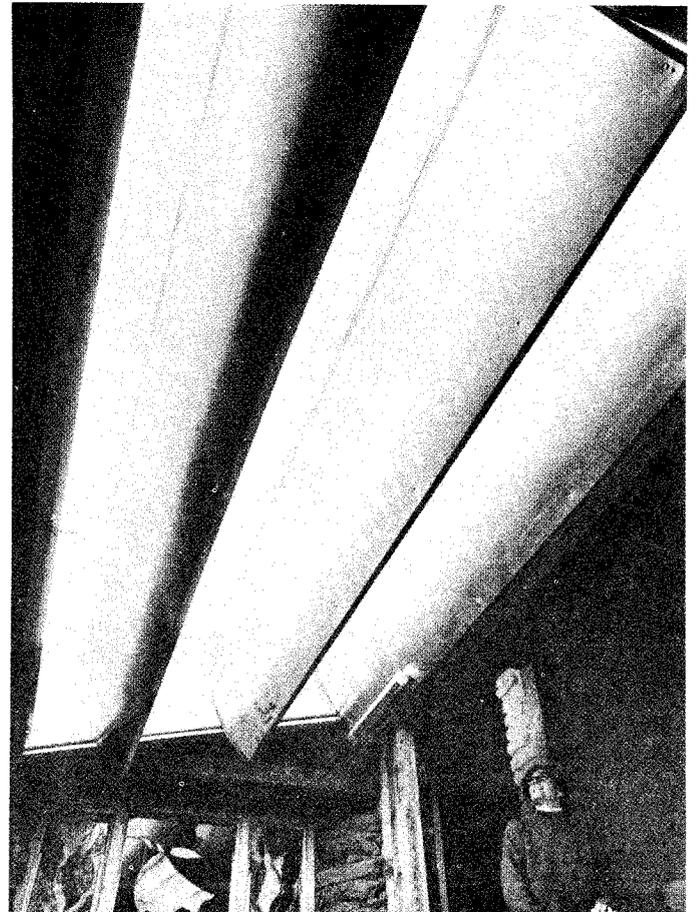
Innenliegende, vertikale Schiebedämmung. Die Konstruktion wurde bewußt als Gestaltungselement benutzt (Entwurf Kelbaugh, Quelle 15).



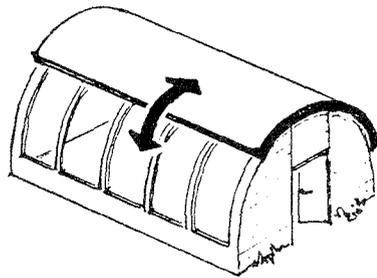
Fenster mit wärmedämmender Streuseifüllung ("Bead Wall"). Der Zwischenraum zwischen den Glasscheiben wird nachts mit Kügelchen aus Polystyrol mithilfe eines Gebläses gefüllt und morgens wieder entleert - eine Entwicklung von Steve Baer (Quelle 15).



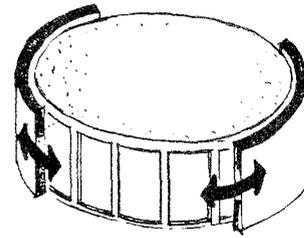
Wärmedämm-Drehpaneele für Dach-Oberlichter ("Sky-Lid"). Steve Baer entwickelte drehbare Dämmpaneele für Dach-Oberlichter, die sich je nach Sonnenschein selbsttätig (thermostatisch, ohne Antrieb) öffnen und schließen. Sie sind zugleich als Reflektoren wirksam, die das Sonnenlicht in den Innenraum lenken (Quelle 15).



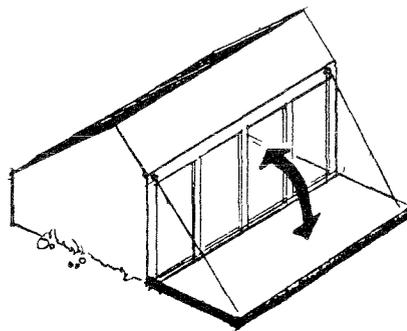
GROSSFORMATIGE BEWEGLICHE DÄMMELEMENTE (Sonderkonstruktionen)



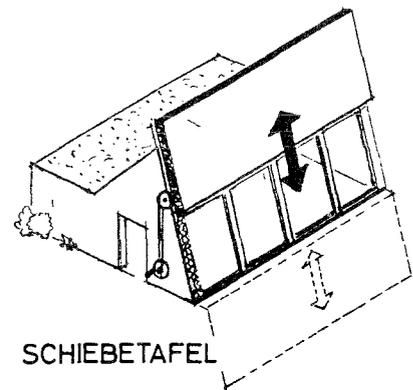
BROTKASTEN prinzip



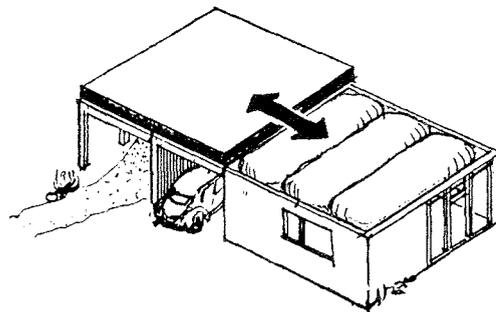
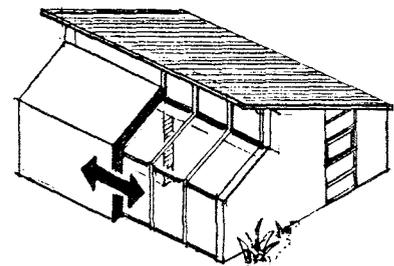
KARUSSELL



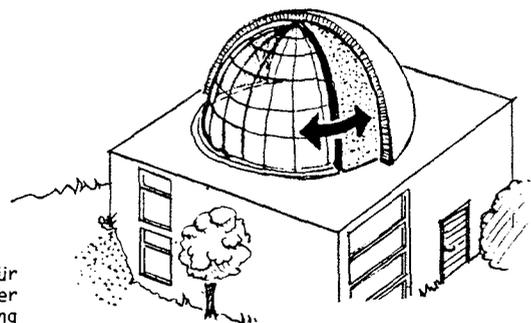
KLAPPTAFEL



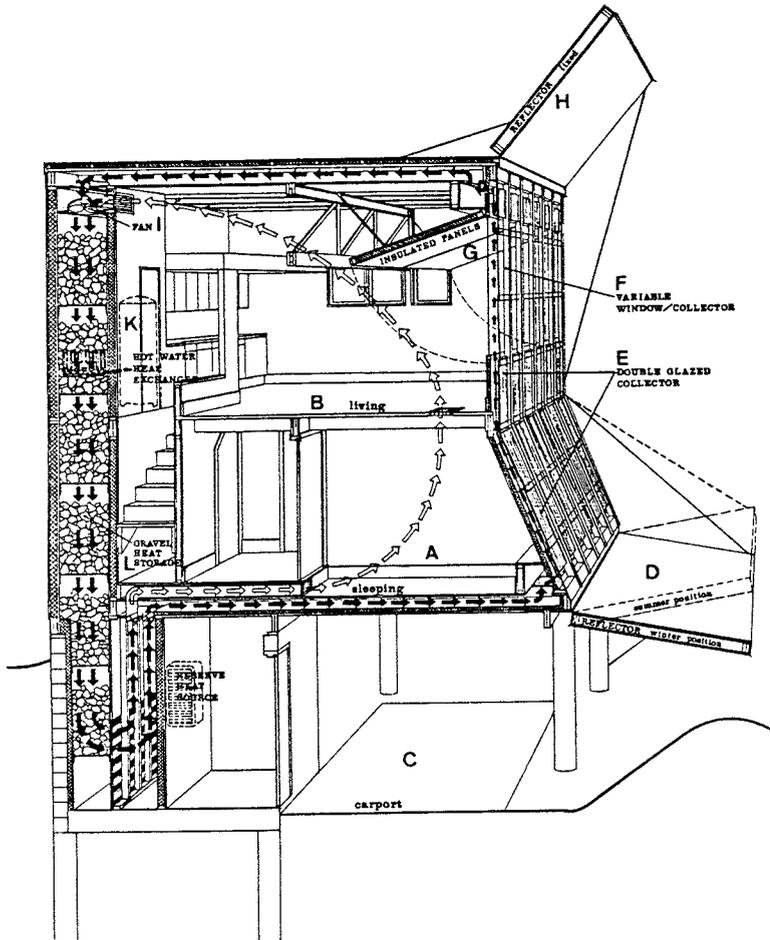
SCHIEBETAFEL

SCHIEBEDACH
(für Dachspeichersysteme)

SCHIEBE - WAND+ DACH

KUGEL - HALBSCHALEN
("Silvestrini - Kuppel")

Dämmelemente dieser Art sind nur für kleine Gebäude verwendbar, da der Aufwand für die Steifigkeit, Führung und Bewegung beträchtlich ist. Zudem können diese Elemente im geöffneten Zustand eine große Fläche bedecken, die dann für andere Funktionen (Zugang, Fenster usw.) nicht mehr nutzbar ist. Das gilt vor allem für die "Park"flächen beweglicher Dämmelemente auf Südseiten, die zur Sonnenenergiegewinnung geeignet wären.



4.5

REFLEKTOREN

REFLEKTOREN VOR DER VERGLASUNG

Außenliegende Reflektorflächen dienen der Verstärkung der Sonneneinstrahlung insbesondere auf Fenster, Sonnenwände und andere Kollektorsysteme. Sie können dabei ohne großen Aufwand hergestellt werden, häufig genügt bereits die reflektierende Ausführung der Oberfläche vorhandener Bauteile oder eine kleine Korrektur der Gebäudegeometrie.

Wenn wir von Reflektoren sprechen, so verstehen wir darunter nicht nur zusätzlich Bauelemente, sondern alle Bauteile, deren Geometrie und Oberfläche der Reflexion der Sonnenstrahlen dienen. Einen hohen Reflexionsgrad haben glatte, helle oder spiegelnde Oberflächen.

In Bezug auf die Direkt- und die Diffusstrahlung haben Reflektoren unterschiedliche Wirkungen: Sie können -abhängig von der geometrischen Anordnung- die Direktstrahlung weitgehend auf Glasflächen umlenken. Auf die streuende Diffusstrahlung aber trifft das nur in geringem Maße zu.

Um sich eine Vorstellung über die Wirkung von Reflektoren bezüglich der Diffusstrahlung zu machen, stelle man sich vor, welchen Ausschnitt des -bedeckten- Himmels das strahlungssammelnde Fenster unmittelbar bzw. durch die Reflektorfläche "sieht": Während

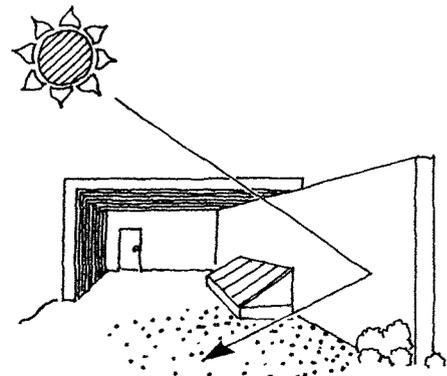
einem unverschatteten Fenster das halbe Himmelsgewölbe offensteht, "sieht" es durch den Reflektor nur einen kleinen Ausschnitt desselben und die einfallende Diffusstrahlung wird vom Reflektor auch wieder in viele Richtungen verstreut.

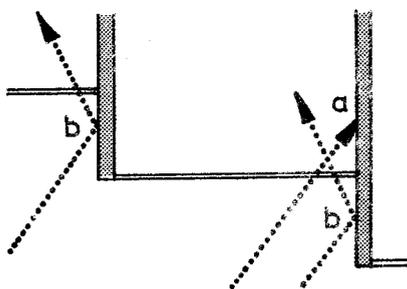
Die Reflektorfläche sollte breiter als das Fenster und mindestens ebenso tief wie das Fenster hoch sein, um einen grösseren Anteil der Direktstrahlung einzufangen. Der hohe Diffusstrahlungsanteil in unserem Klima vermindert allerdings den Wert von Reflektoren.

Leider tragen Reflektoren gerade dann zur Erhöhung der Einstrahlung bei, wenn bei sonnigem Wetter sowieso mit Überwärmung der Innenräume zu rechnen ist. Dieser Umstand wird erst dann zum Vorteil, wenn im Raum oder Haus Einrichtungen zur Sekundärnutzung überschüssiger Sonnenwärme vorhanden sind.

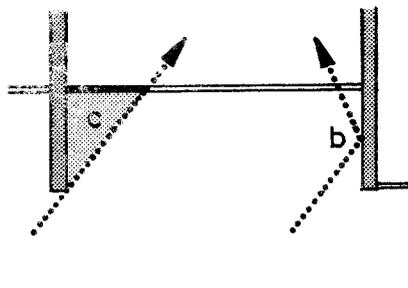
WÄNDE ALS REFLEKTOREN

Die reflektierende, hell gestrichene Südwand beschleunigt die Schneeschmelze im Hof und Garten und vor der Garage.

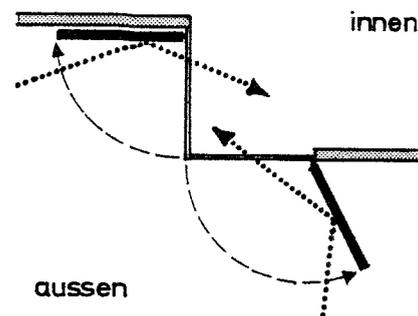




Vertikale Reflektorflächen bei versetzten Räumen/Häusern; die Oberflächenfarbe bei vorspringenden Wänden sollen
 innen: absorbierend (dunkel) (a)
 außen: reflektierend (hell) sein (b)



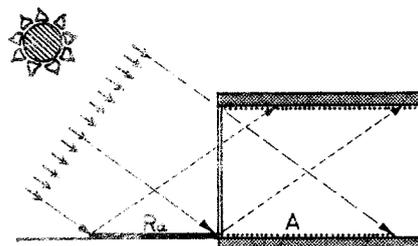
Die Verschattung der Glasflächen durch Wandvorsprünge (a) kann durch eine gute Reflexion der gegenüberliegenden Wandoberfläche (b) zum Teil ausgeglichen werden.



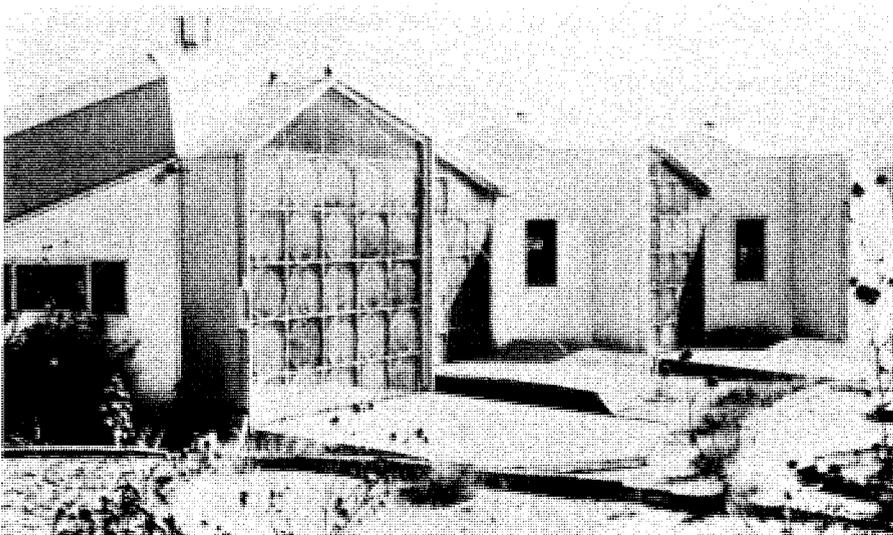
Klappläden als verstellbare Reflektoren (nur für Direktstrahlung der flachstehenden Wintersonne).

BODENFLÄCHEN ALS REFLEKTOREN

Der besondere Vorteil von Reflektoren, die am Fuße von Fensterflächen liegen, besteht außer der Strahlungsverteilung darin, daß sie die schräg von oben einfallenden Sonnenstrahlen umlenken und gegen die Deckenfläche des Innenraums reflektieren, sodaß diese als Speicherfläche wirksam aktiviert wird. Der Bodenreflektor liegt dann aber im Blickfeld unserer Augen, sodass er bei direkter Sonnenstrahlung unangenehme Blendung hervorrufen kann. Diese Blendung wäre nur bei Kombination des Bodenreflektors mit einer Milchglasscheibe (z.B.) vermeidbar. Ein Bodenreflektor beansprucht zudem Bodennutzfläche. Ein heller Kies- oder Gehbelag reflektiert auch, ohne jedoch zu blenden.



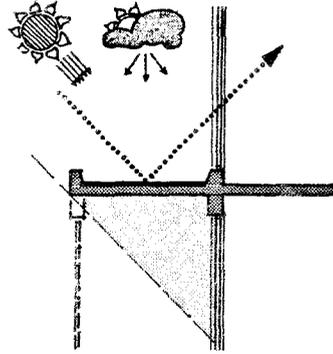
Bodenreflektor vor dem Fenster.



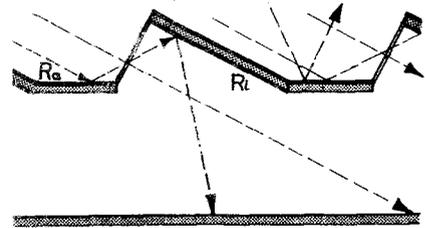
Die Innenseite eines Wärmedämm-Klappladens dient heruntergeklappt als Bodenreflektor. Der Reflektor blendet nicht, da er vor einer Sonnenwand (nicht vor einem Fenster) angeordnet ist (Haus von Steve Bear im strahlungsreichen Süden der USA / Quelle 15).

DACHFLÄCHEN ALS REFLEKTOREN

Die Anordnung von Reflektoren auf Dachflächen, z.B. vor Dachoberlichten ist hinsichtlich Platzbedarf und Blendung unproblematisch.



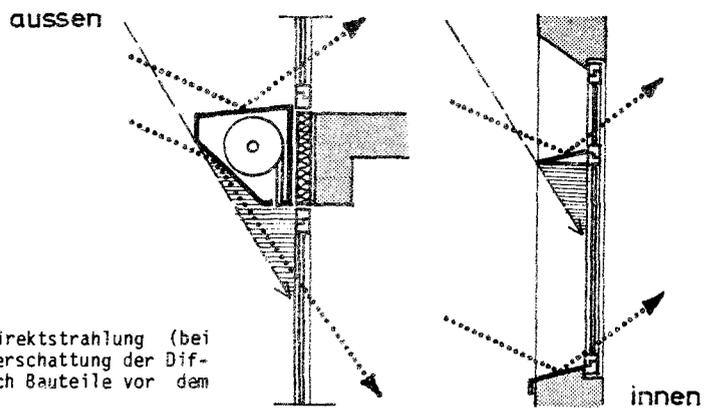
Das Vordach als Reflektor



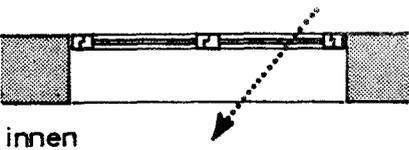
Shed-Dachflächen als außen- und innenliegende Reflektoren.

REFLEKTORFLÄCHEN IM BEREICH DES FENSTERS

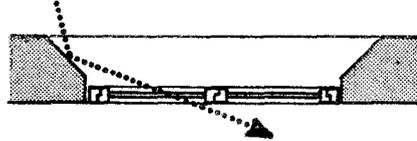
Kleine Reflektoren lohnen nur, wenn sie sich durch eine geringfügige Lageveränderung, Verformung oder helle Färbung eines sowieso erforderlichen Bauteils ergeben.



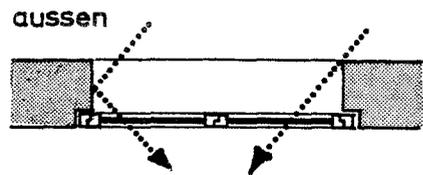
Reflexion der Direktstrahlung (bei gleichzeitiger Verschattung der Diffusstrahlung) durch Bauteile vor dem Fenster.



Die beste solare Wirkung ist mit außenbündigen Fenstern zu erreichen, da die Glasfläche dann nicht verschattet wird.



Die konische Laibung verringert die seitliche Verschattung der Glasfläche, ebenso aber auch die Reflexion.



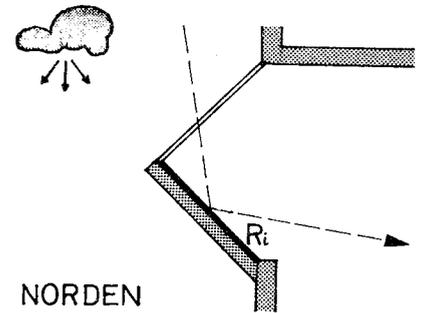
Ausbildung tiefer Fensterlaibungen als Reflektoren (helle Farbe).

REFLEKTOREN HINTER DER VERGLASUNG

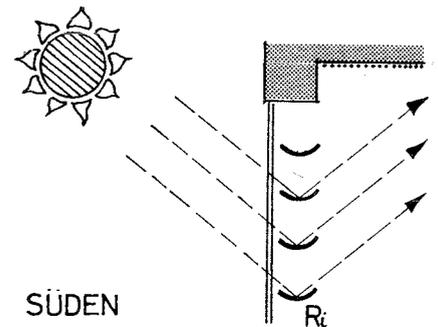
Innenliegende Reflektorflächen dienen nicht der Verstärkung, sondern nur der Umlenkung und Verteilung der Einstrahlungen an Licht und Wärme, so z.B. der Umlenkung direkt einfallender Sonnenstrahlung zur Decke; auf diese Weise kann (wie beim Bodenreflektor, aber ohne dessen Platzbedarf) diese nicht von Möbeln oder Belägen besetzte Fläche als Primärspeicher genutzt und so die Wärmespeicherung im Raum verbessert werden.

Damit wird auch die Anbringung von Latentwärme-Speicherelementen in oder unter der Decke möglich. (Derzeit sind solche Elemente allerdings noch nicht auf dem Markt).

Als Reflektoren sind Jalousien geeignet, deren Lamellen umkehrbar sind und den richtigen Krümmungsquerschnitt haben (Quelle 78). Sie sind dann zugleich auch als Sonnenschutz und zur Lichtregulierung nutzbar. Jalousie-Reflektoren können Blendung verursachen, wenn sie nicht ausschließlich in den höherliegenden Zonen von Glasflächen angeordnet werden.



Nord-Oberlicht mit innenliegendem Reflektor zur Strahlungsumlenkung.



Jalousie-Reflektor, innenliegend, zur Umlenkung der Direktstrahlung zur Decke.

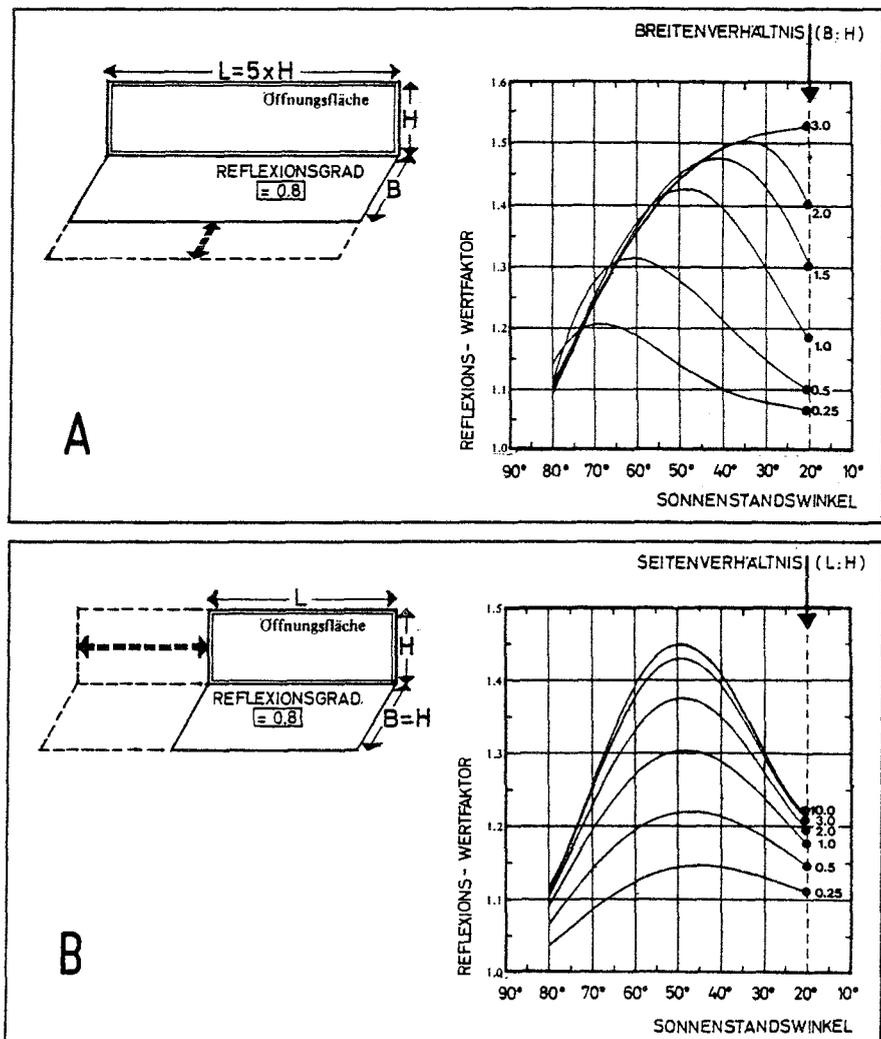


Schrägstehende Dachoberlichte sorgen für guten Einfall direkter und diffuser Strahlung. Die Shed-Unterseiten tragen mit ihren hellen Oberflächen (innenliegende Reflektoren) zur Verteilung der Licht- und Wärmestrahlung bei (Quelle 15).

DIE ERMITTLUNG DES REFLEXIONSFAKTORS FÜR REFLEKTOREN VOR DER VERGLASUNG

Zur Ermittlung des Reflexionsfaktors für die Direktstrahlung wird von den geometrischen Verhältnissen des Fensters und des Reflektors ausgegangen.

Danach wird aus dem für den jeweiligen Breitengrad gültigen Sonnenbahndiagramm (Kap. 2.3) der Sonnenstandswinkel (=Höhenwinkel der Sonne um 12 Uhr mittags für den 15. jeden Monats) für jeden Monat abgelesen und in Spalte 1 der Berechnungstabelle eingetragen. Aus den nachstehenden Diagrammen A oder B wird dann für jeden Monat der Schnittpunkt zwischen dem Sonnenstandswinkel und der Geometrie-Kurve fixiert. Die Höhe der Schnittpunkte ergibt am linken Rand des Diagramms den Reflexions-Wertfaktor. Er wird in Spalte 2 der Berechnungstabelle eingetragen.



Bestimmung des Reflexions-Wertfaktors für unterschiedliche geometrische Verhältnisse von Fenster und Reflektor. Mithilfe dieser beiden Diagramme kann für unterschiedliche Fenster-Reflektor-Verhältnisse und für jeden Sonnenstandswinkel der sich ergebende Reflexions-Wertfaktor abgelesen werden.

Die Reflexions-Wertfaktoren werden für jeden Monat mit den Anteilen der Direktstrahlung an der Globalstrahlung (in Spalte 3 nach Kap. 2.3) multipliziert. Die in der Tabelle eingetragenen Werte sind die Mittelwerte von 15 Standorten, so ergeben sich die monatlichen Reflexions-Korrekturfaktoren (Spalte 4). Diese geben an, um wieviel Prozent sich die auf die Fenster einfallende Sonnenstrahlung durch den Reflektor vermehrt. Ein Wert von z.B. 1,3 besagt eine Verstärkung der Einstrahlung um 30 % (bei der Berechnung wird immer die Schreibweise " 1,3 " verwendet).

Die in den Diagrammen (A und B) enthaltenen Werte beziehen sich auf Reflektoren mit einem Oberflächen-Reflexionsgrad von 0,8 (80 %). Für jeweils 10 % Unterschied des Reflexionsgrades (der Oberfläche des vorgesehenen Reflektormaterials) ist eine entsprechende Wirkungsgradänderung von ebenfalls 10 % anzusetzen (Spalte 5). Daraus ergibt sich dann der endgültige Reflexionsfaktor in Spalte 6, der dann als Korrekturfaktor der Globalstrahlung zur Ermittlung der Einstrahlung ins Fenster verwendet werden kann (siehe Tabelle S. 89).

BERECHNUNGSTABELLE ZUR ERMITTLUNG DES REFLEXIONSFAKTORS

	1 Sonnenstand- winkel	2 Reflexions- Wertfaktor	3 Anteil der Direkt- strahlung (im Mittel)	4 Korrektur- faktor	5 Wirkungs- grad- änderung	6 Reflexions- faktor (r)
SEP			0,47			
OKT			0,37			
NOV			0,32			
DEZ			0,22			
JAN			0,28			
FEB			0,39			
MÄR			0,37			
APR			0,46			
MAI			0,50			

4.6

SONNENSCHUTZ

Je größer die besonnten Glasflächen eines Gebäudes sind (Fenster, Glashaube), desto häufiger werden die Innenräume während Schönwetterperioden überwärmt, desto wichtiger wird auch der Einbau eines wirksamen Sonnenschutzes.

BEWEGLICHE SONNENSCHUTZANLAGEN

Sonnenschutzanlagen (im Gewächshausbau "Schattieranlagen" genannt) sind seit langem technisch erprobt und in einer Vielzahl von Varianten auf dem Markt: Jalousien, Vorhänge, Markisen, Klappläden, Rollläden, usw.

Die nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über die Wirkungsgrade von Sonnenschutzanlagen, ausgedrückt durch den Gesamtenergiedurchlassgrad bei unterschiedlichen Verglasungen.

Sonnenschutzanlagen	Abminderungsfaktoren (z) nach DIN 4108	Verbleibender Gesamtenergiedurchlassgrad bei:		
		1-Scheiben Verglasung (g = 0.9)	2-Scheiben Verglasung (g = 0.8)	3-Scheiben Verglasung (g = 0.7)
Innenliegend -Folien, Gewebe	0.4 - 0.7	0.50	0.44	0.38
-Jalousien	0.50	0.45	0.40	0.35
Aussenliegend -Jalousien, Lamellen, hinterlüftet	0.25	0.23	0.20	0.18
-Rollläden -Fensterläden	0.30	0.27	0.24	0.21
-Vordächer -Seitenwände	0.30	0.27	0.24	0.21
-Markisen, oben und seitlich belüftet	0.40	0.36	0.32	0.28
-Sonstige Markisen	0.50	0.45	0.40	0.35

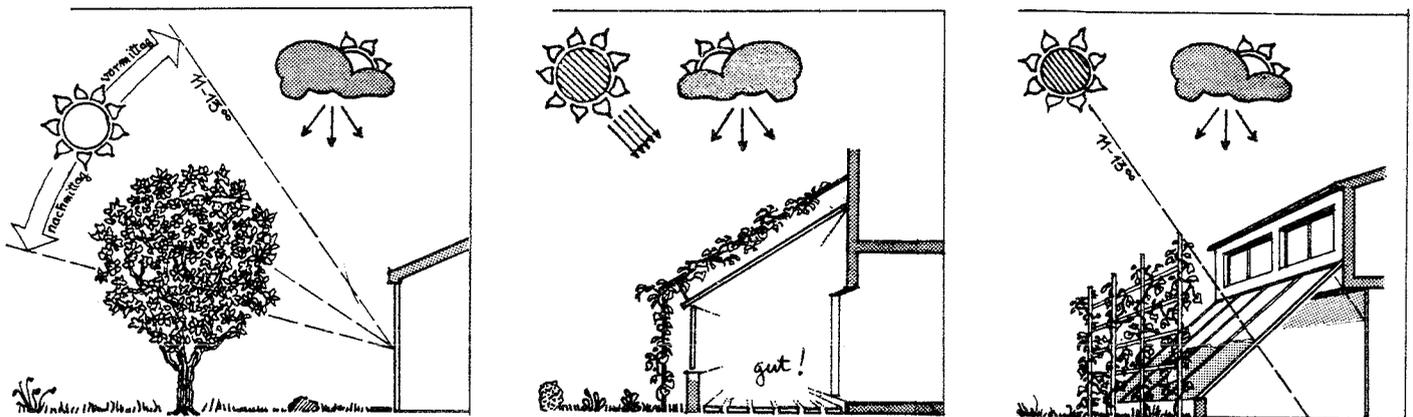
Aus der Tabelle geht hervor, daß bei Einfachverglasung der verbleibende Energiedurchlass- je nach Sonnenschutz - zwischen 25 bis 45 % und bei Doppelverglasung nur bei 20 bis 40 % liegt und daß der außenliegende, hinterlüftete, geschlossene und reflektierende Sonnenschutz den größten Verschattungs- und Kühlungseffekt (20 bzw. 23 %) bringt.

Außenliegende Sonnenschutzvorrichtungen müssen UV-beständig, wetterfest und sturmsicher ausgebildet sein.

PFLANZEN ALS SONNENSCHUTZ

Das kahle Astwerk von Laubgehölzen und -bäumen läßt während des Winters die Sonnenstrahlung weitgehend passieren. Da aber während aller Jahreszeiten Strahlungsintensität und -

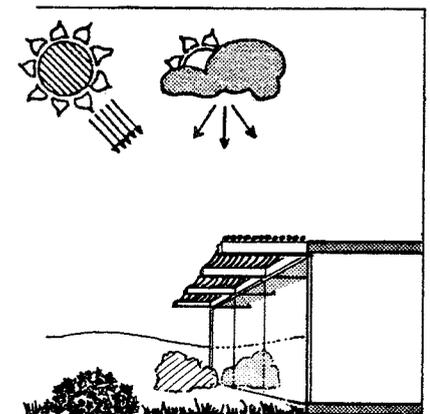
menge mit der Wetterlage schwankt, sollte man bei vorhandenem Baumbestand, bei Neuanpflanzung und bei der Anordnung von Spalieren für Kletterpflanzen darauf achten, daß zwischen Mai und Oktober zwar die Direktstrahlung, nicht aber die Diffusstrahlung verhindert wird.



Wirkung von Bepflanzungen als Sonnenschutz.

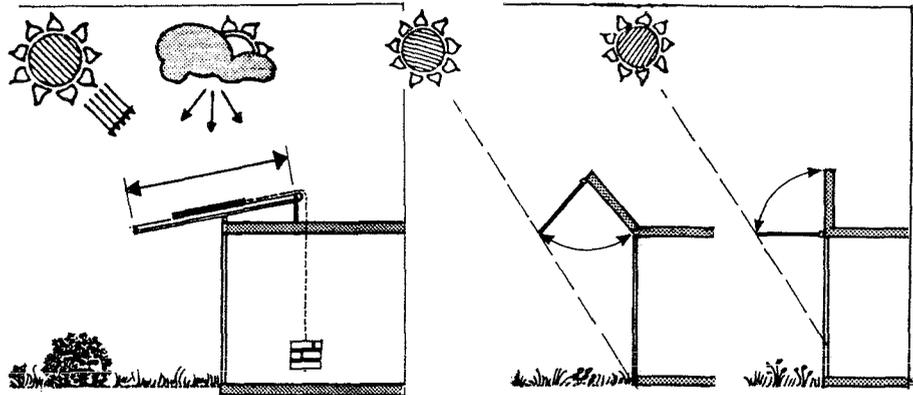
DER DACHÜBERSTAND ALS FESTSTEHENDER SONNENSCHUTZ

Ein auskragender Dachüberstand über einem Sonnenfenster als feststehender Sonnenschutz bewirkt hingegen eine beträchtliche Verschattung der Kollektorfläche auch gegenüber der Diffusstrahlung.



Saisonaler Sonnenschutz (Quelle 15).

Bester Sonnenschutz ist daher ein "Dachüberstand" in Form beweglicher Markisen, temporären Blenden, Matten oder anderen Schattiereinrichtungen, die nur im Sommer eingesetzt werden (Saisonaler Sonnenschutz).



Beweglicher Dachüberstand als saisonaler Sonnenschutz.

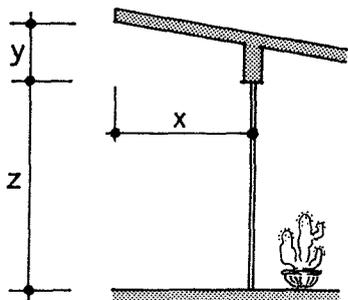
ANDERE MITTEL ZUR NATÜRLICHEN KLIMATISIERUNG

Um während sonnenreicher Wetterperioden mit passiven Mitteln ein angenehmes Raumklima zu erhalten, ist der Sonnenschutz ein wichtiges Mittel, wenn er rechtzeitig betätigt wird. Allein aber reicht er möglicherweise nicht aus. Um den Außentemperaturunterschied zwischen Tag und Nacht auszunutzen, sollte nachts und frühmorgens gelüftet werden, damit die im Haus vorhandenen Speichermassen langsam auskühlen, um tagsüber wieder aufnahmefähig zu sein für unerwünschte Wärme. Für die natürliche Klimatisierung eines Hauses ist jede Speichermasse im Haus -ob besonnt oder nicht- hilfreich.

Andere Möglichkeiten bestehen in der Nutzung der Erdkühle aus nichtgedämmten Kellerräumen, aus Steinspeichern, oder einem Luftkanal in der Erde. Damit wird den Wohnräumen Luft zugeführt, die um einige Grade kühler ist als die Außenluft.

BERECHNUNGSVERFAHREN

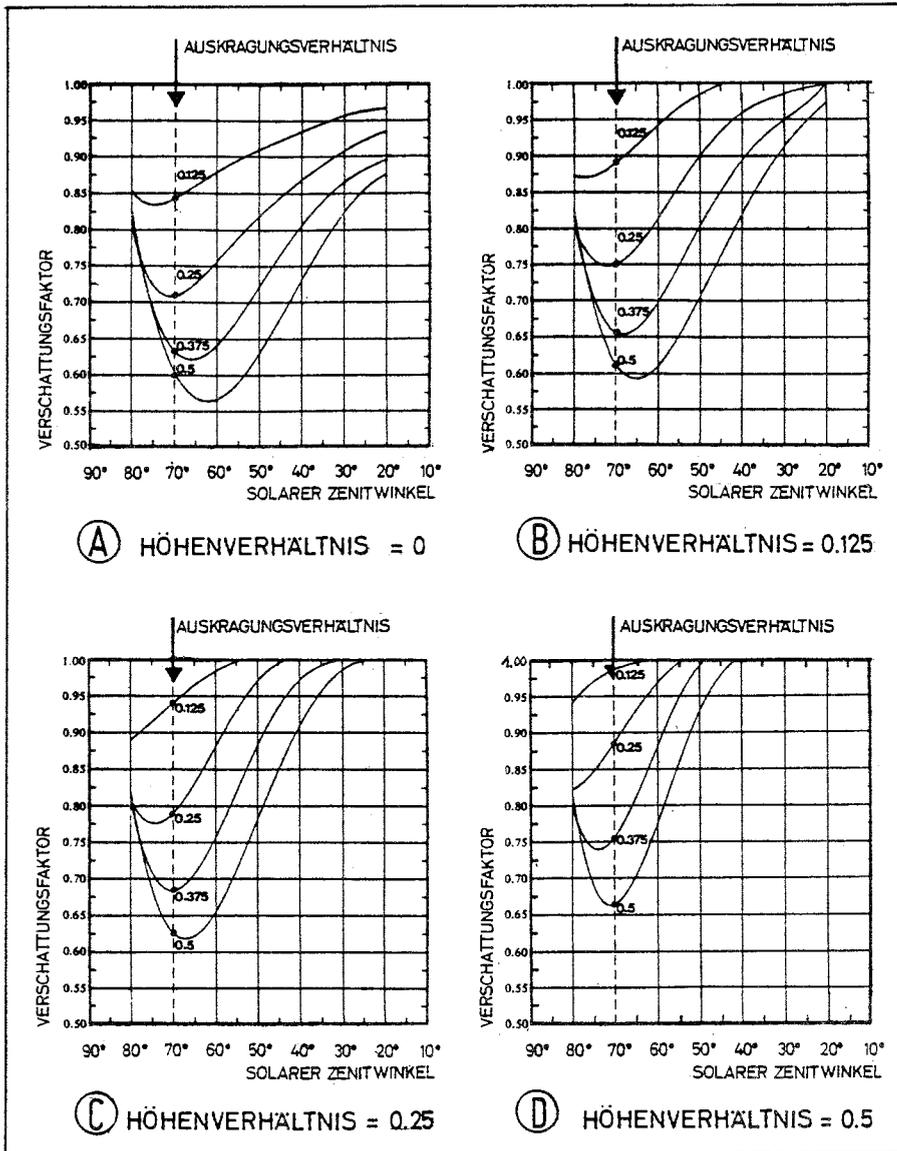
Um den Wirkungsgrad der Verschattung durch eine Sonnenschutz-Auskragung zu berechnen, sind zunächst folgende Definitionen zu treffen:



$$\text{Auskragungsverhältnis} = \frac{\text{Auskragung (x)}}{\text{Sonnfensterhöhe (z)}}$$

$$\text{Höhenverhältnis} = \frac{\text{Schattenkantenhöhe (y)}}{\text{Sonnfensterhöhe (z)}}$$

Nach der Ermittlung des Auskragungs- und Höhenverhältnisses wird auf dem entsprechenden Diagramm der Schnittpunkt zwischen der Kurve für das Auskragungsverhältnis und der vertikalen Linie für den Sonnenstandswinkel (um 12 Uhr mittags am 15. jeden Monats, abzulesen aus den Sonnenbahndiagrammen (Kap. 2.3) bestimmt. Die Höhe des Schnittpunkts gibt den Verschattungsfaktor gegen die Direktstrahlung für jeden Monat an.



Zur Verminderung der Einstrahlung auf ein Fenster durch einen Dachüberstand siehe Kap.2.3 ("Verschattung")

Bestimmung des Verschattungsfaktors eines feststehenden Dachüberstands (Quelle 20).

5. DIE BERECHNUNG DES HEIZUNGSWÄRMEBEDARFS

5. DIE BERECHNUNG DES HEIZUNGSWÄRMEBEDARFS

Diese Berechnung erfolgt in mehreren Schritten. Zunächst wird der mittlere monatliche Wärmebedarf ermittelt. Dieser wird dann den mittleren monatlichen Sonneneinstrahlungen gegenübergestellt. Aus dem Verhältnis beider kann der mittlere monatliche solare Beitrag zur Raumerwärmung bestimmt werden. Nach Abzug der internen Wärmebeiträge sowie Berücksichtigung von Korrekturfaktoren nach der VDI-Richtlinie 2067 ergibt sich der mittlere monatliche Heizungswärmebedarf.

5.1 WÄRMEBEDARFSBERECHNUNG

DIE ERMITTLUNG DES SPEZIFISCHEN WÄRMEBEDARFS (in W/K).

Der Wärmebedarf setzt sich zusammen
aus dem Transmissionswärmebedarf Q_T
und dem Lüftungswärmebedarf Q_L

"Spezifischer" Wärmebedarf bezeichnet die Wärmemenge, die nötig ist, um zwischen Innen- und Außentemperatur einen Unterschied von 1 K aufrecht zu erhalten.

A. Der spezifische Transmissionswärmebedarf

$$q_t = A \times k \times r \text{ (in W/K)}$$

Bauteil	Umfassungs- fläche A (m ²)	Wärmedurchgangs- koeffizient k (W/m ² ·K)	Reduktions- faktor r	Transmissions- wärmebedarf q (W/K)
Aussenwand A_W	x	x	1.0	=
Fenster A_F	x	x	1.0	=
Dach A_D	x	x	0.8	=
Grundflächen A_G	x	x	0.5	=
Summen				

B. Der spezifische Lüftungswärmebedarf

$$q_l = V \times N \times c \text{ (in W/K)}$$

Volumen V (m ³)	Luftwechsel- zahl N (m ³ /h)	Spezifische Wärmekapazität c (W/m ³)	Lüftungs- wärmebedarf q (W/K)
x	(0,5)	x	0,34 =

C. Der spezifische Wärmebedarf

$$q = q_t + q_l \text{ (in W/K)}$$

q_t	W/K
+ q_l	W/K
= q	W/K

**WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENTEN VON FENSTERN, AUSSENWÄNDEN
UND SONNENWÄNDEN - BEISPIELE**

FENSTER	k(W/m ² K)
1. Fenster der Rahmenmaterialgruppe (=RMG) 1 (Holz, Kunststoff und Holzkombinationen) 2-Scheiben-Isolierglas (2x4+12mm Luft)	2.60
2. dasselbe mit Rolladen, dicht - geschlossen schließend - im Tagesmittel	(1.66) (2.20)
3. dasselbe mit falt/Klappläden - geschlossen ca. 3 cm Dämmstoff, - im Tagesmittel	(0.82) (1.86)
4. Fenster (RMG 1) 2-Scheiben-Wärmeschutzglas (2x4+12mm)	1.40
5. dasselbe mit Rolladen, dicht - geschlossen schließend - im Tagesmittel	(1.07) (1.26)
6. dasselbe mit falt/Klappläden - geschlossen ca. 3 cm Dämmstoff, - im Tagesmittel	(0.65) (1.09)
7. Fenster (RMG 1) 3-Scheiben-Isolierglas (3x4+2x8mm)	2.10
8. dasselbe mit Rolladen, dicht - geschlossen schließend, - im Tagesmittel	(1.44) (1.81)

Die eingeklammerten Werte dürfen nach DIN/WschV nicht mit angerechnet werden. Für das Tagesmittel wurde die bewegliche Dämmung als während 14 Stunden offen und 10 Stunden geschlossen im Durchschnitt der Heizzeit angenommen.

AUSSENWÄNDE

1. Vollziegel 24 cm, mit 4 cm Thermohaut beidseitig verputzt	0.64
2. Gasbeton 36,5 cm, beidseitig verputzt (g=500 kg/cbm)	0.47
3. Poroton-Leichtziegel 36,5 cm, beidseitig verputzt, mit Dämmputz	0.63
4. Polyurethan-Dämmplatten 5 cm mit beidseitig Asbest-beplankung (W035)	0.62
5. Kalksand-Lochsteine 24 cm mit 4 cm Mineral- wolle, Luftschicht, Außenschale, Innenputz	0.64
6. Stahlbeton 20 cm mit 6 cm Polyst.Extr.Schaum- Platten und 9 cm Außen-Betonplatte	0.55

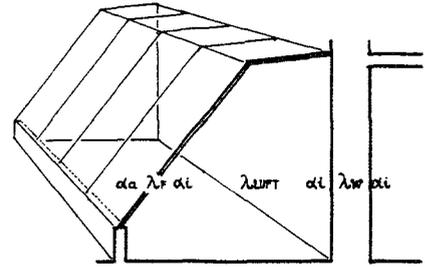
SONNENWÄNDE (TROMBE-TYP)

24 cm MW, 10 cm Luft, und:	k(W/m ² ·K)
1-fach verglast-oD (Tag)	1,72
1-fach verglast-mD (Nacht)	0,75
-im Mittel	1,28
2-fach verglast-oD (Tag)	1,43
2-fach verglast-mD (Nacht)	0,69
-im Mittel	1,06
3-fach verglast-oD (Tag)	1,15
3-fach verglast-mD (Nacht)	0,61
-im Mittel	0,88

oD = ohne Nachtdämmung
mD = mit Nachtdämmung

ANMERKUNG ZUR BERECHNUNG DER WÄRMEVERLUSTE VON GLASVORBAUTEN

Für die Berechnung des Wärmedurchgangs der Wand zwischen Glasvorbau und dem angrenzenden Raum schlagen wir folgendes Verfahren vor:



Der Außenwandteil des Hauses mit dem angebauten Glasvorbau wird thermisch wie eine Kollektor-Speicherwand betrachtet, mit dem Unterschied, daß die äußere Verglasung durch ihre ausgreifende Form eine vergrößerte Wärmeverlustfläche darstellt. Die Glasfläche wird thermisch auf die Wandfläche zurück-projiziert: die Wärmeverluste der Glasfläche sind als Wärmeverluste der Hauswand anzurechnen. Dazu wird zunächst das Verhältnis der Hauswandfläche zur Glasfläche des Glasvorbaus errechnet (Beispiel: 1 : 2,5 = 0,4). Die Berechnung der Wärmedurchgangszahl erfolgt dann nach der Formel:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_w}{\lambda_w} + \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\lambda_l} + \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\lambda_f} + \frac{1}{\alpha_a} \right) \times 0,4$$

Für den Luftraum wird ein Wert von $1/\lambda_l = 0,15$ angenommen. Die Bodenfläche wird nicht als Verlustfläche gerechnet. Der Wärmedurchgangswiderstand der Wand beträgt:

$$\frac{1}{k_w} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_w}{\lambda_w} + \frac{1}{\alpha_i} = 0,78$$

Daraus ergibt sich:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_w} + \frac{1}{\lambda_l} + 0,4 \frac{1}{k_f} = 0,78 + 0,15 + 0,4 \times 0,38 = 1,08 \rightarrow \underline{\underline{k = 0,93}}$$

Bei der Berechnung der Wärmedurchgangswiderstände sind jeweils die Mittelwerte anzusetzen, wenn bei der Wand oder bei der Hüllfläche des Glasvorbaus Bauteile mit unterschiedlicher Wärmedämmung verwendet werden (z.B. Glasfläche, Massivsockel, wärmedämmte Seitenwände).

ERMITTLUNG DES MITTLEREN MONATLICHEN GESAMTWÄRMEBEDARFS

Der spezifische Wärmebedarf (q) wird in Spalte 1 eingetragen. Als Innentemperatur (T_i) wird aus der Temperatur für Aufenthaltsräume (20°) und den geringeren Temperatur für unbeheizte Räume und während der Nacht eine mittlere Raumtemperatur von 19° angenommen (Spalte 2). Die mittleren monatlichen Außentemperaturen (T_a), die aus den Außentemperaturkarten (Anhang 6.2) für jeden Standort abgelesen werden können, werden in Spalte 3 eingetragen.

Aus T_i abzüglich T_a ergibt sich die durchschnittliche monatliche Temperaturdifferenz (Δt) zwischen Innen- und Außenluft (Spalte 4).

Aus der täglichen Stundenzahl und monatlichen Tageszahl ergibt sich die Anzahl der Stunden jeden Monats (Spalten 5).

Die Multiplikation des spezifischen Wärmebedarfs (Spalte 1) mit der Temperaturdifferenz (Spalte 4) und der monatlichen Stundenzahl (Spalte 5) ergibt den monatlichen Gesamtwärmebedarf (Spalte 6).

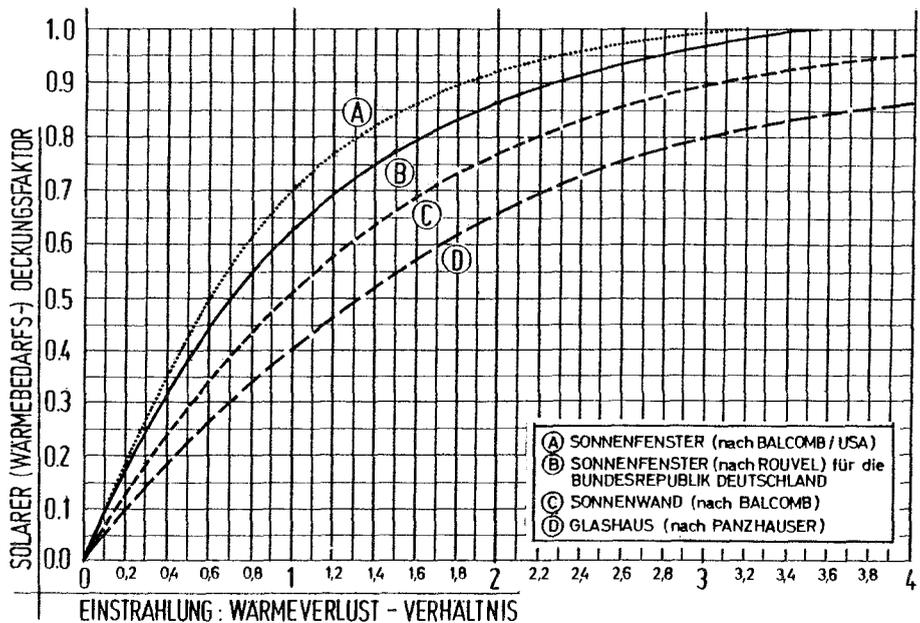
	1 Spezifischer Wärmebedarf q (W/K)	2 Mittlere Innenraum- Temperatur T_i (°C)	3 monatliche Aussenluft- Temperatur T_a (°C)	4 Temperatur- Differenz ($T_i - T_a$) = Δt (K)	5 Stundenzahl pro Monat (h/mt)	6 Monatlicher Gesamtwärme- bedarf Q = (kWh/mt·1000)
SEP					720	
OKT					744	
NOV					720	
DEZ					744	
JAN					744	
FEB					672	
MAR					744	
APR					720	
MAI					744	

5.2 DIE ERMITTLUNG DES SOLAREN WÄRMEBEITRAGS VON SONNENFENSTERN, GLASVORBAUTEN UND SONNENWÄNDEN

Die im Kapitel 2.6 ermittelten Werte der mittleren monatlichen solaren Einstrahlungen werden in Spalte 1 der nachfolgenden Tabelle eingetragen. Aus dem vorangegangenen Abschnitt wird der mittlere monatliche Gesamtwärmebedarf in Spalte 2 übertragen. Dann wird der aus dem Verhältnis von Einstrahlungen (I) : Gesamtwärmebedarf (Q) gebildete Faktor in Spalte 3 eingesetzt. Schließlich wird aus dem Diagramm auf der folgenden Seite der diesem Verhältnis entsprechende monatliche solare Deckungsfaktor abgelesen und in Spalte 4 eingetragen. Die Multiplikation des Gesamtwärmebedarfs mit dem solaren Deckungsfaktor ergibt zuletzt den monatlichen solaren Wärmebeitrag (Spalte 5).

	1 Solare Einstrahlung I (kWh/mt)	2 Gesamtwärmebedarf Q (kWh/mt)	3 Verhältnis I:Q	4 Solarer Deckungsfaktor (d)	5 Solarer Wärmebeitrag Qsol (kWh/mt)
SEP					
OKT					
NOV					
DEZ					
JAN					
FEB					
Mär					
APR					
MAI					

DIAGRAMM ZUR BESTIMMUNG DES MITTLEREN MONATLICHEN SOLAREN BEITRAGS VERSCHIEDENER SYSTEME DER PASSIVEN SONNENERGIE NUTZUNG ZUR RAUMERWÄRMUNG



Anmerkungen:

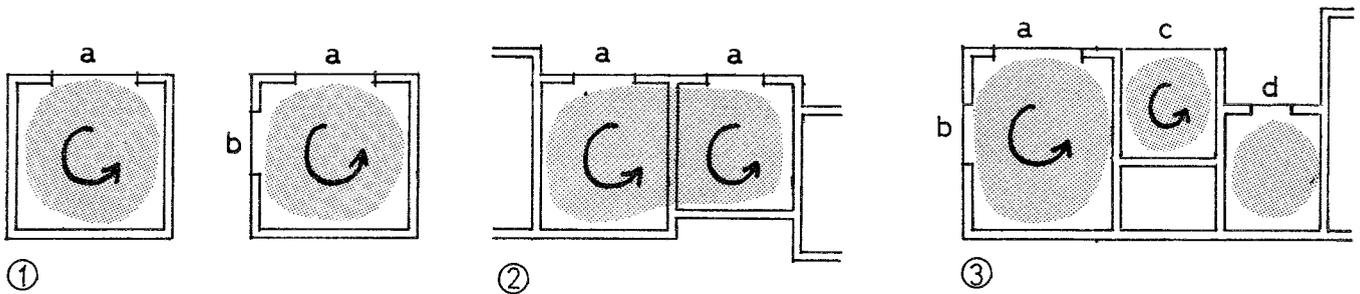
Der solare Deckungsfaktor bezieht sich auf den an das Kollektorsystem angrenzenden Raum, oder auf ein ganzes Haus, sofern dieses als Ein-Raum-Haus mit freier Luftzirkulation konzipiert ist.

Der abflachende Verlauf der Kurven zeigt, daß mit zunehmendem Verhältnis I:Q der Ausnutzungsgrad der zusätzlichen Einstrahlungen geringer wird, d.h. der solare Beitrag zur Raumerwärmung nimmt zwar zu, aber in immer kleineren Schritten.

Die Kurve A ist ein Ergebnis von umfangreichen Untersuchungen von Balcomb und McFarland (Quelle 15) auf der Basis amerikanischer Klimadaten. Für die Bestimmung des solaren Wärmebeitrags von Sonnenfenstern empfehlen wir die Kurve B. Sie stammt aus Untersuchungen von Rouvel (Quelle 22). Sie gilt für Fenster mit und ohne Nachtdämmung für die Klimabedingungen der Bundesrepublik, Balcomb und McFarland (Quelle 16) haben für mehrere Ausführungen von Sonnenwänden (massiv, mit Wasser, mit und ohne Nachtdämmung) Kurven zur Bestimmung des solaren Beitrags zur Erwärmung des angrenzenden Raumes ermittelt. Diese basieren auf dem strahlungsreichen Winterklima in vielen Gebieten der USA. Da der Wert von Sonnenwänden in unserem Klima umstritten ist, können wir für die Abschätzung des solaren Wärmebeitrags von Sonnenwänden nur die ungünstigste der von den Amerikanern angegebenen Kurven (C) empfehlen.

Der solare Wärmebeitrag von Glasvorbauten für die angrenzenden Räume läßt sich nur sehr ungenau bestimmen, da Geometrie und Konstruktion von Glasvorbauten vielfältig sind. Die Kurve D basiert auf den Empfehlungen von Panzhauser (zitiert in Quelle 67).

ANWENDBEREICH DES BERECHNUNGSVERFAHRENS FÜR SONNENFENSTER



1. Sonnenraum mit Sonnenfenstern unterschiedlicher Einstrahlungsbedingungen

Die Einstrahlungen werden je Fenster(gruppe) einzeln ermittelt. Berechnung der Wärmeverluste und des solaren Deckungsfaktors einfach.

2. Mehrere Sonnenräume mit jeweils gleichen oder ähnlichen Raum- und Einstrahlungsbedingungen

Wärmeverluste und Deckungsfaktor können gemeinsam ermittelt werden.

3. Mehrere Sonnenräume mit sehr unterschiedlichen Raum- und Einstrahlungsbedingungen (Bild 3):

Einstrahlungen, Wärmeverluste und solarer Deckungsbeitrag müssen einzeln ermittelt werden.

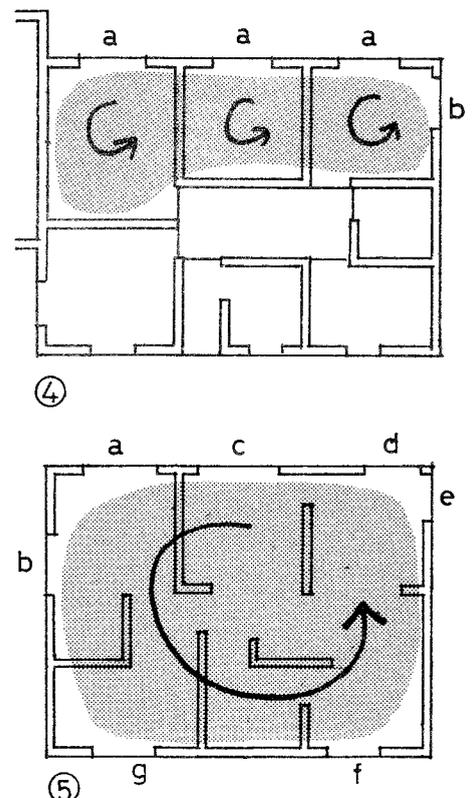
4. Standardhaus mit Sonnenräumen und Nordräumen

Die Ermittlung des solaren Deckungsfaktors (d.h. auch der Einstrahlungen und entsprechender Wärmeverluste) nur für die Kollektor- (Süd-, Ost-, West-) zone.

Eine Berechnung des solaren Deckungsfaktors nicht direkt besonnener (z.B. Nord-) Räume kann in Einzelfällen bei großen Fensterflächen sinnvoll sein (siehe Kap. "Sonnenfenster"). Im Normalfall mit kleinen Nordfensterflächen kann ein solarer Beitrag in Form eines speziellen Wärmedurchgangskoeffizienten (k-äquivalent-Wert) für die Fenster berücksichtigt werden.

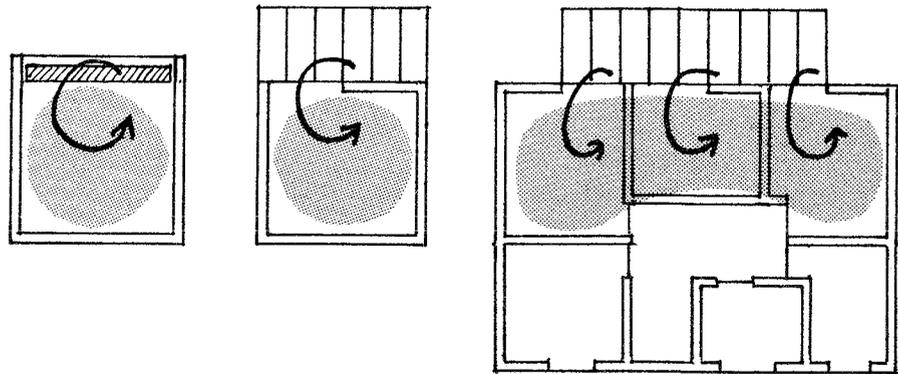
5. Offener Hausgrundriss mit durchgehender Luftzirkulation

Einstrahlungen, Wärmeverluste und solarer Wärmebeitrag werden wie beim einfachen Sonnenraum (1) ermittelt. Beim offenen Grundriss ist allerdings die Ausnutzung und damit die solare Deckungsrate deutlich besser als im Sonnenraum üblicher Größe und Ausstattung. Ein Berechnungsverfahren oder Erfahrungswerte hierzu sind uns nicht bekannt.



ANWENDUNGSBEREICH DER BERECHNUNGSVERFAHREN FÜR GLASVORBAUTEN UND SONNENWÄNDE

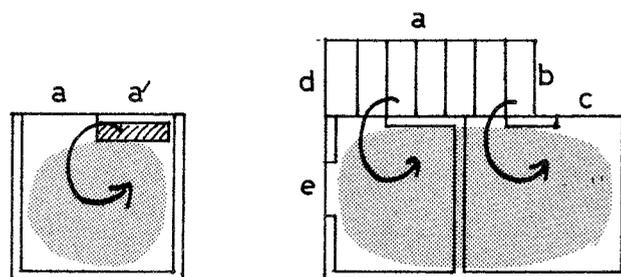
Für die Ermittlung des solaren Deckungsfaktors von angebauten Glasvorbauten und Sonnenwänden gilt das für Sonnenfenster Gesagte entsprechend. Für beide Passivsysteme ist es allerdings charakteristisch, daß sie nicht ausschließlich allein, sondern gewöhnlich in Kombination mit Sonnenfenstern angewendet werden.



ZUR BERECHNUNG DES SOLAREN BEITRAGS VON LUFTKOLLEKTOREN ZUR RAUMERWÄRMUNG

Für Luftkollektoren gibt es bisher kein Berechnungsverfahren nach dem Einstrahlung:Wärmebedarf- Verhältnis wie für andere Passivsysteme. Zur Abschätzung des solaren Beitrags von Luftkollektoren zur Raumerwärmung können wir daher nur auf die im Kap. 3.4 enthaltenen Informationen und Empfehlungen hinweisen.

DIE BERECHNUNG DES SOLAREN DECKUNGSFAKTORS BEI GLEICHZEITIGER VERWENDUNG VON UNTERSCHIEDLICHEN PASSIVEN KOLLEKTORSYSTEMEN.



Für die Ermittlung des solaren Wärmebeitrags gemischter Kollektorsysteme ist zwischen den Kurven der beteiligten Systeme eine ihrem Anteil an der Gesamt-Kollektorfläche entsprechend interpolierte neue Kurve in das Diagramm einzutragen (z.B. bei 50 % Sonnenfenster und 50 % Sonnenwand liegt die neue Kurve in der Mitte zwischen den Kurven B und C).

Ein Berechnungsverfahren für die Kombination von mehr als zwei Passivsystemen wurde bisher nicht entwickelt.

5.3 DIE ERMITTLUNG DES INTERNEN BEITRAGS ZUR RAUMERWÄRMUNG

Als internen Wärmebeitrag bezeichnet man die Wärmeabgabe der Bewohner, Beleuchtung, Haushaltsgeräte und Warmwasserbereitung. Diese Wärmequellen können nicht - wie die Heizkörper - bei Bedarf gedrosselt werden, d.h. sie "heizen" auch bei Raumüberwärmung, in Zeiten mit Kühlbedarf weiter.

Nach der Richtlinie VDI 2078 wird als stündliche Wärmeabgabe des Menschen angenommen (bei $T_i = 20^\circ$):

-nichttätig	116 Watt
-mittelschwere Arbeit	267 Watt
-leichte Tätigkeit (Mittelwert aus 1 und 2)	192 Watt

Als mittlere tägliche Wärmeabgabe rechnen wir:

1/3 = 8 Std. schlafen	116 x 8 =	928 Wh/d·P
1/3 = 8 Std. leichte Arbeit	192 x 8 =	1536 Wh/d·P
1/3 = 8 Std. abwesend	-	-
		2464 Wh/d·P

Daraus ergibt sich z.B. für einen 4-Personenhaushalt (2 Erwachsene voll, 2 Kinder zur Hälfte angerechnet) täglich:

$$\sim 2,5 \times 3 = 7,5 \text{ kWh/d}$$

Für die Wärmeabgabe von Beleuchtung, Geräten und Warmwasserbereitung nehmen wir einen Wert von gleichfalls 7,5 kWh/d an. So ergibt sich insgesamt als interner Wärmebeitrag für einen 4-Personen-Haushalt eine tägliche Energiemenge von 15 kWh/d. Das entspricht umgerechnet einer Wärmeleistung von 156 W/P oder einer täglichen Wärmemenge von im Mittel etwa 4 kWh/d·P.

Der Wert von 4 kWh/P·d ist mit der Zahl der Bewohner und der Tage pro Monat zu multiplizieren und ergibt so die Monatssumme des internen Wärmebeitrags (Qint).

	1 Interner Wärmebeitrag pro Tag und Person (kWh/d·P)	2 Personenzahl im Haushalt (P/HH)	3 Tageszahl pro Monat (d/mt)	4 Interner Wärmebeitrag Qint(kWh/mt)
SEP			30	
OKT			31	
NOV			30	
DEZ			31	
JAN			31	
FEB			28	
MÄR			31	
APR			30	
MAI			31	

5.4 DIE ERMITTLUNG DES MONATLICHEN HEIZUNGS-WÄRMEBEDARFS

Aus den vorangegangenen Tabellen wird der monatliche Wärmebedarf in Spalte 1 eingetragen, desgleichen der monatliche solare Wärmebeitrag in Spalte 2, und der monatliche interne Beitrag in Spalte 3.

Dann sind entsprechend der VDI-Richtlinie 2067, Bl. 2/E. 1979 Korrekturfaktoren für den Heizungswärmeverbrauch zu berücksichtigen. Für diese Faktoren f1-f8 wird hier ein überschlägiger Reduktionsfaktor von 0,75 vorgeschlagen.

Vom monatlichen Gesamtwärmebedarf (Spalte 1) werden nun der solare Wärmebeitrag und der interne Wärmebeitrag (Spalten 2 und 3) abgezogen und das Resultat mit dem Reduktionsfaktor (Spalte 4) multipliziert. Daraus ergibt sich der tatsächliche monatliche Heizungswärmebedarf.

	1 Gesamtwärme- bedarf Q (kWh/mt)	2 Solarer Wärmebeitrag Q_{sol} (kWh/mt)	3 Interner Wärmebeitrag Q_{int} (kWh/mt)	4 Korrektur- faktor nach VDI 2067	5 Heizungs- wärmebedarf Q_{hzg} (kWh/mt)
SEP					
OKT					
NOV					
DEZ					
JAN					
FEB					
MÄR					
APR					
MAI					

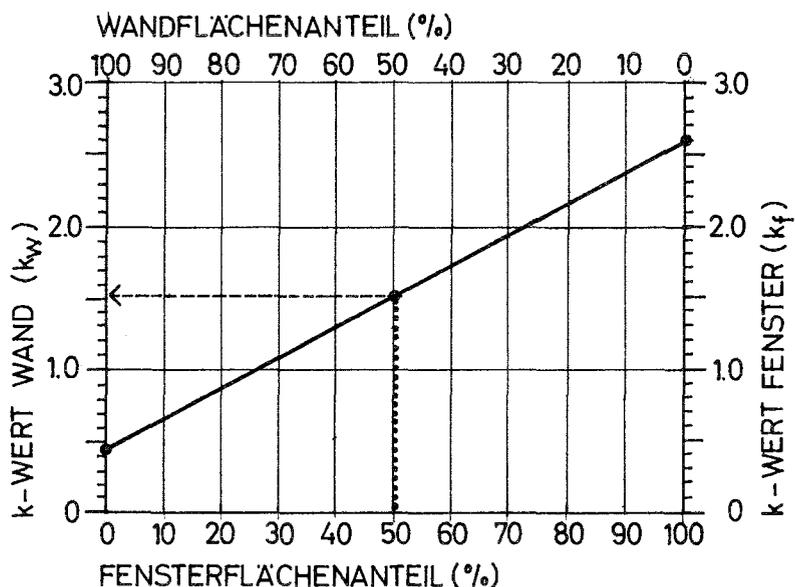
5.5 DIE DIMENSIONIERUNG VON SONNENFENSTERN BEI BERECHNUNGEN NACH DER WÄRMESCHUTZVERORDNUNG (Neufassung 1982)

Nach der Wärmeschutzverordnung (1982) dürfen folgende Werte des Wärmedurchgangskoeffizienten (k-Werte) nicht überschritten werden:

- für Außenwände bestehend aus Fenster und Wandanteilen $k_m = 1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ oder $k_m = 1,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ *)
- für Dächer $k_d = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

*) je nach Gebäudegröße

Die Ermittlung des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten (k_m) von Außenwänden mit Fenster- und Wandanteilen:



Die Ermittlung des mittleren k-Werts (k_m) von Außenwänden bei unterschiedlichen Wand- bzw. Fensterflächenanteilen kann geometrisch (siehe vorstehende Abbildung mit Beispiel) oder rechnerisch nach der Formel erfolgen:

$$k_m = k_w \cdot \text{WFA} + k_f \cdot \text{FFA}$$

(WFA = Wandflächenanteil)

(FFA = Fensterflächenanteil)

ZULÄSSIGE FENSTERFLÄCHENANTEILE NACH DER WÄRMESCHUTZVERORDNUNG

Die Wärmeschutzverordnung läßt zwei Verfahren zum Nachweis der Einhaltung der vorgeschriebenen Wärmeschutz-Mindestwerte zu:

1) DIE BERECHNUNG NACH EINZELNEN BAUTEILEN

Für das Bauteil "Außenwand" von Einzelhäusern ist ein Wärmedurchgangswert (k_w) von höchstens 1,2 (1,5) $W/m^2 \cdot K$ festgelegt. Dieser Wert fasst alle Wände und Fenster eines Hauses in einen Mittelwert zusammen. Innerhalb dieses zulässigen Mittelwertes können Wand- und Fenstergrößen, also der Fensterflächenanteil der Außenwand variiert werden.

Diese Variationsmöglichkeiten wollen wir an einer Beispielrechnung für 4 Wand- und 3 Fensteralternativen darstellen:

BERECHNUNGSBEISPIEL Wände:

1. $k_w = 0,65$	zB. 16,5 cm Poroton
2. $k_w = 0,47$	zB. 36,5 cm Gasbeton
3. $k_w = 0,33$	zB. 24 cm Mauerwerk und 10 cm Wärmedämmung
4. $k_w = 0,25$	zB. Holzleichtbau mit 18 cm Wärmedämmung

Fenster:

a) $k_f = 2,6$	2-Scheiben-Isolierglas
b) $k_f = 2,1$	3-Scheiben-Isolierglas
c) $k_f = 1,4$	2-Scheiben-Wärmeschutzglas

Mit der Berechnungsformel

$$FFA_{ZUL, GES} = \frac{1,2 - k_w}{k_f - k_w}$$

ergeben sich bei der Kombination der obigen Wand- und Fensteralternativen folgende höchstzulässige Fensterflächenanteile für die gesamten Außenwandflächen des Hauses:

Zulässige Fensterflächenanteile für die Gesamtaußenwandfläche (GAW):

Wandalternativen	Fensteralternativen		
	a	b	c
1	28 %	38 %	73 %
2	34 %	42 %	78 %
3	38 %	49 %	81 %
4	41 %	52 %	83 %

Wenn wir nun auf der Südseite einen größtmöglichen Fensterflächenanteil konzentrieren wollen, dann müssen wir die maximal zulässigen Fensterflächenanteile der Gesamt-Außenwand errechnen. Dazu müssen wir für unser Rechenbeispiel noch folgende Annahmen treffen:

-Der Fensterflächenanteil der nicht südorientierten Außenwandflächen (FFA_N) soll 15 % und der Anteil der Süd-Außenwand ($A_{SÜD}$) an der Gesamtaußenwandfläche (A_{GES}) soll 30 % betragen. Mit der Berechnungsformel:

$$FFA_{ZUL, SÜD} = \frac{FFA_{ZUL, GES} - FFA_N (A_{GES} - A_{SÜD})}{A_{SÜD}}$$

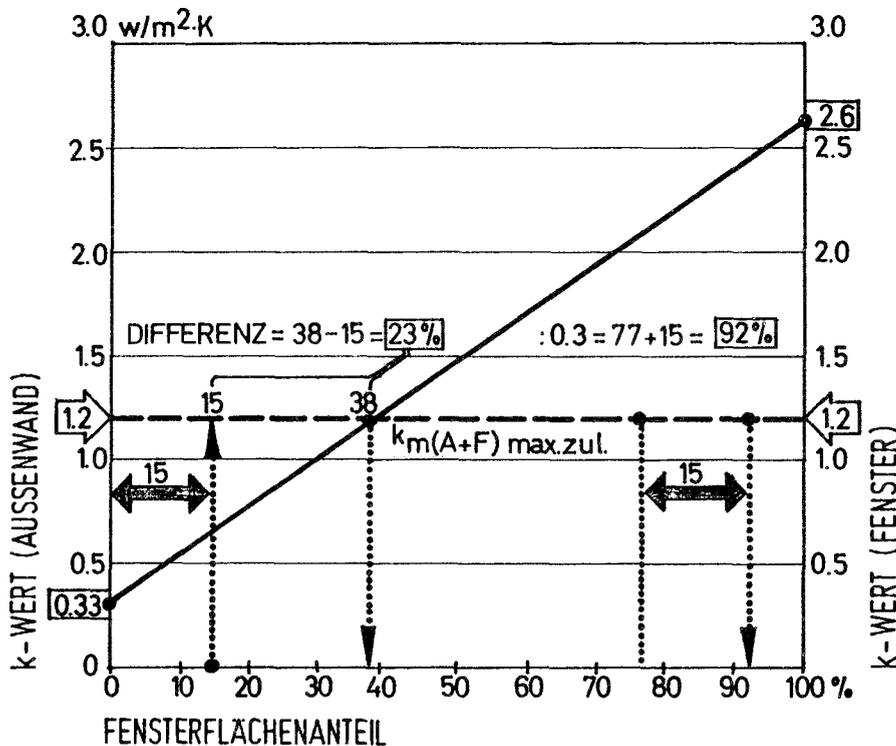
ergeben sich folgende zulässige Fensterflächenanteile für die südorientierte Außenwand:

Wandalternativen	Fensteralternativen		
	a	b	c
1	58 %	92 %	100 %
2	78 %	100 %	100 %
3	92 %	100 %	100 %
4	100 %	100 %	100 %

Die Tabelle zeigt, daß mit zunehmender Dämmqualität der Außenwände und Fenster der Spielraum der zulässigen Fensterflächenanteile größer wird - und umgekehrt. Wenn also, um größtmögliche Sonnenwärmegewinne zu erzielen, die Südwand vollständig verglast werden soll, so dürfen im ganzen Gebäude nur Außenwandbauteile mit sehr guten Dämmwerten verwendet werden. (Die Wand- und Fensteralternativen unseres Rechenbeispiels haben nach bisherigem Verständnis allerdings bereits sehr gute Dämmqualität).

BERECHNUNGSVERFAHREN

Mithilfe eines gemischt geometrisch-algebraischen Verfahrens lassen sich die zulässigen Fensterflächenanteile auf einfache Weise ermitteln:



Auf dem Diagramm werden links der k-Wert der Außenwand (im Beispiel 0,33) und rechts der k-Wert der Fenster (im Beispiel 2,6) eingetragen. Beide werden miteinander verbunden. Der Schnittpunkt zwischen der Verbindungslinie und der Horizontalen, die den gesamtzulässigen k-Wert (1,2 W/m²K) markiert, ergibt den zulässigen Fensterflächenanteil der Gesamtaußenwandflächen. Er ist -nach unten gelotet- auf der Grundlinie abzulesen (im Beispiel: 38 %).

Die Ermittlung des maximal zulässigen Fensterflächenanteils für die Südwand (Haupt-Kollektorwand) kann rein rechnerisch erfolgen: Der mittlere Fensterflächenanteil aller übrigen Außenwände (Ost, Nord, West) (im Beispiel: 15 %) wird vom zulässigen Fensterflächenanteil der Gesamtaußenwand (im Beispiel: 38 %) abgezogen. Das Ergebnis (im Beispiel: $38 - 15 = 23$ %) wird durch den Flächenanteil der Südwand an der Gesamtaußenwand (im Beispiel: 30 %) geteilt (im Beispiel: $23 : 0,3 = 77$ %). Diesem Resultat werden nun die vorher abgezogenen Fensterflächenanteile der übrigen Außenwände (im Beispiel: 15 %) wieder zugefügt. Ergebnis dieser Umverteilung zulässiger Fensterflächen auf die Südwand ist der zulässige Südwand-Fensterflächenanteil (im Beispiel: $77 + 15 = 92$ %).

2) BERECHNUNG NACH DEM AV-VERHÄLTNIS

Das zweite mögliche Verfahren der Wärmeschutzverordnung gibt Mindestwerte des Wärmeschutzes für bestimmte Baukörperformen (Verhältnis von Außenfläche zu Volumen) an (AV-Verfahren).

Für dieses Verfahren müssen zunächst die Summe aller Außenwandflächen des Gebäudes und sein Volumen ermittelt werden. Dann wird der dem AV-Verhältnis zugehörige Höchstwert des zulässigen Wärmedurchgangs (k_m max) abgelesen. Der zulässige Fensterflächenanteil -bezogen auf die Gesamtaußenwandfläche- kann nach der Formel berechnet werden:

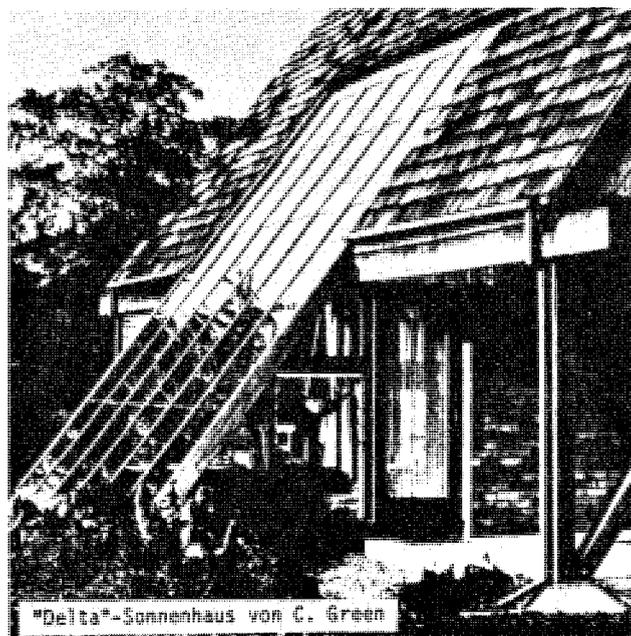
$$FFA_{ZUL,GES} = \frac{\frac{A_{GES} \cdot k_{m,max} - (0,8 A_D \cdot k_D + 0,5 A_G \cdot k_G)}{A_F + A_W}}{k_F - k_W}$$

3) VERGLEICH DER BERECHNUNGSVERFAHREN

Ein Vergleich mit den Rechenergebnissen nach dem ersten Verfahren (nach Bauteilen) ergibt, dass bei dem von uns gewählten Beispiel um 15-20% höhere zulässige Fensterflächenanteile für die Gesamtaußenwandfläche (und damit auch entsprechend höhere allein für die Südwand) zulässig sind. Wir haben 6 Fenster-Wand-Kombinationen miteinander verglichen:

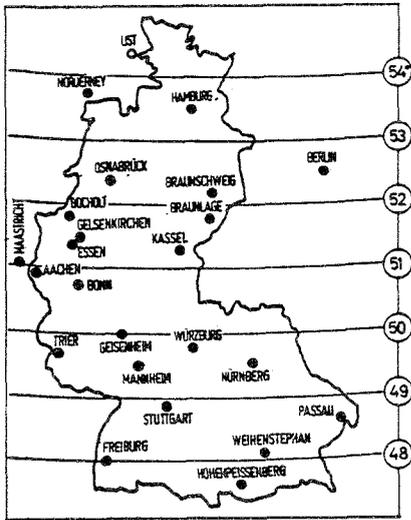
Fenster-Wand-Kombination	Gerechnet nach: Bauteilen (1)	Verhältnis A/V (2)	Differenz
a-1	28 %	22 %	6 %
a-3	38 %	33 %	5 %
b-1	38 %	30 %	8 %
b-3	49 %	42 %	7 %
c-1	73 %	57 %	16 %
c-3	81 %	70 %	11 %

Die solaren Wärmegewinne von Fenstern und die Verminderung des Wärmedurchgangs von Fenstern durch bewegliche Bauelemente ("temporärer Wärmeschutz") finden in der Wärmeschutzverordnung bislang allerdings noch keine Berücksichtigung. Sonnenwände können daher auch nur wie geschlossene Außenwände als Wärmeverlustflächen gerechnet werden.



6.

ANHANG



6.1 METEOROLOGISCHE DATEN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

MITTLERE MONATLICHE TAGESSUMMEN DER GLOBALSTRAHLUNG VON 16 STANDORTEN
(in Wh/m².d Quelle: 1,10)

	JAN	FEB	MÄR	APR	MAI	JUNI	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
① Norderney	565	1295	2600	4274	5126	6020	5454	4745	3061	1656	740	443
② Hamburg	521	1132	2231	3553	4688	5437	4820	4340	2786	1489	671	401
③ Braunschweig	631	1164	2239	3432	4647	5198	4769	4210	2787	1501	702	416
④ Braunlage	735	1336	2403	3507	4423	4949	4787	4156	2782	1672	757	512
⑤ Berlin	607	1135	2435	3487	4765	5436	5257	4580	3048	1592	760	458
⑥ Bocholt	642	1202	2175	3781	4887	4753	4136	3519	2707	1631	792	436
⑦ Geisenkirchen	601	1231	2101	3454	4692	4442	4307	3779	2683	1650	775	482
⑧ Maastrich (Aa)	687	1338	2290	3606	4748	4995	4815	4257	3059	1760	879	536
⑨ Bonn	719	1326	1787	3334	4817	4383	4147	3625	2758	1667	841	529
⑩ Trier	722	1471	2520	3878	4883	5251	5268	4428	3309	1789	836	561
⑪ Geisenheim	699	1223	2072	3594	4719	4853	4517	4072	2872	1524	766	538
⑫ Freiburg	763	1344	2512	3589	4707	5199	4832	4551	3461	1917	986	717
⑬ Nürnberg	704	1419	2272	3065	5664	5842	5031	4524	2986	1899	874	649
⑭ Würzburg	817	1595	2680	4037	5033	5536	5343	4485	3533	1943	921	650
⑮ Weihenstephan	1071	1825	2961	4108	5075	5385	5458	4600	3698	2232	1180	834
⑯ Hohenpeissenberg	1378	2053	3165	4147	4891	5132	5399	4621	3850	2616	1428	1116
Ø 16 Stationen	740	1379	2403	3678	4860	5176	4896	4281	3086	1784	869	580

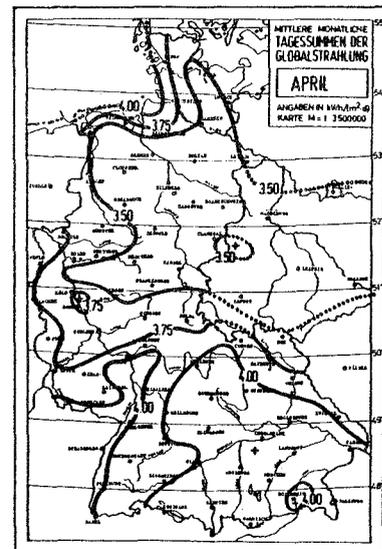
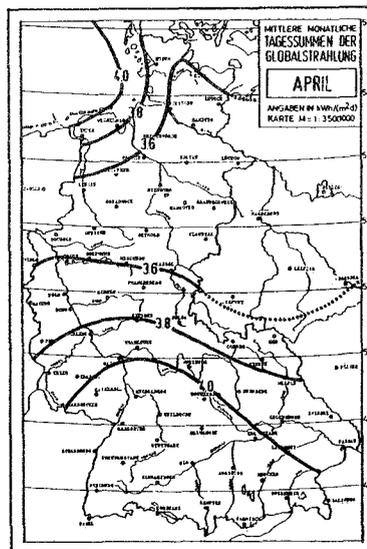
Mittelwerte der Globalstrahlung aus Messungen mit wenigsten 5-jähriger Dauer liegen bisher (Stand 1982) nur für 15 Standorte im Gebiet der BRD vor. Die über 10-jährigen Messungen der Niederländischen Wetterstation in Maastricht werden für das benachbarte Aachen (Aa) eingesetzt. Die Wetterstation List auf Sylt, die seit über 5 Jahren Messungen der Globalstrahlung durchführt, wurde hier nicht aufgenommen, um eine Überrepräsentation des Gebiets der deutschen Nordseeküste (vertreten durch Norderney) zu vermeiden.

ANMERKUNG ZU DEN ISOKARTEN DER MONATLICHEN GLOBALSTRAHLUNG

Der Kreis kennzeichnet die 9 Stationen des Deutschen Wetterdienstes mit mehr als 10-jähriger Messung der Globalstrahlung. Die Messwerte dieser Stationen liegen dem "Atlas über die Sonnenstrahlung" (Quelle 1) zugrunde. Aus diesen wenigen gemessenen Strahlungsdaten wurden in dem Atlas auch monatliche Karten der Isozonen gleicher Globalstrahlung entwickelt, um so einem größtmöglichen Interessentenkreis Abschätzungen des lokalen Strahlungsangebots zu ermöglichen. Diese Übertragung der punktuellen Messwerte auf geografische Flächen enthält eine Vielzahl von Fehlerquellen, z.B. durch unterschiedliche Lufttrübungen (die exponierte Lage vieler Meßstationen), Geländeformen (vor allen in den Mittelgebirgen) und lokale Klimaverhältnisse (Mikroklima), die auch im ebenen Gelände Strahlungsunterschiede verursachen können.

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| 1. Aachen | 36. Jever |
| 2. Augsburg | 37. Kahler Asten |
| 3. Bamberg | 38. Karlsruhe |
| 4. Bayreuth | 39. Kassel |
| 5. Berlin | 40. Kempten/Memmingen |
| 6. Bicus | 41. Kiel |
| 7. Bocholt | 42. Kleiner Feldberg |
| 8. Bonn/Köln | 43. Königstuhl |
| 9. Braunlage | 44. List |
| 10. Braunschweig | 45. Lingen |
| 11. Bremen | 46. Lübeck |
| 12. Bremerhaven | 47. Lüchow |
| 13. Cuxhaven | 48. Mannheim |
| 14. Darmstadt | 49. München |
| 15. Deuselbach | 50. Münster |
| 16. Düsseldorf | 51. Neustadt |
| 17. Emden | 52. Nordeney |
| 18. Essen | 53. Nürnberg |
| 19. Fassberg | 54. Ohringen |
| 20. Feidberg | 55. Osnabrück |
| 21. Frankfurt Stadt | 56. Passau |
| 22. Frankfurt Land | 57. Regensburg |
| 23. Freiburg | 58. Salzuflen |
| 24. Friedrichshaven | 59. Schleswig |
| 25. Garmisch-Partenk. | 60. Stötten |
| 26. Gießen | 61. Stuttgart Stadt |
| 27. Göttingen | 62. Stuttgart Land |
| 28. Gr.Falkenstein | 63. Trier |
| 29. Gütersloh | 64. Ulm |
| 30. Hamburg | 65. Wasserkuppe |
| 31. Hannover | 66. Weiden |
| 32. Heigoland | 67. Weinbiet |
| 33. Hof | 68. Weissenburg |
| 34. Hohenpeissenberg | 69. Würzburg |
| 35. Husum | |

Tabelle der 69 Orte, deren im Auftrag des Deutschen Wetterdienstes berechneten mittleren Globalstrahlungswerte (Quelle 14) die Grundlage für die monatlichen Isokarten der Globalstrahlung (Quelle 75) bilden.



Vergleich von zwei Isokarten der monatlichen Globalstrahlung (April) auf der Basis der Strahlungsdaten von 9 (Quelle 1) und 69 (Quelle 75) Orten.

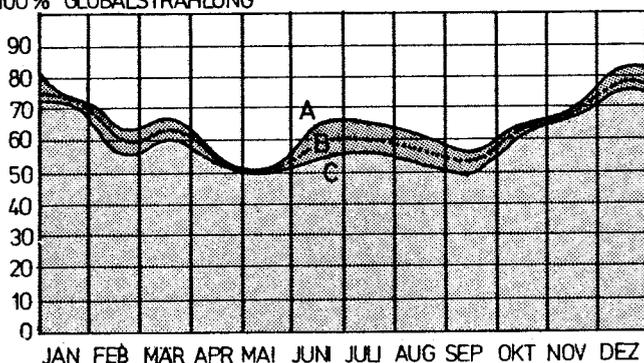
Die in diesem Buch im Kap. 2.1 wiedergegebenen Isokarten der monatlichen Globalstrahlung wurden von Golchert (Quelle 75) aus den Strahlungsdaten von 69 Orten der BRD entwickelt. Diese Strahlungsdaten sind die Ergebnisse von Berechnungen von Manier und Fuchs (Quelle 14) im Auftrag des Deutschen Wetterdienstes. Mit der größeren Zahl geografisch differenzierter Strahlungsdaten wird die Fehlerquelle bei der Übertragung von Punktwerten auf Flächen kleiner.

DER ANTEIL DER DIFFUSSTRAHLUNG AN DER GLOBALSTRAHLUNG (=auf horizontale Flächen). Mehrjährige Messwerte von 15 Stationen des Deutschen Wetterdienstes mit Angabe der Messdauer (Stand: 1.1.83 , Quelle 10)

		JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
1. NO Norderney	5	73	64	60	53	48	56	57	55	53	60	69	81
2. HH Hamburg	7	74	69	68	55	50	59	59	57	58	65	72	80
3. BS Braunschweig	5	71	66	65	55	49	61	63	59	56	63	67	80
4. OS Osnabrück	3	72	59	67	55	51	64	64	59	54	65	70	85
5. BO Bocholt	5	75	67	62	56	55	67	67	64	60	66	70	83
6. GE Gelsenkirchen	5	74	61	66	56	53	67	69	68	59	65	66	80
7. KS Kassel	4	77	66	66	57	49	63	68	61	55	66	77	87
8. TR Trier	4	70	61	65	52	49	60	61	59	53	66	69	85
9. WO Würzburg	5	73	63	62	53	51	56	61	55	54	65	69	75
10. MA Mannheim	4	75	60	64	53	47	58	61	57	50	66	66	78
11. PS Passau	4	74	51	58	55	48	54	59	53	49	58	77	80
12. ST Stuttgart	3	69	55	64	53	52	59	58	57	53	64	63	74
13. WS Weihenstephan	6	76	63	58	53	49	51	54	52	50	63	66	75
14. FB Freiburg	5	74	58	61	51	49	52	50	45	44	57	59	70
15. HP Hohenpeissenberg	7	59	52	53	52	50	51	50	49	46	49	55	60
A. \bar{x} aller 15 Stationen:		72	61	63	54	50	59	60	57	53	63	68	78
B. \bar{x} 13 St.(ohne NO+HP):		73	61	64	54	50	59	61	57	53	63	68	78
C. \bar{x} 5 St.NORD(ohne NO):		73	65	66	55	51	64	64	61	57	65	69	82
D. \bar{x} 4 St.SÜD (ohne HP):		73	57	60	53	50	54	55	52	49	61	66	75

DER JAHRESGANG DER DIFFUSANTEILE AN DER GLOBLASTRAHLUNG in graphischer Darstellung

100% GLOBALSTRAHLUNG



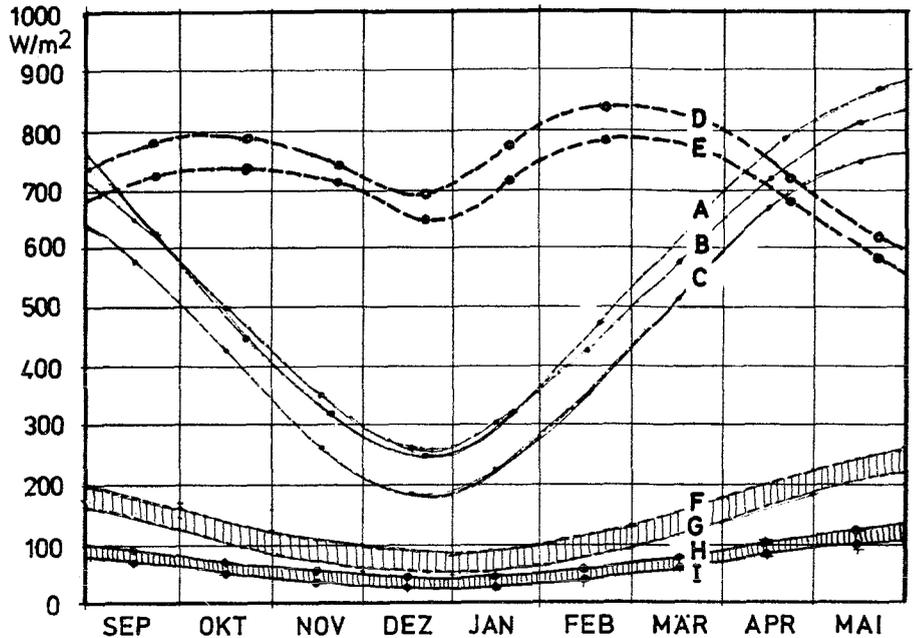
A-MITTEL VON 5 NORDEUTSCHEN STATIONEN (ohne NO)
 B-MITTEL DER 15 STATIONEN
 C-MITTEL VON 4 SÜDDEUTSCHEN STATIONEN (ohne HP)

ANTEILE DER DIFFUSSTRAHLUNG AN DER EINSTRAHLUNG AUF UNVERSCHATTETE VERTIKALE FLÄCHEN (in %)

		JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
Süd	48°/Süd-D.	26	21	36	50	69	81	77	57	32	27	22	25
	54°/Nord-D.	22	22	36	45	59	79	76	57	33	25	20	28
SO/SW	48°/Süd-D.	36	28	39	42	48	59	57	44	32	34	31	36
	54°/Nord-D.	31	30	40	41	45	64	62	49	35	33	29	39
O/W	48°/Süd-D.	66	48	52	47	43	49	50	45	42	54	61	70
	54°/Nord-D.	71	53	55	47	43	57	57	51	48	54	64	82
NO/NW	48°/Süd-D.	100	97	88	70	57	60	62	64	77	96	100	100
	54°/Nord-D.	100	99	90	72	57	67	69	70	82	97	100	100
Nord	48°/Süd-D.	100	100	100	100	91	87	90	98	100	100	100	100
	54°/Nord-D.	100	100	100	100	90	86	91	98	100	100	100	100

Monatsmittelwerte, gerechnet mit den Korrekturfaktoren (R+N) für den 48. und 54. Breitengrad und den mittleren Diffusanteilen an der Globalstrahlung für Süd- bzw. Norddeutschland.

JAHRESGANG DER INTENSITÄTEN DER SONNENSTRAHLUNG BEI WOLKENLOSEM UND TRÜBEM HIMMEL auf horizontale und vertikale Flächen um 1200 mittags (Maximalwerte) für Sept.bis Mai.



Intensitäten der Strahlung bei wolkenlosem Himmel

- auf horizontale Flächen: A Werte für den 50° NB, Großstadt (DIN 4710)
B Werte für Weihenstephan, Land (Quelle 6)
C Werte für Hamburg, Großstadt (Quelle 6)
- auf vertikale Südflächen: D Werte für den 50° NB, Großstadt (Din 4710)
E Werte für den 51° NB, Großstadt (Quelle 22)

(Die beiden Orte Hamburg und Weihenstephan markieren in etwa das Spektrum der Sonnenstrahlungsqualitäten in der BRD. Hamburg gilt als relativ sonnenscheinarme Großstadt, Weihenstephan im Süden (nahe München) liegt auf dem Land und gilt als sonnenscheinreich.)

Intensitäten der diffusen Strahlung bei bedecktem Himmel

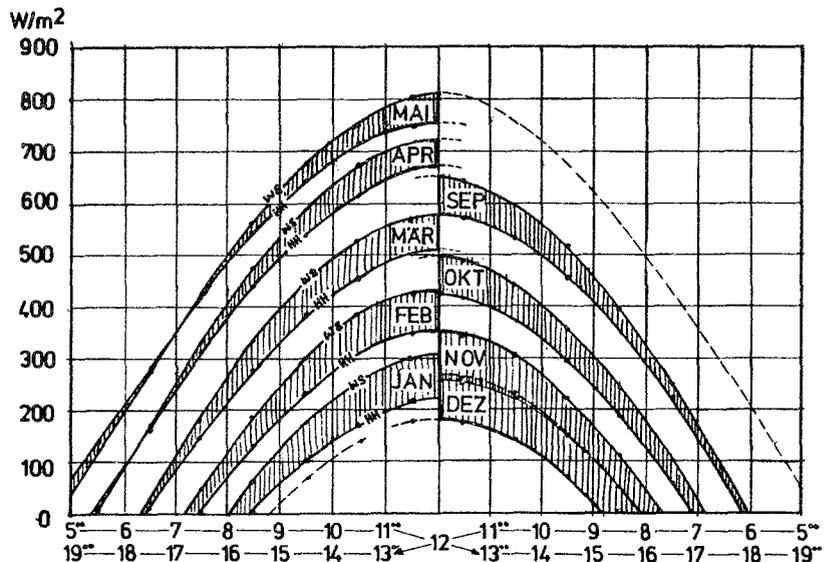
- auf horizontale Flächen F Werte für Weihenstephan (Quelle 6)
G Werte für Hamburg (Quelle 6)
- auf vertikale Flächen H Werte für Weihenstephan (nach Quelle 6)
I Werte für Hamburg (nach Quelle 6)

MITTLEREN MONATLICHE TAGESGÄNGE DER GLOBALSTRahlung BEI WOLKENLOSEM HIMMEL FÜR HAMBURG UND WEIHENSTEPHAN

Mittelwerte aus 10-jährigen Messungen. G(0) in W/m². Bezugs-tag ist der 15. jeden Monats. WO = wahre Ortszeit. (Quelle 6)

Monat	WOZ							
	19.30	18.30	17.30	16.30	15.30	14.30	13.30	12.30
Sep			78	222	352	459	533	572
Okt				65	193	297	371	410
Nov					46	148	219	254
Dez						73	142	176
Jan						8	105	175
Feb					4	132	238	307
März				8	151	282	387	461
Apr		19	168	310	438	543	615	675
Mai	6	143	285	420	544	645	715	751

Monat	WOZ							
	04.30	05.30	06.30	07.30	08.30	09.30	10.30	11.30
Sep			90	252	396	515	598	642
Okt				103	247	365	448	490
Nov					108	221	301	342
Dez						41	150	227
Jan						72	181	260
Feb					48	190	306	387
März				23	185	331	450	533
Apr		6	172	331	476	592	675	717
Mai		122	281	433	571	683	763	804



TAGESGÄNGE DER DIREKT- UND DIFFUSSTRALUNG AUF AUSSENFLÄCHEN
BEI WOLKENLOSEM HIMMEL (in W/m²) Werte für den 50. Breitengrad (Quelle 91).

bei reiner Atmosphäre: Korrekturfaktor $a = 1,15$ bei Industriatmosphäre: Korrekturfaktor $a = 0,87$
(Grundlagenwerte der VDI 2078)

Monatsmaxima Jahresmaxima

Jahreszeit	Strahlung		Richtung	Sonnenszeit in h																
	direkt	diffus		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
24. Jan. und 20. Nov.	T = 3	I	normal				192	438	584	663	679	663	584	438	192					
			NO			34														
			O			157	293	274	160											
			SO			188	431	541	542	449	312	152	17							
			S				110	317	490	604	636	604	490	317	110					
			SW					17	152	312	449	542	541	431	188					
			W									160	274	293	157					
			NW													34				
			N																	
			horiz.				9	77	158	220	240	220	158	77	9					
			H	vert.				13	41	59	70	73	70	59	41	13				
			horiz.				20	55	72	80	83	80	72	55	20					
20. Febr.	T = 3	I	normal			87	413	609	721	778	783	778	721	609	413	87				
			NO			38	100	14												
			O			83	350	416	354	198										
			SO			78	391	585	661	608	491	389	148							
			S			28	208	404	563	663	684	663	663	404	208	28				
			SW						148	369	491	608	661	585	391	78				
			W									198	354	416	350	83				
			NW											14	100	38				
			N																	
			horiz.			1	48	179	284	354	378	354	284	179	48	1				
			H	vert.			3	36	63	80	90	84	90	80	63	36	3			
			horiz.			5	52	74	86	92	93	92	86	74	52	5				
22. März	T = 3,3	I	normal			384	597	723	798	841	844	841	798	723	597	384				
			NO			210	201	90												
			O			371	516	514	398	220										
			SO			313	525	638	655	593	458	276	82							
			S			72	229	387	527	614	647	614	527	387	229	72				
			SW						92	276	458	593	655	638	525	313				
			W									220	398	514	516	371				
			NW											90	201	210				
			N																	
			horiz.			66	194	328	445	529	542	529	445	328	194	66				
			H	vert.			41	69	91	107	117	121	117	107	91	69	41			
			horiz.			56	83	97	105	106	110	106	106	97	83	56				
20. April	T = 3,8	I	normal		307	525	683	776	825	854	862	854	825	776	683	525	307			
			NO		240	328	292	159												
			O		301	498	579	536	404	219										
			SO		186	377	526	597	592	518	383	209	20							
			S			34	166	311	433	516	542	516	433	311	166	34				
			SW						20	209	383	518	592	597	526	377	186			
			W									219	404	536	579	498	301			
			NW											159	292	328	240			
			N			37														37
			horiz.		48	162	320	466	572	643	670	643	572	466	320	162	48			
			H	vert.		37	66	93	114	128	137	141	137	128	114	93	66	37		
			horiz.		53	84	102	112	119	121	122	121	119	112	102	84	53			
21. Mai und 23. Juli	T = 4	I	normal	209	398	573	690	769	813	836	845	836	813	769	690	573	398	209		
			NO	194	326	378	328	198	35											
			O	190	373	516	563	505	378	207										
			SO	76	201	352	468	515	498	423	299	129								
			S				99	224	327	391	422	391	327	224	99					
			SW							129	299	423	498	515	468	352	201	76		
			W									207	378	505	563	516	373	190		
			NW										35	198	328	378	326	194		
			N	85	86	17														85
			horiz.	23	102	241	385	534	641	709	733	709	641	534	385	241	102	23		
			H	vert.	30	58	86	110	131	147	156	158	156	147	131	110	86	58	30	
			horiz.	45	80	100	120	131	137	142	142	142	137	131	120	100	80	45		

Jahreszeit	Strahlung		Richtung	Sonnenszeit in h																			
	direkt	diffus		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
21. Juni T = 4			normal	17	256	442	608	715	778	823	844	850	844	823	778	715	608	442	256	17			
			NO	17	238	366	415	351	227	57													
			O	14	228	405	541	566	507	372	198												
			SO	2	83	204	349	450	488	468	393	272	112										
			S					70	184	290	356	385	356	290	184	70							
			SW									112	272	393	468	488	450	349	204	83	2		
			W											198	372	507	566	541	405	228	14		
			NW												57	227	351	415	366	238	17		
			N	10	112	119	51											51	119	112	10		
			horiz.	1	38	136	276	429	559	673	739	758	739	673	559	429	276	136	38	1			
			vert.	1	36	67	92	115	134	149	157	159	157	149	134	115	92	67	36	1			
			horiz.	3	58	91	107	121	129	136	138	140	138	136	129	121	107	91	58	3			
24. Aug. T = 3,9			normal			270	480	640	734	785	815	823	815	785	734	640	480	270					
			NO			209	300	273	151														
			O			284	456	543	507	385	208												
			SO			163	345	493	565	563	494	365	200	19									
			S				31	156	293	412	493	518	493	412	293	156	31						
			SW							19	200	365	494	563	565	493	345	163					
			W										208	385	507	543	456	264					
			NW												151	273	300	209					
			N			33													33				
			horiz.			42	149	300	441	544	614	640	614	544	441	300	149	42					
			vert.			37	66	94	115	129	138	142	138	129	115	94	66	37					
			horiz.			55	87	107	117	124	128	129	128	124	117	107	87	55					
22. Sept. T = 3,7			normal				326	507	663	740	784	789	784	740	663	507	326						
			NO				179	171	83														
			O				314	480	470	369	206												
			SO				265	447	584	606	554	427	257	85									
			S				60	195	355	488	572	604	572	488	355	195	60						
			SW							85	257	427	554	606	584	447	265						
			W										206	369	470	480	314						
			NW												83	171	179						
			N																				
			horiz.				56	165	301	413	493	506	493	413	301	165	56						
			vert.				41	71	92	105	119	122	119	105	92	71	41						
			horiz.				58	91	102	113	117	119	117	113	102	91	58						
23. Okt. T = 3,4			normal				58	355	544	656	715	733	715	656	544	355	58						
			NO				26	85	13														
			O				56	297	372	323	181												
			SO				53	331	522	591	561	454	340	134									
			S				19	177	359	513	609	641	609	513	359	177	19						
			SW							134	340	454	561	591	522	331	53						
			W										181	323	372	297	56						
			NW												13	85	26						
			N																				
			horiz.				1	41	159	259	326	349	326	259	159	41	1						
			vert.				3	37	65	81	93	96	93	81	65	37	3						
			horiz.				5	55	80	93	100	101	100	93	80	55	5						
20. Dez.			normal					326	498	586	611	586	498	326									
			NO							212	229	140											
			SO						322	465	485	413	288	142	23								
			S					245	430	547	585	547	430	245									
			SW					23	142	288	413	485	465	322									
			W									140	229	212									
NW																							
N																							
horiz.						37	105	157	176	157	105	37											
vert.						28	48	59	63	59	48	28											
horiz.						41	63	72	76	72	63	41											

MONATLICHE SONNENSCHINDAUER VON 16 STANDORTEN
(in Stunden) (Mittelwerte aus 5-jährigen Messungen 1976-80)
(Quelle 5)

	JAN	FEB	MÄR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
1. Norderney	37	70	127	177	217	249	219	229	150	82	51	37
2. Hamburg	40	62	118	162	211	246	213	226	144	93	48	37
3. Braunschweig	47	59	115	150	202	219	204	211	141	99	51	31
4. Braunlage	50	67	109	150	186	201	201	192	132	105	48	40
5. Berlin	43	62	136	150	208	225	222	229	162	99	51	34
6. Bocholt	44	63	108	132	232	191	176	176	132	100	56	44
7. Essen	43	68	96	155	221	175	162	170	125	103	57	40
8. Maastrich (Aa)	40	62	96	144	186	183	183	189	144	99	57	37
9. Bonn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10. Trier	40	67	109	159	189	198	216	198	156	96	42	37
11. Geisenheim	42	59	116	182	225	201	192	193	148	82	54	47
12. Freiburg	44	66	116	156	205	218	218	222	182	113	69	56
13. Nürnberg	39	76	129	165	243	224	204	204	145	110	52	43
14. Würzburg	37	70	115	162	198	210	219	205	165	102	45	37
15. Weihenstephan	53	76	124	156	202	204	222	208	174	124	63	43
16. Hohenpeissenberg	99	95	133	156	192	222	208	186	161	93	90	
Ø 15 Stationen	47	68	116	157	201	209	205	204	152	105	56	44

MONATLICHE DURCHSCHNITTS-AUSSENLUFT-TEMPERATUREN (1931-60)
(in °C) (Quelle 5)

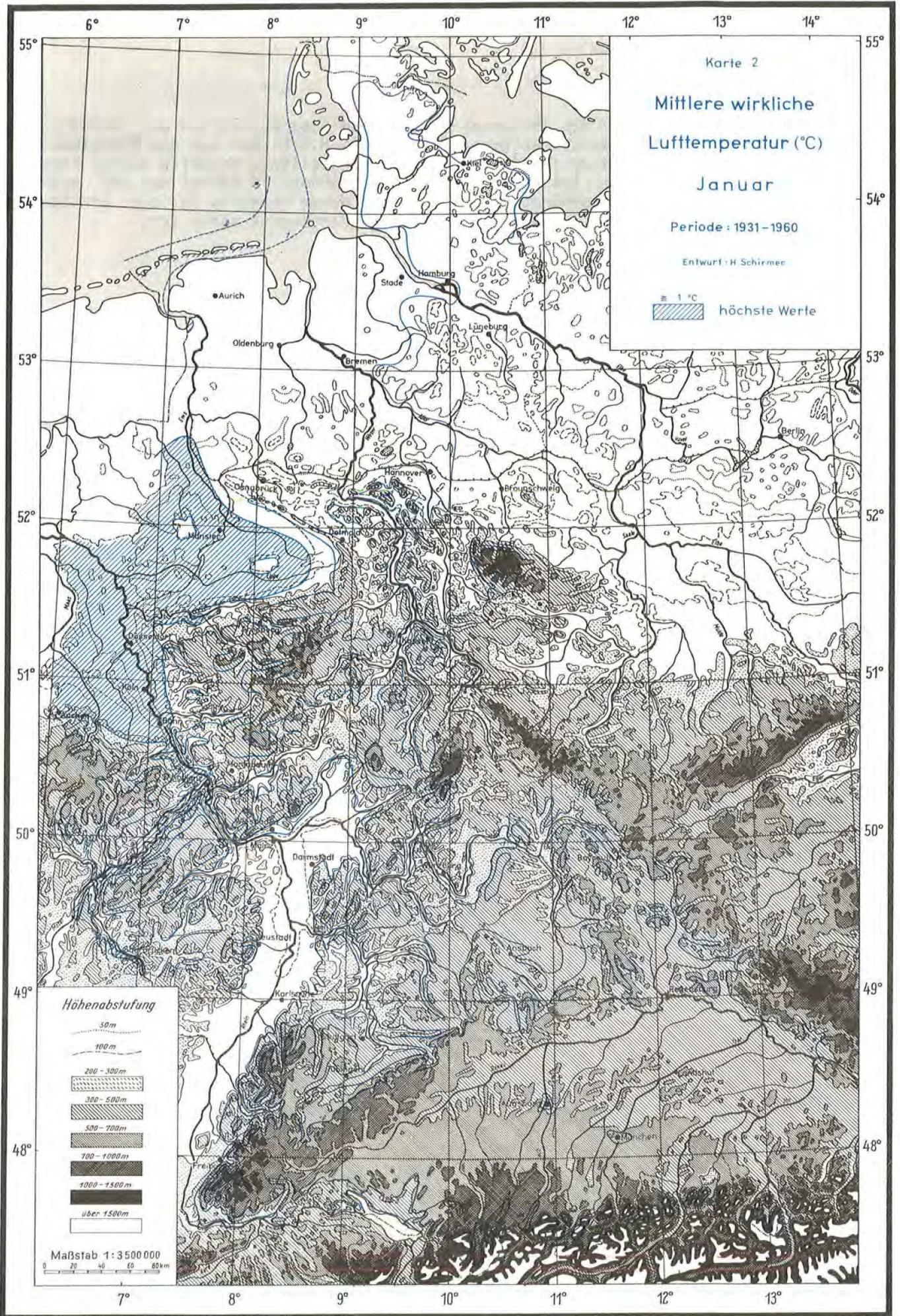
	JAN	FEB	MÄR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
1. Norderney	1.4	1.6	3.7	7.2	11.0	14.4	16.8	17.1	14.9	10.6	6.3	3.2
2. Hamburg	0.0	0.3	3.3	7.5	12.0	15.0	17.0	16.6	13.5	9.1	4.9	1.8
3. Braunschweig	-0.1	0.4	3.9	8.3	12.9	16.1	17.6	17.2	14.0	9.2	5.0	1.6
4. Braunlage	-2.7	-2.3	1.0	5.0	9.9	13.0	14.6	14.1	11.3	6.6	1.9	-1.0
5. Berlin	-0.6	0.0	3.6	8.7	13.8	17.0	18.5	17.7	13.9	8.9	4.5	1.1
6. Bocholt	1.5	1.8	4.8	8.4	12.6	15.7	17.4	17.0	14.2	9.7	5.7	2.7
7. Essen	1.5	1.9	5.3	8.9	13.1	16.0	17.5	17.3	14.6	10.0	5.8	1.0
8. Maastrich (Aa)	1.8	2.2	5.6	8.9	12.9	16.0	17.6	17.2	14.5	10.1	6.0	3.1
9. Bonn	1.8	2.6	6.0	10.0	14.2	17.2	18.8	18.2	15.3	10.5	6.2	3.0
10. Trier	0.6	1.4	5.5	9.0	13.1	16.1	17.8	17.2	14.4	9.4	5.1	1.6
11. Geisenheim	0.7	1.7	5.8	9.9	14.2	17.2	18.8	18.1	14.8	9.7	5.4	1.9
12. Freiburg	1.1	2.1	6.4	10.4	14.8	18.1	19.8	19.1	15.9	10.3	5.4	1.8
13. Nürnberg	-1.4	-0.4	3.7	8.2	13.0	16.5	18.0	17.3	13.8	8.4	3.7	0.0
14. Würzburg	-0.6	0.5	4.7	9.3	13.5	16.7	18.4	17.8	14.4	9.2	4.3	0.8
15. Weihenstephan	-2.4	-1.5	2.8	7.4	11.8	15.0	16.6	16.1	13.0	6.6	2.4	-1.1
16. Hohenpeissenberg	-2.2	-1.6	1.9	5.6	9.8	13.1	15.1	14.7	12.1	7.0	2.5	-0.8
Ø 16 Stationen	-0.1	0.6	4.3	8.3	12.7	15.8	17.5	17.0	14.0	9.1	4.7	1.4

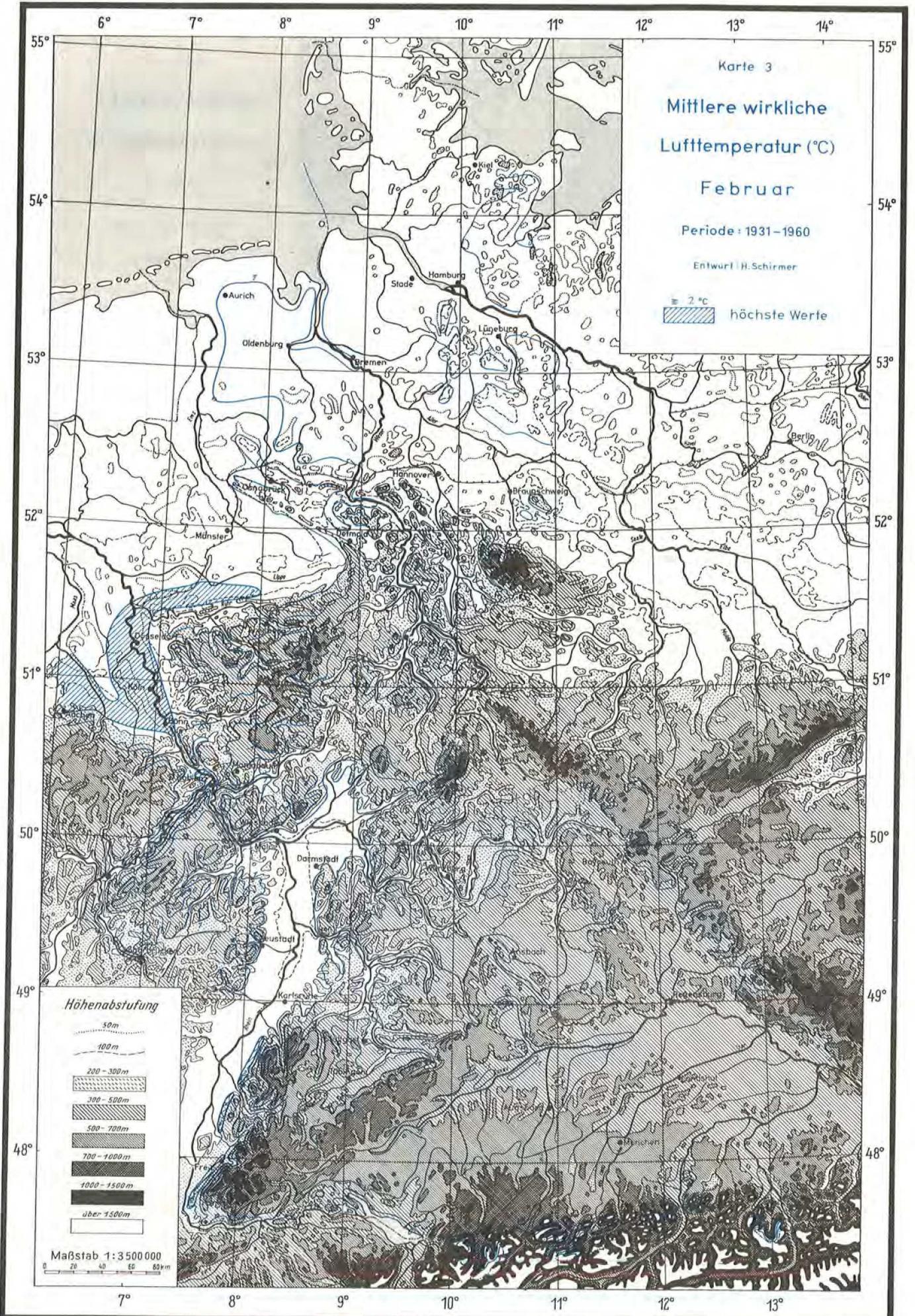
TEMPERATURDIFFERENZEN IM MONATSDURCHSCHNITT FÜR DAS JAHR 1975
(in K = Kelvin) (Differenz zwischen mittleren Maxima- und Minima-Tageswerten)
(Quelle 4)

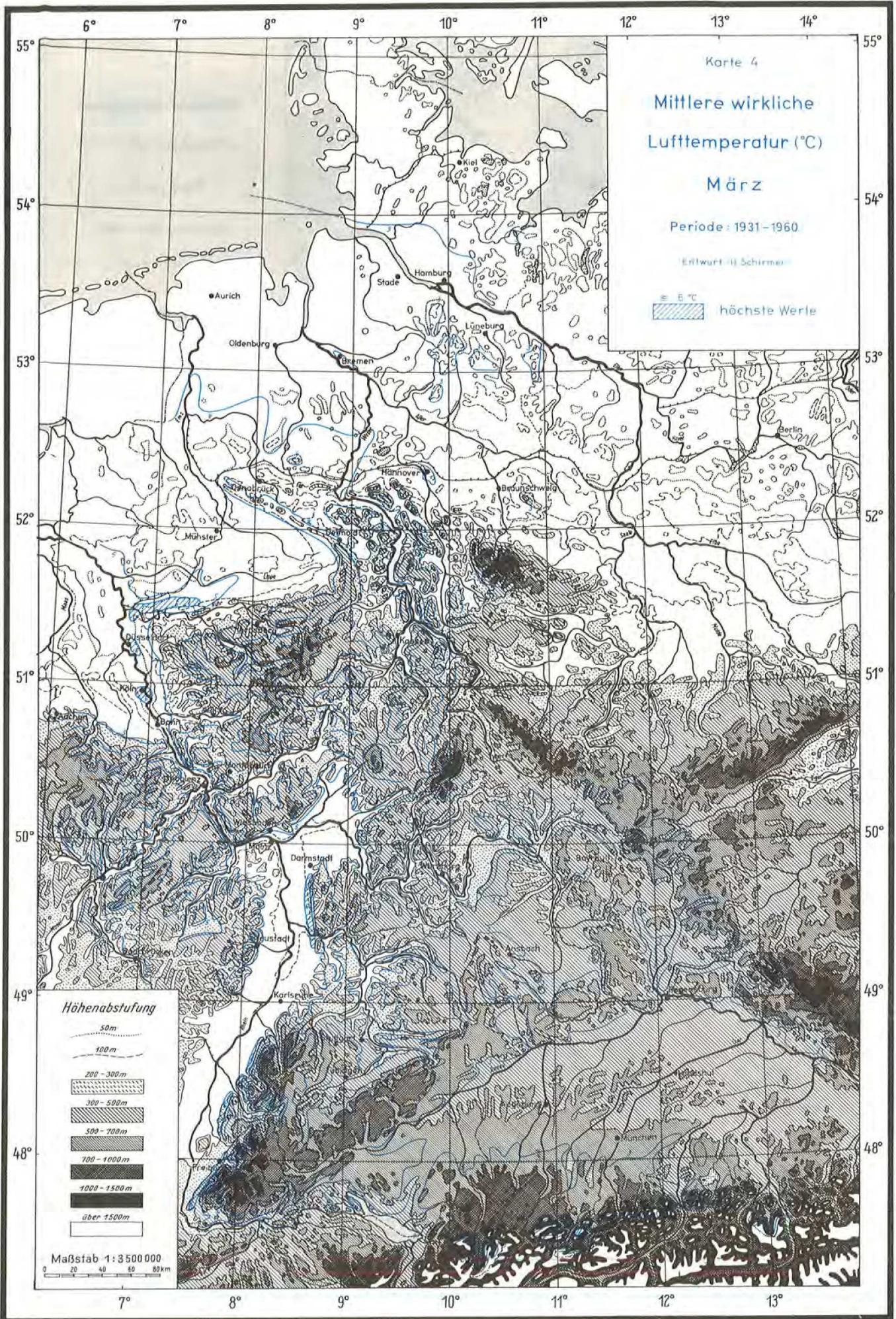
	JAN	FEB	MÄR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
1. Norderney	3.3	4.9	4.6	5.0	5.0	5.0	4.8	5.7	5.5	4.1	3.4	2.4
2. Hamburg	4.5	7.3	6.3	8.0	9.3	11.0	11.4	12.5	10.5	5.6	5.5	4.6
3. Braunschweig	4.5	6.7	7.0	7.6	9.5	10.1	11.0	12.4	10.7	6.1	5.1	4.0
4. Braunlage	4.2	7.6	5.8	6.8	8.6	8.1	8.8	9.1	9.1	6.3	4.8	3.9
5. Berlin	4.5	6.4	7.5	8.4	10.6	10.3	11.0	11.3	10.3	5.0	4.9	3.9
6. Bocholt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7. Essen	4.1	6.8	4.9	6.6	8.7	8.6	9.3	10.1	7.8	6.3	4.2	3.2
8. Maastrich (Aa)	4.3	8.1	5.2	5.3	9.6	9.2	10.0	10.4	8.3	6.0	5.0	3.6
9. Bonn	5.6	10.5	7.1	8.6	11.9	11.5	11.4	12.7	10.3	8.2	6.7	5.4
10. Trier	2.9	8.9	6.3	6.2	11.0	10.0	10.7	11.3	9.4	6.8	6.0	4.6
11. Geisenheim	5.3	7.5	6.8	8.0	10.2	9.7	10.3	10.5	9.6	5.6	5.2	4.5
12. Freiburg	5.8	8.7	6.1	9.2	9.8	9.0	10.3	10.0	8.9	6.7	5.4	5.8
13. Nürnberg	5.5	9.9	9.4	10.2	12.1	11.2	11.9	11.6	10.9	7.2	5.6	4.8
14. Würzburg	5.6	8.7	8.2	9.5	12.3	11.3	12.1	11.8	11.5	6.3	5.9	4.7
15. Weihenstephan	5.6	7.7	8.0	8.4	10.8	9.4	10.7	9.6	10.6	7.1	5.3	5.1
16. Hohenpeissenberg	5.5	6.9	5.5	8.7	7.8	7.1	8.2	7.3	7.8	6.1	4.5	4.7
Ø 15 Stationen	4.8	7.9	7.0	7.9	10.0	10.2	10.2	10.4	9.4	6.2	5.2	4.3

ISOZONEN-KARTEN DER MITTLEREN MONATLICHEN AUSSENTEMPERATUREN
(Quelle 13)

Auf den folgenden Seiten sind Isozonen-Karten der monatlichen Aussentemperaturen, die H.Schirmer aus den Mittelwerten 30-jähriger Messungen herstellte. Mithilfe dieser Karten lassen sich für jeden Standort im Gebiet der BRD Aussentemperaturwerte ablesen, deren Kenntnis für die Ermittlung der monatlichen Wärmebedarfswerte nötig ist.
(Quelle 13)







Karte 4

Mittlere wirkliche
Lufttemperatur (°C)

März

Periode: 1931-1960

Entwurf: H. Schirmer

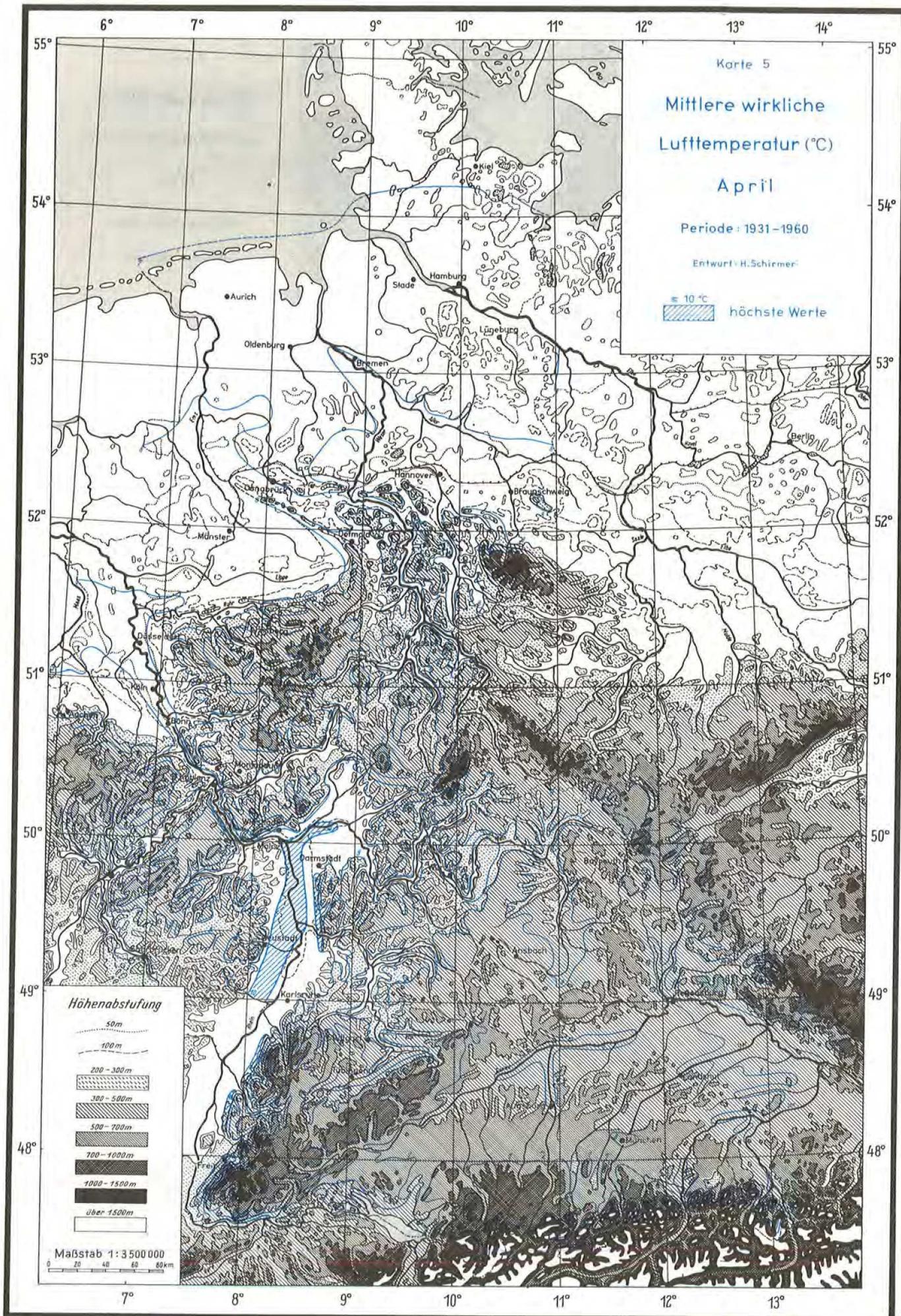
☐ E °C
▨ höchste Werte

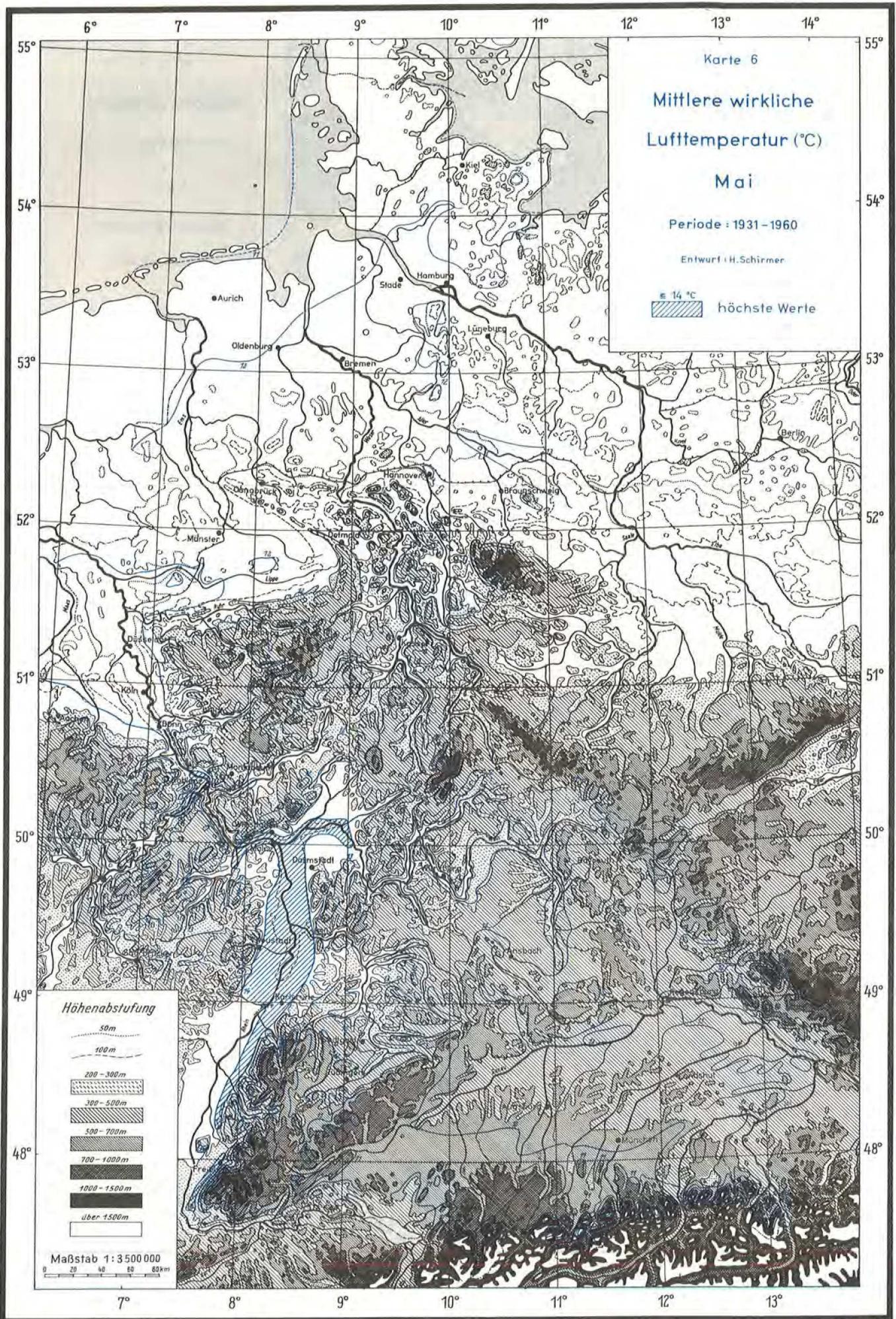
Höhenabstufung

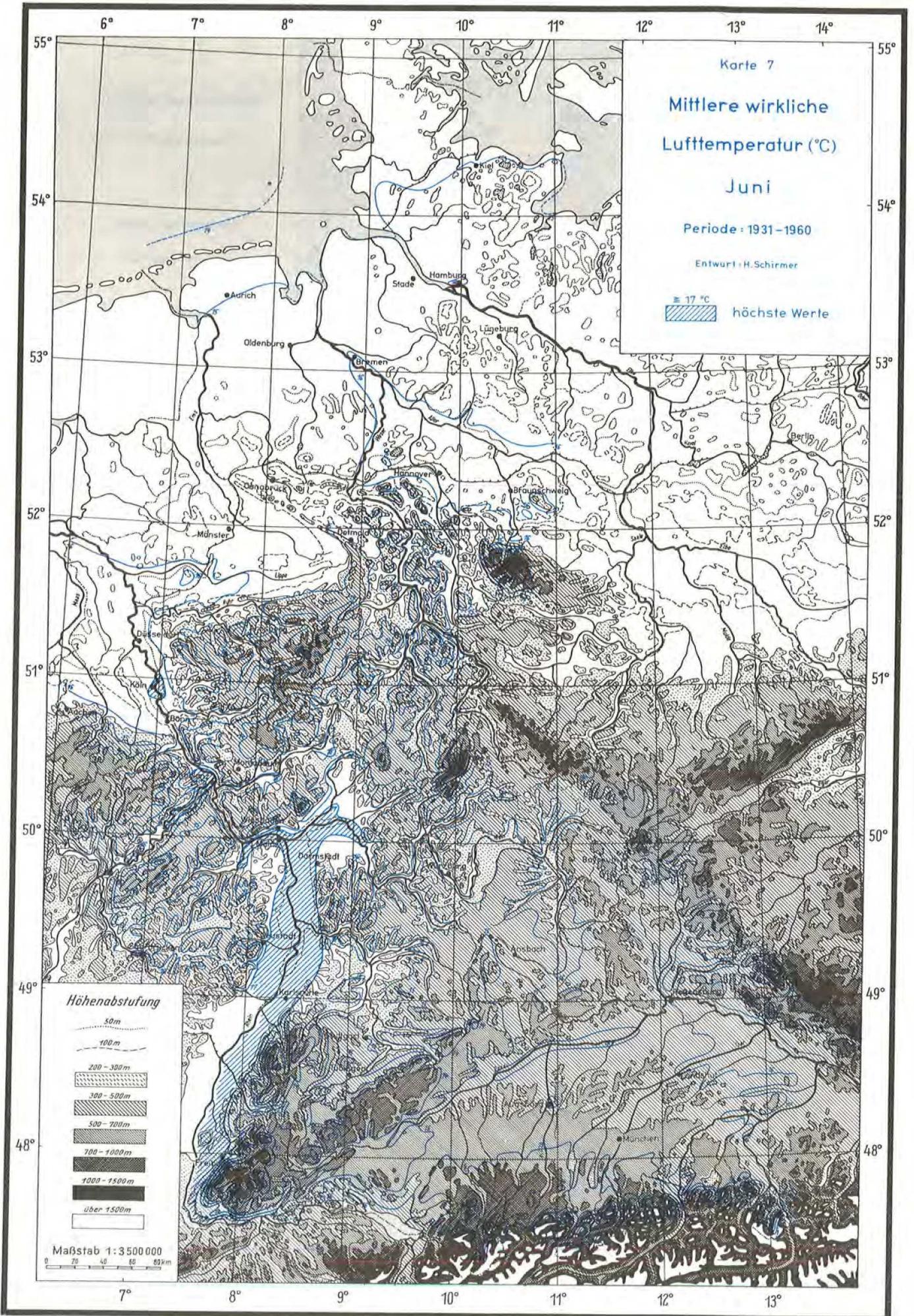
- 50 m
- 100 m
- 200 - 300 m
- 300 - 500 m
- 500 - 700 m
- 700 - 1000 m
- 1000 - 1500 m
- über 1500 m

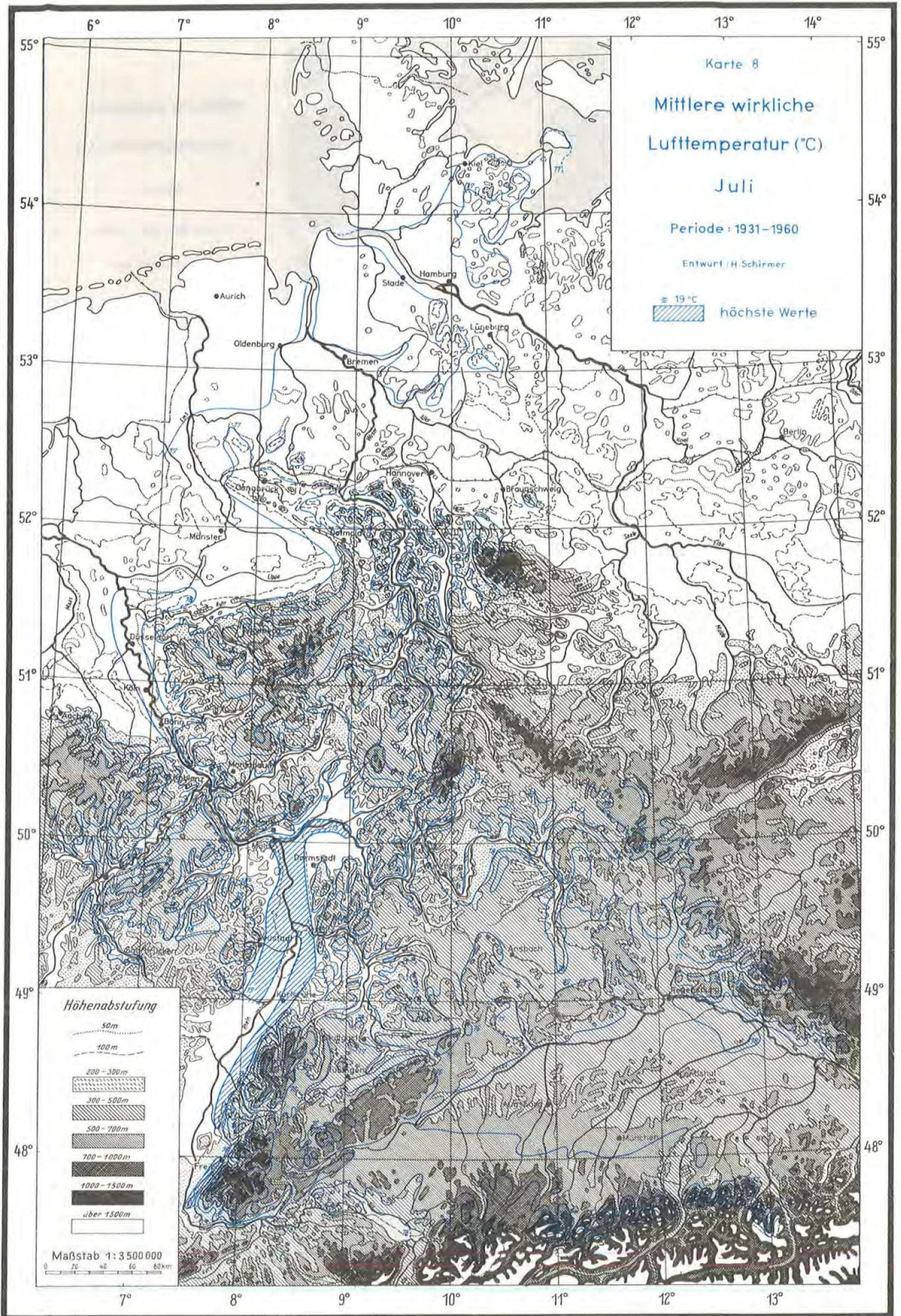
Maßstab 1:3 500 000

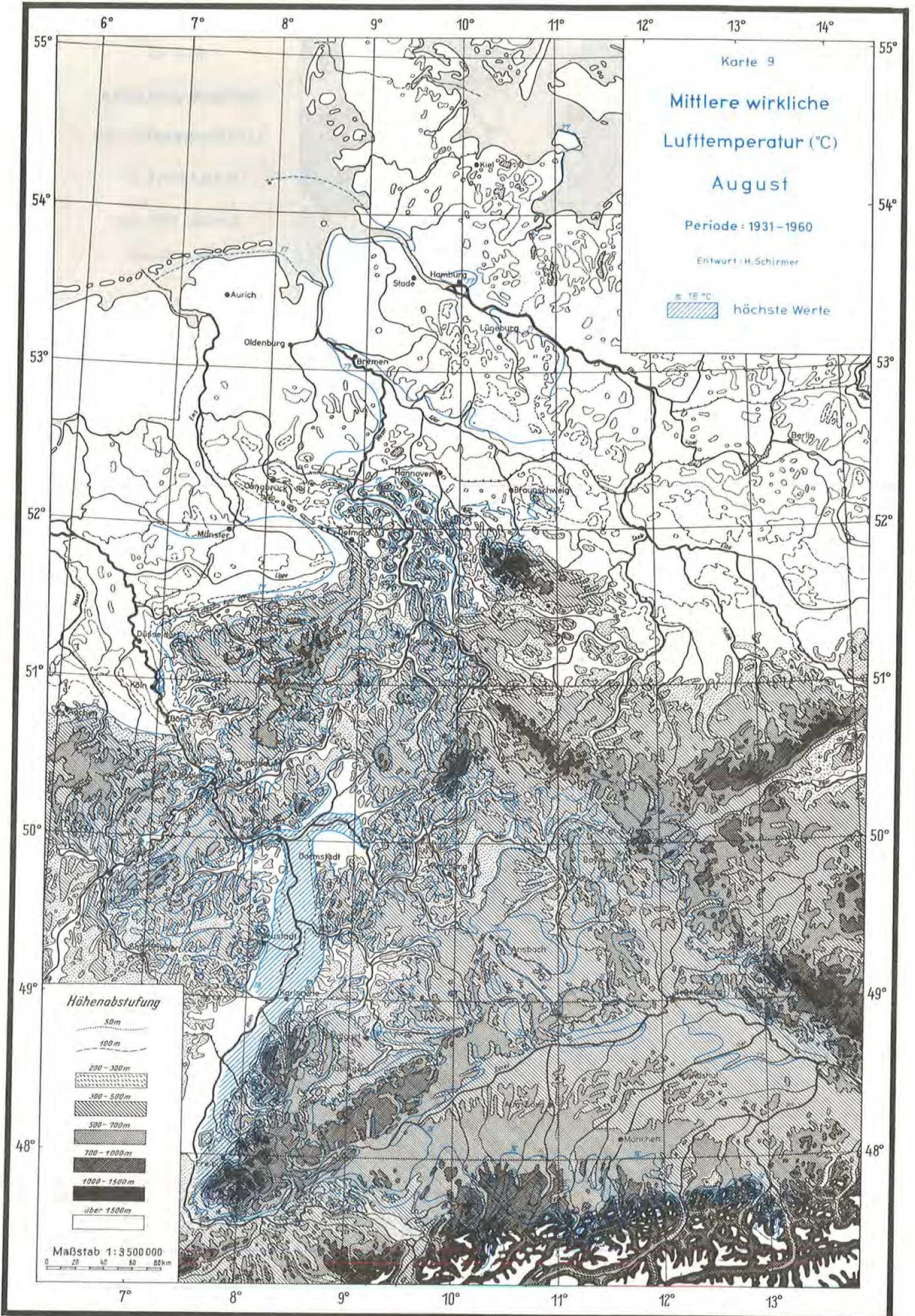
0 20 40 60 80 km

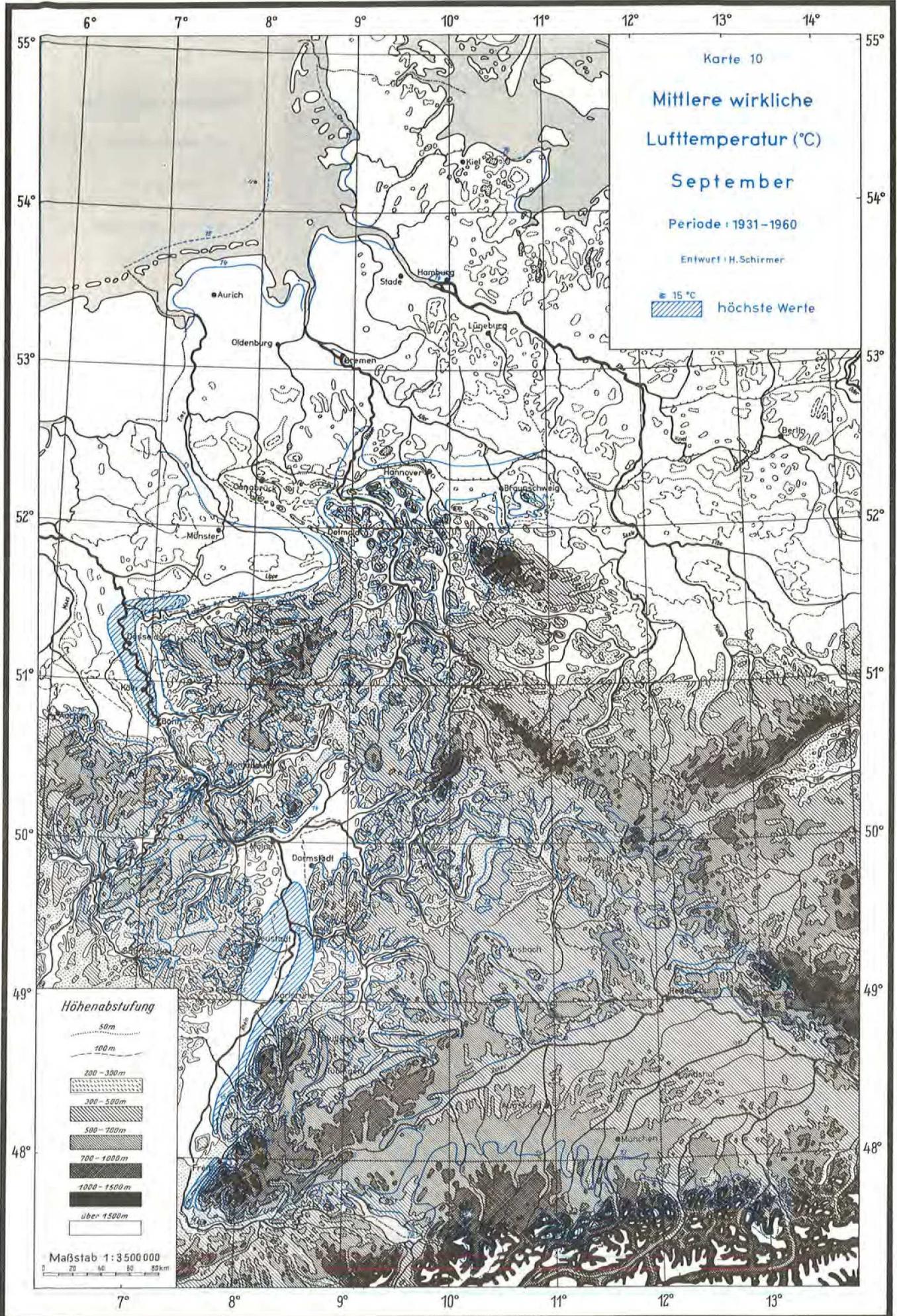


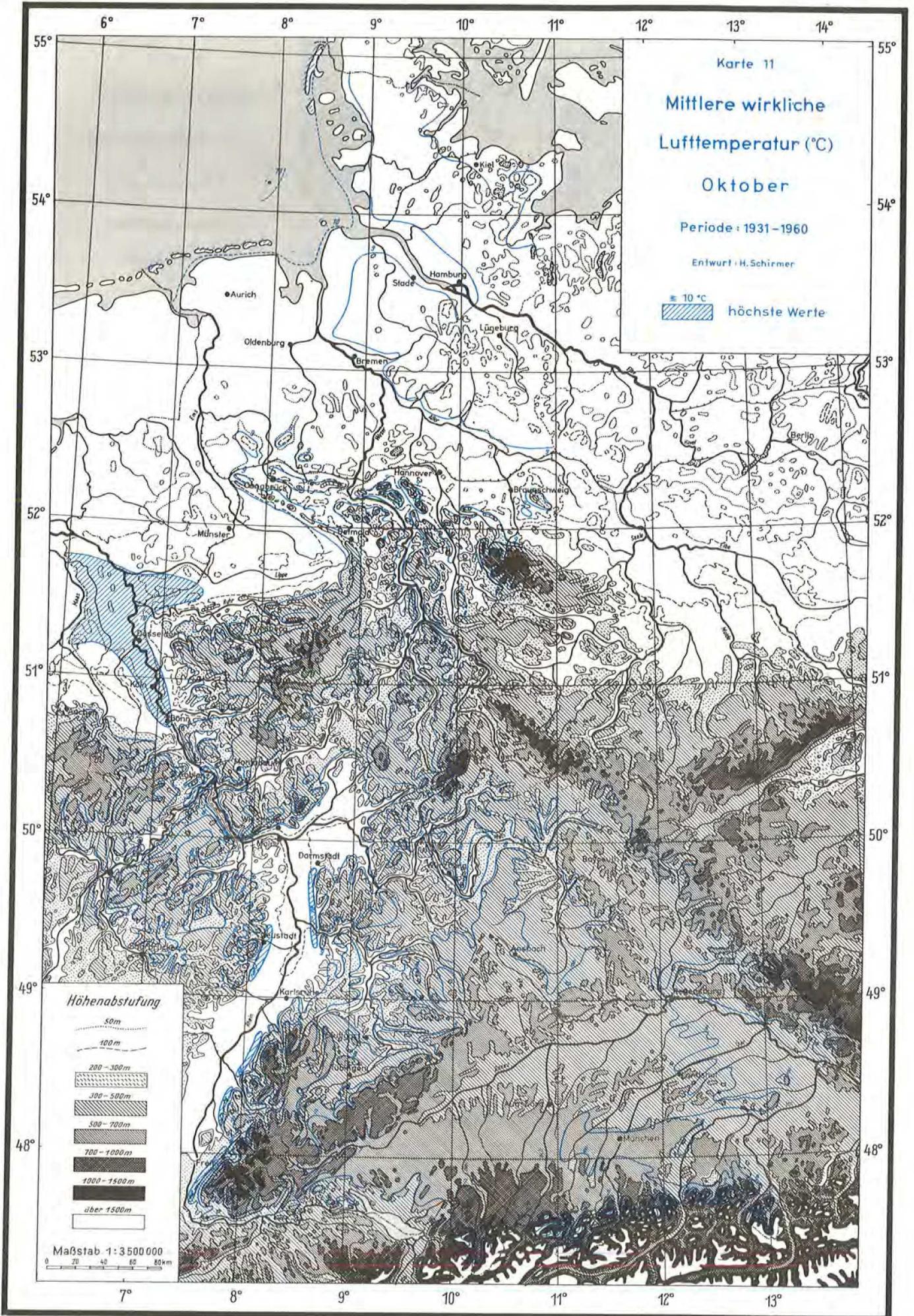


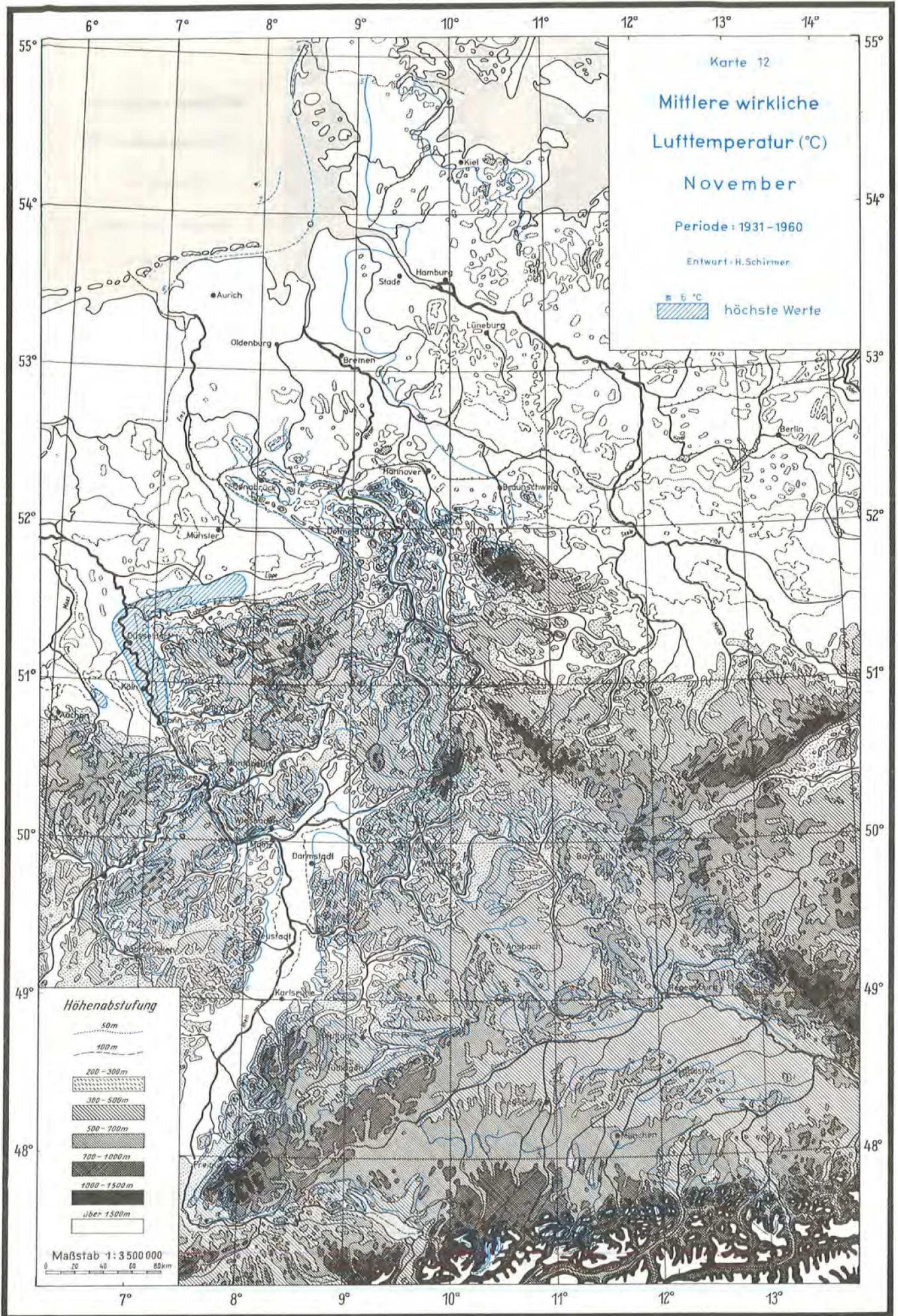


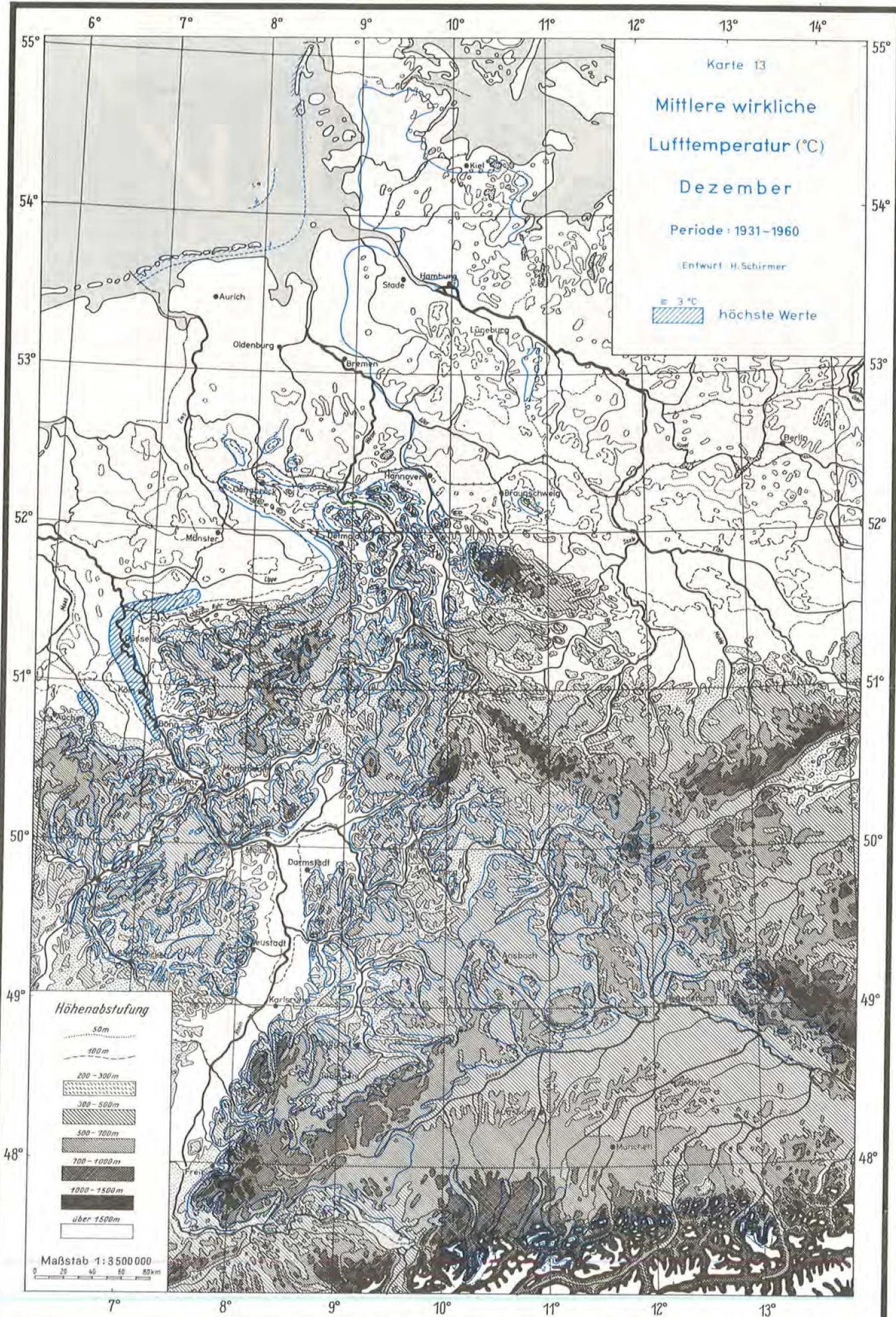


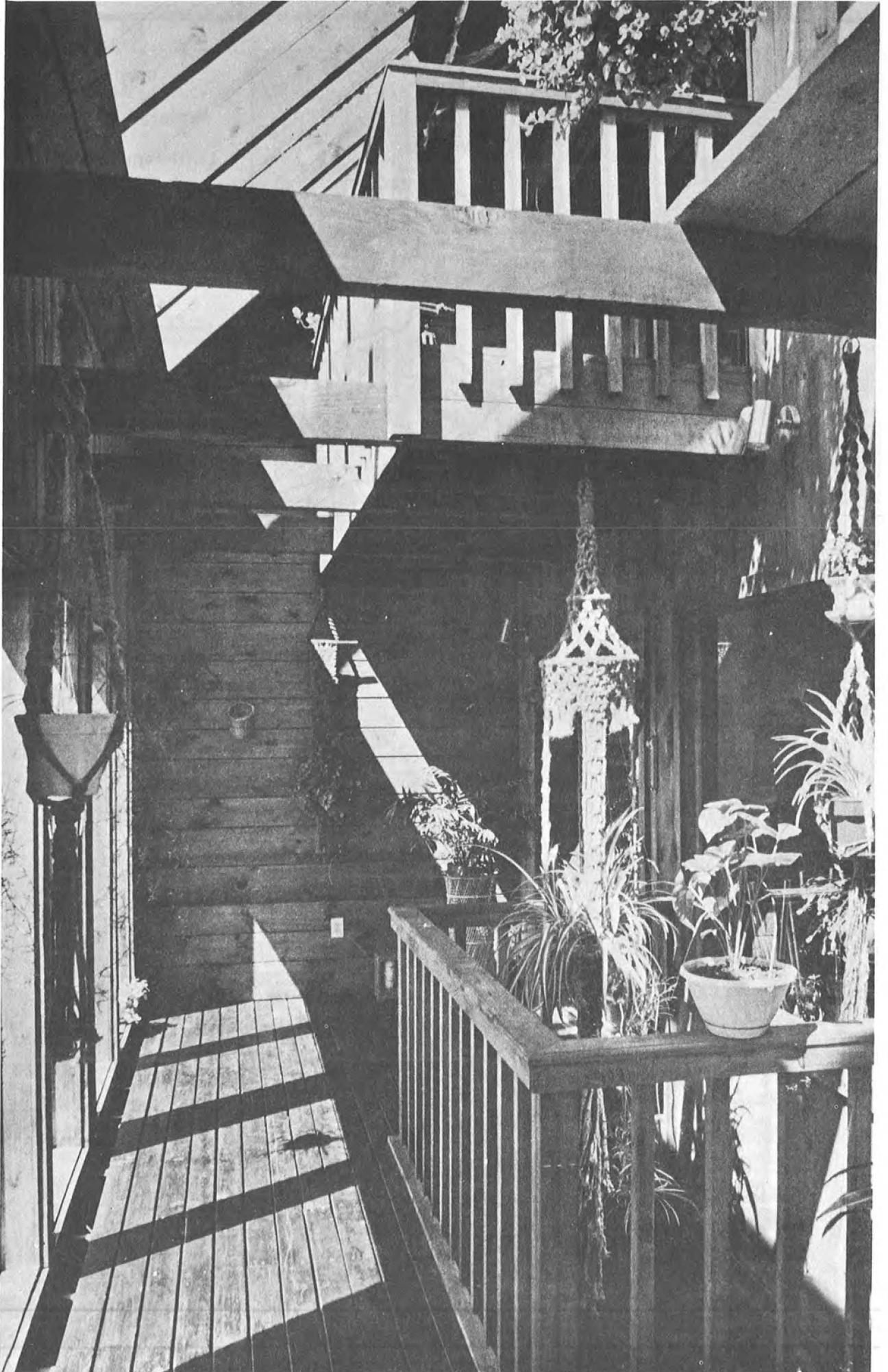












6.2 ERLÄUTERUNGEN ZU DEN BERECHNUNGSVERFAHREN UND MODELL-RECHNUNGEN

DIE PRÄMISSEN ZUR BERECHNUNG DER KORREKTURFAKTOREN ZUR ERMITTLUNG DER STRAHLUNG AUF FLÄCHEN MIT UNTERSCHIEDLICHER HIMMELSRICHTUNG UND NEIGUNG

1. Die Berechnung wurde für folgende Neigungswinkel der Fläche gegen die Horizontale durchgeführt:

0 - 15 - 30 - 45 - 60 - 75 - 90 °

Und für folgende Himmelsrichtungen (Orientierungen):

Süd - Südsüdwest - Südwest - Westsüdwest - West
(= Südsüdost - Südost - Ostsüdost - Ost)

2. Die Berechnungen berücksichtigen eine generelle Horizontverschattung (durch Gelände, Bebauung, Bepflanzung) von 5°, d.h. sie beginnen erst, wenn die Sonne höher als 5° über dem Horizont steht, und enden ebenso bei einem Sonnenstand von 5° über Horizont. Diese Verschattung ist auch die Ursache dafür, daß auch die 0°-Flächen einen Korrekturfaktor enthalten, d.h. daß ihre Einstrahlungswerte unter den Globalstrahlungswerten liegen.

3. Für die Absorption wurde zwischen 0-50° Normalenwinkel ein Faktor 1 angenommen, zwischen 50-85° eine lineare Abnahme, bis auf NULL bei 85° (und darüber).

4. Die Strahldichtevertelung der Diffustrahlung über das Himmelsgewölbe wurde nach Aydinli (Quelle 8) angenommen. Gegenüber der Annahme einer gleichmäßigen Strahldichtevertelung (Quelle 88) ergeben sich für vertikale Flächen Abweichungen von max. 5 - 8 %.

5. Für die Diffusstrahlung wurden die vorhandenen mehrjährigen Meßwerte (Stand 1-1983) der Diffusstrahlung von 15 Stationen der Bundesrepublik eingesetzt.

Dabei wurde der Mittelwert aus den Meßdaten der fünf süddeutschen Stationen (siehe auch Seite 220) jeweils für die Berechnung der Korrekturfaktoren des 47., 48. und 49. Breitengrads verwendet, die Mittelwerte der mitteldeutschen Stationen für die Korrekturfaktoren des 50. und 51. Breitengrads, sowie die Mittelwerte aus den 6 norddeutschen Stationen für die Korrekturfaktoren des 52., 53. und 54. Breitengrads benutzt.

6. Für die Bodenreflexion wurde ein Faktor von 0,2 in die Rechnung mit einbezogen.

ANMERKUNG ZUM BERECHNUNGSVERFAHREN DER EINSTRALUNG AUF FLÄCHEN UNTERSCHIEDLICHER RICHTUNG UND NEIGUNG AUF DER BASIS DER GEMESSENEN SONNENSCHEINDAUER.

Messungen der Sonnenscheindauer werden an sehr vielen Standorten und seit vielen Jahren durch den Deutschen Wetterdienst durchgeführt. Es liegt nahe, diese gute Meßdatenbasis für die Berechnung des örtlichen Strahlungsangebots zu nutzen.

Krochmann und Aydinli (Quelle 8,76) haben auf der Basis der Mittelwerte der gemessenen Sonnenscheindauer, der Sonnenscheinwahrscheinlichkeit (im Tagesverlauf) und der Strahlungsstärke des "mittleren bewölkten" Himmels Berechnungen der Globalstrahlung und der Einstrahlung auf Flächen unterschiedlicher Richtung und Neigung für die selben 9 Standorte durchgeführt, deren Globalstrahlungsdaten dem deutschen Teil des "Atlas über die Sonneneinstrahlung Europas" (Band 1) zugrunde liegen.

Diese Rechenergebnisse sind Grundlage für den Band 2 des "Atlas .." (Strahlung auf geneigte Flächen). Bei der Übertragung dieser Strahlungsdaten von 9 Standorten auf Flächen (Isokarten) ergibt sich das gleiche Fehlerproblem wie bei der Globalstrahlung.

ANMERKUNG ZUM KOSINUS-STUNDEN-VERFAHREN

"Die Kosinus-Stunden sind ein Maß für die geometrische Eignung einer Fläche zum Empfang von direkter Strahlung. Unter idealen Witterungsbedingungen ist die eingestrahlte Energiemenge deshalb proportional zur berechneten Kosinus-Stunden-Zahl. Mit zunehmendem diffusen Anteil in der Strahlung wird dieser Zusammenhang jedoch schlechter. Im Intensitätsbereich, der für die Nutzung der Sonnenenergie mit passiven und aktiven Systemen von Bedeutung ist, kann die Proportionalität der Einstrahlung zur Kosinus-Stunde jedoch in guter Nähe angenommen werden." (Quelle 85)

MODELLRECHNUNG ZUM VERGLEICH DER WÄRMEBILANZEN UND DES SOLAREN BEITRAGS ZUR RAUMERWÄRMUNG VON SONNENFENSTERN BEI UNTERSCHIEDLICHEN VERGLASUNGSARTEN, FENSTERFLÄCHENANTEILEN, HIMMELSRICHTUNGEN UND HAUSTYPEN.

Parameter:

1. REFERENZ-MODELLHAUS

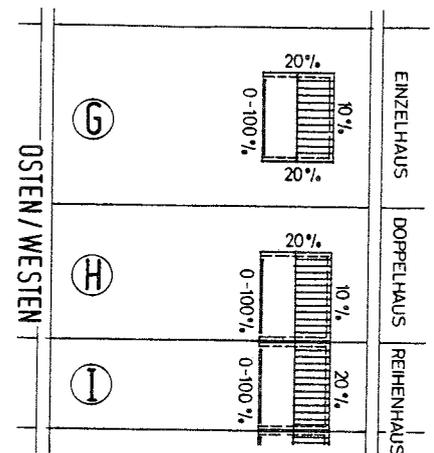
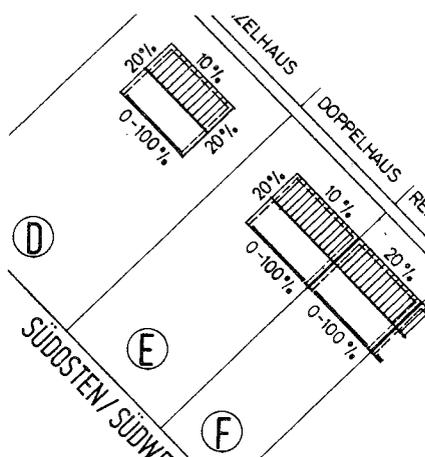
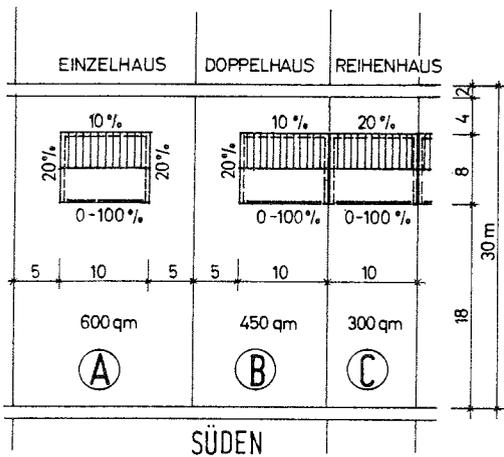
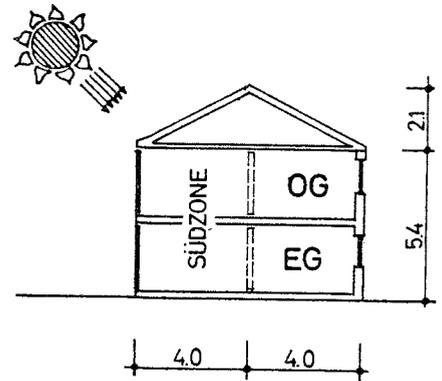
Zweigeschossig, Grundfläche 8 x 10 m, Außenwandhöhe 5,40 m, Satteldach 30°, Nutzfläche 128 qm, Gesamtaußenfläche 354 qm, Volumen 432 cbm, A:V = 0,82

- k-Wert Außenwand = 0,33 W/qmK
- k-Wert Dach = 0,25 W/qmK
- k-Wert Boden = 0,40 W/qmK
- Luftwechselrate = 0,5

2. HAUSTYPEN: -Einzelhaus (Haustypen A,D,G)
 -Doppelhaus-Hälfte (B,E,H)
 -Reihenhaus (C,F,I)

3. HIMMELSRICHTUNGEN des Hauses = Richtung der primären Kollektor-Fensterfläche ("Südwand"):

Süd - Südost/Südwest - Ost/West



4. FENSTERFLÄCHENANTEILE der primären Kollektor-Fensterfläche (Gesamtfläche 54 qm):

0 - 25 - 50 - 75 - 100 %

Fensterflächenanteile der übrigen Hauswände je nach Haustyp und Orientierung 10-30 %

5. VERGLASUNGSARTEN

Glasflächenanteil $g_f = 0,8$ (80 %), Holzrahmen

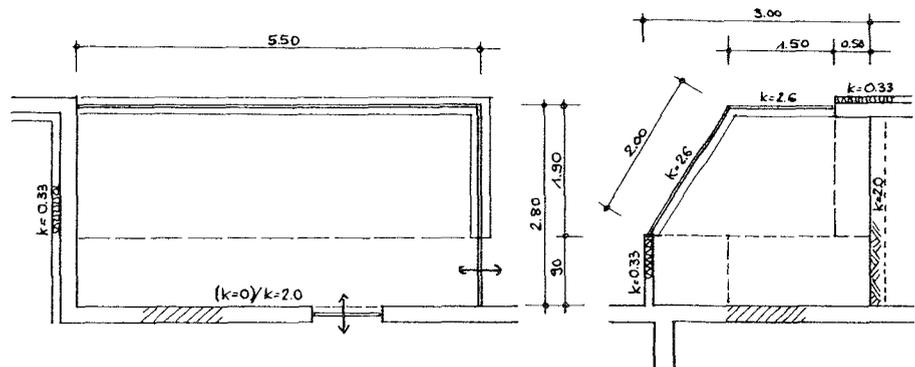
		g	km
2-fach Isolierglas	oD	0,8	2,6
2-fach Wärmeschutzglas	oD	0,61	1,4
3-fach Isolierglas	oD	0,7	2,1
2-fach Isolierglas	oD-a	0,8	2,2
2-fach Wärmeschutzglas	oD-a	0,61	1,26
3-fach Isolierglas	oD-a	0,7	1,81
2-fach Isolierglas	mD-b	0,8	1,86
2-fach Wärmeschutzglas	mD-b	0,61	1,09

- oD = ohne Nachtdämmung
- mD = mit Nachtdämmung
- mD-a (Rolladenqualität)
- mD-b (Klappladenqualität)

Bei der Berechnung der mittleren k-Werte der Fenster mit Nachtdämmung wurde eine mittlere Nutzungszeit von 14 Stunden (offen) zu 10 Stunden (geschlossen) angenommen.

6. SONNENSTRAHLUNG: Durchschnitt von langjährigen monatlichen Mittelwerten der Globalstrahlung von 16 Stationen, umgerechnet mit Korrekturfaktoren (R+N) (siehe Kap. 2.2), grundsätzlich mit 5° Horizontverschattung.

REFERENZ-MODELL ZUR ERMITTLUNG DER MITTLEREN MONATLICHEN RAUMTEMPERATUREN IM GLASVORBAU



Isolierverglasung $k=2,6$ $g=0,8$ $r=0,8$

Für die verglaste Seitenwand wurde 50 % Verschattung angesetzt.

Außentemperaturen $\bar{\theta}$ aus 16 Stationen (Wert siehe Kapitel "Das Klima im Jahresverlauf").

Globalstrahlung \bar{H} Monatssummen aus 16 Stationen, Korrekturfaktoren (Südrichtung, Neigungswinkel) für den 51. Breitengrad.

Für die Bodenfläche wurden keine Wärmeverluste angenommen.

Temperatur im angrenzenden Raum: 20°

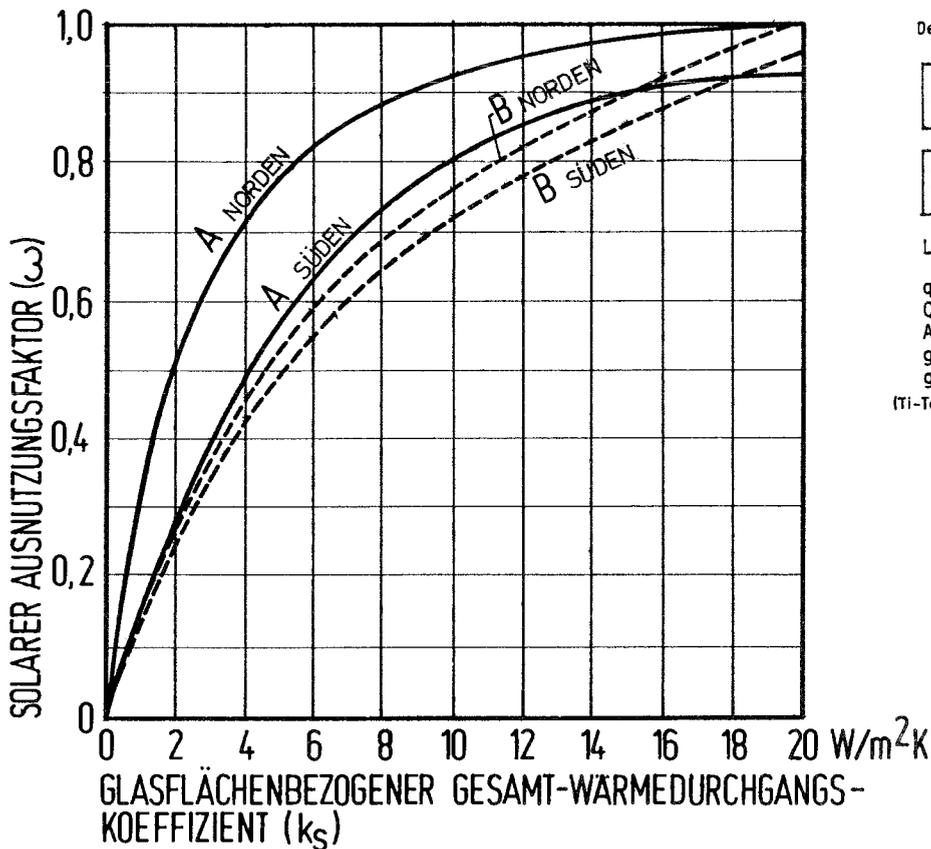
VERFAHREN ZUR NÄHERUNGSWEISEN BERECHNUNG DER MITTLEREN MONATLICHEN TEMPERATUREN IM GLASVORBAU.

1. Berechnung des spezifischen Wärmebedarfs des Glasvorbaus (in W/K). Die Zwischenwand zum angrenzenden Raum wird dabei zunächst mit $k=0$ angenommen.
 2. Berechnung des spezifischen monatlichen Wärmebedarfs aus dem spezifischen Wärmeverlust \times Stunden \times Tageszahl (in kWh/k·M).
 3. Berechnung der monatlichen Einstrahlungssummen aus allen Glasflächen.
 4. Diese monatlichen Einstrahlungssummen setzen wir gleich dem monatlichen Gesamtwärmebedarf. Dieser wird nun durch den entsprechenden monatlichen spezifischen Wärmebedarfswert (nach Punkt 2) dividiert und ergibt so die monatliche Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außentemperatur (in K).
 5. Zu dieser Temperaturdifferenz wird die monatlich mittlere Außentemperatur addiert und ergibt so einen vorläufigen Wert der Temperatur im Glasvorbau.
 6. Für den angrenzenden Raum wird eine Wärmebedarfsberechnung durchgeführt, dazu werden die vorläufigen monatlichen Glashaus-Temperaturen eingesetzt, der k-Wert der Wand zum Glasvorbau wird nun der tatsächlichen Konstruktion entsprechend berechnet.
 7. Diese Rechnung muss für die Wand zum Glasvorbau und für die übrigen Verlustflächen getrennt durchgeführt werden. Aus der Berechnung gehen die monatlichen Wärmeabflüsse zum und vom Glasvorbau hervor.
 8. Mit diesen Wärmeflußwerten und dem realen k-Wert der Wand zum Glasvorbau wird die Temperaturberechnung für den Glasvorbau wiederholt (Punkt 1-5). Daraus ergeben sich korrigierte Wert der Innentemperaturen im Glasvorbau.
 9. Dieses Korrekturverfahren kann wiederholt werden. Mithilfe der korrigierten Temperaturwerte werden der Wärmebedarf des angrenzenden Raumes erneut ermittelt und (entsprechend Punkt 6-8) die nunmehr zweifach korrigierten Glasvorbautemperaturen errechnet (Diese zweite Korrektur ergibt Werte, die von den ersten Werten nur um 1 - 2 % abweichen, bei Verglasung und Zwischenwandausführung mit größeren Wärmeverlusten fallen die Abweichungen größer aus).
- Je nach gewünschter Genauigkeit kann die Korrekturrechnung einmal oder mehrmals durchgeführt werden.

DAS K_S-WERT-VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG DES SOLAREN BEITRAGS ZUM JAHRESHEIZWÄRMEBEDARF EINES RAUMES

In diesem Verfahren werden die solaren Strahlungssummen und die Summen aller Wärmeverluste eines Raumes während der ganzen Heizzeit (1. Sep.- 31. Mai nach VDI 2067) errechnet. Aus diesem Diagramm (siehe Abb. unten) kann für unterschiedliche Himmelsrichtungen und Wärmeverlustgrößen von Räumen die mittlere Ausnutzung der Einstrahlung abgelesen werden. Daraus kann der durchschnittliche solare Beitrag zur Raumerwärmung ermittelt werden.

Die Wärmeverluste (d.h. der Wärmebedarf) eines Raumes werden mithilfe des sogenannten k_S-wertes dargestellt. Dieser k_S-wert bedeutet, daß sämtliche Wärmeverluste eines Raumes (Transmissionswärmeverluste der Wände, Böden und Decken sowie Lüftungswärmeverluste) zusammengefasst und auf die im Raum vorhandene Glasfläche (Fensterfläche x Glasflächenanteil) bezogen werden.



Der k_S-wert wird ermittelt nach der Formel:

$$k_S = \frac{q}{A_{FE} \cdot g \cdot g_f} \quad \text{oder}$$

$$k_S = \frac{Q_n}{A_{FE} \cdot g \cdot g_f \cdot (T_i - T_{a_n})}$$

Legende:

- q = Spezifischer Wärmebedarf (W/K)
- Q_n = Normwärmebedarf (kWh/m²)
- A = Fensterfläche
- g = Gesamtenergiedurchlassgrad
- g_f = Glasflächenanteil
- (T_i - T_{a_n}) = Norm-Temperaturdifferenz

Die mittlere Ausnutzung der Sonneneinstrahlungen für die Heizzeit, dargestellt als Funktion der Wärmeverluste eines Raumes.

A Gerechnet für einen Raum in Mittellage / in schwerer Bauweise / Wetterdaten Essen (Quelle 23).

B Gerechnet für einen Raum mit einer Außenwand / in mittelschwerer Bauweise / Innenraumtemperatur 20-24° / Wetterdaten Test-Referenzjahr Berlin (Quelle 40.2).

Anmerkung:

Die Ähnlichkeit der Ausnutzungskurven für Nord- und Südfenster nach der Untersuchung B scheint uns wenig plausibel. Das K-Wert-Verfahren erlaubt im Prinzip eine schnelle Abschätzung des solaren Beitrags zum Jahreswärmebedarf eines Raumes. Das Verfahren wurde auch für die Neufassung der VDI-Richtlinie 2067/81-2 zur Ermittlung des Einflusses der Sonnenstrahlung (Faktor fo) auf den Jahreswärmebedarf vorgeschlagen (Quelle 40.2). Allerdings ist eine breitere Anwendung davon abhängig, daß für möglichst viele Orte der BRD die jährlichen Globalstrahlungssummen von allen Heiztagen während der Heizzeit berechnet werden.

6.3 QUELLENACHWEIS

1. Atlas über die Sonnenstrahlung Europas Bd.1: Globalstrahlung auf horizontale Flächen, Dortmund 1979
2. DIN 4710 Meteorologische Daten/Entwurf 1979
3. Statistik der Globalstrahlung an 8 Stationen des Deutschen Wetterdienstes
F.Kasten, H.J.Golchert, Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 156, Offenbach 1981
4. Jahrbuch des Deutschen Wetterdienstes 1975, Offenbach 1976
5. Monatlicher Witterungsbericht des Deutschen Wetterdienstes, Jahrgänge 1970-1980, Offenbach
6. 10-jährige Mittel (1966-75) der mittleren monatlichen Tagesgänge der Globalstrahlungsstärke bei wolkenlosem Himmel in Hamburg und Weihenstephan.
Gutachten des Deutschen Wetterdienstes, Hamburg 1982
7. Über die Sonnenscheinwahrscheinlichkeit in der BRD,
J.Krochmann, O.Schmid, in Lichttechnik Nr. 10 und 11, 1974
8. Über die Berechnung der zur Verfügung stehenden Solar-energie und des Tageslichtes,
S.Aydinli, Fortschrittsberichte der VDI-Zeitschriften, Reihe 6 Nr. 79, Düsseldorf 1981
9. Ein vereinfachtes Verfahren zur Bestimmung der Tagesgänge der Gesamtstrahlung auf verschieden orientierte Flächen unter Berücksichtigung des Bewölkungsgrades
J.Rath, Bauphysik 1/1982
10. Ergebnisse von Strahlungsmessungen in der BRD
Deutscher Wetterdienst - Meteorologisches Observatorium Hamburg, Berichte Nr. 1 (1976) - 7 (1982)
11. Klimadaten für Bauwesen und Technik (Lufttemperatur)
R.Reidat, Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 64 (Band 9), Offenbach 1960
12. Das Klima Österreichs, der Bundesrepublik Deutschland, der Deutschen Demokratischen Republik und der Schweiz
M.Schüpp, H.Schirmer, Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt Zürich, 1973
13. Langjährige Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur und des Niederschlags in der BRD für die Periode 1931-1960
H.Schirmer, Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 115 (Band 15), Offenbach 1969
14. Die Berechnung der Globalstrahlung für 69 Orte der BRD
G.Manier, G.Fuchs, HLH 30 (1979) Nr. 2
15. The Passiv Solar Energy Book/Professional Edition
E.Mazria, Emmaus, USA 1979
16. Passive Solar Design Handbook
B.Anderson/TEA (Vol.I), D.Balcomb/LASL (Vol.II)
Washington 1980
17. A semi-empirical Method for Estimating the Performance of Direct Gain Passive Solar Heated Buildings.
D.Balcomb, R.MacFarland (LASL), Proceedings of the 3rd National Passive Solar Conference, San Jose (CA) 1979
18. A simple Empirical Method for Estimating the Performance of a Passive Solar Heated Building of the Thermal Storage Mass Type.
D.Balcomb, R.MacFarland, LASL-Report Nr. SAND 79-0824, Los Alamos 1979
19. Performance Estimates for Attached-Sunspace of Passive Solar Heated Buildings.
R.MacFarland (LASL) 1980
20. Zweiter Europäischer Ideenwettbewerb Passive Solar Architektur 1982. Technische Informationen, Berechnungsgrundlagen und Datenbroschüre
Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Generaldirektion XII, London 1982
21. Werkzeug für Architekten: Eine einfache Berechnungsmethode für passiv-sonnenbeheizte Wohngebäude
A.Lohr, Bauphysik 3/1981
22. Berechnung von Strahlungsdaten hinter einer zweifachen Isolierverglasung.
J.Krochmann, Forschungsbericht, Frankfurt 1982
23. Kenngrößen zur Beurteilung der Energiebilanz von Fenstern während der Heizperiode
L.Rouvel, B.Wenzl, HLH 30 (1079) Nr. 8
24. Energiebilanz von Gebäuden, Vereinfachte Berechnungsverfahren
L.Rouvel, Praxisinformation Energieeinsparung DAB 3/82 und 4/82
25. Energetische Beurteilung von Fenstern während der Heizperiode
K.Gertis, G.Hauser, H.Künzel, V.Nikolic, L.Rouvel, H. Werner, Deutsches Architektenblatt 2/80
26. Wärmeverlust und Wärmegewinn durch Fenster
H.Künzel, Chr.Snatzke, Glasforum 1/79
27. Auswirkungen meteorologischer Einflußgrößen auf die Wärmebilanz von Fenstern während der Heizperiode,
H.Werner, Gesundheits-Ingenieur 101 (1980) Nr. 3
28. Energieeinsparung infolge Sonneneinstrahlung durch Fenster
K.Gertis, G.Hauser, Forschungsbericht Nr. 1230/5 des BM-Bau, Essen 1978
29. Einfluß von Sonnenschutz und Fenstergestaltung auf Energieverbrauch, Kosten und Raumklima von Gebäuden
H.Müller, HLH 33 (1982) Nr. 1
30. Wärmedurchgang durch Fenster und Wand unter Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung
H.Werner, GI 102 (1981) Nr. 3
31. Die wärmetechnische Beurteilung von Fenstern unter Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung während der Heizperiode
G.Hauser, Bauphysik 1/79
32. Heizenergieverbrauch und Temperaturverhalten von Einfamilienhäusern in Leicht- und Schwerbauweise während der Übergangsjahreszeit
G.Hauser, HLH 29 (1978) Nr. 3
33. Auswirkungen solararchitektonischer Maßnahmen auf die Energiebilanz von Gebäuden.
B.Steinmüller, Tagungsberichte 3. Internationales Sonnenforum, Hamburg 1980
34. Wärmeschutz im Hochbau, DIN 4108, 1981, Bl.1-5
35. Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs, DIN 4701, Entwurf 1978
36. Berechnung der Kosten von Wärmeverbrauchsanlagen, VDI-Richtlinie 2067/Entwurf 1979
37. Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume
VDI-Richtlinie 2078/1972
38. Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden
(Wärmeschutzverordnung) 1977, Bundesgesetzblatt Nr. 56 vom 17.8.1977
39. Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden
(Wärmeschutzverordnung) Neufassung 1982, tritt 1984 in Kraft
40. Verbesserung der Berechnungsverfahren für den Norm-Wärmebedarf und für den Jahreswärmeverbrauch von beheizten Gebäuden auf der Basis eines neu entwickelten Test-Referenzjahres.
H.Esdorn, G.Wentzlaff, Forschungsbericht des BMFT Nr. ET 5213 A 1981, mit den Einzelberichten:
40.1 - Neuvorschläge zum Entwurf DIN 4701 "Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden", Teil I / HLH 9/81 und Teil II / HLH 10/81 und
40.2 Zur Berücksichtigung der Sonnenstrahlung bei der Berechnung des Jahreswärmeverbrauchs HLH 9/81

41. Sonnenenergie ÖNORM M 7700/Vornorm 1979 Benennungen und Definitionen
42. Das Glas-Handbuch 1982
Flachglas AG 1981
43. Energiesparbuch für das Eigenheim
U.Schuh, E.Krüger, G.Sachsse, A.Spinola, P.Wehrle
BMBau - Reihe Bürgerservice Nr. 17, 1979
44. Architektur mit der Sonne, J.Kiraly,
Karlsruhe 1981
45. Solargewächshäuser, C.Lorenz-Ladener, Grebenstein, 1981
46. Ökologisches Bauen, P.Krusche, D.Althaus,
I.Gabriel, Wiesbaden/Berlin 1982
47. Untersuchungen zur Einsetzbarkeit von Wohngewächshäusern,
S.Meyer, Diplomarbeit, Institut für Technik in Gartenbau
und Landwirtschaft der TU Hannover, 1981
48. Energiesparhäuser Berlin und Kassel
Institut für Bauforschung, Hannover 1982
49. Anlagentechnische Systeme bei den "Energiesparhäusern"
und Methoden der energetischen Bewertung,
H.Esdorn, Bauorga 1/82
50. Energiesparende Wohnhäuser-erkennbare Tendenzen,
G.Petri, DAB 4782
51. The Second Passive Solar Catalog
D.A.Bainbridge, Davis/CA, 1980
52. Sunspots
Steve Baer, Albuquerque/NM 1977
53. Low-Cost, Energy-Efficient Shelter
E.Eccli ed., Emmaus/PA 1976
54. 30 Energy-Efficient Houses
A.Wade und N.Ewenstein, Emmaus/PA 1977
55. Passive Solar in Milton Keynes
B.Everett, Milton Keynes (GB) 1980
56. Solar Houses (48 Energy Saving Designs)
L.Gropp ed. New York 1978
57. Design for a Limited Planet
N.Skurka und J.Naar, New York 1976
58. The Solar Greenhouse Book. McCullagh, Emmaus, PA, 1978
59. Passive Solar Architecture in Europe Ergebnisse des 1.
Europ.Passiv-Solar-Wettbewerb 1980
R.Lebens Hrsg., London 1981
60. The Food and Heat producing Solar Greenhouse
B.Yanda, R.Fisher, New Mexico 1976
61. The Self-sufficient House,
B.+ R. Vale London 1980
62. Biologischer Sonnenhausbau,
R.Sabady, Zürich 1980
63. Ein Modell zur numerischen Simulation der Temperatur eines
Wohnhauses im meteorologischen Umfeld zur Untersuchung
von Heizenergieeinsparungen
N.Beier, A. Obermaier, F.Somieski, Wissenschaftliche
Mitteilungen Nr. 42 des Meteorologischen Instituts der
Universität München 1981
64. Produktinformation über Wärmeschutzglas "Intherm-Plus"
mit Gutachten des Instituts für Fenstertechnik, Rosenheim
1981
65. Wärmeträgermedium Luft
A.Stork, in: Heizen mit Sonne Bd. 2, Deutsche Gesell-
schaft für Sonnenenergie, Tagungsbericht, München 1977
66. Interseasonal Thermal Storage in a large Rock-Bed connec-
ted to Air Solar Collectors,
Cl.Dang-Vu, P.Rivet
67. Wohnhaus am Landwehrkanal (Entwurf IBUS, Berlin), in "Son-
nenenergie" 2/82
68. Untersuchung des Instituts für Thermodynamik und Wärme-
technik der T.U. Stuttgart, 1982
69. Passive Sonnentchnische Systeme,
E.Panzhauser, Wien, Manuskript 1980
70. Bauen mit der Sonne
H.Hebgen, Heidelberg 1982
71. Selber & Gemeinsam - Planen, Bauen, Wohnen
W.Koblin, M.Hartmann, R.Näbauer, München 1978
72. Passive Solarenergie in Gebäuden und Möglichkeiten neuer
Fenstersysteme
H. Hörster, B. Steinmüller
73. Auswirkungen und Grenzen wärmetechnischer Verbesserungen
von Hochbauten am Beispiel eines Einfamilienhauses
K. Schreitmüller (DFVLR), Tagungsberichte des 4. Sonnen-
forums Berlin 1982 Bd. 1
74. Bau und Energie, Forschungsbericht des BMFT
V.Nikolic, Teilveröffentlichung in: DAB 3/81
75. Mittlere monatliche Globalstrahlungsverteilung in der
Bundesrepublik Deutschland
H.J. Golchert, Meteorol. Rundschau 34 (Okt. 1981)
76. Radiation on inclined Surfaces.
EEC Solar Energy Programme/Project F/Action 3.2 Final
Report
J. Kochmann / S. Aydinli / R. Rattunde, Berlin, Juni 1982
77. Porenlüftung, H. Bartussek, Wien 1982
88. Passive Solar Heating Design
R.M. Lebens, London 1981
79. Funktionen und Ausführungen von Dachbegrünungen
Das Gartenamt 30 (1981) Heft 8
80. Handbuch der Bauphysik
H. Bobran, Berlin-Wien 1967
81. Harnessing the Sun
J. Keyes, New York 1974
82. Rationelle Energieverwendung und Nutzung der Sonnenenergie
in Gebäuden. Zusammenfassung Philips GmbH/Forschungs-
laboratorium Aachen 1979
83. Untersuchungen über Maßnahmen zur Reduzierung des Wärme-
bedarfs eines Wohngebäudes.
N. Frisch, J. Munder, E. Hahne, Institut für Thermodynamik
und Wärmetechnik der Universität Stuttgart, Manuskript 1983
84. Nutzung der Sonnenenergie in Heizungsanlagen mit Luft als
Wärmeträger
N. Frisch, E. Hahne, Institut für Thermodynamik und Wär-
metechnik der Universität Stuttgart, Manuskript 1983
85. Erfahrungen mit der Anwendung des Kosinus-Stunden-Verfah-
rens.
U. Bossel, in "Tagungsberichte der ISES-Tagung Stuttgart
1981"
86. Das kleine Gewächshausbuch
M. Walter, Stuttgart, 1983
87. Einsatz transparenter Isolationsmaterialien zur passiven
Nutzung der Solarenergie.
Frauenhofer Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg
Kurzbericht 1983
88. Sonnenenergie - thermische Prozesse
Duffie, Beckmann, München 1976
89. RWE-Handbuch 1983/83, Essen 1983
90. Wohnen mit Alternativ-Technik
Th.Herzog "Werk, Bauen+Wohnen" 5/83
91. DIN 4710 - Meteorologische Daten

6.4 BEZEICHNUNGEN UND MASSEINHEITEN

sec	=	Sekunde
h	=	Stunde
d	=	Tag
mt	=	Monat
a	=	Jahr
A	=	Flächenmenge (in m ²)
V	=	Volumen (in m ³)
FFA	=	Fensterflächenanteil
WFA	=	Wandflächenanteil
T	=	Temperatur
T _i	=	Innentemperatur
T _a	=	Aussentemperatur
J	=	Joule, 1000 J = 1 kJ = 0,278 Wh (1kWh = 3600 J)
W	=	Watt
Wsec	=	Wattsekunde 1 Wsec = 1J (Joule)
kWh	=	Kilowattstunde (siehe hierzu auch Einleitung)
C	=	Celsius (Temperaturabweichung von Null Grad)
K	=	Kelvin (Maß für den Unterschied zwischen zwei verschiedenen Temperaturen)
Δt	=	(sprich: Delta t) = Temperaturdifferenz (Unterschied zwischen zwei Temperaturen, z.B. zwischen innen und außen) gemessen in Kelvin (K)
G	=	Globalstrahlung (auf horizontale Flächen) (kWh/m ²)
I	=	Einstrahlung durch Glasflächen in den Raum gemessen als Leistung (W/m ²) oder Menge (kWh/d, kWh/mt, kWh/a)
In	=	Nutzbarer Teil der Einstrahlung
g	=	Gesamtenergiedurchlaßgrad eines Glases
gf	=	Glasflächenanteil
ω	=	Ausnutzungsfaktor (Anteil der im Innenraum nutzbaren solaren Einstrahlungen)
t	=	Trübungsfaktor
a	=	Absorptionsfaktor
r	=	Reflexionsfaktor
ε	=	Strahlungsemissionskoeffizient
HGT	=	Heizgradtage (pro Monat/pro Jahr)
q	=	spezifischer Wärmebedarf (W/K)
Q	=	Wärmebedarf (kWh)
Q _{sol}	=	solare Beiträge zur Raumerwärmung (nutzbarer Teil der Einstrahlung)
Q _{int}	=	Interne Beiträge zur Raumerwärmung (=Wärmebeiträge von Menschen, Leuchten, Geräten, Maschinen)
Q _{hgz}	=	Heizungsbeitrag zur Raumerwärmung
λ	=	Wärmeleitfähigkeit (für jeden Baustoff) (W/m·K)
α	=	Wärmeübergangszahlen, bezeichnen den Wärmeaustausch zwischen Luft und Material (z.B. für Wände: α _i (innen) = 8 W/m ² ·K und α _a (außen) = 23 W/m ² ·K)
k	=	Wärmedurchgangszahl (oder Wärmedurchgangskoeffizient) (für ein Bauteil aus ein oder mehreren Schichten)

6.5 SCHLAGWORTVERZEICHNIS

Absorption	170
Ausnutzung	23
Ausstemperaturen - Werte von 16 Stat. des DWD	16,224
- Monatliche Isozonen-Karten	225-238
Azimet	13
Dach	29,135
Direktstrahlung - Intensität bei klarem Himmel	22,221-23
Diffusstrahlung - Intensität bei bedecktem Himmel	221
- Anteile auf horizontale Flächen	18,65,220
- Anteile auf vertikale Flächen	65,220
Einstrahlung ins Haus - Berechnung	87
Erde	29
Fenstergruppe	87
Gesamtenergiedurchlassgrad	84
Glasarten	86
Glasflächenanteil	84
Glasvorbau	109
Globalstrahlung - Definition	10,36
- Tabelle von 16 Stat. des DWD	36
- Monatliche Isozonenkarten	37-48
Heizung (im Sonnenraum)	108
Heizungsbeitrag (Berechnung des monatlichen..)	211
Himmelsrichtung	49
Interne Wärmebeiträge	210
k-Wert (von Aussenwänden und Fenstern)	204
ks - Wert - Verfahren	242
Keller	29
Klima (Jahresverlauf in der BRD)	16,219
Korrekturfaktoren (Richtung und Neigung)	49
-Tabellen	57-63
Latentspeicher	168
Luft	173
Luftkollektoren	145
Lufttrübung	83
Luftzirkulation	173
Lüftung	123,124,178
Maßeinheiten	245
Neigung von Kollektorflächen	50
Nordräume	87,95
Panoramaskop - Panoramamaske	66
Pufferzonen (siehe Wärmezonen)	
Reflektoren	191
Reflexion	83,170
Sonnenbahn - Sonnenstand	13
Sonnenbahn-Diagramme	77-80
Sonnenfenster - Sonnenraum	93
Sonnenwand	135
Sonnenscheindauer	17,19,224
Sonnenschutz	124,197
Solarer Beitrag zur	
- Sonnenfenster	102
Raumerwärmung - Glasvorbau	130
- Sonnenwand	142
- Luftkollektor	151
- Berechnungsverfahren	207
Strahlung	
- Jahresverlauf	52
- Heizperiodensummen	65
Strahlungsintensität	9,221
Steinspeicher	121,165,168

Tageszeit		21
Temperaturen	- im Sonnenraum	100
	- im Glasvorbau	128
Temperaturunterschiede		7,25-28,115,224
Treibhaus-Effekt		6
Trombe-Wand (siehe Sonnenwand)		
Trübungsfaktor (siehe Lufttrübung)		
Verschattung		51,66,111
Verschattungsfaktoren - Wertfaktoren-Tabelle		72-73
Wärmebedarf		10
Wärmebedarfsberechnung		203
Wärmedurchgang		117
Wärmeleitung		137
Wärmerückgewinnung		108,179
Wärmeschutzverordnung		212
Wärmespeicherung		103,119,137,159
Wärmeüberschüsse (im Sonnenraum)		107
Wärmeübertragung		7,163
Wärmezonen		25,176
Wasserdach		153
Wasserkollektor		155
Wasserspeicher		140,166
Watt, Wattstunde		9,245
Wetter		19
Zenit		13



In der **Schriftenreihe 04 „Bau- und Wohnforschung“** des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau sind bisher folgende Hefte erschienen:

- Heft Nr. 001** Kunststoffhaus fg 2000.
1973 Eine Arbeit zur Entwicklung von Bauelementen für ein Bausystem aus Kunststoffen
 – vergriffen –
- Heft Nr. 002** Kriterien zur Optimierung von Querwandgefügen
1973 – vergriffen –
- Heft Nr. 003** Nutzwertanhebung durch technischen Ausbau.
1973 Stufe 1: Künftige Anforderungen an den Nutzwert von Wohnungen
 (Soziologische Voruntersuchung)
 – vergriffen –
- Heft Nr. 004** Rationalisierungskatalog und Checklisten
1974 – vergriffen –
- Heft Nr. 005** Systeme der Gebäudeerschließung im Geschoßwohnbau.
1974 Dokumentation einer Kostenanalyse im sozialen Wohnungsbau
 – vergriffen –
- Heft Nr. 006** Optimaler Ablauf der Ausbaurbeiten.
1974 Kriterien für den optimalen Ablauf der Ausbaurbeiten im Hoch- und Wohnungsbau
 – vergriffen –
- Heft Nr. 007** Wohnhügel Marl. Bau- und wohnwirtschaftliche Untersuchungen
1974 – vergriffen –
- Heft Nr. 008** Vergleichende Untersuchung der wirtschaftlichen Ausführungsmöglichkeiten
1974 der Kellergeschosse von Einfamilienhäusern aus vorgefertigten Teilen
 – vergriffen –
- Heft Nr. 009** Bericht 1: Kosten und Wirtschaftlichkeit von Terrassenhäusern.
1975 Bericht 2: Steigerung des Wohnwertes und ihre Auswirkung auf die Gebäudekosten
 – vergriffen –
- Heft Nr. 010** Verhalten von vorgefertigten Außenwänden und Außenwandverkleidungen
1975 aus Holz und Holzwerkstoffen unter den Einflüssen der Witterung und der Nutzung
 – vergriffen –
- Heft Nr. 011** Elektroinstallation in variablen Wohnungen.
1975 Beobachtungen an den Bauten der Wettbewerbe „Flexible Wohngrundrisse“ und
 „Elementa '72“
 – vergriffen –
- Heft Nr. 012** Grundlagen für die Planung standardisierter Sanitärzellen
1975 – vergriffen –
- Heft Nr. 013** Nutzwertanhebung im Wohnungsbau. Stufe 2: Technisches Idealprogramm
1975 – vergriffen –
- Heft Nr. 014** Verbesserung der Bauproduktinformation. Anforderungen – Lösungsmöglichkeiten
1976 – vergriffen –
- Heft Nr. 015** Rationalisierung aus der Sicht der Baubeteiligten
1976 – vergriffen –
- Heft Nr. 016** Sanitär- und Heizungsinstallation in Wohnungen mit veränderbaren Grundrissen
1976 – vergriffen –
- Heft Nr. 017** Die Wohnsituation der Körperbehinderten in der Bundesrepublik Deutschland
1976 – vergriffen –
- Heft Nr. 018** Neue Technologien für die Baustellen der Zukunft. Band I: Hochbau
1976 – vergriffen –

- Heft Nr. 019** 1976 Querschnittsbericht: Ablauforganisation in der Bauwirtschaft
– vergriffen –
- Heft Nr. 020** 1976 Querschnittsbericht: Arbeitstechnik im Wohnungsbau. Teilbericht: Schalarbeiten
– vergriffen –
- Heft Nr. 021** 1977 Rationalisierungskatalog · Orientierungsdaten · Nachweisliste · Checkliste
– vergriffen –
- Heft Nr. 022** 1977 Neue Technologien für die Baustellen der Zukunft. Band II: Verkehrswegebau
– vergriffen –
- Heft Nr. 023** 1977 Die Verwendung des Standardleistungsbuchs bei der Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm
– vergriffen –
- Heft Nr. 024** 1977 Energiesparbuch für das Eigenheim
– vergriffen –
- Heft Nr. 025** 1977 Neue Technologien für die Baustellen der Zukunft. Band III: Energieanlagenbau
– vergriffen –
- Heft Nr. 026** 1977 Verbundbetriebliche Kooperation in der Bauwirtschaft
– vergriffen –
- Heft Nr. 027** 1977 Industrialisierung des Ausbaues im Wohnungsbau
– vergriffen –
- Heft Nr. 028** 1977 Beschaffung von Planungs-, Management- und Bauleistungen
– vergriffen –
- Heft Nr. 029** 1977 Querschnittsbericht: Arbeitstechnik im Wohnungsbau. Teilbericht: Bewehrungsarbeiten
– vergriffen –
- Heft Nr. 030** 1977 Neue Technologien für die Baustellen der Zukunft. Band IV: Meeresbautechnik
– vergriffen –
- Heft Nr. 031** 1977 Neue Technologien für die Baustellen der Zukunft. Band V: Wasserbau
– vergriffen –
- Heft Nr. 032** 1977 Neue Technologien für die Baustellen der Zukunft. Band VI: Landtechnik
– vergriffen –
- Heft Nr. 033** 1977 Querschnittsbericht: Arbeitstechnik im Wohnungsbau. Teilbericht: Innenputz
– vergriffen –
- Heft Nr. 034** 1978 Selbsthilfe-Bausätze. Leistungsübersicht der Bausatz-Firmen
– vergriffen –
- Heft Nr. 035** 1978 Bericht I: Modulordnung. Bericht II: Toleranzen und Passungen
– vergriffen –
- Heft Nr. 036** 1978 Auswirkungen der Baunachfrage auf die Struktur der bauausführenden Wirtschaft
– vergriffen –
- Heft Nr. 037** 1978 Brandversuche Lehrte.
Brandversuche an einem zum Abbruch bestimmten, viergeschossigen modernen Wohnhaus in Lehrte
– vergriffen –
- Heft Nr. 038** 1978 Querschnittsbericht: Arbeitstechnik im Wohnungsbau. Teilbericht: Maurerarbeiten
– vergriffen –
- Heft Nr. 039** 1978 Querschnittsbericht: Arbeitstechnik im Wohnungsbau. Teilbericht: Zimmer- und Holzbauarbeiten
– vergriffen –

- Heft Nr. 040**
1978 Saisonale Verstetigung der Bautätigkeit
– vergriffen –
- Heft Nr. 041**
1978 Standsicherheit und Gebrauchsfähigkeit vorgehängter Hochhausfassaden
– vergriffen –
- Heft Nr. 042**
1978 Querschnittsbericht: Arbeitstechnik im Wohnungsbau.
Teilbericht: Baustelleneinrichtung
– vergriffen –
- Heft Nr. 043**
1978 Vergleichende Untersuchung alternativ möglicher Winterbau-Schutzmaßnahmen
bei verschiedenen Witterungsbedingungen
– vergriffen –
- Heft Nr. 044**
1978 Wohnverhalten und Wohnumwelt.
Eine empirische Untersuchung über die Beziehung zwischen dem Wohnverhalten
und den physischen Bedingungen der Freiräume
– vergriffen –
- Heft Nr. 045**
1978 Formen des Projektmanagements bei Großbauvorhaben im Wohnungsbau
– vergriffen –
- Heft Nr. 046**
1978 Die Anwendung des Standardleistungsbuchs für das Bauwesen
in der Praxis bei Auftraggeber und Auftragnehmer
– vergriffen –
- Heft Nr. 047**
1978 Nutzwertanhebung im Wohnungsbau durch technischen Ausbau.
Stufe 3: Technisches Realprogramm
– vergriffen –
- Heft Nr. 048**
1978 Der Planungsprozeß.
Eine systemtheoretisch orientierte Analyse
des bau- und raumbezogenen Planungsgeschehens
– vergriffen –
- Heft Nr. 049**
1978 Fachtagung: Energieeinsparung in Gebäuden.
Informationen über rechtliche, finanzielle und technische Fragen
der Altbaumodernisierung
unter besonderer Berücksichtigung einer Verbesserung des Wärmeschutzes
– vergriffen –
- Heft Nr. 050**
1979 Elektroinstallation für industrialisierte Bauverfahren
– vergriffen –
- Heft Nr. 051**
1979 Baustoffe und Bauunterhaltungskosten
– vergriffen –
- Heft Nr. 052**
1979 Koordinierung der Nachfrage im Wohnungsbau.
Das Modell der Wohnungsbau-Konsortien in Großbritannien
und dessen Übertragbarkeit auf die Bundesrepublik Deutschland
– vergriffen –
- Heft Nr. 053**
1979 Bericht I: Anschluß der Fenster zum Baukörper. Bericht II: Falzausbildung am Fenster
– vergriffen –
- Heft Nr. 054**
1979 Konstruktionsempfehlungen zur Altbaumodernisierung. Bauteile im Erdreich
– vergriffen –
- Heft Nr. 055**
1979 Studie Stadthaus
– vergriffen –
- Heft Nr. 056**
1979 Solartechnik im Bauwesen. Baukonstruktive und gestalterische Aspekte
– vergriffen –
- Heft Nr. 057**
1979 Elementkatalog für Planung, Ausschreibung, Kostenplanung und
Kosten-Nutzen-Untersuchungen auf der Grundlage des Standardleistungsbuches
– vergriffen –

- Heft Nr. 058** Querschnittsbericht: Baugrundverbesserung
1979 – vergriffen –
- Heft Nr. 059** Rationalisierung und Baugenehmigungsverfahren durch Standardisierung
1979 – vergriffen –
- Heft Nr. 060** Flexible Unternehmenspolitik in der Bauwirtschaft
1980 – vergriffen –
- Heft Nr. 061** Wärmeschutz von erdberührten Gebäudeaußenflächen
1980 – vergriffen –
- Heft Nr. 062** Möglichkeiten der Verstetigung der Baunachfrage durch Konjunkturprogramme
1980 – vergriffen –
- Heft Nr. 063** Berechnungsmethoden für Baunutzungskosten
1980 – vergriffen –
- Heft Nr. 064** Modernisierungshandbuch für Architekten
1981 – vergriffen –
- Heft Nr. 065** Bauherrenhandbuch Altbaumodernisierung
1981 – vergriffen –
- Heft Nr. 066** Behindertenaufzüge
1981
- Heft Nr. 067** Gleichgewicht Bauvolumen, Planer- und Unternehmerkapazität.
Teil A: Bauausführende Wirtschaft; Teil B: Bauplanung
1981 – vergriffen –
- Heft Nr. 068** Kindgerechte Wohngrundrisse
1981 – vergriffen –
- Heft Nr. 069** Sanieren und Modernisieren von Fachwerkbauten
1981 – vergriffen –
- Heft Nr. 070** Beispieldokumentation: Behindertenfreundliche Umwelt
1981
- Heft Nr. 071** Bauliche Maßnahmen zur Begrünung städtischer Wohnbauten
1982
- Heft Nr. 072** Fachkräftemangel in der Bauwirtschaft
1982 – vergriffen –
- Heft Nr. 073** Leitfaden Instandhaltung Flachdächer
1982
- Heft Nr. 074** Reaktionsharzmörtel und -beton. Querschnittsbericht über die Verwendung
von Reaktionsharzen bei Neubau- und Reparaturarbeiten
1982
- Heft Nr. 075** Energiesparhäuser Berlin und Kassel (Dokumentation)
1982 – vergriffen –
- Heft Nr. 076** Preiswerte Stadthäuser (Dokumentation)
1982 – vergriffen –
- Heft Nr. 077** Hinweise der Sozialwissenschaft zur Wohnungsplanung
1982

- Heft Nr. 078** Empfehlungen für Architekten-Wettbewerbe
1982 – vergriffen –
- Heft Nr. 079** Praxis baulicher Energiesparmaßnahmen
1983 – vergriffen –
- Heft Nr. 080** Schwedisch-deutsches Kolloquium. Rationelle Energieverwendung in Wohnungsbau
1983 und Stadtentwicklung
 – vergriffen –
- Heft Nr. 081** Arbeitskräfteprognose für das Bauhauptgewerbe
1983
- Heft Nr. 082** Anforderungen an die Planung und Ausführung von Wohnungen für Schichtarbeiter
1983
- Heft Nr. 083** Modernisierung in bewohnten Räumen (Arbeitsverfahren, Arbeitsablauf, Arbeitstechnik)
1983
- Heft Nr. 084** Bauteile mit Fußbodenheizungen.
1983 Querschnittsbericht über die wärmeschutztechnischen und baukonstruktiven Problemstellungen
 und Ausführungsmöglichkeiten
- Heft Nr. 085** Verbindungstechnik und Fügeweisen im Bauwesen
1983 (Querschnittsbericht mit Literaturnachweisen)
- Heft Nr. 086** Energetisches Bauen. Energiewirtschaftliche Aspekte zur Planung und Gestaltung
1983 von Wohngebäuden
- Heft Nr. 087** Folgekosten von Modernisierungen unter besonderer Berücksichtigung
1983 von Energie- und Instandhaltungsbedarf
- Heft Nr. 088** Starter-Homes. Zur Marktfähigkeit erweiterungsfähiger Starter-Home-Lösungen
1983
- Heft Nr. 089** Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Bauobjekten
1983 unter Verwendung von Investitionsrechnungsverfahren
- Heft Nr. 090** Baunutzungskostenplanung im Wohnungsbau.
1983 Untersuchung der Abhängigkeit der Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten
 von Planungsentscheidungen im Wohnungsbau
- Heft Nr. 091** Hochpolymerbahnen für Abdichtungen im Bausektor
1983
- Heft Nr. 092** Beispielhafte Behindertenwohnungen. Dokumentation der Ausschreibung
1983
- Heft Nr. 093** Praxisinformation Energieeinsparung. Eine Handlungsanweisung für Architekten
1983 – vergriffen –
- Heft Nr. 094** Entwicklung einer Methode für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen
1983 bei Baumaßnahmen des Bundes
- Heft Nr. 095** Berücksichtigung von Umwelteinflüssen bei der Auswahl von Bauverfahren.
1983 Untersuchung der Belange der Umwelt bei der Durchführung von innerstädtischen
 Baumaßnahmen und ihr Einfluß auf die Auswahl der Bauverfahren
- Heft Nr. 096** Preiswerte Mehrfamilienhäuser. Dokumentation der Ausschreibung
1984
- Heft Nr. 097** Handbuch: Passive Nutzung der Sonnenenergie
1984