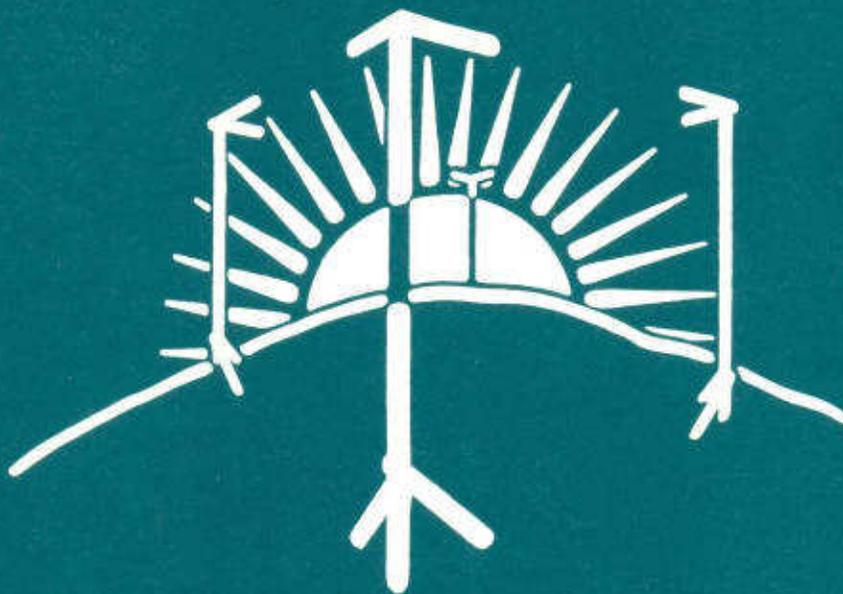




Energie- bewusstes Bauen mit dem Klima und der Sonne

**Eine Einführung in das energiegerechte
Planen, Projektieren und Bauen**



HERAUSGEBER	Schweizerische Energie-Stiftung Sihlquai 67, 8005 Zürich
AUTOR	Armin Binz, dipl. Arch. ETH, Zürich
MITARBEIT UND GESTALTUNG	Anita Binz-Deplazes, dipl. Arch. ETH, Zürich
UMSCHLAG	Harriet Höppner, Zürich
DRUCK	Offsetdruckerei Holend, Zürich
AUSLIEFERUNG UND VERTRIEB	AVA (buch 2000), Postfach 89 8910 Affoltern am Albis
PREIS	Fr. 28.-
COPYRIGHT	© 1983 by Schweizerische Energie-Stiftung, Zürich. Aus- zugsweise Wiedergabe mit Quellenangabe gestattet.

DANK

Im Laufe der Arbeit habe ich viele Fachleute um ihren Rat oder um Informationen gebeten. Ich bin überall auf Hilfsbereitschaft gestossen und möchte dafür danken. Ausserordentlich grosszügig haben mir die folgenden Fachleute ihre Zeit zur Verfügung gestellt:

H.-P. Eicher (Institut für Festkörperphysik, Universität Basel)
S. und U. Schäfer (Architekten, Binz)
Hr. Bammert (Wintergärten, Basel)
P. Roos (LIGNUM, Zürich)
Dr. T.P. Woodmann (Coralur, Zürich)

Einen ganz besonderen Dank möchte ich den folgenden Herren aussprechen, die mir eine intensive, kompetente und konstruktive Besprechung des Manuskripts zukommen liessen:

Dr. R. Kriesi (Lausanne)
Dr. P. Hartmann, Th. Frank, M. Zimmermann (EMPA, Dübendorf)
R. Ruggli, S.R. Hastings (KWH/EMPA, Dübendorf)
J. Nipkow (Zürich)

Diese Studie wurde ermöglicht durch die finanzielle Unterstützung des Bundesamtes für Energiewirtschaft (BEW), Bern

SES - REPORT NR. 13

ENERGIEBEWUSSTES BAUEN MIT
DEM KLIMA UND DER SONNE

EINE EINFÜHRUNG IN DAS ENERGIEGERECHTE KONZIPIEREN
UND PLANEN VON BAUTEN

ZU DIESEM BUCH

Energiebewusstes Bauen und passive Nutzung der Sonnenenergie sind keine neuen Themen mehr. In einer Flut von Publikationen wurden in den letzten Jahren Dutzende von Ideen in Hunderten von Ausführungsvarianten dargestellt. Das vorliegende Buch will hier nichts mehr hinzufügen und es will auch kein Handbuch für die Dimensionierung und Berechnung passiv-solarer Elemente sein. Vielmehr sollen die Ideen, Konzepte und Bauelemente gesichtet und bewertet werden. Zur Zeit wird auch in grundlegenden Fragenbereichen, insbesondere der passiven Sonnenenergienutzung, noch intensiv geforscht. Ein Bewertungsversuch scheint mir trotzdem sinnvoll zu sein, um denjenigen eine Orientierungshilfe zu bieten, die an der Projektierung und Ausführung von Gebäuden beteiligt sind und dadurch laufend energierelevante Entscheide treffen.

Das Thema der vorliegenden Publikation ist die energetische Optimierung des Baukörpers. Dies bedeutet mehr, als die blosse Wärmedämmung der Gebäudehülle. Das Gebäude als Ganzes soll so konzipiert werden, dass es seine Funktion bei minimalem Fremdenergiebedarf optimal erfüllt. Mir ist daran gelegen, klarzustellen, dass in dieser technischen Publikation viele Rahmenbedingungen als Voraussetzungen stillschweigend akzeptiert wurden. Energiebewusstes Bauen, wie es in diesem technischen Statusreport dargestellt ist, ist aber Ausdruck unserer Wohnvorstellungen und unseres Lebensstils. Dem Solarhaus könnte beispielsweise eine energiegerechte Stadtbebauung gegenübergestellt werden. Auch die technischen Akzente müssten dann anders gesetzt werden. Ein tiefgreifender Bewusstseinswandel (Umweltbewusstsein, Höherbewertung verdichteter Wohnformen, veränderte Einstellung zu Komfort und Konsum usw.) oder veränderte Rahmenbedingungen (z.B. akute Brennstoffverknappung, drastische Umweltschutzgesetzgebung usw.) würden auch Konzept und Ausdruck energiebewusster Architektur massgeblich beeinflussen. Dämmtechnik und passive Nutzung der Sonnenenergie sind in diesem Sinne wertvolle technische Instrumente. Sie sollten aber nicht für die Lösung selbst gehalten werden. Gerade weil ich mich in diesem Report im wesentlichen auf die technischen Aspekte beschränke, weise ich gerne darauf hin, dass in vielen "Solarhaus"- und "Oekohaus"-Büchern Anstösse für grundlegendere Lösungsansätze aufgezeigt werden. Ich selbst habe im Schlusskapitel versucht, wenigstens die wichtigsten Querbezüge, etwa zur Besiedlungsart ("Wohnen im Grünen") und zu den Ansprüchen (Ferienhaus und Drittwohnung), aus energetischer Sicht herzustellen.

Zürich, Oktober 1983

Armin Binz

Inhaltsverzeichnis

1.	SOLARARCHITEKTUR IN UNSEREM KLIMA	Seite 9
1.1	Haus und Sonne	9
1.2	Traditionelle und exotische Bauten als Vorbilder	11
1.3	Klima	12
2.	KONZIPIEREN VON SONNENHAEUSERN	15
2.1	Architekturauffassung und Energiekonzept	15
2.1.1	Das Isolationsprinzip	18
2.1.2	Das Haus als Sonnenkollektor	19
2.1.3	Die Massenwand als Sonnenenergiespeicher	21
2.1.4	Das Luftkollektor-Konzept	22
2.1.5	Das Raumzonen-Haus	24
2.1.6	Das Haus im Glashaus	25
2.1.7	Das Doppelschalenhaus	26
2.1.8	Earth Architecture	27
2.2	Entwurf und Projektierung	28
2.2.1	Standort	28
2.2.2	Windschutz	29
2.2.3	Pufferräume	30
2.2.4	Sonnengeometrie und Beschattung	35
2.2.5	Optimierung des Oberflächen-Volumen-Verhältnisses	37
3.	WAERMESCHUTZ	
3.1	Energetische und wirtschaftlich optimale Dämmung von Wand, Dach und Boden	39
3.2	Massivbauweise	41
3.2.1	Zweischalenmauerwerk	42
3.2.2	Verputzte Aussendämmung (Kompaktfassade)	44
3.2.3	Hinterlüftete Fassade	45

3.3	Leichtbauweise	Seite	46
3.3.1	Feuchtigkeitsschutz bei Leichtbauweise		47
3.3.2	Dampfsperre und Winddichtung		49
3.3.3	Konstruktion		51
3.3.4	Leichtbauweise - schlechter oder besser als Massivbauweise?		55
4.	SONNENEINSTRahlung DURCH TRANSPARENTE BAUTEILE		59
4.1	Transparente Baustoffe		59
4.2	Energetische Bewertung transparenter Bauteile		60
4.3	Wärmeschutz von transparenten Bauteilen		67
4.3.1	Strategien zur Verminderung der Wärmeüber- tragung		67
4.3.2	Die Verglasung der Zukunft		74
4.3.3	Fensterrahmen und Glasverbund		75
4.4	Nachwärmmedämmung der Fenster		79
4.4.1	Stellenwert		83
4.4.2	Nachwärmmedämmung auf der Aussenseite		83
4.4.3	Innenliegende Nachwärmmedämmung		84
5.	OPTIMIERUNG DER ENERGIEFLUESSE		87
5.1	Der Wärmebedarf als Funktion des Aussenklimas und menschlicher Bedürfnisse		87
5.2	Einstrahlung durch das Fenster (Direct Gain)		93
5.2.1	Begrenzte Ausnützung der Sonneneinstrahlung		93
5.2.2	Speichermechanismen und Lenkung der Energie- flüsse		96
5.2.2.1	Merkmale betreffend Primärspeicher (Absorberböden und -wände)		99
5.2.2.2	Die sekundären Speichermassen		101
5.2.3	Optimierung der Südverglasung		106
5.2.4	Sommerbetrieb		115
5.2.5	Blendung, lokale Uebererwärmung und Material- ausbleichung		117
5.3	Massenspeicherwände		118
5.3.1	Wirkungsweise und Aufbau von Massenspeicher- wänden		119
5.3.2	Tendenzen		122

5.4	Die Luftkollektorwand	Seite	124
5.4.1	Die Komponenten des Kollektorsystems		126
5.4.1.1	Kollektor		126
5.4.1.2	Zirkulation		129
5.4.1.3	Steinspeicher		130
5.4.2	Varianten		
5.5	Das Wintergartenkonzept		134
5.5.1	Der Wintergarten		135
5.5.1.1	Heizenergie für das Haus aus dem Wintergarten?		136
5.5.1.2	Gartennutzung und Wohnnutzung am gleichen Ort		139
5.5.1.3	Energetische Optimierung des Wintergartens		140
5.5.1.4	Konstruktion und Materialien		142
5.5.1.5	Sommerlicher Wärmeschutz		146
5.5.2	Das Solarium		146
5.5.3	Der Pseudowintergarten		148
5.5.4	Gewächshaus und Treibhaus		150
5.5.5	Verglaste Passagen und Hallen		150
6.	DECKUNG DES RESTWAERMEBEDARFS		153
6.1	Bodenheizung oder Heizkörper		154
6.2	Luftheizung und Wärmerückgewinnung aus der Abluft		157
6.3	Energieträger		162
7.	UEBERGEORDNETE BETRACHTUNG		165
7.1	Wohnvorstellung und Lebensstil		165
7.2	Komfort und Gesundheit		169
	ANHANG		173
	LITERATUR		181

1. Solararchitektur in unserem Klima

1.1 Haus und Sonne

Jedes Haus nützt die Sonnenstrahlung. Die Sonne trägt sogar mehr zur Raumheizung bei, als allgemein angenommen wird - auch wenn dieser Aspekt beim Entwurf und Bau des Hauses gar nicht beachtet wurde.

Abb. 1-1 zeigt ein Einfamilienhaus, das in jeder Hinsicht durchschnittlich ist. Wenn es im schweizerischen Mittelland steht; wird es zur Beheizung im Winter etwa 3 to Heizöl benötigen. Ueber das ganze Jahr gesehen "prasselt" auf dasselbe Haus Sonnenenergie in Form von direkter und diffuser Strahlung, die dem Energieinhalt von 15 to Heizöl entspricht.

Obwohl die Heizsaison länger ist als die heizungsfreie Zeit, fällt der kleinere Teil dieser Energie in der Heizperiode an. (Es ist gerade diese Sonneneinstrahlung, die bewirkt, dass die Heizperiode kürzer ist, als nach den Aussentemperaturen zu erwarten wäre, indem sie in den Uebergangszeiten das Haus genügend zu erwärmen vermag.)

Auch in der eigentlichen Heizperiode fällt etwa doppelt soviel Sonnenenergie auf das Haus, wie zur Beheizung des Hauses gebraucht wird. Das Durchschnittshaus macht davon allerdings nur schlechten Gebrauch: Sonnenenergie im Wert von etwa 1 to Heizöl wird tatsächlich genutzt. Immerhin kann als Schlussbilanz konstatiert werden: drei Viertel der Heizenergie (3 to) werden über die Heizanlage zugeführt und ein Viertel (1 to) wird von der Sonne beigesteuert. Die Sonnenstrahlung wird auf zwei Arten genutzt, der grössere Teil (entsprechend etwa 0,7 to Heizöl) gelangt durch die Fenster ins Haus und erwärmt die Räume. Ein kleinerer Teil (ca. 0,3 to Heizöl) wird von der äusseren

dass das künftige Haus enormen Strahlungsenergien ausgesetzt sein wird und dass es je nach Bauart viel oder wenig Heizenergie verbrauchen wird.

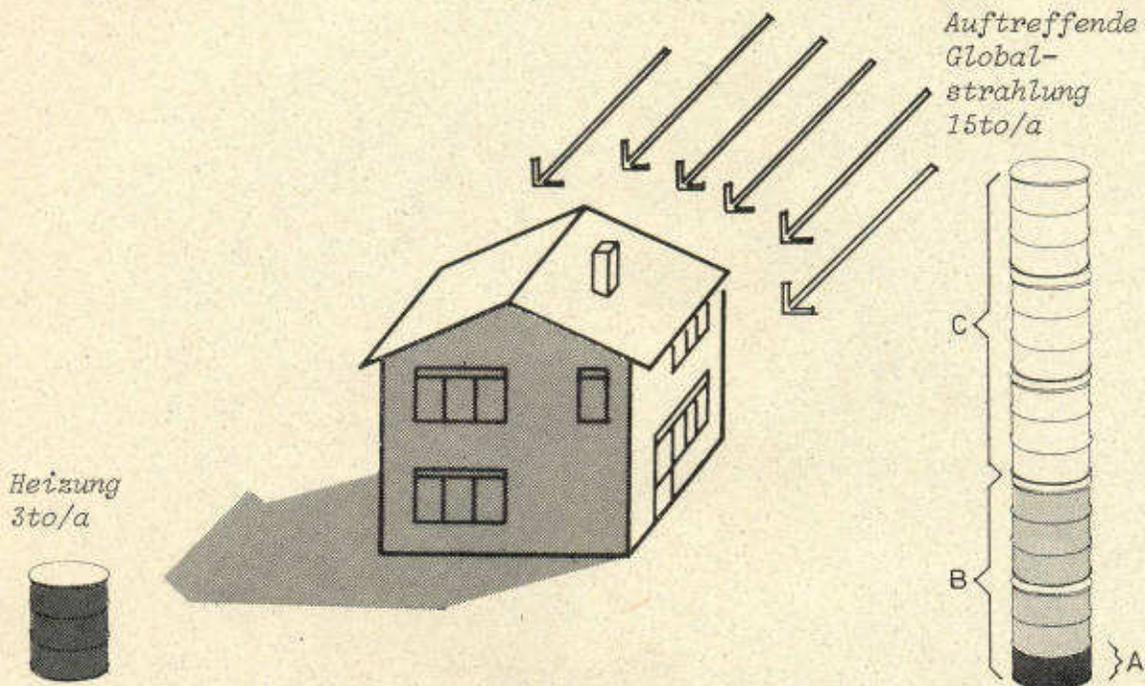
Der Vergleich mit dem Segelschiff mag hier als Illustration dienen: Dem Segler geht es darum, der gut fühlbaren Naturgewalt Wind eine Transport-Dienstleistung abzutrotzen. Dem Sonnenhausbauer und -bewohner liegt daran, der nicht minder gewaltigen Sonnenstrahlung eine Heiz - Dienstleistung abzulisten. Sachkundig optimierte Segelschiffe sind in fast jeder Hinsicht (bis hin zur Aesthetik) im Vorteil gegenüber Konstruktionen, die den Naturgesetzen wenig Beachtung schenken. Moderne Beispiele energiegerechten Bauens scheinen auch diese Analogie zu bestätigen.

1.2 Traditionelle und exotische Bauten als Vorbilder

Heizenergie war vor der grossen Oelschwemme ein kostbares Gut. Entsprechend einflussreich wurde im traditionellen Hausbau auch auf eine optimale Nutzung der Wärme geachtet. Die traditionelle Architektur im In- und Ausland ist daher mit gutem Grund zu einer Ideenquelle für modernes energiesparendes Bauen geworden. Die Rahmenbedingungen waren früher allerdings ziemlich anders als heute:

- Insbesondere standen keine Hochleistungsdämmstoffe zur Verfügung.
- Die Möglichkeiten des Glaseinsatzes waren viel geringer.
- Die Anforderungen an den Wärmekomfort lagen ganz anders.
- Der prägende Druck der Bauvorschriften setzte erst später ein.

Wer sich für die passive Nutzung der Sonnenenergie interessiert, wird den Einstieg



A = effektiv genutzt: 1to/Heizperiode
B = während der Heizperiode insgesamt: 6to
C = im Sommer: 9to

Abb. 1-1:

Sonnenstrahlung und Heizenergieverbrauch am Durchschnittseinfamilienhaus (Mittelland, 140m^2 beheizte BGF, $E = 800 \text{ MJ/m}^2\text{BGF}\cdot\text{a}$). Angaben in Tonnen Heizöl pro Jahr. Ein Fass symbolisiert den Energiegehalt von 3to Heizöl.

Oberfläche von Wänden und dem Dach absorbiert und bewirkt eine Verminderung des Wärmeabflusses von innen nach aussen.

Wo nichts anderes angegeben ist, beziehen sich die Aussagen in dieser Publikation auf eine durchschnittliche, nicht beschattete schweizerische Mittellandsituation mit ca. 3600 Heizgradtagen und 600 bis 700 Sonnenstunden während der Heizperiode. Damit gelten grundsätzliche Aussagen in vielen Fällen und müssen allenfalls für Standorte wie Lugano, Davos usw. relativiert werden.

Passive Nutzung der Sonnenenergie setzt beim Architekten das Bewusstsein voraus,

vermutlich über eine der unzähligen amerikanischen Publikationen finden, die in erster Linie von Sonnenhäusern in den südlichen USA berichten. Die überwältigende Fülle von Ideen und die enorme Sachkenntnis die in diesen Büchern zu finden sind wurden zu einer eigentlichen Schatzgrube. Es darf aber auch hier nicht vergessen werden, dass viele amerikanische Ideen in einem ganz anderen Umfeld von Bedingungen zum Einsatz gelangen. Insbesondere muss daran gedacht werden, dass Arizona auf der geografischen Breite Nordafrikas liegt, dass im amerikanischen Landesinneren Kontinentalklima herrscht und dass erhebliche Unterschiede im Baurecht und der Bautechnik bestehen.

Wer heute in Mitteleuropa klimagerechte Bauten realisieren will soll sich deshalb auf jeden Fall von traditionellen und exotischen Bauweisen anregen lassen. Die einzelnen Konzepte und Ideen (Pufferräume, Windschutzvorrichtungen, Holzläden, Strahlungsreflektoren, Trombe-Wände usw.) können aber sicher nicht ohne weiteres übernommen werden. Vielmehr sollten sie vor dem Hintergrund gegenwärtiger schweizerischer Bedingungen bewertet und adaptiert werden, was in den nachfolgenden Kapiteln versucht werden soll.

1.3 Klima

Mitteleuropa kann im internationalen Kontext als "kältere gemässigte Zone" bezeichnet werden. Eine Vielzahl von Klimafaktoren bestimmen im einzelnen die Merkmale dieser Zone. Aus der Sicht des klimagerechten, energiebewussten Bauens interessiert in erster Linie das Temperaturgeschehen und die Sonnenstrahlungsdaten. Bereits als sekundäre Grösse (in wärmetechnischer Hinsicht) können die Windverhältnisse bezeichnet werden. Selbstverständlich stehen auch Luftdruck, Niederschläge und Luftfeuchtigkeit über komplizierte Wechselwirkungen mit Temperatur und Bewölkung in Zusammenhang. Unmittelbare Bedeutung kommt ihnen aber nur in nichtenergetischer Sicht zu: insbesondere Niederschläge und Luftfeuchtigkeit diktieren die Bauweise massgeb-

lich (Vordächer, Dampfsperren, Witterungsbeständigkeit der Materialien usw.).

Konkretes Zahlenmaterial betreffend Temperatugeschehen und Sonnenstrahlung ist erst seit neuester Zeit in einer Weise verfügbar, dass der Baufachmann damit seine Berechnungen und Ertragsabschätzungen mit befriedigender Genauigkeit durchführen kann. Bezüglich Sonnenstrahlung in der Schweiz kann auf die beiden ausgezeichneten Datenbände des SIA (Dokumentation 64, Lit. 54) bzw. der Baudokumentation (Solar-daten von P. Valko, Lit. 4) zurückgegriffen werden. Für die Ermittlung der Wärmeverluste interessiert vor allem das Produkt aus Temperaturdifferenz innen - aussen und der Zeit (z.B. als Grad Celsius mal Tage, sogenannte Gradtage oder Heizgradtage, HGT). Langjährige Mittelwerte der HGT sind in der SIA-Empfehlung 381/1 zusammengestellt. Die aktuellen Jahres- und Monatswerte werden periodisch z.B. in der Zeitschrift "Heizung Klima" publiziert.

Einige grundsätzliche Ueberlegungen lassen sich anhand Abb. 1-3 anstellen. Wenn beispielsweise die Einstrahlungswerte und Heizgradtage als die beiden wesentlichen energieverbrauchsbestimmenden Einflussgrössen, international verglichen werden, zeigt sich deutlich, dass für klimabewusstes Bauen keine Rezepte aufgestellt werden können, die überall Gültigkeit haben. Die vielzitierten Solarhäuser aus Arizona und New Mexiko (USA) liegen zu einem grossen Teil in Gegenden, die zwar von den Temperaturen her einen stattlichen Wärmebedarf aufweisen (Kontinentalklima, grosse Höhe über Meer), wo die Sonne aber zu rund 80 % der prinzipiell möglichen Zeit scheint und die Einstrahlungsintensität auf südorientierte Fensterflächen schön parallel zum Wärmebedarf (HGT) verläuft: Bei maximalem Wärmebedarf steht auch die maximale Einstrahlung zur Verfügung. In allen schweizerischen Klimata besteht hier eine unwillkommene Gegenläufigkeit. Zwar verbessert sich die Einstrahlung auf vertikale Südflächen wegen des tiefen, winterlichen Sonnenstandes gegen den Hochwinter grundsätzlich. Gleichzeitig werden aber die Tage sehr kurz. Vor allem im Mittelland (Bern) geht zudem die durchschnittliche Anzahl Sonnenstunden pro Tag gerade in dieser Zeit drastisch zurück (Hochnebel). Insgesamt steht also dem Wärmebedarfs-Maximum das Jahres-Minimum der Einstrahlung gegenüber. Eine weitere Erschwernis für den Bau von Solarhäusern in unserer Gegend ist die aus Abb. 1-3 nicht ersichtliche Tatsache, dass die Verteilung der anfallenden Sonnenstunden bei uns sehr unregelmässig ist, dass insbesondere häufig mit sonnenlosen Mehrtagesperioden zu rechnen ist. Dies alles verunmöglicht klimagerechtes und energiebewusstes Bauen in unseren Breitengraden keineswegs. Aber die Aufgabe ist schwieriger zu lösen und die Konzepte müssen gekonnt auf unsere Situation zugeschnitten werden. Exotische Konzepte weisen oft durch ihren einfachen, plausiblen Aufbau eine schlagende Ueberzeugungskraft auf. Zum Erfolg führen auch sie aber nur, wenn sie in dem für sie geeigneten Klima stehen.

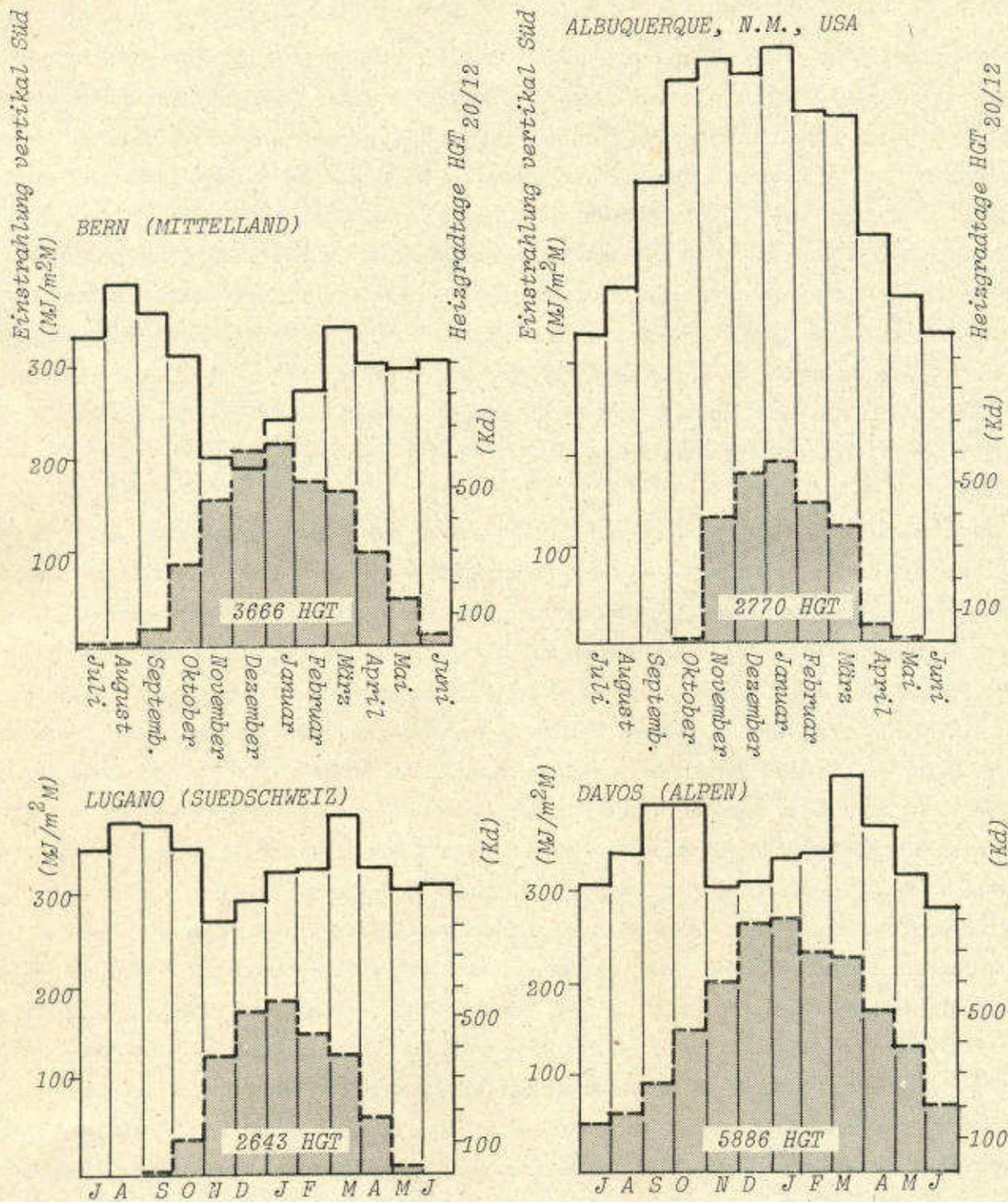


Abb. 1-2:

Klimavergleich zwischen drei schweizerischen Regionen (Mittelland, Südschweiz, Alpen) und der "Heimat der Solarhäuser" (Albuquerque, New Mexiko, 1500 m.ü.M. Monatliche Globalstrahlung auf südorientierte, vertikale Flächen und Monatswerte der Heizgradtage.

Die Werte für Albuquerque wurden übernommen aus Lit. 53 (E. Masria) und umgerechnet. Die Umrechnung der Heizgradtage vom amerikanischen ins schweizerische System ist wegen der bei uns auf 12°C festgelegten Heizgrenze mit Vorbehalt zu interpretieren, weil gerade wegen der grossen klimatischen Unterschiede die Heizgrenze 12°C für New Mexiko nicht sehr sinnvoll ist.

2. Konzipieren von Sonnenhäusern

Entwurf, Projektierung und Bau eines Hauses sind begleitet von einer nicht abbrechenden Kette von Entscheidungen. Bereits vom frühesten Entwurfsstadium her beeinflussen die so oder anders gefällten Entscheidungen den künftigen Energieverbrauch des Gebäudes. Nur wer also bereits in der Konzeptphase den Energieverbrauch als Entwurfskriterium in sein Denken einbezieht, kann ein energetisch optimales Resultat erwarten.

2.1 Architekturauffassung und Energiekonzept

Auch wenn die Optimierung des Energieverbrauchs richtig ist, wird sie zweifellos immer prioritären architektonischen Einflussgrößen untergeordnet bleiben. Je nach Architekturauffassung, aus der ein Entwurf wachsen kann, werden energetische Optimierungsansätze möglich, die sich grundlegend unterscheiden. Aktive Partizipation des Bewohners mag beispielsweise im einen Fall Voraussetzung für niedrigen Energieverbrauch sein. Im anderen Fall merken die Bewohner (ausser der niedrigen Heizkosten) nichts vom energieoptimalen Funktionieren des Hauses. Auch bei energetischer Gleichwertigkeit werden sich die beiden Häuser stark unterscheiden. Die im folgenden zu-

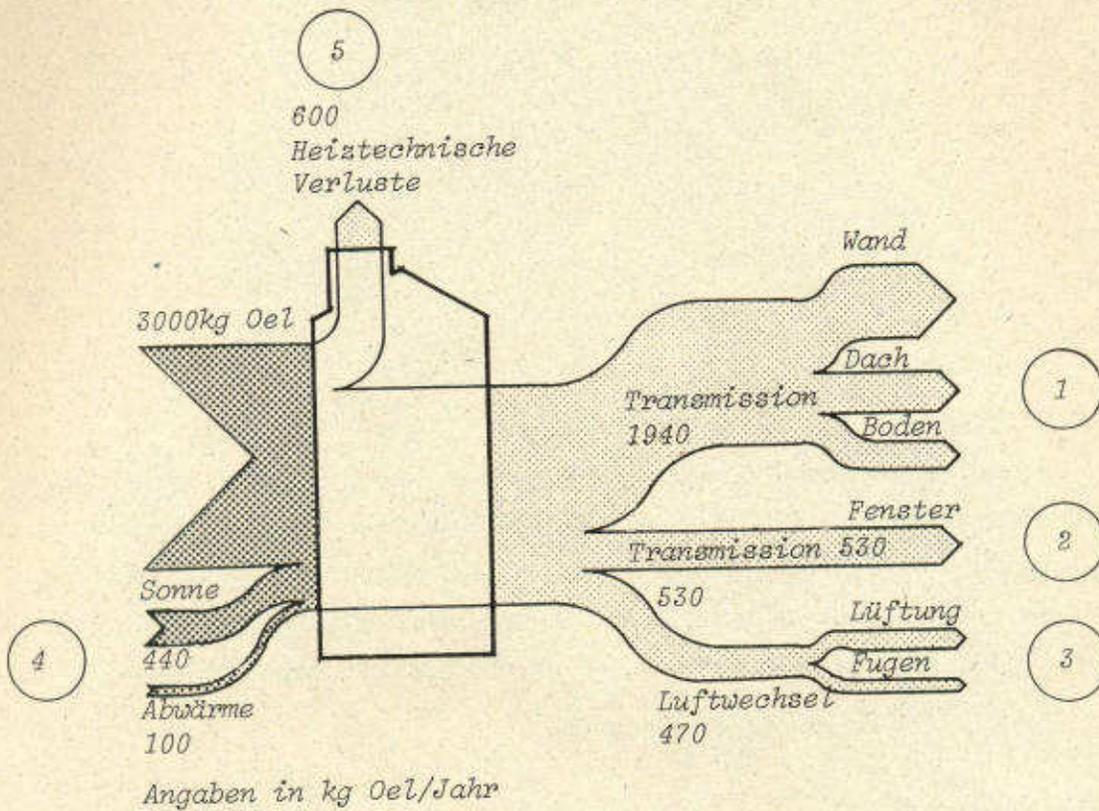


Abb. 2-1:

Das durchschnittliche, bestehende Einfamilienhaus
Typische Energiebilanz einer Heizperiode und Ansatzpunkte für die energetische Optimierung.

Ansatzpunkte zur Optimierung des Energieflusses:

- 1 Transmissionsverluste durch nichttransparente Bauteile: Reduktion durch Wärmedämmschichten (10 - 30cm).
- 2 Transmissionsverluste durch transparente Bauteile: gut wärmedämmende Verglasung, hält aber auch die Sonne ab (Zielkonflikt mit Pkt. 4)
- 3 Leistungsfähige Nachtwärmedämmung (Isolierläden). Luftwechsel minimieren: Zielkonflikt mit Anforderungen an die Raumluftqualität.
- 4 "Gratisenergie" vergrößern und besser nutzen.
- 5 Heizanlage optimieren

sammengestellte Typologie von Energiekonzepten soll dies illustrieren. In der Praxis werden die Bauten meistens Komponenten von zwei oder mehreren Typen aufweisen. Gerade in einem gemässigten Klima ist es auch energetisch sinnvoll, unterschiedliche Konzepte zu verkoppeln.

Bezugsbasis für die Ueberlegungen bildet ein durchschnittliches schweizerisches Einfamilienhaus, anhand dessen bereits die Menge der auftreffenden Sonnenstrahlung erläutert wurde (Abb. 1-1). Mit gutem Recht kann bezweifelt werden, ob das freistehende "Sonnen - Einfamilienhaus" die ökologisch sinnvolle Wohnform der Zukunft sei. Hier ist es Demonstrationsobjekt und nicht Empfehlung.

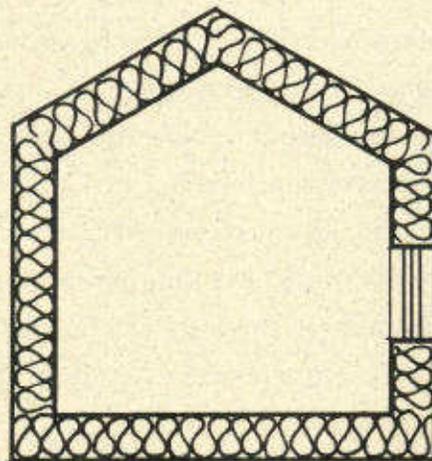
Die nachfolgend dargestellten acht Architekturkonzepte sollen illustrieren, dass es nicht einen, nämlich den besten Weg zum energiegerechten Haus gibt, sondern dass je nach Bedürfnislage der Bewohner und je nach Weltbild des Projektierenden das Optimum anders aussieht: Der einfach und "sanft" renovierte Altbau, der von seinen Bewohnern bewusst im Minimalkomfortbereich betrieben wird (unbeheizte Schlafzimmer, Einzelofen in der Stube), mag schlussendlich weniger Energie brauchen, als das raffinierte, automatisch auf 20⁰ C thermostatisierte Luftkollektorhaus. Jedenfalls ist nicht das eine Haus besser als das andere, sondern sie entsprechen jeweils anderen Erwartungen und Bedürfnissen. Im Rahmen dieser Publikation ist der Blickwinkel eingengt auf die nachfolgenden acht Konzepte, mit denen aber die wichtigeren Ansätze abgedeckt sein sollten. Ansätze, wie sie in Mitteleuropa gepflegt werden und wie sie in z.T. amerikanischer Literatur dargestellt sind.

Die technischen, konstruktiven und physikalischen Aspekte der wichtigeren Hauskonzepte sind in den Kapiteln 3, 4 und 5 ausführlich dargestellt. In den nachfolgenden Abschnitten soll deutlich werden, dass darüber hinaus die verschiedenen Haustypen Resultate von grundlegend unterschiedlicher Architekturauffassung sind und das Bemühen um ein energieoptimales Verhalten daher zu unterschiedlichen Lösungen führt.

2.2.1 Das Isolationsprinzip

Prinzip:

Eine konsequente Wärmedämmung der Gebäudehülle (z.B. 12 - 15 cm Wärmedämmung von Wand, Dach und Boden und Wärmeschutzverglasung) vermindert die Wärmeverluste so stark, dass mit minimalem Aufwand geheizt werden kann. Da auch die Fenster mit dem besten k-Wert immer noch ca. 5 Mal mehr Wärme ableiten, als die anschliessenden Wandflächen, wird die Fensterfläche, unabhängig von ihrer Orientierung, auf das wohnhygienische Mindestmass reduziert, auch wenn dadurch natürlich die Sonneneinstrahlung ebenfalls verringert wird.



Beurteilung:

Kleine Verluste - kleine Sonneneinstrahlungsgewinne: Je kälter und sonnenärmer das Klima, desto mehr zahlt sich dieses Prinzip aus.

Das Isolationsprinzip ist für den Architekten wie für den Bewohner ziemlich "narrensicher" in Bezug auf die energetischen Resultate: Für den Architekten entfallen schwierige Dimensionierungsprobleme (Verglasung, Speicher) unter Berücksichtigung instationärer Vorgänge, und der Bewohner muss sich nicht speziell nach dem Energieverhalten des Hauses richten. Der Innenraum wird weitgehend aus dem Aussenklima herausgelöst (isoliert) und reagiert thermisch daher wenig auf das Geschehen des Aussenklimas (auch im positiven Sinn nicht auf die Sonne). Von begnadeten Solararchitekten werden solche Bauten gerne als "Polystyrol - Iglus" oder "Thermosflaschen" belächelt.

Da die Wärmeleitungsverluste bis zur Bedeutungslosigkeit reduziert werden, diktieren die Lüftungswärmeverluste den Energieverbrauch. Ein Luftwechsel mit Wärmerückgewinnung stellt für das hochisolierte Haus den letzten Schritt zum Energieoptimum dar.

Persönliche Nachbemerkung:

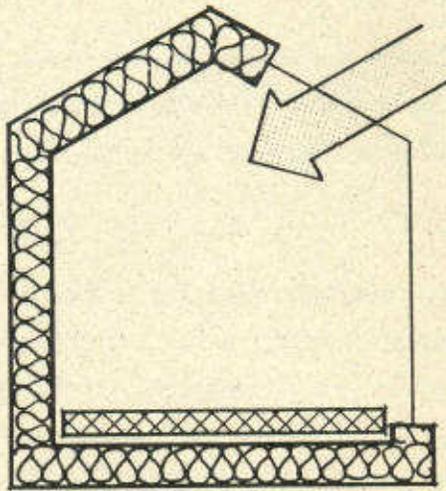
Hochisolierte Häuser reduzieren den Kontakt zur Umwelt bewusst auf das unumgängliche Minimum: Fenster werden nur so gross gemacht, wie es aus Gründen der Tageslichtbeleuchtung nötig ist und der Luftwechsel ist auf das Bedarfsminimum abgestimmt. Das Isolationsprinzip stösst daher auf wenig Sympathie und wird mehr im Sinne eines Kompromisses in Ansätzen geduldet. Aus rein energetischer Sicht muss aber betont werden, dass sie für das schweizerische Klima sehr gut geeignet sind. Metaphorisch gesprochen dürfte es sich beim hochisolierten Haus um das hässliche (Architektur-) Entlein handeln, das sich als (Energie-) Schwan entpuppt. Ein hochisoliertes Haus mit einer leistungsfähigen Abluft-Wärmerückgewinnung dürfte mühelos jedem Vergleich mit anderen Konzepten in Sachen Heizenergieverbrauch und Kostenwirksamkeit standhalten. Die Frage, ob dieses Prinzip architektonisch zu bewältigen ist, bleibt meines Erachtens vorderhand an den Entwurfsarchitekten hängen.

In den USA werden zum Teil eigentliche Superisolierhäuser erstellt (superinsulated Houses), mit 30 bis 50 cm dicken Wärmedämmschichten in der Gebäudehülle. Derartige Isolierstärken dürften aber weder aus wirtschaftlicher noch aus energetischer Sicht sinnvoll sein.

2.1.2 Das Haus als Sonnenkollektor (Direktnutzungskonzept)

(Vgl. dazu auch Abschnitt 5.2)

Prinzip: Durch eine grosszügig verglaste Südfassade wird die Sonnenstrahlung hereingelassen. Die materialtechnischen Eigenschaften von Glas bewirken, dass die Sonnenenergie nicht einfach wieder als Wärme nach draussen abgestrahlt oder als Warmluft weggeführt werden kann. Die restliche Gebäudehülle ist gut isoliert und genügend Speichermasse sorgt für ein ausgeglichenes Temperaturverhalten.



Beurteilung: Ziemlich problemlos können dem Haus grosse Einstrahlungsenergien zugeführt werden. Es ist aber nicht einfach, die während der Sonnenscheindauer im Ueberfluss gelieferte Energie (vor allem im Herbst und Frühling) irgendwo einzuspeichern (Boden, Wände), damit nicht eine momentane Raumluftüberhitzung eintritt und die Wärme weggelüftet werden muss. Die Wärme soll ja abends und nachts wieder langsam an den Raum abgegeben werden, um die Wärmeverluste durch die Gebäudehülle auszugleichen und damit die Raumtemperatur erhalten bleibt.

Je zuverlässiger die Sonne Tag für Tag scheint (Hochland von New Mexiko, Arizona; bei uns vielleicht Davos u.ä. Lagen) desto besser funktioniert ein solches Direktnutzungssystem, weil die Speicherkapazität und die Energiemenge nicht über mehrere sonnenlose Tage hinhalten müssen.

Je milder das Aussenklima ist, desto weniger fallen die Transmissionsverluste durch die grossen Fenster ins Gewicht (also z.B. Lugano, Locarno usw.) In unserem Klima stellt sich aber je nach Verglasungstyp die Frage, ob die Fensterflächen nachts nicht mit einer Wärmedämmung zu versehen sind. Bei grossen Fensterflächen ist dies auch aus Gründen der Behaglichkeit fast unumgänglich, weil sonst die mittlere Temperaturabstrahlung in den Raum zu gering ist.

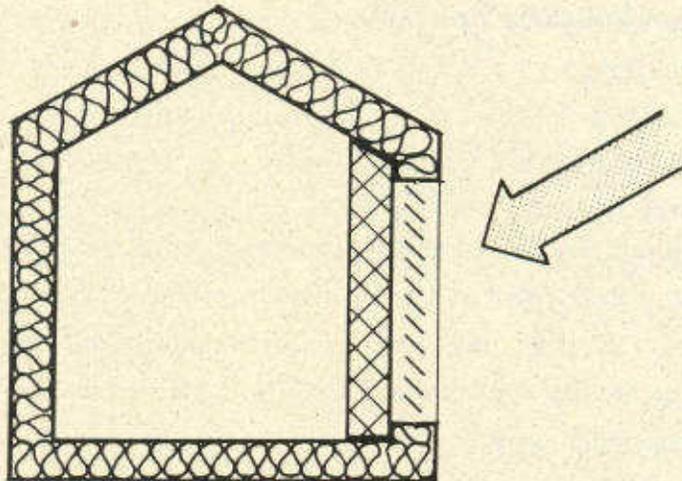
Die Gestaltung eines Hauses, so dass es als Ganzes sich im Klima wie ein Kollektor verhält, der in seinem Inneren behagliche Existenzbedingungen aufweist, erfordert vom Architekten spezielle Sachkenntnis (und wenn möglich auch die Fähigkeit, rechnerische Abschätzungen einzusetzen).

Vom Bewohner muss eine gewisse Partizipation erwartet werden können: Die Nachtwärmedämmung der Fenster muss bedient werden, die Sonneneinstrahlung darf nicht ungebührlich abgedeckt werden (Vorhänge, Verschmutzung) und die Absorberoberflächen (Boden) dürfen nicht mit Möbeln und Teppichen abgedeckt werden.

2.1.3 Die Massenwand als Sonnenenergiespeicher

(Vgl. dazu auch 5.3)

Prinzip: Die einfallende Sonnenstrahlung wird auf einer dunkel beschichteten, massiven Fassadenwand in Wärme umgesetzt (absorbiert). Die Fassade ist verglast, damit die Wärme nicht ungehindert wieder als Infrarotstrahlung an die Umwelt abgestrahlt werden kann. Durch die massive Wand wird die Wärme mit der erwünschten zeitlichen Verzögerung an den Raum abgegeben. Nord, Ost- und Westwände, sowie Dach und Boden sind gut isoliert, damit möglichst wenig Wärme verloren geht. Die Methode wurde zuerst von Michel-Trombe in Südfrankreich angewendet.



Beurteilung: Die Umsetzung der Strahlung in Wärme geschieht nicht im Raum selbst, sondern auf der raumabgewandten Seite der Massenwand. Dadurch wird das Problem der Raumüberhitzung bei Sonnenschein entschärft (Hauptproblem beim Direktnutzungskonzept). Die warme Oberfläche der Massenwand verliert dafür allerdings permanent Wärme an die kalte Verglasung und damit an die Umwelt.

Die Strahlungsaufnahme und -umsetzung kann gut optimiert werden: es können gute Absorberflächen eingesetzt werden (sehr dunkle Farben) und gut geeignete Speicher-materialien gewählt werden (Beton, Wasserkanister). Bei unserem (nicht sehr günstigen) Verhältnis von Sonneneinstrahlung zur Kälte des Aussenklimas wird die Massenwand aber allenfalls interessant, wenn sie nachts isoliert werden kann (Kosten, Bedienungsaufwand) oder wenn die Verluste mit verbesserten Materialien drastisch gesenkt

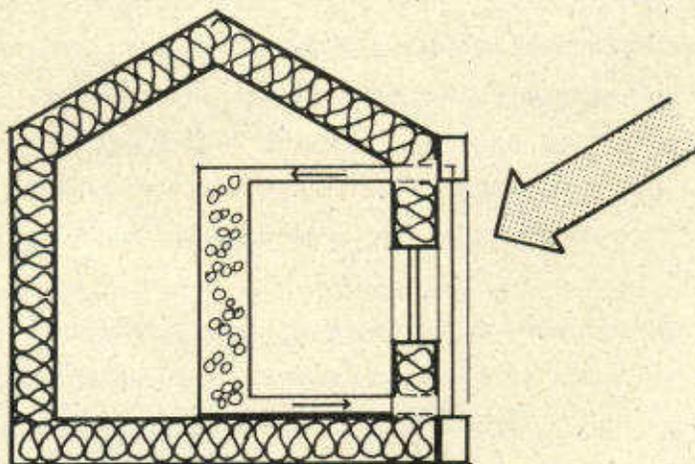
werden können (selektive Absorberbeschichtung, hochisolierende Verglasung). Letzteres ist vorderhand noch Zukunftsmusik.

Durch Luftklappen kann bei Bedarf Raumluft am Absorber vorbeigeführt und erwärmt werden. Das Heizverhalten der Wand kann damit reguliert werden: am Morgen kann sofort Warmluft bezogen werden und am Nachmittag wird die Wand für den Abend und die Nacht aufgeheizt. Die (in unserem Klimata) schlechte Bilanz der Massenwand kann aber auch damit kaum positiv beeinflusst werden.

2.1.4 Das Luftkollektor-Konzept

(Vgl. dazu auch 5.4)

Prinzip: Die dunkle, verglaste Absorberwand wird gut isoliert, damit vom Raum wenig Wärme nach aussen fließen kann. Selbstverständlich fließt dadurch auch kaum Wärme gegen innen. Die über der Absorberfläche sich erwärmende Luft entweicht in einen Speicher, von wo sie abgekühlt wieder im unteren Teil der Fassade zwischen Glas und Fassade eingelassen wird.



Beurteilung:

Je kälter und je sonnenärmer das Klima ist, desto mehr drängt sich der Gedanke auf, eine Absorberwand (verglaste Südfassade) zur Verminderung der Verluste gut zu isolieren und die Einstrahlungsenergie möglichst vollständig einem Speicher zuzuführen, von wo sie nach Bedarf dem Raum zugeführt werden kann.

Das Luftkollektor-Konzept erlaubt es, ein Superisolierhaus bezüglich Energieverluste zu bauen und diesem über einen leistungsfähigen Luftkollektor noch Wärme zuzuführen. Dies macht auch deutlich, dass der Luftkollektor nicht zwingend an der Fassade bleiben muss. Grundsätzlich kann auch der Speicher an einem beliebigen Ort stehen. Die Ökonomie der Wärmetransporte und die Nutzung der Speicherabwärme legt eine kompakte Aggregation dieser Elemente allerdings nahe.

Mit obiger Ueberlegung lässt sich das Luftkollektor-Konzept eigentlich reduzieren auf dasjenige des gut isolierten Hauses, wobei der Kollektor lediglich eine mögliche Form der Zusatzheizung ist. In diesem Sinne kann natürlich deshalb ohne weiteres auch ein Wasserkollektor oder eine konventionelle Heizung (Holzkessel, Wärmepumpe, Oelkessel usw.) die Funktion des Luftkollektors übernehmen. Sonnenkollektoranlagen sollten allerdings mit etwas anderen Augen betrachtet werden: Sie sind nicht einfach alternative Einrichtungen zur Beheizung von Häusern auf 20°C. Vielmehr sollten Kollektor, Speicher und Haus als integriertes Ganzes im Klima stehen und ein möglichst autonomes, behagliches Wohnen ermöglichen.

Weshalb ein Luftkollektor-Konzept für die passive Nutzung der Sonnenenergie in unserem Klima sich als Favorit unter den Nutzungsprinzipien herausstellen kann, wird erst deutlich, wenn die Multifunktionalität von solchen Fassaden erkannt wird. Dies ist in der Schweiz an mehreren Bauten auf unterschiedliche aber in jedem Fall imponierende Weise gezeigt worden, z.B.:

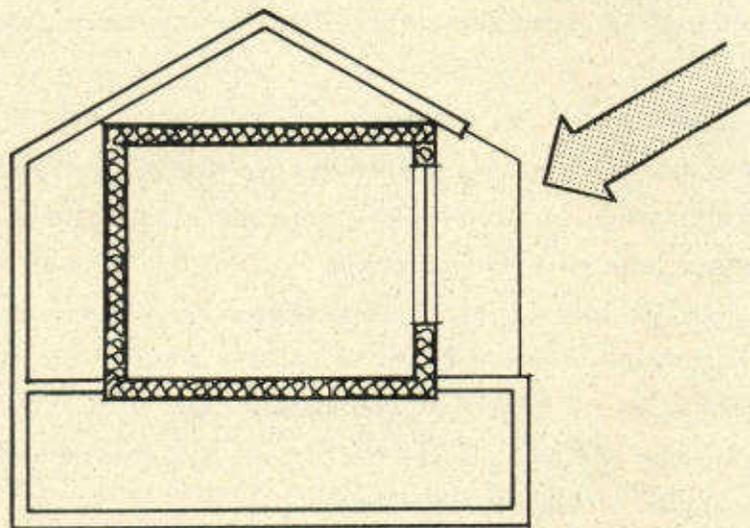
- Haus Gonten von U. Schäfer/R. Kriesi (Lit. 38)
- Solar Trap Haus in Widen von Th. Kurer (Lit. 32)
- Bürohaus Haas in Jona, von K. Haas (Lit. 37)

In allen drei Fällen wird die Absorberfunktion z.T. zusätzlich den Lamellenstoren übertragen, die einseitig dunkel gefärbt sind.

2.1.5 Das Raumzonen-Haus

(Vgl. dazu 2.2.3)

Prinzip: Der vollbeheizte Hausteil ist umgeben von unbeheizten Räumen (Keller, Estrich, Abstellraum, Garage, Loggia, Wintergarten usw.), welche als isolierende Pufferzonen wirken. Ein südseitiger Wintergarten kann bei Sonnenschein sogar der warmen Kernzone Wärme abgeben.



Beurteilung:

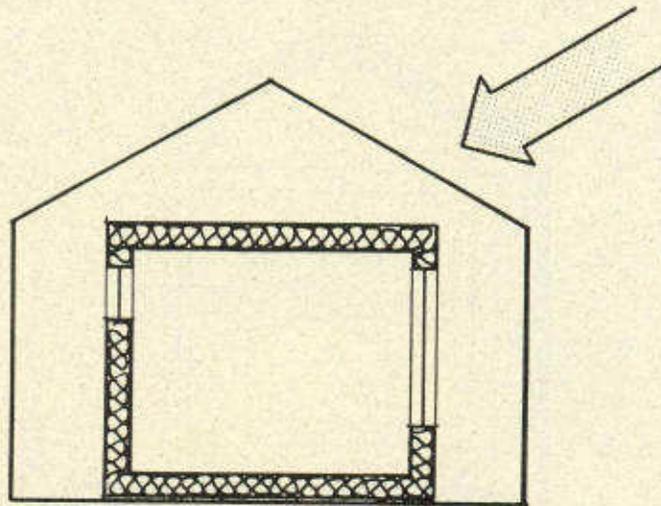
Die Wärmeverluste sind proportional dem Temperaturgefälle. Es ist folglich sicher sinnvoll, die wärmsten Räume im Zentrum zusammenzufassen und kältere Zonen darum herum zu gruppieren. Die Wirksamkeit darf aber nicht überschätzt werden.

Die kalten Pufferräume sind oft von der warmen Kernzone her zugänglich (Estrichtüre, Korridor). Dies birgt die Gefahr in sich, dass die Pufferräume durch offenstehende Türen mit viel Energie mitbeheizt werden.

Die thermische Leistungsfähigkeit sinkt rapide mit zunehmendem Luftwechsel im Pufferraum. Das Luftvolumen des Pufferraumes wirkt dann immer weniger als isolierendes Luftpolster, weil es ja ständig durch kalte Frischluft ersetzt wird.

2.1.6 Das Haus im Glashaus

Prinzip: Im Glashaus herrscht ein zwar stark mit der Sonnenstrahlung schwankendes, insgesamt aber doch relativ mildes Klima. Wenn ein (weitgehend unisoliertes) Haus im Glashaus aufgebaut wird, enthält dieses Gebäude genügend Masse, um Temperaturschwankungen auszugleichen und insgesamt mit wenig Zusatzenergie zu funktionieren.



Beurteilung:

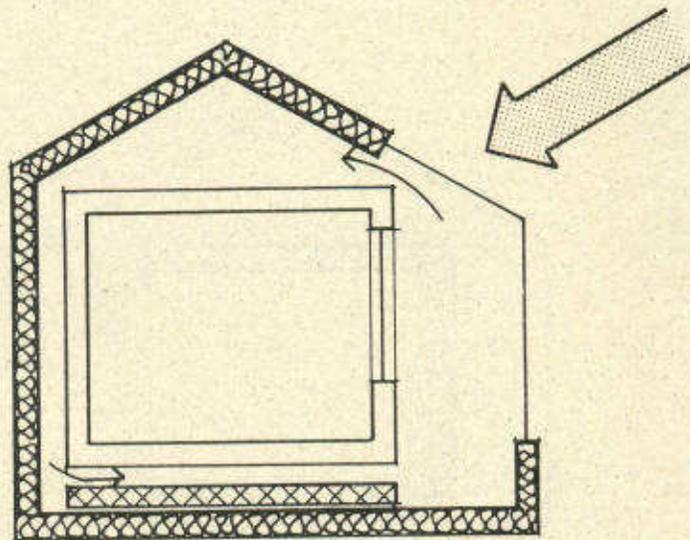
Wie bei kaum einem anderen Energienutzungsprinzip wird hier die Frage des Lebensstils angesprochen. Die ausserordentlich interessanten Erfahrungen der Gruppe LOG ID (Lit. 8), die lange Zeit im Gewächshaus gelebt hat, zeigt das sehr deutlich. Die innen-klimatischen Bedingungen sind reizvoll im eigentlichen Wortsinn: grosse Temperatur-, Feuchtigkeits- und Helligkeitsschwankungen prägen den Tages- und Jahresablauf.

Ob das Haus im Glashaus wirklich mit sehr wenig Heizenergie auskommt, wird wesentlich davon abhängen, ob grosse Temperaturschwankungen (z.B. 14 bis 28⁰C) zugelassen werden.

Selbstverständlich spielen auch die klimatischen Gegebenheiten des Standortes (Sonnenstundenzahl, Aussentemperatur) und die Verglasung (einfach oder doppelt) wichtige Rollen.

2.1.7 Das Doppelschalenhaus (Double Envelope)

Prinzip: Vom südseitig angebauten Wintergarten kann die erwärmte Luft die eigentlichen Wohnräume umfließen. Es stellt sich bei Sonnenschein eine selbsttätige Konvektion ein: vom Wintergarten über den Dachraum, durch die doppelschalige Nordwand und den Keller oder einen besonderen Speicher (z.B. Geröll). In der Nacht kehrt sich dieser Luftstrom um und sorgt dafür, dass Haus und Wintergarten nicht unterkühlt werden.



Beurteilung:

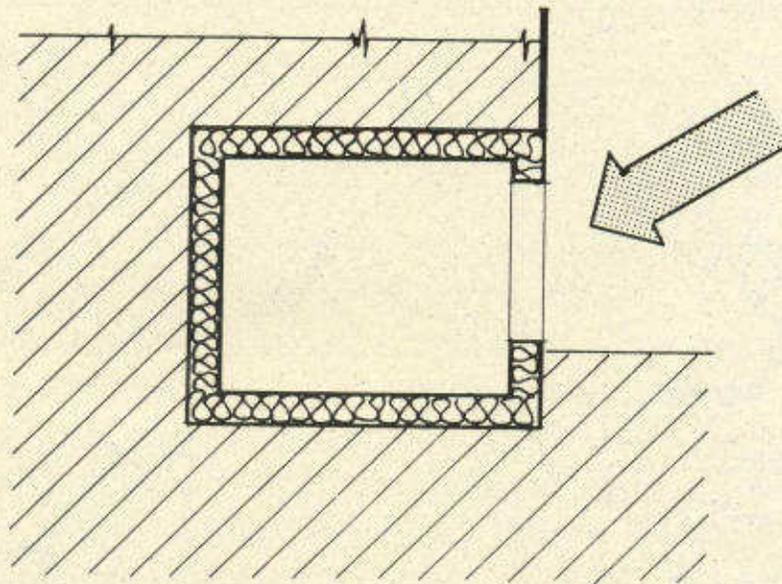
In den USA wurden in verschiedenen Gegenden mit unterschiedlichem Klima Doppelschalenhäuser gebaut. Ob, wie und unter welchen Bedingungen diese Häuser funktionieren ist wenig untersucht.

Die selbsttätige Luftzirkulation kommt nur zustande durch entsprechende Luftabkühlung in der Nordwand. Um ein funktionierendes Doppelschalenhaus zu haben, muss also in Kauf genommen werden, dass ein Teil der im Wintergarten umgesetzten Sonnenstrahlung wieder verloren geht, damit die Luftumwälzung läuft. In sonnenarmen Klimata könnte auf diese Weise nichts mehr für den Wärmespeicher übrig bleiben.

Wenn schon ein Doppelschalen-Prinzip realisiert werden soll, müsste, beispielsweise die Nordwand (raumseitig der Wärmedämmung!) als Speicher ausgebildet und der Wintergarten durch ein einigermaßen leistungsfähiges Luftkollektorelement ersetzt werden. Insgesamt handelt es sich beim Doppelschalenhaus um ein Luftkollektorhaus, das zumindest für unsere Klimaverhältnisse reichlich ungeschickt konzipiert ist. Der offene Luftkreislauf vom (feuchten) Wintergarten in den Speicher birgt ausserdem ein grosses Risiko an Kondenswasserschäden.

2.1.8 Earth Architecture

Prinzip: Das Haus wird so tief wie möglich in die Erde eingegraben bzw. mit Erde eingedeckt. Die grossen Erdmassen bewirken je nach Wärmedämmschicht, mit der das Haus unmittelbar abisoliert ist, ein sehr träges Temperaturverhalten. Im Winter herrscht gegen den Boden hin ein geringeres Temperaturgefälle als gegen das Aussenklima. In den Uebergangszeiten sollte dann allerdings die Sonne regelmässig in die Räume scheinen, sonst verlängert sich die Heizperiode, da auch im Mai und Juni das Temperaturgefälle gegen das Erdreich hin bestehen bleibt.



Beurteilung:

Für erdüberdeckte Bauten wird in erster Linie aus Behaglichkeitsgründen und aus architektonischer Sicht geworben. (Ab und zu wird auch eine Zivil- und Atomschutzargumentation ins Feld geführt.) Der Energieaspekt steht eher im Hintergrund.

Aus energetischer Sicht sollte das Haus auch gegen das Erdreich hin optimal isoliert werden. Je besser aber isoliert wird, desto weniger kommt der spezifische Effekt dieser Bauweise zum Tragen.

Da es mit echter Earth Architecture gelingt, nicht nur die täglichen, sondern auch die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen zu dämpfen, ist diese Bauweise für Kontinentalklimata sowie für heisse Regionen (sommerlicher Wärmeschutz) sicherlich ein erfolgversprechender Ansatz auch in energetischer Hinsicht.

2.2 Entwurf und Projektierung

2.2.1 Standort

Die Möglichkeiten, den Standort des Hauses nach energetischen Kriterien zu wählen,

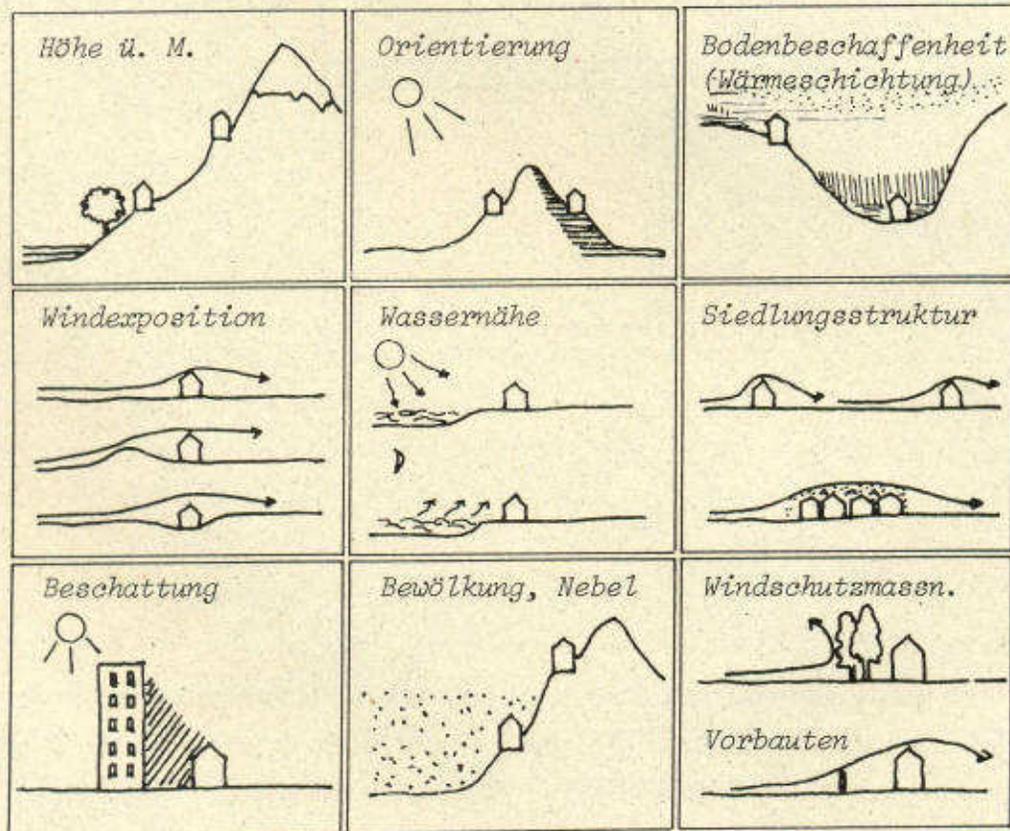


Abb. 2-2:

Standortparameter (nach R. Regolati, Zürich, ergänzt)

dürften angesichts der Realitäten am Baulandmarkt sehr bescheiden sein. Hingegen können die vorgegebenen, standortabhängigen Klimadaten, insbesondere Häufigkeit und Verteilung der Sonneneinstrahlung, das Gestaltungskonzept des Hauses massgeblich beeinflussen. Häufige Morgennebel können beispielsweise bewirken, dass von Süd-Südwest oder Südwest mehr Energie eingestrahlt wird als von Süden, was in der Orientierung des Gebäudes berücksichtigt werden kann. Bei insgesamt relativ wenig Sonnenscheinstunden und langen Hochnebelperioden wird möglicherweise das Isolationsprinzip in der Konzeption stärker betont.

2.2.2 Windschutz

Lohnt es sich, durch künstliche Massnahmen das Mikroklima zu beeinflussen (Hecken, Bäume und Erdwälle als Windschutz)? Bei undichten Bauten kann sicher der Luftwechsel durch Windschutzmassnahmen positiv beeinflusst werden, was für den Energieverbrauch merkliche Konsequenzen hat. Bei dichten und hochisolierten Bauten muss man sich im klaren sein, dass mit Windschutzmassnahmen lediglich der konvektive Wärmeübergang an der Gebäudehülle vermindert werden kann, was in Relation zum ohnehin bestehenden Wärmedurchgangswiderstand der Wärmedämmschicht ein winziger Effekt ist. Je grösser allerdings der Glasanteil ist, wo der konvektive Wärmeübergang wegen des relativ schlechten k-Werts eine erhebliche Rolle spielt, desto eher wirkt sich (in bescheidenem Mass) eine mikroklimatische "Windberuhigung" aus. Es gibt aber auch bei hochisolierten und dichten Bauten sehr gute nicht-energetische Gründe für Windschutzmassnahmen (Garten-/Aussenraumklima, Verminderung der Schlagregenbeanspruchung usw.)

2.2.3 Pufferräume

Die Gruppierung der Räume nach ihrer Solltemperatur (kalte Räume umschliessen warme Räume) ist sicher zweckmässig, weil damit die Wärmeverluste des wärmsten Raumes immerhin den umliegenden Räumen zugute kommen und diese wiederum weniger Wärme an das Aussenklima verlieren, weil sie auf tieferen Temperaturen gehalten werden. Dabei darf aber nicht übersehen werden, dass der "Isolationswert" des Luftpolsters im Pufferraum etwa einem Zentimeter Wärmedämmstoff entspricht. Als noch keine Wärmedämmstoffe zur Verfügung standen, war dies eine enorme Optimierungsmöglichkeit. Wenn heute aber der Einsatz von 10 bis 15 cm Wärmedämmstoff empfohlen wird, kann ein Pufferraum die Wärmedämmschicht nicht ersetzen und auch nur in bescheidenem Mass ergänzen. Das Fazit kann in folgender These zusammengefasst werden:

Wo Räume mit unterschiedlicher Temperaturlösung vom Raumprogramm verlangt werden, ist es zweckmässig, diese nach Temperaturen abgestuft anzuordnen (warme Räume zusammenfassen; umhüllen mit kalten Pufferräumen). Die Schaffung zusätzlicher Pufferräume aus "Energiespargründen" ist unverhältnismässig: zwei Zentimeter mehr Wärmedämmstoff ist billiger und besser.

Anmerkungen:

- Für südorientierte, verglaste Pufferräume gilt diese These nicht. Je mehr der Pufferraum zu einem eigentlichen Wintergarten wird, desto mehr fällt die Sonneneinstrahlung positiv ins Gewicht.
- Pufferräume bieten den bauphysikalisch - konstruktiven Vorteil, dass die Wärmedämmschicht nicht in eine kompakte Gebäudehülle integriert werden muss. Eine hochisolierte Gebäudehülle besteht aus bauphysikalisch enorm beanspruchten Bauteilen. Wenn beispielsweise die Wärmedämmschicht nicht in die Dachschräge eingebaut werden muss, sondern der Estrich als Pufferraum dient und sie als Estrichbodenisolation ausgeführt werden kann, wird die Dachschräge entlastet (Temperatur- und Dampfdruckgefälle) und wird einfacher in der Konstruktion sowie der Ueberwachung und Wartung besser zugänglich.
- Weil der Pufferraum nur noch am Rande als zusätzliche Wärmedämmung wirkt, muss sorgfältig überdacht werden, wo die eigentliche Wärmedämmschicht plziert

wird. Die Temperatur im Pufferraum (ohne Heizkörper notabene) kann auf diese Weise "eingestellt" werden. Da der Pufferraum zwischen konstantem Innenklima (20°C) und variablem Aussenklima liegt, schwankt seine Temperatur je nach Verteilung der Wärmedämmschicht mehr oder weniger mit dem Aussenklima. Es kann daher unterschieden werden zwischen "kalten Pufferräumen" welche durch die Wärmedämmschicht thermisch von der Kernzone getrennt sind und "warmen Pufferräumen", wo die Aussenhülle des Pufferraumes und nicht die Abgrenzung gegen die Kernzone isoliert ist (z.B. unbeheizter Estrich mit Schrägdachdämmung statt Estrichbodenisolation). Aus energetischer Sicht sollten warme Pufferräume vermieden werden (vgl. Berechnungsbeispiel).

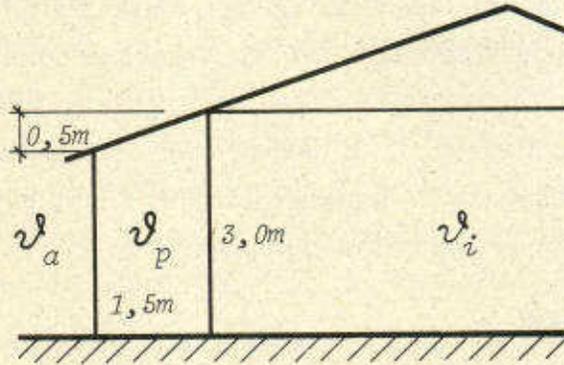
- Wenn im Pufferraum ein Luftwechsel stattfindet, wirkt sich das in allen drei möglichen Fällen negativ auf den Energieverbrauch aus:
 - Der Pufferraum wird von aussen durchlüftet (Fenster, Fugen, undichte Dach-eindeckung usw.). Die Wärme geht als Warmluft aus dem Pufferraum verloren, bevor das Luftpolster wirklich dämmend wirkt.
 - Der Pufferraum erhält Warmluft aus der Kernzone (Türen, Fugen). Die Wärme geht durch die relativ schlecht gedämmten Aussenwände des Pufferraumes verloren.
 - Beide obgenannten Effekte überlagern sich: Die Abtrennung zwischen Kernzone und Pufferraum ist undicht, ebenso die Abtrennung des Pufferraumes gegen das Aussenklima.

Der erste Fall ist (je nach Dampfdurchlässigkeit der Zwischenwand) bis zu einem gewissen Grad sinnvoll, damit sich im kalten Pufferraum die Feuchtigkeit nicht anreichert (Kondensat, Geruch). Die beiden anderen Fälle sollten vermieden werden.

Der stationäre Berechnungsansatz, der aus der Gleichsetzung der Wärmeströme vom Innenraum in den Pufferraum und von dort ins Freie abgeleitet werden kann, liefert taugliche Näherungswerte der Pufferraumtemperatur und des Gesamtwärmestromes. Die Formel gilt nur für Pufferräume ohne nennenswerte Sonneneinstrahlung und ohne Warmluftgewinn aus dem Innenraum. Die Formel ist in SIA 384/2 und Element 23 (Lit 39) dargestellt. Im folgenden ist anhand verschiedener Pufferraumvarianten der Zusammenhang zwischen Wärmedämmstandard, Anordnung der Wärmedämmung und Luftwechsel im Pufferraum illustriert.

Abb. 2-3:

Varianten eines Pufferraumes



Pufferraum:

10m langer Abstellraum, winddichte Trennwand gegen Innenraum, keine nennenswerte Sonneneinstrahlung, Luftwechsel durch Aussenhülle.

$$A_i = 30m^2$$

$$A_a = 57m^2 \quad (b=0,5 \text{ für Bodenfläche})$$

$$V_p = 41m^3$$

$$c_L = 0,34Wh/m^3K$$

$$\vartheta_i = 20^\circ$$

$$\vartheta_a = -10^\circ C \text{ (bzw. 3500 HGT für Jahresverlustberechnung)}$$

5 Wärmedämmvarianten:

	\bar{k}_i (W/m ² K)	\bar{k}_a (W/m ² K)	$\sqrt{\bar{k}_i + \bar{k}_a}$ (m ² K/W)
①	0,3	1,5	4
②	0,43	1,5	3
③	1,0	0,5	3
④	1,5	0,43	3
⑤	1,5	3,0	1

Erläuterungen zu Abb. 2-4 und 2-5:

- 1 Kalter Pufferraum, gut isolierte Trennwand und hoher Gesamtwärmedurchlasswiderstand ($1/k$). Der Pufferraum liegt thermisch gesehen ganz auf der kalten Seite. Der Luftwechsel hat kaum Einfluss auf die Temperatur und Wärmeverluste. Auch der Abbruch des Pufferraumes hat geringe Konsequenzen für den Jahreswärmeverlust (Abb. 2-5).
- 2 Die Varianten 2, 3 und 4 weisen denselben Gesamtwärmedurchlasswiderstand auf, mehr oder weniger auf der Innenwand oder auf der Aussenhülle. Variante 2 ist etwas weniger gut isoliert als 1, im wesentlichen aber vergleichbar: weder Luftwechsel noch Verzicht auf den Pufferraum haben grosse thermische Konsequenzen. Würde anstelle des Pufferraumes (mit $n=0,3h^{-1}$) eine um 1,33 cm dickere Polystyrolschicht in die Wand eingebaut, wären die Wärmeverluste dieselben.
- 3 Ein Teil der Wärmedämmung wird in die Aussenhülle verlegt: Dadurch steigt die Temperatur im Pufferraum und die Wärmeverluste (grössere Oberfläche). Der Luftwechsel wirkt sich stark auf den Energieverbrauch aus. Diese Variante kann sinnvoll sein, wenn Frost im Pufferraum vermieden werden soll. Auf gute Winddichtigkeit muss dann aber geachtet werden.
- 4 Die Wärmedämmung wird vor allem der Aussenhülle übertragen. Der Luftwechsel wirkt sich entsprechend stark aus und ohne Pufferraum wäre gleichzeitig der grösste Teil des Wärmedurchlasswiderstandes entfernt: Der Wärmeverlust wäre sehr gross (über 4MWh/a).
- 5 Der traditionelle Pufferraum. Einer schlecht isolierten Wand wird ein ebenfalls schlecht isolierter Pufferraum angelagert. Der Wärmedämmeffekt rührt vor allem von den zusätzlichen Wärmeübergangswiderständen her, die angesichts der schlechten Ausgangslage beträchtlich ins Gewicht fallen. Die Dichtigkeit würde bei eigentlichen Zugerscheinungen eine wichtige Rolle zu spielen beginnen (im Gegensatz zu 1 und 2).

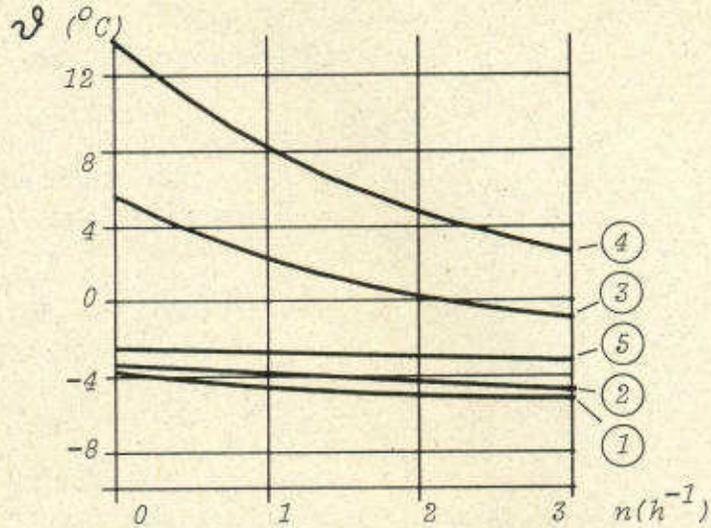


Abb. 2-4:

Temperatur im Pufferraum in Abhängigkeit des Luftwechsels (n):

$n = 0,1$: gut abgedichtet, bzw. Massivbau

$n = 0,3$: nicht abgedichtete Türfälsche u. ähnliches

$n = 1,0$: übliche Holzkonstruktion

$1 < n > 3$: offene Ritzen o. starke Windexposition

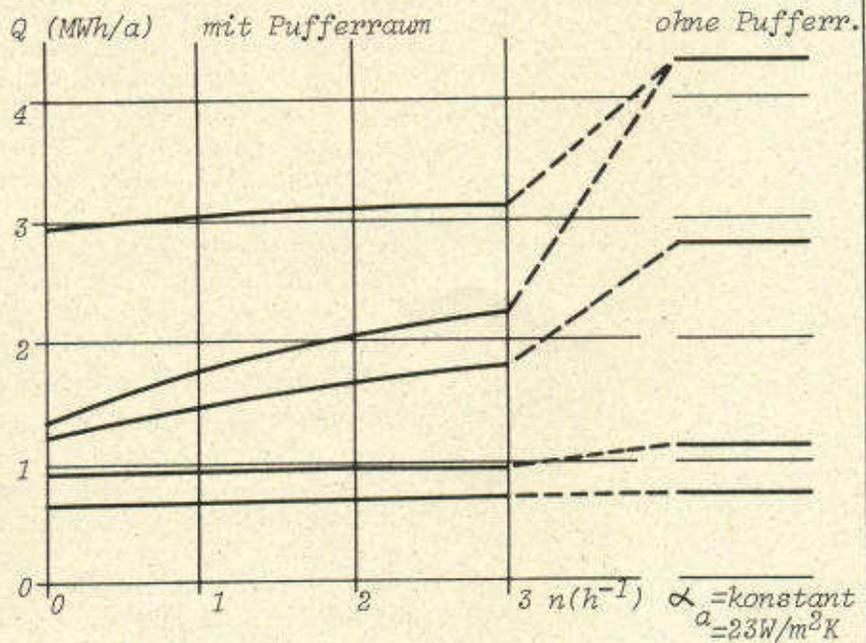


Abb. 2-5:

Wärmeverluste in Abhängigkeit des Luftwechsels (links) und Wärmeverluste nach Entfernung des Pufferraumes bei unveränderter Wand (rechte Seite des Diagramms).

2.2.4 Sonnengeometrie und Beschattung

Auf konzeptioneller Stufe geht es darum, die Beschattung des Gebäudes im Winter möglichst gering zu halten. Der Gebäudestandort und evtl. sogar die Lage einzelner Fenster oder anderer Sonnenstrahlungsempfänger kann mittels verschiedener Hilfsmittel bezüglich Beschattung bewertet werden. Es geht in dieser Phase darum, durch geschickte Anordnung und Konzeption des Baukörpers ein Maximum an Sonnenstrahlung auf den Bau auftreffen zu lassen. Je nach lokalen meteorologischen Daten wird eine derartige Untersuchung sich im endgültigen Projekt niederschlagen. Beispielsweise wird das Wissen um häufige Morgennebel und eine Beschattung durch Nachbargebäude um die Mittagszeit bewirken, dass Südwest zur energetischen Hauptorientierung wird, weil die verbleibenden Sonnenstunden sich am Nachmittag häufen.

Die Beherrschung der Sonnengeometrie sollte zum Rüstzeug des Architekten gehören, obwohl sich die Resultate am konkreten Bau nur in versteckter Weise manifestieren: Erst dem aufmerksamen Bewohner wird auffallen, dass die Vordachlänge und -form sowie Fenstergrösse, -anordnung und -orientierung in einer Weise auf den Raum und insbesondere auf die speichernden Bauteile abgestimmt sind, dass die Sommersonne kaum direkt in den Raum scheint, die Wintersonne aber möglichst den ganzen Tag unbehindert eintreten kann. Dazu genügt es nicht, sich nach dem Sonnenstand der Mittagssonne im Dezember zu richten, sondern es müssen geeignete Hilfsmittel eingesetzt werden, mit denen die ganze Sonnengeometrie berücksichtigt werden kann.

In der Literatur sind einige Methoden mehr oder weniger ausführlich dargestellt. So hat beispielsweise J. Kiraly die auf einer Kugelprojektion beruhende Methode von E. Mazria (USA) mit den entsprechenden Sonnenbahndiagrammen für mitteleuropäische Gegebenheiten aufgearbeitet (Lit. 3). Diese Methode ist in erster Linie geeignet, die winterliche Beschattung möglichst klein zu halten und allenfalls starre Abschattungsvorrichtungen für den sommerlichen Ueberhitzungsschutz zu konzipieren. Der Versuch auf der Basis dieser Diagramme die Einstrahlungsverminderung durch Beschattung quantitativ zu bestimmen, führt zu sehr groben Näherungswerten.

Mit der Hilfe solcher oder ähnlicher Methoden ist es möglich, "dem Schatten aus dem Weg zu gehen". Um auf dieser Grundlage die effektive aufgestrahlte (oder sogar die durch die Verglasung eingestrahlte) Energie abzuschätzen muss die komplizierte Sonnenbahngeometrie, Bewölkungshäufigkeit und die Abhängigkeit des Strahlendurchlasses vom Einstrahlungswinkel berücksichtigt werden.

Eine gut aufbereitete Methode, basierend auf einer Zylinder-

projektion, ist in einer privaten Publikation dargelegt (Dr. A. Mützenberg AG, 9470 Buchs, Leitfaden zur Ermittlung der einfallenden Sonnenstrahlung auf Flachkollektoren, Fr. 12.-). Von der gleichen Firma wurde auch ein transparenter Kunststoffzylinder mit eingezeichneter Sonnenbahn entwickelt, der das direkte Eintragen des Horizontes erlaubt (Abb. 2-6). Gerade bei Landschaftshorizonten ist die Ermittlung der Horizonthöhenwinkel aus der Karte recht mühsam (Heliocron, ca. Fr. 290.-, Vertrieb durch Helag, Postfach, Gossau SG).

Die stereografische Projektion liefert Sonnenbahndiagramme, die etwas weniger anschaulich sind als Zylinder- und Kugelprojektionen. Die Winkel- und Kreistreue dieser Projektionsart gibt aber die Möglichkeit, die Diagramme auf einfache Weise selbst herzustellen. Wer daran gewöhnt ist, kann mit dieser Methode auch auf relativ einfache Weise Beschattung durch vorspringende Bauteile oder Reflexionsauswirkungen durch geneigte Glasflächen auf die Umgebung ermitteln. Da die Publikation von U. Schäfer zu dieser Methode vergriffen ist, wurde sie mit Genehmigung des Autors im Anhang abgedruckt.

Heutige Mikrokomputeranlagen (ab Fr. 9'000.-) sind leistungsfähig genug, um differenzierte sonnengeometrische Rechnungen auszuführen und die Resultate aufzuarbeiten. Entsprechende, benutzerfreundliche Software ist im Handel erhältlich (ca. Fr. 2'000.-). Diese Berechnungen werden auch als

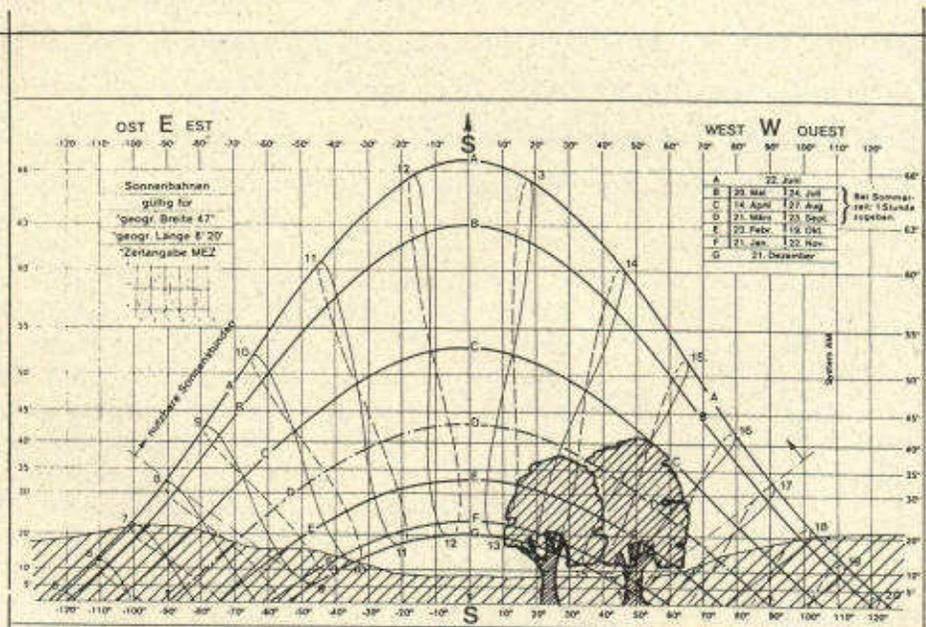


Abb. 2-6:

Beispiel für ein Sonnenbahndiagramm (Heliocron, nach Dr. A. Mützenberg, Vertrieb: Helag, Postfach, Gossau SG).

Dienstleistung von einzelnen EDV-Betrieben angeboten. Ein Rechengang kostet dann ca. Fr. 150.-, wenn die Daten selbst erhoben und in geordneter Weise geliefert werden. Die Programme errechnen selbstverständlich nicht nur die Beschattungszeiten, sondern alle relevanten Einstrahlungsdaten.

Anmerkung: Computer - Outprints suggerieren Richtigkeit und Genauigkeit, auch wenn die durchgeführte Rechnung auf sehr vielen sehr ungenauen Annahmen beruht. Wer seine Planung auf solche Rechnungen abstellt, sollte den Genauigkeitsgrad und damit die Berechnungsweise in etwa kennen.

2.2.5 Optimierung des Oberflächen-Volumen-Verhältnisses

Das Verhältnis von Gebäudehülle zu beheiztem Volumen kann je nach Entwurf auch innerhalb gleicher Gebäudekategorien (Einfamilien-, Mehrfamilien-, Geschäftshäuser

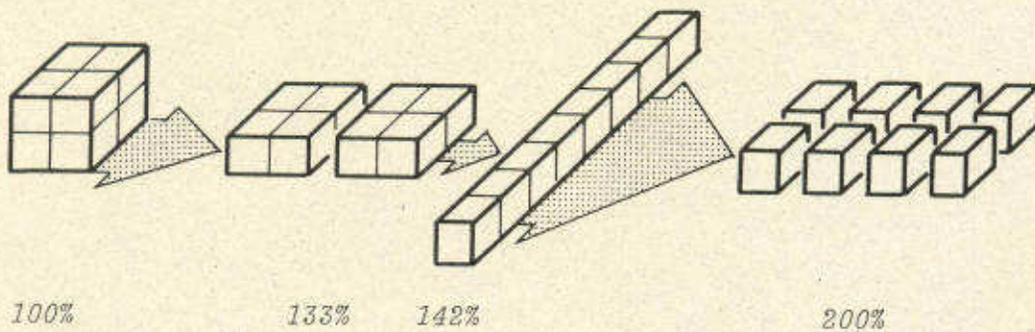


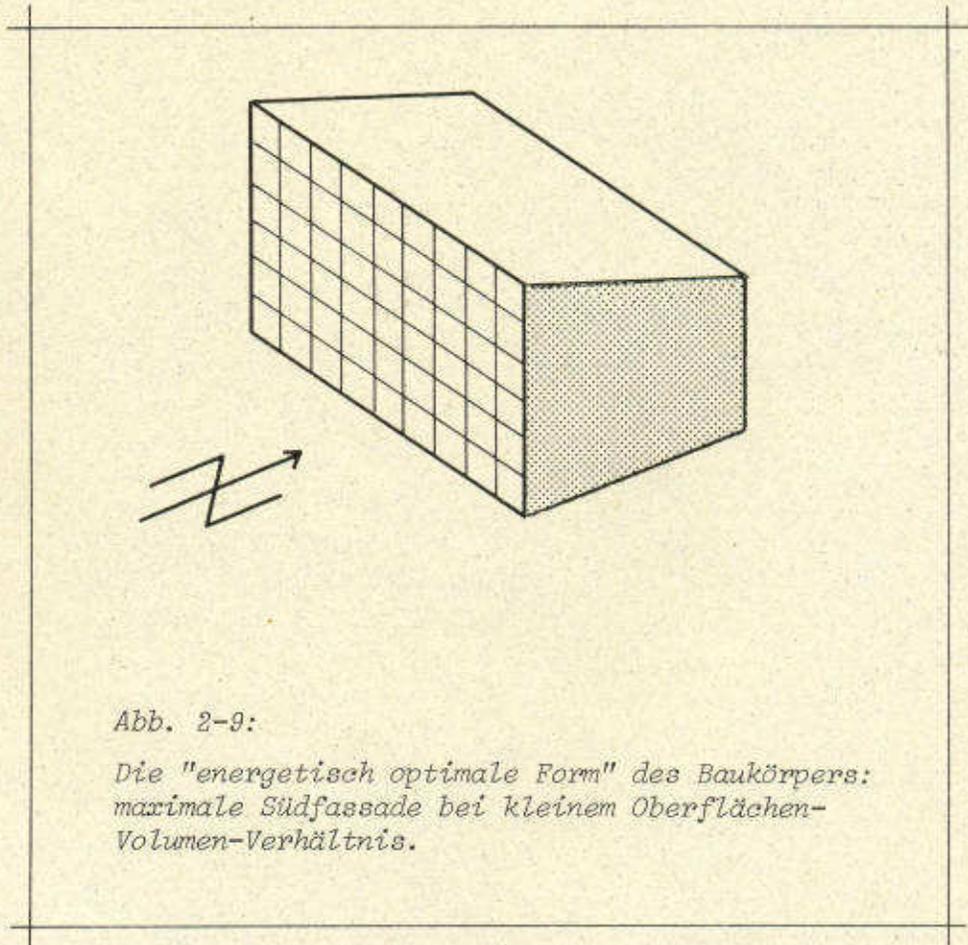
Abb. 2-8:

Verhältnis von Oberfläche zu Volumen

(Quelle: Hillmann G. et al: Klimagerechte und energiesparende Architektur, Lit. 43)

usw.) um bis zu 100% schwanken. Bei durchschnittlichem Isolationsstandard schwankt deshalb der Energieverbrauch für das Durchschnitts - Einfamilienhaus um fast 1 to Heizöl pro Jahr, je nachdem, ob das Haus sehr kompakt oder sehr stark gegliedert ist. Bei einem superisolierten Haus reduziert sich dieser Einfluss auf maximal 250 kg Oel pro Jahr. Prozentual ist der Verbrauchsunterschied natürlich gleich gross. Für den Architekten wird der "Zwang", einen gegliederten Hausentwurf aus Energiegründen kompakter zu gestalten, mit zunehmendem Isolationsstandard geringer, weil bei gleichbleibendem Architekturkompromiss der Ertrag in kg Oel abnimmt, je besser die Gebäudehülle gedämmt ist.

Die energetisch optimale Form des Baukörpers wird ausser vom Oberflächen - Volumen - Verhältnis noch durch die Haupt - Einstrahlungsrichtung beeinflusst. Im sonnenarmen mitteleuropäischen Klima ist diese Einflussgrösse allerdings nicht allzu wichtig. Die optimale Form dürfte also etwa Abb. 2-9 entsprechen, wobei auch hier gesagt werden muss, dass bei guter Wärmedämmung diesem Aspekt nur noch geringe Bedeutung zukommt.



3. Wärmeschutz

In Klimaregionen mit massiven und regelmässigen Einstrahlungsüberschüssen (Arizona, Kalifornien usw.) tritt der Wärmeschutz von Wand, Dach und Boden gegenüber Fenstern, Trombewänden, Wintergärten und anderen "Sonnenkollektoren" in der Bedeutung zurück. In allen schweizerischen Klimata ist ein sehr guter Wärmeschutz aber absolute Vorbedingung für ein befriedigendes thermisches Verhalten von Solarhäusern. Wärmeschutz in diesem Sinn bedeutet die Reduktion der Wärmeleitungsverluste durch Wände, Dächer, Böden und Fenster sowie der Lüftungswärmeverluste auf ein absolutes Minimum.

3.1 Energetisch und wirtschaftlich optimale Dämmung von Wand, Dach und Boden

Mit den modernen Hochleistungsdämmstoffen ist es möglich, die Wärmeleitungsverluste durch Wand, Dach und Boden auf ein fast vernachlässigbares Mass zu reduzieren. Als Entscheidungshilfe für die Dimensionierung der Dämmschichtdicke wurden in den vergangenen Jahren verschiedene Formeln für die Errechnung wirtschaftlich optimaler Dämmschichtdicken vorgeschlagen. In der Regel gehen in diese Rechnungen nebst Daten (Klima, Wärmeleitfähigkeit, Preis) auch Annahmen betreffend Energiepreis-

entwicklung, Wirkungsgrad der Anlage, Kapitalzinsfuß und Amortisationsfrist ein. Die Resultate solcher Rechnungen liegen heute üblicherweise bei 8 bis 15 cm Wärmedämmschichtdicke. Diese Werte sollten nicht unbesehen in die Praxis übertragen werden. Tatsächlich befinden wir uns damit in einem Schichtdickenbereich, wo die Materialkosten des Dämmstoffes das Verhältnis von Aufwand zu Nutzen nur noch in sehr untergeordnetem Masse beeinflussen. Viel massgeblicher schlagen konstruktive Erfordernisse, bauphysikalische Risiken, Montageaufwand und allfälliger Nutzflächenverlust zu Buch. Dazu kommt noch die Unterschätzung der nichtökonomischen Aspekte des Wärmeschutzes: erhöhte Behaglichkeit, bessere Reservehaltung (Unabhängigkeit), Verminderung der Zukunftsrisiken (Energiepreis, Energieverfügbarkeit) und der Umweltbelastung. Schliesslich muss auch noch bedacht werden, dass mit einem modernen Wärmeschutzkonzept wesentlich kleinere, einfachere und billigere Heizanlagen ermöglicht werden.

Als Fazit können folgende Regeln für die Bemessung von Wärmedämmschichten formuliert werden:

- Schichtdicken von mehr als 20 cm sind wegen des zunehmenden Missverhältnisses von Materialkosten zur Dämmwirkung zusätzlichen Dämmmaterials nicht sinnvoll. Der Einsatz von Schichtdicken bis 20 cm ($k = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$) ist durchaus vernünftig, wenn nicht ein konstruktiver Sonderaufwand, übermässiger Nutzraumverlust, erhöhtes Schadenrisiko und dergleichen mehr damit verbunden sind. Wandisolationen weisen derartige Restriktionen auf, während z.B. Dachisolationen meist ohne Probleme dickschichtig ausgeführt werden können.
- Mit Schichtdicken ab 10 cm (oder $k \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$) ist das Energieverlustproblem am betreffenden Bauteil bereits im wesentlichen entschärft. Die zusätzlichen ein bis zwei Zehntel $\text{W/m}^2\text{K}$, die mit dickeren Dämmschichten gewonnen werden können, rechtfertigen nur ein bescheidenes In-Kauf-nehmen von Sonderkonstruktionen, vergrössertem Schadenrisiko oder anderen Nachteilen.
- Schichtdicken unter 10 cm (bzw. $k > 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$) sollten nur bei "harten" Sachzwängen eingesetzt werden. Diese Zwänge können konstruktiver, bauphysikalischer, nutzungstechnischer, ökonomischer und ästhetischer Art sein. Faktisch fallen die meisten Sanierungssituationen leider in diese Kategorie. Im Bereich der wärmetechnischen Sanierung lässt sich also die wirtschaftlich optimale Wärmedämmschicht auf die Kurzformel bringen: So dick wie möglich! Der projektierende Fachmann braucht hier nicht zuerst optimale Schichtdicken zu errechnen, sondern sollte mit folgender Fragestellung an das Problem herantreten: Eine wie dicke Dämm-

schicht kann mit vertretbarem konstruktivem Aufwand, mit geringem Schadenrisiko und unter Berücksichtigung der übrigen Anforderungen (wenig Nutzflächenverlust, Aesthetik usw.) appliziert werden?

3.2 Massivbauweise

Dem Baufachmann stehen heute umfangreiche neutrale (und firmengebundene) Dokumentationen betreffend gut gedämmte Konstruktionen zur Verfügung (z.B. Lit. 5). An dieser Stelle sollen an typischen konstruktiven Ausgangslagen die wichtigsten Aspekte und Lösungsvorschläge vor allem für hochisolierte Konstruktionen (Wärmedämmschicht > 10 cm, bzw. $k < 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$) dargestellt werden. An vielen Bauteilen führt die Erhöhung der Dämmschichtdicke zu keinen grundsätzlich neuen Problemen (z.B. Kellerdecke, Flachdach). Am ehesten tauchen bei der Bewertung verschiedener Wand-systeme neue Aspekte auf, was anhand der nachfolgenden Gegenüberstellung der wichtigsten Massivwandtypen illustriert werden soll. Wichtig daran ist auch, dass früher durchaus übliche Wandtypen k-Werte von unter $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ nicht erreichen oder aus bauphysikalischen Gründen fragwürdig werden (z.B. Innenisolation, vgl. Abb. 3-1) und daher als mögliche Alternativen entfallen.

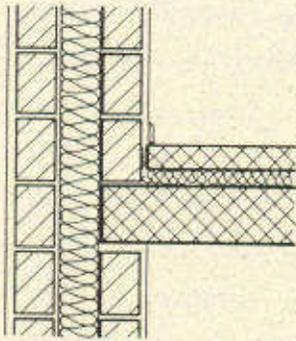
3.2.1 Zweischalenmauerwerk

Der aktuelle Stand der Technik des konventionellen Zweischalenmauerwerks ist in Element 24 (Lit. 42) dargestellt. Nachstehende Bemerkungen betreffen vor allem Aspekte, die mit dicken Dämmschichten wichtig werden.

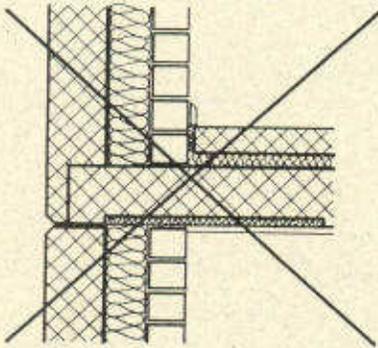
- Die Gesamtwandstärke wird sehr gross. (Auch die äussere Schale sollte mindestens 12 cm stark sein.) Bei knapper Ausnutzungsziffer bzw. Beschränkung durch Baulinien kostet dies Nutzfläche. In Folge des grossen Schalenabstandes muss meist der Betonsockel verbreitert oder mit einer Konsole für die äussere Schale versehen werden.
- Von den beiden Verfahren,
 - Gleichzeitiges Hochziehen der beiden Schalen und Dazwischenstellen der Wärmedämmung,
 - Aufziehen der Wärmedämmung auf die vorgängig erstellte Innenschale, dann die Aussenschale vormauern,

ist das zweite Vorgehen zu empfehlen. Es ist aufwendiger (die Aussenschale muss von aussen erstellt werden, dazu genügt ein Malergerüst nicht. Möglicherweise sind sogar Zulieferkonsolen für die vom Kran transportierten Steine nötig), die Vorteile sind aber gewichtig:

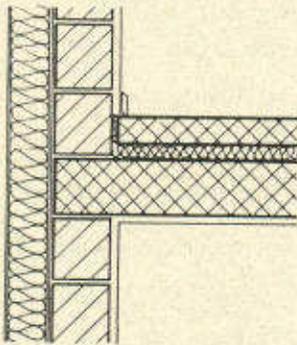
- Alle Arbeitsgänge können von der Bauleitung kontrolliert und abgenommen werden, insbesondere die fugenlos montierte Wärmedämmung.
 - Es fliesst kein Betonierwasser von der Zwischendecke in die Wärmedämmung.
 - Die Wärmedämmung liegt satt auf der Innenschale, so dass keine konvektive Hinterlüftung die Wärmedämmung entwertet bzw. bauphysikalische Risiken schafft.
- Vor allem bei gemischter Bauweise (z.B. innere Schale aus Backstein und äussere Schale aus Sicht-Kalksandstein) müssen die bauphysikalischen Erfordernisse betreffend Dampfdiffusion und Schlagregendichtheit sorgfältig geprüft werden. Je nachdem muss die äussere Schale hinterlüftet werden.



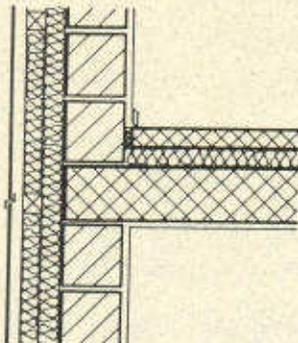
Zweischalenmauerwerk verputzt
(Innere Schale tragend)



Zweischalenwand
(äussere Schale tragend)
Bei dicken Dämmschichten nicht
empfehlenswert: Wärmebrücke.



Verputzte Aussendämmung
(Kompaktfassade)



Hinterlüftete Fassade

Abb. 3-1:

Wandkonstruktionen mit dicken Dämmschichten

- Die Hinterlüftung der Aussenschale ist nicht in jedem Fall notwendig, immer aber aus bauphysikalischer Sicht zu begründen. Vereinzelt werden heute eierkartonförmige Hartkunststoffolien als Abstandhalter in den Hinterlüftungsraum eingefügt. Bei unsorgfältiger Verarbeitung bedeutet dies allerdings eher eine Erhöhung des Kondensatrisikos.
- Bei Schalenabständen von mehr als 12 cm befindet sich der Bauplaner in einem Gebiet mit wenig Erfahrung, so dass mit einem gewissen Aufwand für die Fragestellungen folgender Art gerechnet werden muss: Verankerung der Aussenschale, wärmebrückenfreie Anschlüsse, Ästhetik tiefliegender Fenster, usw.

3.2.2 Verputzte Aussendämmung (Kompaktfassade)

Die verputzte Aussendämmung kann heute zu den ausgereiften und bewährten Technologien gezählt werden, wobei Systeme mit Polystyrol-Dämmstoff und Kunststoffverputzen bzw. kunststoffvergüteten Verputzen mittlerweile den Markt beherrschen. Allerdings sind Schichtdicken von 10 und 12 cm eher selten, weil der geringe zusätzliche Nutzen mit einigen Schwierigkeiten einhergeht.

- Mit zunehmender Dicke der (relativ weichen und federnden) Polystyrolschicht leidet die Festigkeit der Kompaktfassade. Bei einer Aussenecke beispielsweise ist es auch bei versetzter Montage der Dämmstoff-Platten so, dass sie um die Schichtdicke über die Wand auskragen und an den anschliessenden Plattenstoss kaum allfällige Druckkräfte abgeben können.
- Die Verarbeitung wird schwierig. Auch bei an Ort zugeschnittenen Platten sollten die Stossfugen über die ganze Schichtdicke satt gestossen sein. Je dicker die Platten sind, desto mehr klaffen die Stossfugen bei Unebenheiten auf.
- Wo der Untergrund eine zusätzliche mechanische Befestigung der Dämmstoffplatten verlangt (z.B. wärmetechnische Verbesserung von Durisol-Mauerwerk u.a.) kann daraus eine Beschränkung der Schichtdicke erwachsen (oder die Dübel müssen versenkt werden).

Die verputzte Aussendämmung ist die platzsparendste Möglichkeit hochisolierter Massivbauweise. Ausserdem ist gerade bei hochisolierten Konstruktionen nicht zu unterschätzen, dass die Wärmedämmschicht nicht von Wärmebrücken (z.B. für die Halterung des Witterungsschutzes) unterbrochen wird. Andererseits sind aufwendige selbsttragende Konstruktionen für Balkone und dergleichen notwendig, wenn nicht auskragende Balkonplatten in Kauf genommen werden sollen.

3.2.3 Hinterlüftete Fassade

Die hinterlüftete Fassade stellt aus bauphysikalischer Sicht eine optimale Konstruktion dar. Durch die 2 bis 5 cm breite Hinterlüftung ergibt sich zusammen mit den 10 bis 15 cm Wärmedämmstoff allerdings eine stattliche Gesamtschichtdicke, die konstruktiv und ästhetisch bewältigt sein will.

Es sind mittlerweile viele verschiedene Befestigungssysteme aus Metall auf dem Markt (selbst für geschuppte Verkleidungen), welche die Montage des Witterungsschutzes auch bei grossen Dämmschichten ermöglichen. Bei Holztragkonstruktionen wird eine zweilagige Verarbeitung fast unumgänglich. Dies ist aber nur von Vorteil, da kaum mehr durchgehende Holzpartien die Wärmedämmung unterbrechen.

Mit der hinterlüfteten Fassade kann auch ohne weiteres höher als acht Stockwerke isoliert werden, da in der Regel brandschutztechnisch unbedenkliche Mineralfaserplatten eingesetzt werden und die Konstruktion auch extremen Witterungsbelastungen ausgesetzt werden kann.

Witterungsschutz und Hinterlüftung selbst bringen keinen zusätzlichen Dämmeffekt mit sich. Grundsätzlich findet zwar durch die Hinterlüftung eine Verminderung des konvektiven Wärmeübergangs statt. Gleichzeitig kann aber andererseits die absorbierte Sonnenstrahlung etwas schlechter genutzt werden als mit kompakten Konstruktionen. Beide Effekte sind allerdings sehr klein. Die Energiebilanz einer Wand wird allenfalls um einzelne Prozente beeinflusst.

Seit längerer Zeit wird versucht, fugenlos verputzte hinterlüftete Fassaden zu bauen,

die den enormen Belastungen (Winddruck, jahreszeitliche Temperaturschwankungen) über lange Zeit rissfrei standhalten. Mit zunehmendem Gewicht der vorgehängten Platten entschärft sich dieses Problem, wobei sich allerdings die grundsätzliche Frage stellt, ob konstruktiv bedingte Fugen versteckt werden sollen.

3.3 Leichtbauweise

Ein wesentlicher Nachteil der Massivbauweise ist der Platzbedarf. Gerade um hochisolierte Wandkonstruktionen erstellen zu können, herrscht zur Zeit eine starke Tendenz zu Skelett-Tragsystemen. Die Wärmedämmung liegt damit zumindest grösstenteils in der Ebene der Tragkonstruktion und beansprucht keine zusätzliche Nutzfläche. Vor allem im ein- bis dreigeschossigen Wohnungsbau werden heute oft hochisolierte Holzständer-Wandkonstruktionen gewählt. Es gibt auf diesem Gebiet ein reiches ausländisches Know how (Schweden, Kanada), von dem in der Schweiz bis anhin nur beschränkt profitiert wurde. Dieses Thema soll deshalb hier etwas ausführlicher behandelt werden.

Im Geschäftshaus- und Industriebau sind Skelettkonstruktionen (Stahl, Stahlbeton) seit langem üblich. Durch eine Verbesserung der heute noch üblichen Wärmedämmung ergeben sich i.a. keine neuartigen Probleme. Im mehrgeschossigen Wohnungsbau wird der Einsatz leichter Skelettbauweisen in der Schweiz aus Schallschutzgründen eng limitiert bleiben.

3.3.1 Feuchtigkeitsschutz bei Leichtbauweise

Die Argumente, die oft gegen Holzkonstruktionen ins Feld geführt werden, erweisen sich bei näherer Betrachtung als weitgehend lösbare Probleme. Dass ein ausladendes Vordach im Falle einer Holzfassade besonders wertvoll ist und das Wartungsproblem weitgehend entschärft, ist altbekanntes Wissen.

Als organisches Baumaterial reagiert Holz etwas empfindlicher auf Wasser als etwa mineralische Baustoffe. Wasserbedingte Bauschäden in Holzkonstruktionen können 5 Ursachen haben:

- 1) Regenwasser, das durch undichte Fugen und Ritzen der Fassade eindringt, oder als Spritzwasser und Erdfeuchtigkeit (z.T. kapillar) in die Konstruktion transportiert wird (und in ungenügender Masse austrocknen kann), Schlagregenschutz und Wasserisolation sind altbekannte Probleme, welchen mit ebenso altbewährten Lösungen begegnet werden kann.
- 2) Oberflächenkondensat an raumseitigen Wandoberflächen. Die Massivholzteile, welche die Wärmedämmschicht unterbrechen (Ständer, Eckpfosten) lassen zwar vermehrt Wärme abfließen, da die Wärmeleitfähigkeit von Holz aber doch nur um etwa drei bis vier Mal grösser ist als diejenige des Dämmstoffes, sollte nicht von einer eigentlichen Wärmebrücke gesprochen werden. Bei normaler Feuchtigkeitsbelastung im Raum wird daher der Taupunkt an der inneren Wandoberfläche (auch in der Ecke) nicht erreicht. Relativ weitgehende Untersuchungen (Lit. 44) haben gezeigt, dass die Wärmebrückenproblematik bei Holzständerbauten sich mit zunehmender Dämmschichtdicke in der Ausfachung eher entschärfen, weil der Wärmebrücke durch Querleitung auf der Innenseite mehr Wärme zufließt und damit die innere Oberflächentemperatur steigt (vgl. Abb. 3-2).
- 3) Kondensat infolge übermässiger Dampfdiffusion
Im Regelfall werden im Holzbau Mineralfaserdämmstoffe verwendet. Es ist daher unumgänglich, warmseitig des Dämmstoffes Vorkehrungen zu treffen, damit nicht allzuviel Raumluftfeuchtigkeit in die Aussenwand eindiffundieren kann. Eigentliche Diffusionskondensatschäden an Leichtbaukonstruktionen sind aber eher selten. Sie können insofern als gutmütig bezeichnet werden, als keine Diffusionschäden zu erwarten sind, wenn auch nur in groben Zügen bauphysikalische Erkenntnisse berücksichtigt wurden, beispielsweise die Fassade hinterlüftet wird. (Technische Hinweise über den Einsatz von Dampfsperren siehe weiter hinten.)
- 4) Luftleck-Kondensat. Wenn feuchtwarme Raumluft durch Fugen und Ritzen der Konstruktion entweicht, kann kalt-

seitig in dieser Leckstelle die Feuchtigkeit auskondensieren. Dieser Vorgang läuft wesentlich schneller ab als die eigentliche Dampfdiffusion durch die Baustoffe. Die meisten der fälschlicherweise als Diffusionsschäden deklarierten Feuchteschäden in Leichtbaukonstruktionen sind tatsächlich Luftleck-Kondensat-Schäden. Früher haben undichte Fenster (und allenfalls Risse und Fugen) dafür gesorgt, dass der Wasserdampf-Teildruck relativ tief blieb. Heute besteht eine starke Tendenz zur Vollbeheizung (alle Zimmer auf 20°C) mit gleichzeitig akzeptabler relativen Feuchte von 50 % (oft über Befeuchter zugeführt). Dies führt dazu, dass im gesamten Nutzvolumen (von Wohnungen und Häusern) absolute Wasserdampfkonzentrationen von 8 bis 10 gr/m³ vorhanden sind. Das ist fast doppelt soviel, wie die Aussenluft im Mittel der Heizperiode aufnehmen kann. Raumluft, die durch Leckstellen in kaltseitige Hohlräume gelangt, muss zwangsläufig Feuchtigkeit in der kalten Konstruktion "abladen", wenn sie nicht sehr effizient weggelüftet wird. Im Bereich der Leichtbauweisen ist das Postulat der Luft- bzw. Winddichtigkeit mindestens ebenso wichtig wie die Berücksichtigung der Dampfdiffusion. Mangelhafte Winddichtigkeit führt aber nicht nur zu einem erhöhten Bauschadenrisiko, sondern bringt natürlich auch entsprechende Wärmeverluste mit sich. Mit der heutigen Tendenz, anderthalb bis zweigeschossige offene Wohnräume bis unter die Dachschräge zu führen, muss auch der Anspruch an die Winddichtigkeit der Konstruktion höher als bisher angesetzt werden, sonst wird das Risiko eingegangen, dass trotz 10 bis 15 cm Wärmedämmstoff der Heizenergieverbrauch wegen Luftundichtheit überdurchschnittlich hoch ausfällt.

- 5) Sekundärkondensat ist die Folge mangelhafter Hinterlüftung der Fassade (oder der Dacheindeckung). Insbesondere bei starken Temperaturschwankungen im Tag-Nacht-Rhythmus kann die Feuchtigkeit im Hinterlüftungszwischenraum auskondensieren. Die schlecht funktionierende Hinterlüftung reicht dann am folgenden Tag nicht zur Trocknung des Kondensats aus. Trotzdem ist die Luft ausgetauscht und der Vorgang des Auskondensierens wiederholt sich Nacht für Nacht. Die Feuchtigkeit stammt in diesem Fall also von aussen, so dass auch die beste Dampfsperre und Winddichtung nichts hilft. Sekundärkondensat bildet sich (nur bei mangelhafter Hinterlüftung) vor allem oberhalb 800 m ü.M. in Hinterlüftungszwischenräumen mit leichten, thermisch "flinken" Abdeckungen (Metallfassaden, Faserzementabdeckungen). Bei guter Wärmedämmung gelangt auch kaum mehr Raumwärme, die bei der Austrocknung helfen könnte, in den Zwischenraum.

3.3.2 Dampfsperre und Winddichtung

Bei einem diffusionstechnisch richtigen Aufbau einer Leichtbaukonstruktion, beispielsweise mit einer hinterlüfteten Fassade, ist die Konstruktion bei normalen Feuchtigkeitsverhältnissen auch ohne Dampfsperre nicht gross gefährdet. Trotzdem ist es sinnvoll, vor allem um Luftleck-Kondensat zu vermeiden, eine leistungsfähige Dampfbremse warmseitig der Konstruktion zu verlegen. (Bei Sanierungen ist dies allerdings meist nicht möglich.) Es muss dabei gar nicht immer um eigentliche Kondensatvermeidung gehen. Wenn durch den richtigen Einsatz der Dampfbremse nur die durchschnittliche Gleichgewichtsfeuchtigkeit positiv beeinflusst wird, ist dies ein wertvoller Schritt in Richtung Langlebigkeit der Bausubstanz.

Bei alten Leichtbaukonstruktionen wurden oftmals, ohne grosse Rücksichtnahme auf die Bauphysik, irgendwo in der Konstruktion Dachpappen zur Winddichtung montiert. Diese Bauweise bleibt nur dank den Undichtigkeiten von Konstruktion und Fenstern im allgemeinen bauschadenfrei. Bei hochisolierten und dichten Bauten müssen dampfbremsende Folien mit einiger Sorgfalt montiert werden. Vom Material her eignen sich natürlich alle eigentlichen Dampfsperren (plastifizierte oder bituminierte Alu-Folien, 0,33 mm PE-Folien, Dachpappen usw.), meist genügt aber auch ein billiger Bauplastik (0,2 mm Polyäthylen, PE). Bauplastik ist allerdings nicht UV-beständig, darf also nur in abgedeckten Konstruktionen verwendet werden, was aber meist ohnehin der Fall ist.

Die Montage der Dampfsperre in hochisolierten Bauten ist mit der sorgfältigen Erstellung aller Anschlüsse eine eigene Arbeitskategorie. Entsprechend sollte in der Ausschreibung und in der Offertstellung vor allem für sauberes Anschliessen und Ankleben der Folie genügend Aufwand vorgesehen werden. Die fertig montierte Dampfsperre sollte aber auch von der Bauführung abgenommen werden können, bevor sie von innen verschalt wird. Eine richtig verarbeitete Dampfsperre ist zugleich auch eine absolute Winddichtung. Sie sollte aber auch gezielt als solche angeschlossen bzw. ergänzt werden. Die saubere Verkleidung der Randanschlüsse und der Folienstösse dient hauptsächlich diesem Zweck und damit vor allem der Vermeidung von Luftleck-Kondensat und ist nicht in erster Linie wegen der Dampfdiffusion nötig.

Auch die Klebestellen der Dampfsperre sollten, wie die übrigen Bauteile, auf eine jahrzehntelange Lebensdauer hin ausgerichtet sein:

- Alu- oder PVC-Klebebänder sollten nicht frei verlegt, sondern zusätzlich mit einer Latte gepresst werden. Zugkräfte können längerfristig von solchen Klebstreifen

sowieso nicht aufgenommen werden. Die Folie sollte also immer zuerst mechanisch befestigt werden, damit danach die Anschlussstelle abgeklebt werden kann. Wo auf eine Anpresslatte verzichtet wird, sollte mindestens auf gute Zugänglichkeit und Kontrollierbarkeit geachtet werden.

- Mittels gummierter Kunststoffgewebestreifen können Folien sehr gut haftend angeschlossen werden (z.B. Vidiflex, Hescoflex). Die flüssigen Kleber gewährleisten einen sicheren Anschluss auch ohne zusätzliche Anpresslatten. Bei stark verwinkelten Anschlüssen (z.B. Balken- und Sparrenumfahrungen) wird das Arbeiten mit Gewebestreifen sehr arbeitsaufwendig und es muss darauf geachtet werden, dass nicht unbesehen von der konstruktiven Ausgangslage, sozusagen als Standardausführung, Anschlüsse mit Gewebestreifen verlangt werden.
- Beidseitig haftende Butylklebestreifen (z.B. Terostat-Band) bieten fast die einzige zuverlässige Haftung auf PE-Folie (Bauplastik). Vor allem ist es mit einer derart einfachen Verklebung auch möglich, komplizierte Anschlüsse mit vernünftigem Aufwand zu lösen.

Oftmals, vor allem bei Sanierungen, kann die Dampfsperre aus Platzgründen nur notdürftig angeschlossen werden, oder kann gar nicht eingebaut werden. Da es heute eine kaum mehr realistische Forderung ist, nur lufttrockenes Holz einzubauen, muss aber auch bei Neubauten damit gerechnet werden, dass durch Verzug im Laufe der Zeit gewisse Undichtigkeiten entstehen. Es wäre jedenfalls sinnvoll, nach der zweiten Heizperiode die kritischen Stellen (z.B. Sparrendurchstoss durch die Wand) nachzudichten oder zumindest zu kontrollieren.

Grössere und unbewegliche Fugen können mit PU-Montageschaum gedichtet werden, bewegliche Fugen mit dauerelastischen Kittmassen (Silikon, Thiokol). Auch vorkomprimierte bituminierte Dichtungsbänder führen zu guter Dichtigkeit, wenn Untergrund und Anpressfläche nicht allzu uneben sind (z.B. Fensteranschlag).

In neueren schwedischen und kanadischen Publikationen wird empfohlen, trotz der theoretisch winddichten Dampfsperre noch eine zweite, kaltseitig gelegene, eigentliche Winddichtungsebene vorzusehen. Geeignet ist hierfür ein dampfdurchlässiges Kraftpapier (z.B. Sisalkraft 40), welches aber ebenfalls vollflächig und überlappend verlegt und abgeklebt werden sollte (vgl. dazu auch Abb. 2-3). Es ist allerdings kaum möglich, eine äussere Winddichtung wirklich konsequent um die ganze Gebäudehülle herum zu montieren. Bei den üblichen Schrägdachkonstruktionen beispielsweise kommt sie auf diese Weise wegen der Unterdach-Hinterlüftung zwischen die Sparren zu liegen und müsste an jedem Sparren über die ganze Länge winddicht angeklebt werden, was

auch vom sorgfältigsten Unternehmer kaum garantiert werden kann.

Eine gute Winddichtigkeit kann natürlich auch erreicht werden, indem eine fugenlose Innenverkleidung gewählt wird (Gips, Verputz).

Gut bewährt hat sich auch der aussenseitige, winddichte Abschluss mit bituminierten Holzfaserplatten (Isorooft). Diese Platten sind wasserdicht (Unterdachfunktion) und trotzdem gut wasserdampfdurchlässig. Sie können als fugenloses Unterdach oder anstelle der Blindschalung in Holzskelettkonstruktionen eingesetzt werden. Weil die Faserplatte selbst gut dämmend ist, verbessert sie den k-Wert im Bereich des Konstruktionsholzes erheblich. Der Anteil von Stützen und Trägern bzw. Sparren liegt bei durchschnittlicher Leichtbauweise immerhin bei etwa einem Viertel der Wand- bzw. Dachfläche, so dass eine k-Wert-Verbesserung in diesem Bereich durchaus von Bedeutung ist.

3.3.3 Konstruktion

Der Boom der Holzbauweise konzentriert sich sehr stark auf die sogenannten Ständerkonstruktionen. Es existiert auch in der Schweiz ein bewährtes Fachwissen auf diesem Gebiet, das hier nicht repetiert werden soll. Gegenüber früher haben diese Konstruktionen allerdings eine ziemlich veränderte Aufgabenstellung zu lösen:

- Wohnansprüche und Wohnkomfort sind höher. Alle Räume sind auf 20⁰C geheizt und Durchzug wird nur in minimalem Mass toleriert.
- Oft werden anderthalb bis zweigeschossige offene Wohnräume gebaut, die bereits bei bescheidenen Luftleckstellen kaum mehr zu beheizen sind.
- Die dicken Wärmedämmschichten bilden eine rigorose Barriere zwischen Raum- und Aussenklima. Fassadenverkleidung und Innentäfer derselben Wand existieren in zwei völlig verschiedenen Klimata. Das Temperatur- und Dampfdruckgefälle dazwischen ist enorm gross. Dampfbrücken (und in geringerem Mass auch Wärmebrücken) wirken sich dementsprechend aus. In noch vermehrtem Mass gilt das für

eigentliche Löcher (Luftleckstellen).

Viele aktuelle Bauschäden an Leichtbaukonstruktionen sind entstanden, weil planungs- und ausführungsseitig nach bestem Wissen und Gewissen und nach altbekannter Art gearbeitet wurde und damit den erhöhten Anforderungen nicht entsprochen wurde. In erster Linie geht es heute darum, Winddichtigkeit und den diffusionstechnischen Aufbau zuverlässig zu gewährleisten. Für das Verlegen der Dampfsperre bedeutet dies:

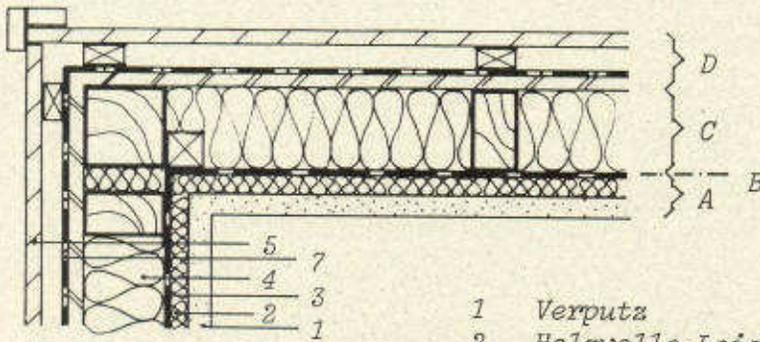
- Die Dampfsperre sollte überall überlappen und abgeklebt werden.
- Bei Anschlüssen an Bauteile sollte die Dampfsperre aufgebordet und angeklebt werden.
- Klebestellen der Dampfsperre sollten nicht frei hängen, sondern mechanisch gepresst sein (z.B. mit Latten).
- Die Dampfsperre sollte auch später möglichst wenig verletzt werden (Elektrikerrohre, Nägel usw.).

Einerseits kann man diesen Forderungen gerecht werden, indem die konstruktiven Details entsprechend gestaltet werden (Abb. 3-2, Lit. 45), andererseits muss aber auch der Bauvorgang entsprechend ablaufen, dass die einwandfreie Verlegung der Dampfsperre von der Bauführung abgenommen werden kann.

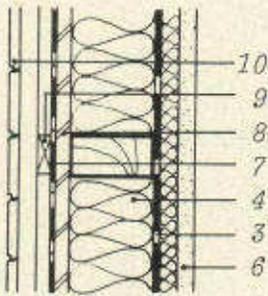
Abb. 3-3 zeigt, dass der Versuch, die wichtigsten Anforderungen einer dauerhaften Leichtbaukonstruktion konsequent zu erfüllen, zu Konstruktionen führt, die für Planer und Unternehmer anspruchsvoll sind. Die im Vergleich zum Ausland (Kanada, Schweden) hohen Anforderungen an Schallschutz und Dauerhaftigkeit verunmöglichen ein blosses Kopieren entsprechender Beispiele. Kompromisse hinsichtlich Bauphysik und Energieeinsparung liegen daher in der Tendenz von Leichtbauweisen: Immer häufiger werden kompakte Konstruktionen (Abb. 3-2) gewählt, die raumsparend sind und die weniger komplizierte Details nötig machen.

An sich wurde bereits vor Jahrzehnten eine kompakte (nicht hinterlüftete) Leichtbaukonstruktion eingesetzt, die sich gut bewährt hat: Aussenseitig wurden Putzträgerplatten auf das Holzskelett montiert (zementgebundene Holzwoleplatten), die mit einem Maschendraht (Rabitz) als Putzarmierung überzogen und schliesslich mineralisch verputzt wurden. Diese Konstruktion kommt heute noch ab und zu bei Sanierungen zur Anwendung. Heute ist viel eher eine Tendenz zu innen- und aussenseitig mit Holz

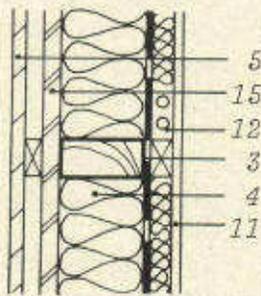
HINTERLUEFTET



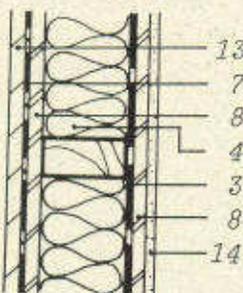
HINTERLUEFTET



HINTERLUEFTET



KOMPAKT



- 1 Verputz
- 2 Holzwolle-Leichtbauplatte (Fugen mit verzinktem Drahtgewebe armiert)
- 3 Dampfsperre (z.B. 0,2-0,3mm PE-Folie)
- 4 Wärmedämmung
- 5 hinterlüftetes Aussentäfer horiz.
- 6 Gipsbausteine mit aufkaschiertem Dämmstoff
- 7 Winddichtung (Kraftpapier, z.B. Sisalkraft 40)
- 8 Aussteifung und Schutz (Spanplatte/Diagonalschalung)
- 9 Konterlattung
- 10 Lattung mit Aussentäfer vertikal
- 11 Innenverkleidung (Gipskarton, Holz)
- 12 Elektroinstallation
- 13 Aussentäfer vertikal
- 14 Gipskartonplatte
- 15 Bituminierte Holzfasерplatte (Isorooft, 22mm)

- A Installationsschicht und evtl. minimale Speichermasse
- B Dampfsperre-Ebene
- C Wärmedämmung und Statik
- D (zusätzliche) Winddichtung und Wetterschutz

Abb. 3-2:

Beispiele von Holzskelett-Wandtypen.
Horizontalschnitt

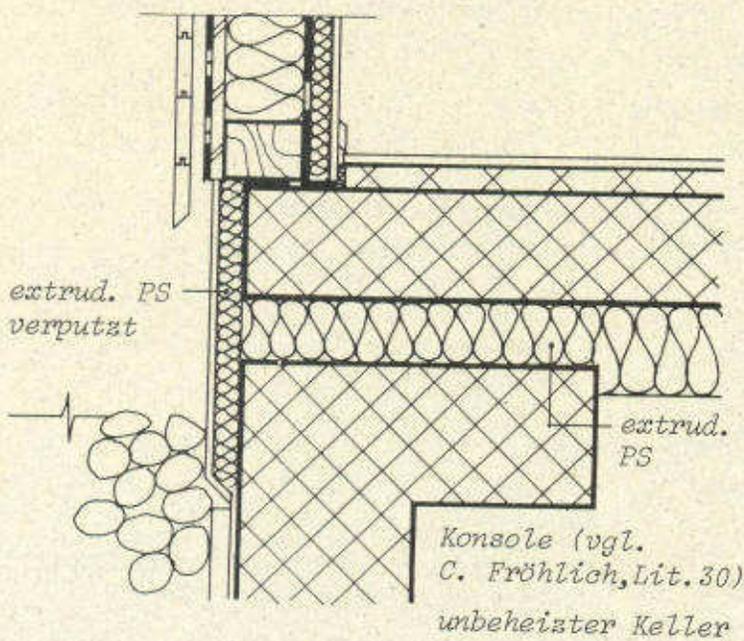
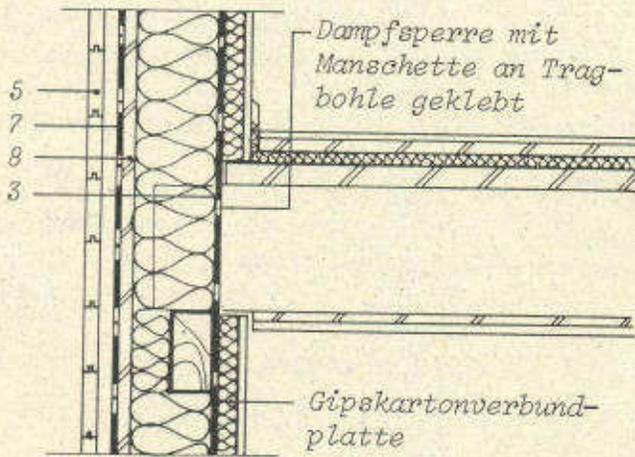
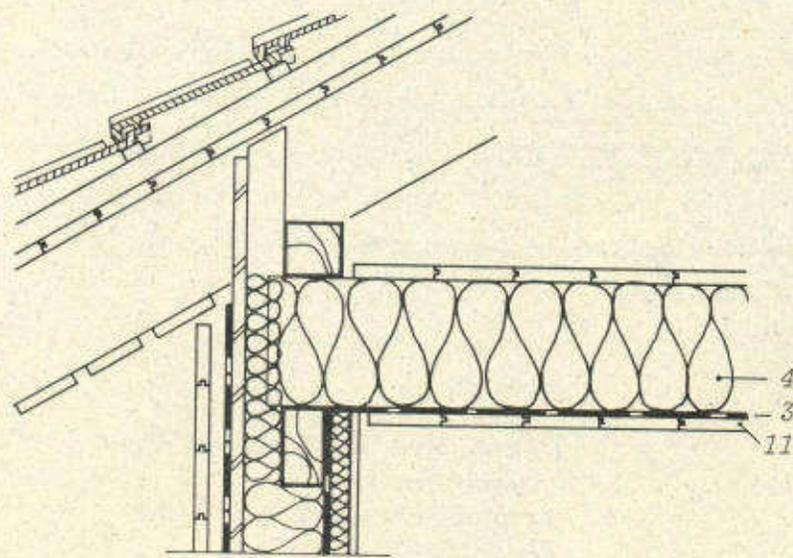


Abb. 3-3:

Beispiel einer hochisolierten Holzständerkonstruktion mit dem Versuch, Wärmebrücken zu vermeiden, eine Hinterlüftung zu realisieren, eine Schutzschicht vor die Dampfsperre zu stellen und einen minimalen Schallschutz (Zwischendecke) zu gewährleisten.

Die Tendenzen gehen allerdings in Richtung einfacher, billiger und mit entsprechenden Nachteilen behafteten Kompaktkonstruktionen.

Legende vergl. Abb. 3-2

verkleideten kompakten Leichtbauwänden. Die Vorteile liegen vor allem im Bereich der rationellen Fertigungstechnik (z.B. für Fertighäuser) und in der geringeren Dicke. Die Nachteile, die aus dem kompakten Aufbau resultieren, sollten aber nicht unterschätzt werden. Zwar ist es durchaus möglich, bei richtiger Bemessung und sorgfältiger Verarbeitung der Dampfsperre kondensatfreie Kompaktkonstruktionen zu erstellen. Immerhin ist es angesichts der Baupraxis an sich schon ein Nachteil, wenn "besonders sorgfältige Verarbeitung" nötig ist. Auch ohne Wasserdampf von innen aber ist eine nicht hinterlüftete Holzfassade einer enormen Belastung ausgesetzt. Bei Sonnenbestrahlung erwärmt sie sich übermässig und Schlagregenfeuchtigkeit trocknet schlecht aus. Nicht hinterlüftete Aussenschalungen haben deshalb eine starke Neigung sich zu verformen und dem Wetter weniger lang standzuhalten.

3.3.4 Leichtbauweise – schlechter oder besser als Massivbauweise?

Der Wärmeabfluss durch einen Bauteil vom warmen Innenraum zum winterlichen Ausenklima ist im wesentlichen nicht von der Masse dieses Bauteils abhängig. Auch im instationären Temperaturgeschehen ist die Summe der Wärmeströme von schweren und leichten Bauteilen bei gleichem k-Wert gleich gross.

Obige Aussage ist, physikalisch betrachtet, eine Vereinfachung. Die Abweichungen können aber als Randeffekte ohne praktische Bedeutung bezeichnet werden. (Sie entsprechen den nichtkonstanten Randbedingungen in der instationären Berechnung.) Beispielsweise wird die Oberfläche von Leichtbaukonstruktionen bei Sonnenbestrahlung höher erwärmt als bei Massivkonstruktionen. Streng genommen erhöht sich dabei auch der äussere Wärmeübergang überproportional, so dass der betrachteten Wand im Endeffekt weniger von der absorbierten Sonnenstrahlung zugute kommt, als wenn die Wand massiv gebaut wäre. Mengenmässig ist dieser Vorgang allerdings vernachlässigbar.

Die reinen Transmissionsverluste infolge des Temperaturgefälles von innen nach aussen können also mit Leichtbaukonstruktionen genauso gut minimiert werden, wie mit Massivbaukonstruktionen. Die Unterschiede im thermischen Verhalten kommen vielmehr im Bereich des Wärmekomforts und unterschiedlicher Betriebsweisen zum Tragen. Aus

dieser Sicht können sehr wohl Vor- und Nachteile von Leicht- bzw. Massivbauweise genannt werden:

● **Auskühlverhalten.**

Herkömmliche Leichtbauten kühlen in einer Winternacht nach dem Abschalten der Heizung um 7 bis 10°C ab (Herkömmliche Massivbauten: 2 bis 3°C). Bei hochisolierten Bauten werden die Verluste so minimal, dass auch die geringe Masse genügend Wärme an den Raum nachliefern kann, dass die Temperatur nicht mehr als um 3 bis 4°C fällt (bei hochisolierten Massivbauten: knapp 1°C). Es ist klar, dass damit auch die Wirksamkeit der Nachtabsenkung der Heizung verringert wird. Mit der grossen Zeitkonstanten (spezifische Auskühlzeit in Stunden pro °C Innentemperatur bei einem konstanten Temperaturgefälle von 1°C) verschwindet aber auch ein Teilaspekt des vielbemäkelten Barackenklimas von Leichtbauten, indem das Innenklima eben nur noch relativ träge auf die Aussentemperatur reagiert.

● **Der Kühlschrankeffekt.**

Oft stösst man auf die Meinung, eine sehr gute Wärmedämmung bringe als Nebeneffekt eine Verlängerung der Heizperiode im Frühling und im Herbst mit sich, weil sie die Sonnenwärme ebenso "abisoliere" wie die Raumwärme. Dieser sogenannte Kühlschrankeffekt findet so mit Sicherheit nicht statt. Hingegen können durchaus Vorgänge ablaufen, die zu derartigen Interpretationen verleiten:

- Wenn nachts mit offenem Fenster geschlafen wird, kühlen auch massive Wände und Decken stark aus. Bei konventionell gedämmten Bauten ist die Heizleistung so gross, dass diese Auskühlverluste am Morgen in kürzester Frist wieder kompensiert sind. Bei hochisolierten Bauten aber ist die installierte Leistung so klein, dass die ausgekühlte Wärme auch bei Vollast erst nach mehreren Stunden wieder zugeführt ist. Energie geht deswegen nicht mehr verloren, aber subjektiv entsteht das Gefühl, man müsse mehr denn je heizen.
- Bei nachträglich gut wärmegeprägten Bauten kann durch einen sehr grossen nächtlichen Luftwechsel (offenes Fenster) tatsächlich während sonnigen Perioden in der Uebergangszeit die mittlere Temperatur im Mauerwerk unter den früheren Wert (ohne Wärmedämmung) sinken. Es ist denkbar, dass an einem derartigen Tag im isolierten Gebäude etwas geheizt werden muss, weil von aussen wegen der guten Wärmedämmung kaum Wärme ins Mauerwerk fliesst, auch wenn die Oberfläche durch die Sonne stark erwärmt wird. Dieser Vorgang ist aber eine seltene Randerscheinung und eine quantitativ unbedeutende

Verminderung der Einsparung durch optimale Wärmedämmung. Vor allem sollte dieser Effekt nicht der Wärmedämmung zugeschrieben werden, sondern dem Lüftungsverhalten.

● Die Nutzung von Gratiswärme.

Innere Abwärmen und Sonneneinstrahlung machen bei hochisolierten Bauten einen respektablen Anteil der Wärmeverluste wett, auch wenn das Haus nicht ausdrücklich nach den Grundsätzen der passiven Sonnenenergienutzung konzipiert ist. In der Realität geht es meistens darum, relativ kurze, allenfalls vier bis fünf Stunden dauernde "Temperaturschübe" aufzunehmen, die etwa durch die Einstrahlung entstehen. In dieser kurzen Zeit sind aus Gründen der Trägheit der Wärmeeindringung nur die wenigen obersten Zentimeter der raumumschliessenden Bauteile in der Lage, auf die Temperaturerhöhung massgeblich zu reagieren. Mehr noch spielt dann die Oberfläche eine Rolle: wieviele Quadratmeter Bauteiloberfläche stehen für die temporäre Wärmeaufnahme zur Verfügung. Alles in allem ist es also sehr erwünscht, Leichtbauwände und -decken mit einigen Zentimeter dickem, gut speicherndem Material (Gips, Beton, Steinmaterialien) zu verkleiden. Dieser Variante gegenüber liegen effektive Massivbauweisen energetisch und komfortmässig nur wenig im Vorteil (vgl. dazu die Ausführungen in Kapitel 5).

● Sommerlicher Wärmeschutz.

Gute Wärmedämmung schützt im Sommer auch vor umgekehrten Wärmeflüssen. Eine Verbesserung der Flachdach-Wärmedämmung beispielsweise führt meist zu einem spürbar verbesserten Wohnklima in den darunterliegenden Räumen. Problematisch werden allerdings die Fenster: Durch den sehr guten Wärmeschutz hochisolierter Konstruktionen bedeutet die an langen Sommertagen eingestrahelte Energie eine unzumutbare Temperaturerhöhung, und zwar im Massiv- und Leichtbau. In unseren Klimata darf der sommerliche Wärmeschutz zwar nicht vergessen werden. Die Probleme sind aber durchaus zu bewältigen. Die nachstehenden, in der Reihenfolge ihrer Wichtigkeit aufgelisteten Aspekte gilt es zu berücksichtigen (vgl. auch Lit. 46):

- Die Einstrahlung muss wirksam abgehalten werden. Ein aussenliegender beweglicher Sonnenschutz ist dafür am geeignetsten, muss allerdings auch bedient werden. Bei südorientierten Fenstern können auch starre Beschattungsvorrichtungen eingesetzt werden (vgl. dazu auch Abschnitt 5.2.4).
- Die Fenstergrösse spielt natürlich eine wesentliche Rolle. Ost- und Westfenster sind ebenso kritisch wie Südfenster, weil durch den hohen Sonnenstand

im Sommer vertikale Flächen mit Ost- und Westorientierung ähnliche Energiemengen wie südorientierte Flächen erhalten.

- Die Durchschnittstemperaturen liegen bei Massiv- und Leichtbauweise etwa gleich hoch. Die Temperaturspitzen steigen bei Leichtbauten allerdings etwa 3°C höher und werden bei einsetzenden Hitzeperioden auch rascher erreicht (auch bei optimaler Bedienung der Storen).
- Das Lüftungsverhalten der Bewohner ist wichtig. Bei Massivbauten und Leichtbauten sollten gute Möglichkeiten gegeben werden, die Baumasse nachts auszukühlen. Es sollte also eine nächtliche Querlüftung möglich sein, ohne dass ein allfälliger Regen zu Ueberschwemmungen führt und evtl. auch ohne das Risiko einer Insektenplage (Beleuchtung und offenes Fenster!).

4. Sonneneinstrahlung durch transparente Bauteile

4.1 Transparente Baustoffe

Im Gegensatz zu Wand, Dach und Boden, haben transparente Bauteile der Gebäudehülle nicht in erster Linie der Abgrenzung des Raumes gegen das Aussenklima zu dienen, sondern sie schaffen als Oeffnungen in dreierlei Hinsicht Bezug zur Umwelt:

1. Tageslicht soll die Räume erhellen! Aus wohngyienischen Gründen sind daher auch minimale Fensterflächen vorgeschrieben. Oft ergibt sich daraus ein Konflikt mit dem energetischen Anliegen, zumindest auf der Nordseite möglichst kleine Oeffnungen vorzusehen. Es wäre zu hoffen, dass in architektonischer Hinsicht aus diesem Konflikt wieder eine bewusste Unterscheidung zwischen Licht und Helligkeit erfolgt: so dass nicht einfach grösstmögliche Helligkeit angestrebt wird, sondern dass die Qualitäten gezielter, eingeschränkter Tageslichtführung in Uebereinstimmung mit energetischen Erfordernissen erkannt und eingesetzt werden.
2. Der visuelle Kontakt zur Umwelt soll gewährleistet sein! Die Wahl des transparenten Baustoffs muss sorgfältig auf diese Primärfunktion der Oeffnung abgestimmt werden; nicht immer und überall sind klarsichtige und farbneutrale transparente Oeffnungen nötig oder sinnvoll. Oft bringt ein diffus streuendes Oeffnungselement mehr Vorteile oder kann ein stärker reflektierendes oder sogar verzerrendes Element bewusst als räumliche Abgrenzung eingesetzt werden. Häufiger ist allerdings die Situation, dass aus energetischen Gründen ein Wärmeschutzglas eingesetzt wird und die Veränderung der Lichtqualität erst im nachhinein als negativ empfunden wird.

So wie die transparenten Oeffnungen durch diese Funktion des visuellen Kontakts zu den "Augen des Hauses" werden, prägen sie auch wesentlich den Ausdruck des Gebäudes. Diffus streuende Oeffnungen (Strukturgläser, Isolierverglasungen mit integriertem Glasseidengespinst u.ä.), verzerrende Elemente (z.B. Kunststoff-Doppelstegplatten) und Gläser mit erhöhter Reflexion können "blind" wirken. Eine nächtliche Wärmedämmung des Fensters, die keinen Lichtschimmer nach aussen treten lässt, kann plötzlich auch soziale "Isolation" signalisieren. Dies sind Aspekte neuer Materialien, die architektonisch bewältigt sein wollen.

3. Die Lüftung erfolgt in der Regel über die Fenster. Bei visuellen Oeffnungen liegt es aus psychologischen wie technischen Gründen nahe, sie als zu öffnende Elemente zu gestalten, die so die Funktion des Lüftens übernehmen können. Gerade im Zusammenhang mit verbessertem Wärmeschutz entstand eine starke Tendenz, die Lüftung vom Fenster unabhängig (mechanisch) zu gewährleisten (z.B. in Skandinavien). Zumindest müsste man in diesem Zusammenhang jeweils gezielter fragen, ob nicht vermehrt festverglaste Anteile zweckmässig wären (wenn sich das Problem der Reinigung lösen lässt). Festverglasungen sind aus energetischen Gründen (kleiner Rahmenanteil) wie auch aus Kostengründen wünschbar.

4.2 Energetische Bewertung transparenter Bauteile

Das wärmetechnische Verhalten von nichttransparenten Bauteilen der Gebäudehülle (Wand, Dach und Boden) wird im wesentlichen durch den Wärmeabfluss infolge Transmission bestimmt. Als Optimierungsregel für die Praxis genügt die Richtlinie: je kleiner der k-Wert, desto kleiner der Verlust. Bei transparenten Bauteilen der Gebäudehülle gilt dies nur, wenn mit besserem k-Wert nicht die Einstrahlung in noch stärkerem Mass vermindert wird. Bei der Auswahl der Verglasung muss also nebst dem k-Wert auch noch die Strahlungsdurchlässigkeit berücksichtigt werden.

Die Durchlässigkeit für die Sonnenstrahlung hängt nicht nur von materialtechnischen Eigenschaften (Brechungsindex, Anzahl Scheiben, Absorptionskoeffizient) ab, sondern auch von situationspezifischen Gegebenheiten (insbesondere Orientierung des Glases in bezug auf die Haupteinstrahlungsrichtung). Für die Praxis kann als ausreichend genaues Mass der Strahlungsdurchlässigkeit mit dem Gesamtenergiedurchlassgrad (g -Wert) gearbeitet werden, wie er in der DIN-Norm 67507 definiert ist (vgl. Abb. 4-1).

Die Bilanz an der Fensterscheibe, wie sie in Abb. 4-1 dargestellt wird, ist in der Literatur und in der Praxis eine häufig verwendete Grösse. Sie ist aber sehr irreführend, weil sie zu einer vorschnellen, allzu positiven Einschätzung von Fenstern führt. Effektiv nutzbar ist vom Einstrahlungsgewinn nämlich immer nur ein Teil. Je

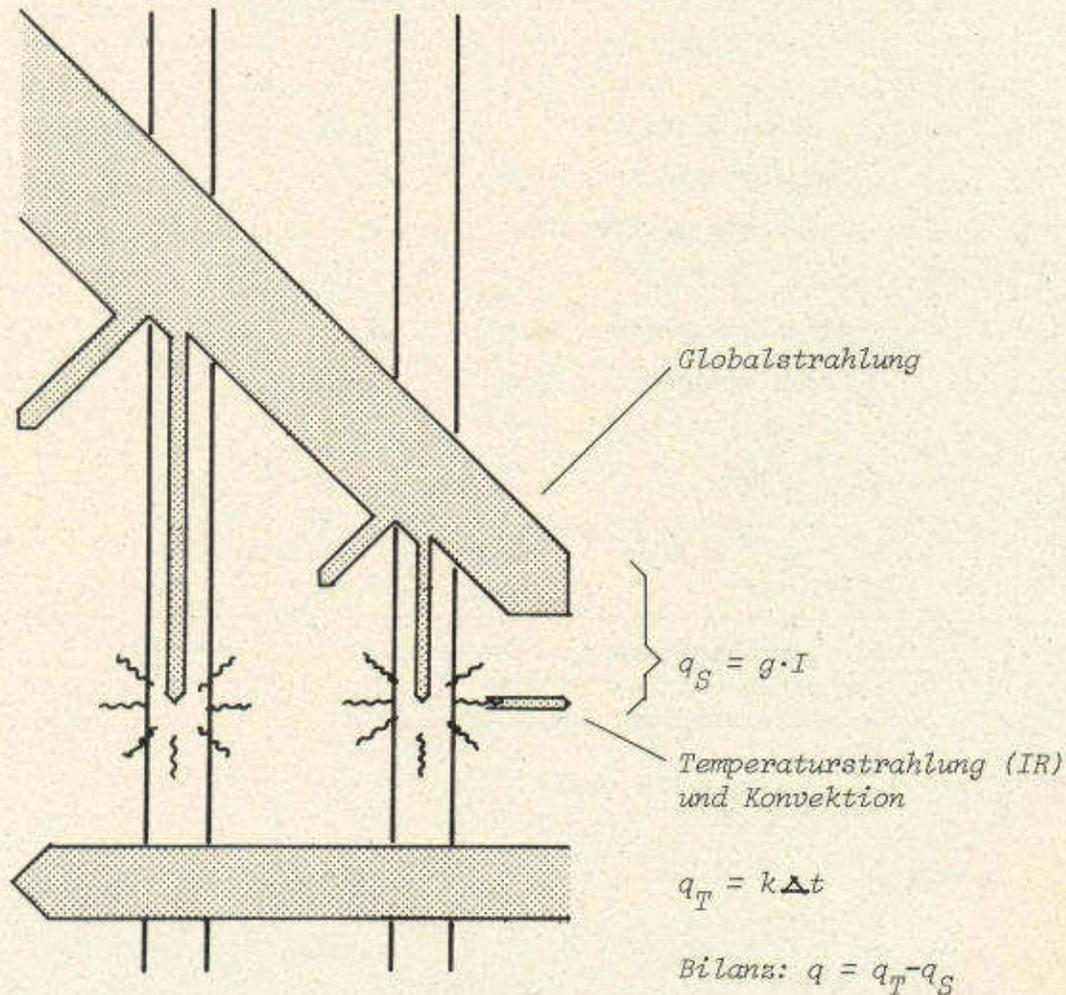


Abb. 4-1:

Energiebilanz am transparenten Bauteil (schematisch)

	<i>g</i> -Wert	<i>k</i> -Wert (W/m ² K)	$\frac{g}{k}$	
Glas	Einfachglas, 4mm	0,85	5,8	0,15
	Doppelverglasung DV, 2-fach Isolierverglasung, 2-IV	0,77	2,7-3,0	0,26-0,29
	3-fach Isolierverglasung, 3-IV	0,70	2,0-2,2	0,33-0,37
	2-fach Wärmeschutzglas, 2-WS	0,65	1,6	0,41
	3-fach Wärmeschutzglas, 3-WS	0,55	1,2	0,46
	Glasbausteine, 8cm	0,6	3,5	0,17
	Sonnenschutzglas, 2-IV (mit guten Wärmeschutz-Eigenschaften)	0,2-0,5	* 1,4	0,36-0,14
Transparente Kunststoffe	PLATTEN:			
	Plexiglas PMMA, einfach	0,85	5,3	0,16
	" Doppelstegplatten, 16mm	0,78	2,9	0,27
	" Tripelstegplatten, 32mm	0,73	1,9	0,38
	Polycarbonat, einfach	0,85	5,3	0,16
	" Doppelstegplatten, 10mm	0,78	3,1	0,25
	" Tripelstegplatten, 16mm	0,73	2,2	0,33
	FOLIEN:			
	PVF-Folie, 0,1mm	0,87	5,9	0,15
	PE-Folie, 0,2mm (Bauplastik)	0,86	5,9	0,15
	PE-Noppenfolie	0,85	~ 4	0,21

* Nicht alle Sonnenschutzgläser weisen einen besseren *k*-Wert auf als Klarverglasungen

Tabelle 4-I:

Strahlungsdurchlässigkeit *g*, Wärmedurchgangszahl *k* und zugehöriger Quotient $\frac{g}{k}$ verschiedener transparenter Bauteile.

nach Bauart, Fensterflächenanteil und anderen Einflussgrößen muss ein mehr oder weniger stattlicher Anteil des Einstrahlungsgewinns wieder weggelüftet werden, weil sich der Raum sonst überhitzt (vor allem natürlich in den Uebergangszeiten). In den Abb. 4-2 und 4-3 wird illustriert, dass der Ausnützungsgrad der Sonneneinstrahlung die effektive Bilanz stark beeinflusst. Es kann also von einem Verglasungstyp nie losgelöst vom Haus gesagt werden, dass die Energiebilanz positiv oder negativ ist. Dieser Aspekt ist für die Optimierung der passiven Sonnenenergienutzung äusserst wichtig und wird in Kap. 5 eingehend behandelt.

Als erste Annäherung kann gesagt werden: je grösser der Quotient g/k , desto besser ist die betreffende Verglasung aus energetischer Sicht einzustufen. Aus den Abbildungen 4-2 und 4-3 wird deutlich, dass eine vergleichende Evaluation verschiedener Verglasungen aufgrund des g/k -Quotienten möglich ist, dass aber der Sonnenenergie-Nettoertrag bzw. Verlust in starkem Masse von sehr ungewissen Faktoren abhängt (Jahresnutzungsgrad, lokale Heizgradtage, usw.). Vor allem muss aufgepasst werden, dass nicht aufgrund einer Energiebilanz am Glas (Abb. 4-2) ein zu optimistisches Urteil über den Sonnenenergiegewinn gewonnen wird.

Für eine differenziertere Evaluation von Verglasungsvarianten müssen aber die klimatischen Gegebenheiten berücksichtigt werden. Es ist denkbar, dass von zwei Verglasungsvarianten mit gleichem g/k -Quotient diejenige mit hohen g - und k -Werten auf der Südseite des Hauses die bessere Bilanz aufweist, sie aber auf der Nordseite der anderen Variante unterlegen ist, weil g und k zusammen mit unterschiedlichen Faktoren (Einstrahlung bzw. Heizgradtage) die jeweiligen Gewinne und Verluste bestimmen. Dieser Zusammenhang kann mittels einfacher stationärer Betrachtungen illustriert werden: Der Ertrag aus der Sonneneinstrahlung ergibt sich aus

$$Q_g = I \cdot g \cdot r \cdot AG \quad (\text{MJ/m}^2 \text{a})$$

(reine Glasfläche, ohne Rahmenanteil)

I = Globalstrahlungsmenge pro m^2 (nach Orientierung und Standort, z. B. nach Lit. 4) in $\text{MJ/m}^2 \text{a}$

g = Gesamtstrahlungsdurchlassgrad

r = Reduktionsfaktor $r = r_1 \cdot r_2$
 r_1 = Beschattung (Horizont, Bäume)

r_2 = Verschmutzung des Glases

AG = Ausnützungsgrad für die eingestrahlte Sonnenenergie

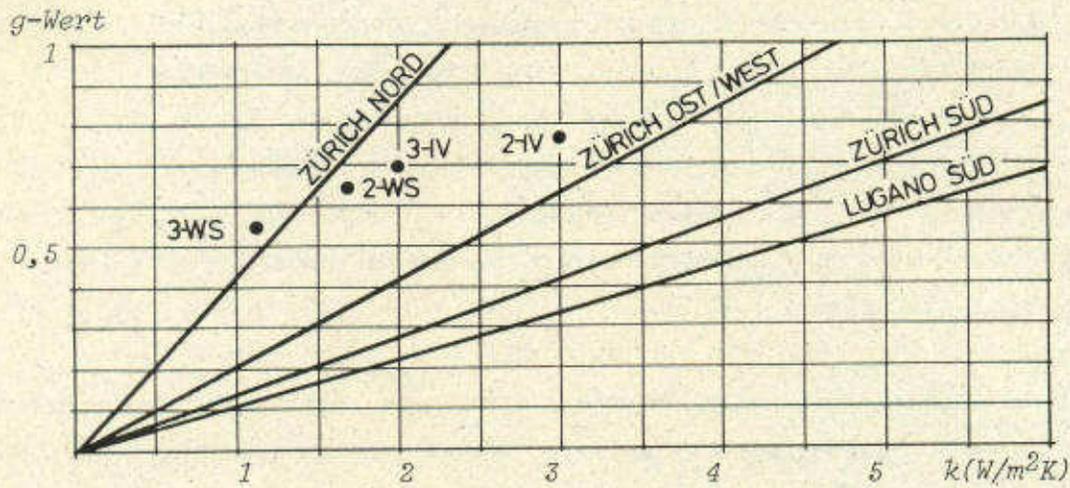


Abb. 4-2:

Energiedurchlassgrad und k -Wert der wichtigsten Verglasungstypen. Nullbilanzgeraden für verschiedene Standort-/Orientierungskoeffizienten (bezogen auf die Heizperiode).
Nullbilanz am Glas, ohne Berücksichtigung des Ausnützungsfaktors: Im Bereich oberhalb der Geraden gelangt mehr Sonnenenergie durch das Glas, als Wärme nach aussen abfließt.

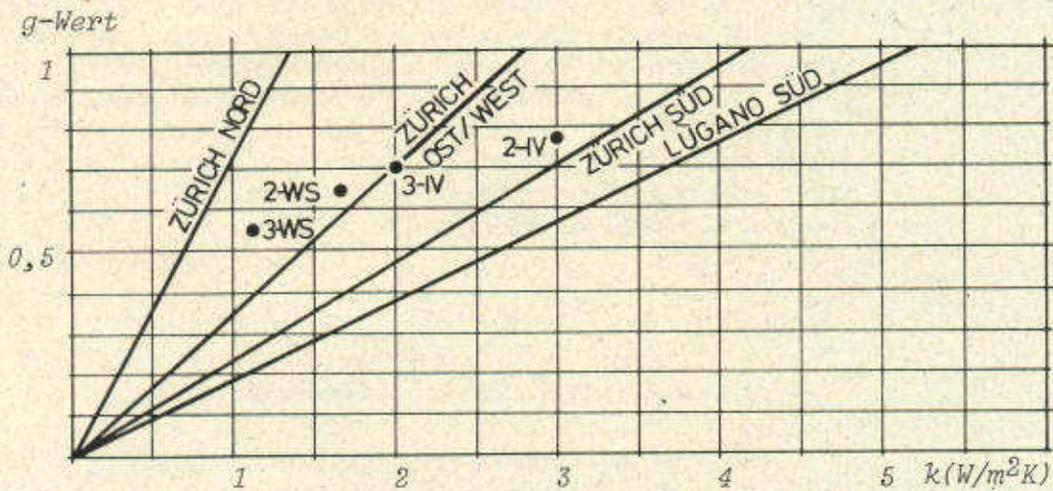


Abb. 4-3:

Nullbilanzen unter Berücksichtigung eines Ausnützungsgrades von 0,6. (Dies entspricht der Durchschnittsgrößenordnung bei herkömmlicher Massivbauweise, ohne besondere Optimierung der passiven Sonnenenergienutzung)

während sich die Transmissionsverluste wie folgt errechnen:

$$Q_T = k \cdot \frac{HGT \cdot 24 \cdot 3,6}{1000} \quad (MJ/m^2 a)$$

k = Wärmedurchgangszahl in $W/m^2 K$

HGT = Heizgradtage in $K \cdot d$

Das Verhältnis von Einstrahlungsgewinn zu Verlusten, das möglichst gross sein soll, lässt sich in geordneter Weise darstellen als

$$\frac{Q_S}{Q_T} = \frac{g}{k} \cdot \frac{I}{HGT} \cdot r \cdot a \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3,6}$$

Materialkoeffizient

Standort-/Orientierungs-
koeffizient

Gebäudekoeffizient

Konstante

Ausser dem Materialkoeffizienten g/k wird die Energiebilanz auch durch die standort- und orientierungsabhängige Grösse I/HGT beeinflusst. In Tabelle 4-II wird gezeigt, in welchen Bereichen dieser Koeffizient schwankt. Der Gebäudekoeffizient $r \cdot a$, der ebenfalls als massgebliche Grösse in die Gleichung eingeht, ist nebst dem Materialkoeffizienten g/k die zweite Einflussgrösse, die durch den projektierenden Baufachmann und den Benutzer massgeblich bestimmt werden kann.

Selbstverständlich ist es auch möglich, mit den beiden eingangs angeführten Formeln den effektiven Ertrag $Q_{eff} = Q_S - Q_T$ für unterschiedliche Verglasungsvarianten zu errechnen und daraus die Wahl der Verglasung abzuleiten. Man sollte sich dann allerdings im Klaren sein, dass die Formeln zwar taugliche Vergleichswerte liefern, weil alle untersuchten Varianten mit der gleichen (bzw. gleich falschen) Elle gemessen

Standort	HGT	Vertikale Flächen					
		Süd		Ost/Weest		Nord	
		I	I/HGT	I	I/HGT	I	I/HGT
Bern	3666	2194	0,60	1496	0,41	722	0,20
Davos	6886	3575	0,61	2300	0,33	1103	0,16
Lugano	2643	1995	0,75	1310	0,50	632	0,24
Luzern	3651	2081	0,56	1390	0,38	671	0,18
Zürich	3261	1954	0,60	1346	0,41	650	0,2

HGT_{12/20} nach SIA 381

I = Globalstrahlung während der Heizperiode (MJ/m²a)

Tabelle 4-II:

Standortkoeffizient $\frac{I}{HGT}$ für verschiedene Orientierungen in MJ/m²a kd

werden. Bevor man den errechneten Nettoertrag $Q_{\text{eff}} = Q_S - Q_T$ als tatsächlich zu realisierende Nutzenergie-Einsparung annimmt, muss man sich die Ungewissheit des stationären Rechnungsansatzes vergegenwärtigen: Die einzelnen Parameter der Gleichung stehen in komplexer Wechselwirkung zu einander: Der Ausnutzungsfaktor ist ausser von Bauweise, Fensterflächenanteil, Einstrahlungsdaten u.a. auch vom Verhältnis von Gewinn zu Verlust abhängig. Dasselbe gilt für die Heizgrenze, die wiederum die Heizgradtage beeinflusst usw. Vor allem bei stark verglasten Fassaden tritt dieser Sachverhalt stark hervor. (Im Abschnitt 5.2 werden diese Zusammenhänge etwas detaillierter erläutert.)

4.3 Wärmeschutz von transparenten Bauteilen

Die Erhöhung des Wärmeschutzes von transparenten Bauteilen läuft meist auf Kompromisse hinaus indem unerwünschte Nebenfolgen des verbesserten Wärmeschutzes in Kauf genommen werden. Für die Material- und Typenwahl in der Praxis ist es daher sinnvoll zu wissen, wie der Wärmeschutz am Fenster funktioniert und welche Neben-
aspekte sich daraus ergeben.

4.3.1 Strategien zur Verminderung der Wärmeübertragung

Am Wärmedurchgang durch das Fenster wirken gleichzeitig Wärmeleitungs-, Wärmestrahlungs- und Konvektionsverluste mit. Alle diese Verlustkomponenten werden denn auch einzeln oder kombiniert angegangen:

- Die zwei- und Mehrfachverglasung schafft Zwischenräume mit ruhiggestellter Luft, die nur noch wenig Wärme durch Konvektion von der warmen zur kalten Scheibe überträgt. Durch die Vervielfachung der Glasoberflächen wird auch das Total der Wärmeübertragung durch Temperaturstrahlung vermindert. Bis zu einem Scheibenabstand von 12 bis 15 mm wächst der Wärmedurchlasswiderstand der ruhiggestellten Luftschicht. Ab 30 mm schliesslich wird die Konvektion im Zwischenraum so stark, dass durch eine weitere Vergrösserung des Abstandes keine Verbesserung des k-Wertes mehr erreicht werden kann. Für die Praxis ist wichtig, die gewünschten Gläser genau zu bezeichnen, sei es mit den entsprechenden Anforderungen an den k-Wert oder der Nennung des erwünschten Scheibenabstandes. Bei einer Dreifachverglasung sollte also darauf geachtet werden, dass 2 x 12 mm Scheibenabstand vorhanden ist. Dreifachverglasungen, die wegen unpräziser Devisierung mit 2 x 6 mm Scheibenabstand geliefert werden (um beispielsweise schlankere Rahmenkonstruktionen zu ermöglichen) bieten keine Vorteile mehr gegenüber einer Zweifachverglasung mit 16 mm Scheibenabstand (gleiche Gesamtdicke, aber billiger und leichter).

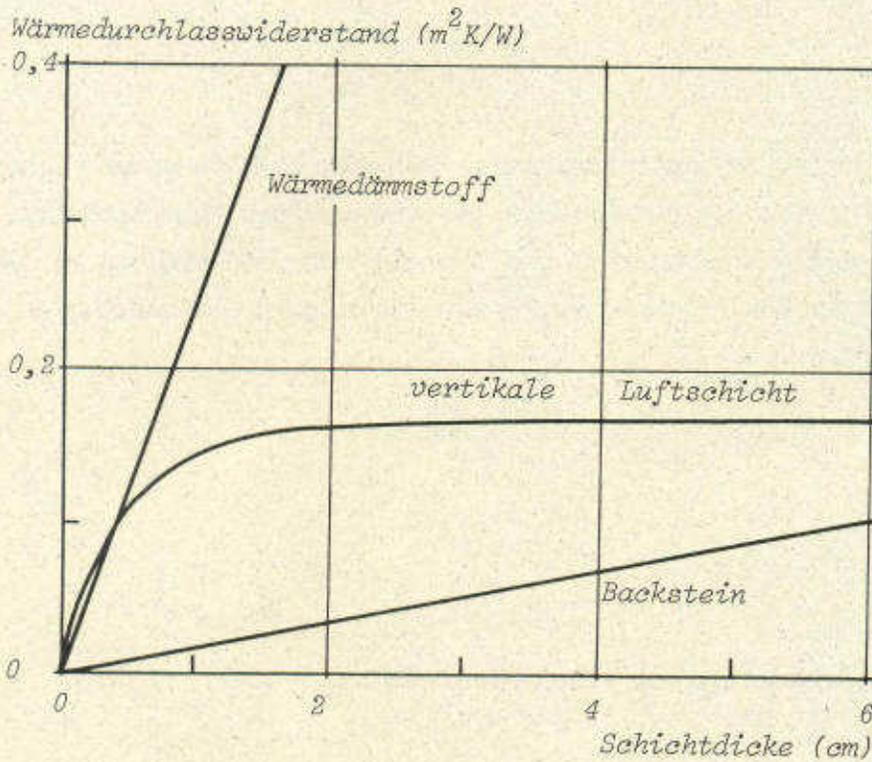


Abb. 4-4:
Wärmedurchlasswiderstand von vertikalen Luftschichten im Vergleich zu Dämmstoff und Backstein (nach Sageledorff, Lit. 39).

Mit jeder zusätzlichen Scheibe findet eine Beeinträchtigung der Strahlungsdurchlässigkeit statt, während die k-Werte-Verbesserung immer geringer wird, so dass mit mehr als drei Scheiben der g/k-Quoten sich kaum mehr verbessern lässt (wobei gleichzeitig die Probleme der Handhabung, der Fertigung und die Kosten für Vier- und Fünfachverglasungen enorm gross würden).

Auch transparente Kunststoffe sind heute als zwei- und dreilagige Elemente zu kaufen. Sie sind in der Regel als Doppel- oder Tripelstegplatten ausgeführt, eingefärbt oder farbneutral, jedoch sichtverzerrend oder diffus streuend. Sie sind leicht (Hallendach-Lichtbänder, Wintergarten-Konstruktionen), gut verformbar (Kuppeln, Rundungen) und nicht spröde (Schlagzähigkeit).

- Schwergase statt Luft in den Scheibenzwischenräumen verbessern den k-Wert ohne den g-Wert und die Farbneutralität zu beeinflussen. Der k-Wert von 2- und 3-fach-Isoliergläsern lässt sich auf diese Weise um 10 bis 20 % verbessern (Abb. 4-6). Je nach Füllgas kann der optimale Scheibenabstand schon bei 9 bis 12 mm erreicht sein, was die Fabrikation eines soliden Randverbundes von 3-fach-Isoliergläsern

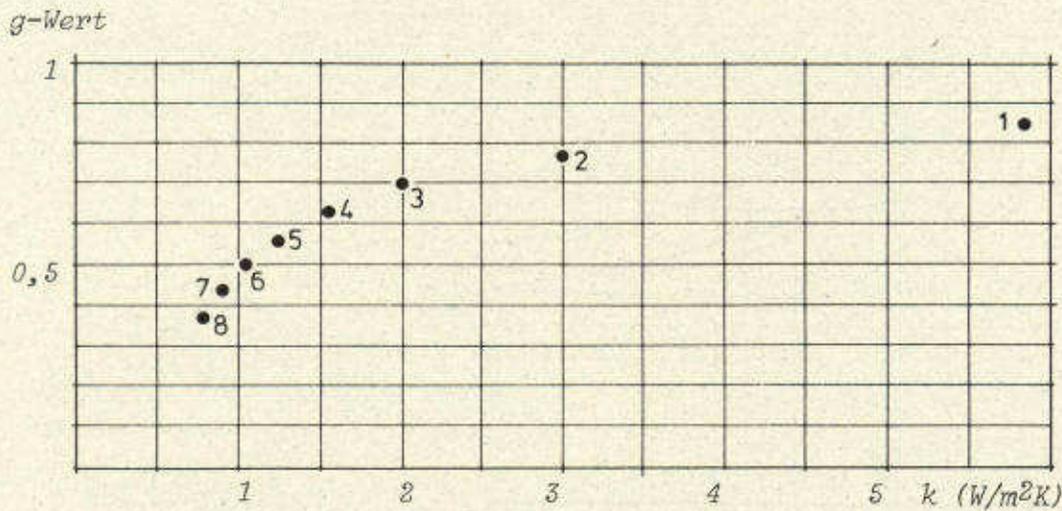
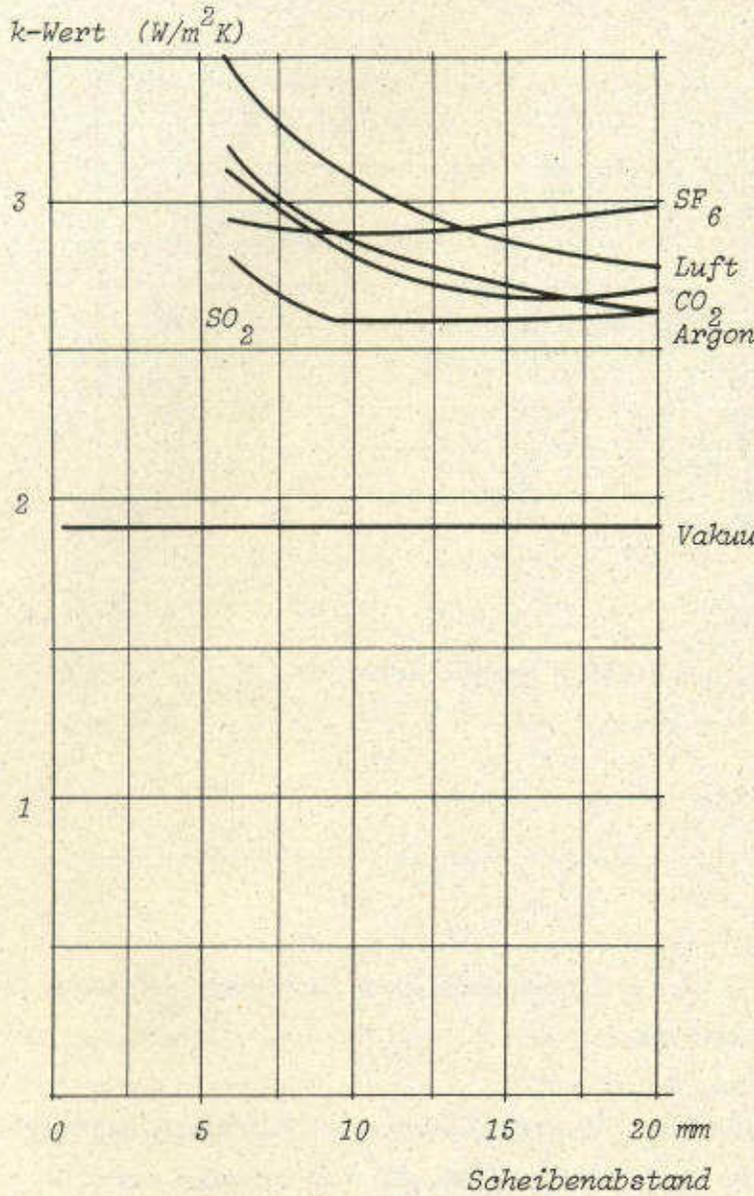


Abb. 4-5:
Verglasung mit unterschiedlicher Anzahl Scheiben

vereinfacht. Die Möglichkeit, kleine Scheibenabstände zu wählen, ist sogar der Hauptgrund, Schwergase einzusetzen.

Es ist in hohem Masse gewährleistet, dass die Füllgase im Scheibenzwischenraum bleiben. Ein Entweichen würde auch das Eintreten von Wasserdampf ermöglichen, was zu hohlraumseitigem Kondensat führen und das Auswechseln der Verglasung nötig machen würde.

Besser als Gas wäre Vakuum. Allerdings zeigt Abb. 4-6, dass bei unbehandelten Glasoberflächen der k-Wert auch bei einem idealen Vakuum (ohne Distanzhalter als Wärmebrücken) wegen der Wärmeübertragung durch Temperaturstrahlung nur auf ca. $1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ sinkt.



*Ideales Vakuum
(ohne Wärmebrücken)

Abb. 4-6:

Verbesserung des k-Wertes eines konventionellen 2-fach Isolierglases durch Gasfüllung bzw. Evakuierung des Scheibenzwischenraumes.

Man kann sich diesen Zusammenhang auch folgendermassen verdeutlichen: Wärmeleitungswiderstände ($\frac{1}{\alpha}$) addieren sich in ihrer Wirkung einer hinter dem anderen (in Serie geschaltet), während der Uebergangswiderstand (R_α) aus zwei parallel geschalteten Teilübergangswiderständen für Temperaturstrahlung ($\frac{1}{\alpha_S}$) und Konvektion ($\frac{1}{\alpha_K}$) besteht, für welche die Beziehung gilt:

$$\frac{1}{R_\alpha} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_S}} + \frac{1}{\frac{1}{\alpha_K}} \longrightarrow R_\alpha = \frac{1}{\alpha_S + \alpha_K}$$

Dieser hyperbolische Zusammenhang zwischen Uebergangswiderstand R_{α} und der Summe von α_s und α_k zeigt, dass ein grosser Uebergangswiderstand nur erreicht wird, wenn die Summe $\alpha_s + \alpha_k$ klein gemacht wird. Wenn nur der eine Summand gegen Null geht (Vakuum), bleibt R_{α} immer noch weit unter $1 \text{ m}^2\text{K/W}$. (Eine 10 cm starke Wärmedämmschicht weist einen Widerstand von 2,5 bis $3 \text{ m}^2\text{K/W}$ auf.) Wenn aber beide Summanden gegen Null gehen, wächst der Uebergangswiderstand gegen unendlich....

- Die Reduktion der Wärmeübertragung durch Temperaturstrahlung (langwelliges Infrarot, IR) ist an einem transparenten Bauteil besonders schwierig, da das Fenster ja weiterhin im Wellenlängenbereich des Lichtes, bzw. der Globalstrahlung der Sonne, transparent und möglichst auch farbneutral bleiben soll.

Die Wärmefallenwirkung des Fensters beruht darauf, dass die Sonneneinstrahlung (Globalstrahlung) das Glas fast unbehindert passieren kann, während die langwellige Temperaturstrahlung, die vom Rauminnern an die Scheibe geworfen wird, diese nicht durchdringen kann, sondern weitgehend absorbiert wird. Dadurch erfolgt aber eine Erwärmung des Glases, die zu Verlusten gegen die Kaltseite hin führt. Bringt man auf das Glas eine Schicht auf, welche die Temperaturstrahlung reflektiert, verhindert man dadurch die Absorption und damit auch die verlustbringende Erwärmung des Glases. Reflektierende Schichten haben die Eigenschaft, in gleichem Masse, wie sie auftreffende Strahlung zurückwerfen, im gleichen Wellenlängenbereich auch die Abstrahlung zu vermindern. Ein Bauteil kann also entweder auf der Raumseite im Temperaturstrahlungsbereich verspiegelt werden (z.B. Heizkörper-Reflektorfolien). Er könnte aber auch auf der Aussenseite verspiegelt werden. Der Bauteil selbst würde dann zwar von innen her unbehindert erwärmt, würde aber gegen aussen weniger Wärme abstrahlen. Die grossen konvektiven Wärmeverluste auf der Aussenseite heben den Effekt allerdings weitgehend auf. Tatsächlich wirkt die Temperaturstrahlungsverspiegelung am effektivsten, wenn sie hohlraumseitig an der innersten Scheibe der Verglasung angebracht ist (so warmseitig wie möglich, wo aber gleichzeitig der konvektive Uebergang möglichst klein gehalten wird), damit sie die warme innere Scheibe in ihrer Temperaturabstrahlung behindert.

Abb. 4-7 zeigt am Beispiel einer Horizontalfläche die Strahlungsverhältnisse bei Sonnenschein. Auffallend daran ist, dass nebst der intensiven Globalstrahlung von der Sonne, im langwelligen Bereich von der Umgebung (Hügel, Wolken, Atmosphäre) Temperaturstrahlung von vergleichbarer Intensität

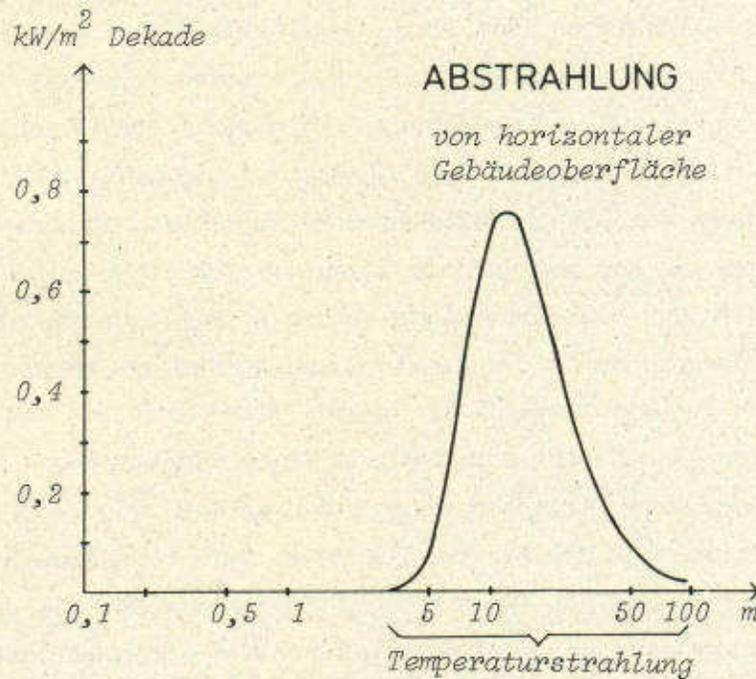
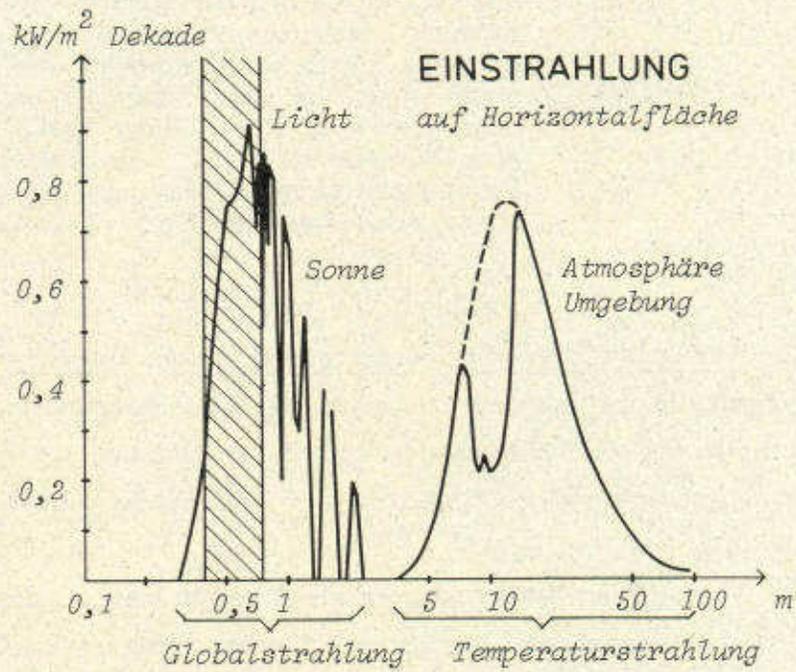


Abb. 4-7:

Auftreffende Globalstrahlung und Temperaturstrahlung (Beispiel nach Lit. 39) auf eine Horizontalfläche und Abstrahlung einer horizontalen Gebäudehüllenoberfläche (theoretische maximale Absorption bzw. Emissivität, $\epsilon = 1$).

auftrifft. Allerdings hat die horizontale Gebäudeoberfläche eine Eigentemperatur, die leicht über derjenigen der Umgebung liegt und strahlt deshalb selbst noch mehr Wärme in Form von Temperaturstrahlung ab. (Dazu kommen noch die konvektiven Verluste an die kalte Luft, die aber hier nicht dargestellt sind.) Diese Vorgänge finden sowohl bei undurchsichtigen wie bei transparenten Bauteilen statt (für Temperaturstrahlung ist Glas ohnehin undurchlässig). Wie im sichtbaren Bereich kann die Bauteiloberfläche auch für die Temperaturstrahlung absorbierend ("schwarz") oder reflektierend ("weiss") sein. Bei der Temperaturstrahlung ist allerdings im Fall der Bauteiloberflächen damit nicht nur die Absorption betroffen. Vielmehr ist auch die Fähigkeit, Temperaturstrahlung abzugeben (Emissivität), identisch mit dem Vermögen, Temperaturstrahlung zu absorbieren, also abhängig vom Reflexionsgrad der Oberfläche. Die Emissivität normaler Baumaterialoberflächen (inklusive Glas) liegt bei 0,9 bis 0,97. D.h., dass 90 bis 97 % der eingestrahlten Temperaturstrahlung absorbiert wird, ebenso wie 90 bis 97 % der theoretisch maximalen Abstrahlung (des "schwarzen" Körpers gleicher Temperatur) emittiert wird. Da die Eigentemperatur der Gebäudeoberfläche höher ist als die der Umgebung, ist die Abstrahlung grösser als die Einstrahlung. Eine IR-Verspiegelung der Oberfläche (also ein Absenken von ϵ auf 0,1 bis 0,2) bewirkt, dass sowohl Absorption wie Emission und damit auch die (negative) Bilanz verringert wird. Dies gilt an sich für nichttransparente Bauteile gleich wie für Gläser. Allerdings fällt der realisierbare zusätzliche Widerstand nur bei schlechten k-Werten, also bei transparenten Bauteilen, wirklich ins Gewicht. Bei transparenten Bauteilen sollten diese Verspiegelungsschichten im kurzwelligen Bereich (Globalstrahlung) die Durchlässigkeit möglichst wenig beeinflussen (Licht- und Energiereduktion, Farbneutralität).

In Abb. 4-7 wird dieser Zusammenhang an einer horizontalen Fläche illustriert, um auf die Besonderheit der Temperaturstrahlungslücke der Atmosphäre im Bereich von 7 bis 11 m hinzuweisen. Sie verschlechtert die Strahlungsbilanz erheblich und kann beispielsweise dafür verantwortlich sein, dass in klaren Nächten horizontale Oberflächen erheblich unter die Umgebungslufttemperatur auskühlen. Ein vertikaler Bauteil "sieht" verhältnismässig wenig Himmel, so dass der Effekt der Temperaturstrahlungslücke stark verringert ist.

Seit vielen Jahren sind IR-verspiegelte Sonnenschutzgläser erhältlich, die einen k-Wert von unter $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ aufweisen. Gleichzeitig wird auch die Globalstrahlung stark behindert, so dass sie für den winterlichen Wärmeschutz keinen interessanten g/k-Quotient aufweisen. IR - verspiegelte Klebefolien gehören zur selben Kategorie: zwar verbessern sie den k-Wert erheblich, aber sie verhindern die Sonneneinstrahlung in zu starkem Masse. Die heute modernsten IR-verspiegelten, eigentlichen Wärmeschutzgläser weisen einen guten Gesamtenergiedurchlassgrad auf (65 % bzw. 55 % für zwei bzw. dreischiebige Verglasung), sind ziemlich farbneutral und erreichen k-Werte von 1,2 bzw. $1,65 \text{ W/m}^2\text{K}$.

4.3.2 Die Verglasung der Zukunft

Die Architektur der Zukunft wird nicht unwesentlich davon geprägt sein, in welchem Masse die Glasindustrie ihre Entwicklungsziele nach tiefen k-Werten bei gleichzeitig guter Sonnenstrahlungsdurchlässigkeit und hoher Farbneutralität erreicht. Es kann heute mit der Entwicklung von Verglasungen mit g/k - Quotienten von 0,8 und mehr gerechnet werden (also z.B. $k = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0,5$). Derartige Verglasungen weisen unter durchschnittlichen Klimabedingungen des schweizerischen Mittellandes selbst bei schlechtem Ausnutzungsgrad der eingestrahnten Sonnenenergie noch an der Nordfassade eine positive Energiebilanz auf. Eine derartige Verglasung könnte etwa so aussehen:

- Zwischen zwei Glasscheiben sind zwei bis drei Kunststofffolien gespannt, die Zwischenräume sind mit Schwergas gefüllt und eine oder zwei Innenflächen sind mit einer relativ farbneutralen IR-Verspiegelung beschichtet. Kunststofffolien sind leichter und transparenter als Glas. Sofern sie alterungsbeständig sind und so eingebaut werden können, dass sie nicht schlaff werden bei sommerlichen Temperaturen, wären sie gut geeignet für den Einbau in den Scheibenzwischenraum. Nebst fertigungstechnischen Problemen lägen wohl die Hauptschwierigkeiten darin, die Kosten nicht allzu hoch ansteigen zu lassen und die realisierten wärmetechnischen Verbesserungen der Verglasung nicht mit überproportionalen Rahmen- und Randverbundkonstruktionen herabzumindern.
- Als weiteres Entwicklungsprojekt wurde der Öffentlichkeit bereits vor einiger Zeit ein evakuiertes, IR-verspiegeltes Isolierglas vorgestellt (Prototyp). Auch dieses Glas erreicht ausgezeichnete g- und k-Werte. Es ist allerdings sehr fraglich, ob für die Alltagsrealität am Bau ein permanentes Vakuum im Scheibenzwischenraum hergestellt werden kann. Leider sind etwa alle 10 bis 15 cm Distanzhalter zwischen den Scheiben notwendig, welche die Sicht beeinträchtigen und als Wärmebrücken wirken.

Wirklich leistungsfähige Wärmeschutzgläser werden nebst allen Vorteilen auch neue Probleme mit sich bringen:

- Die Wärmedämmwirkung führt zu enormen Temperaturunterschieden zwischen innerer und äusserer Scheibe, welche entsprechende Spannungen im Glas und Randverbund bewirken. Bei verspiegelten Sonnenschutzgläsern mit tiefem k-Wert sind

derartige Schadenfälle in extremen Klimasituationen (Bergrestaurant) bereits aufgetreten.

- Der Randverbund bleibt als Wärmebrücke bestehen und wirkt sich gegenüber der gut isolierenden Scheibenfläche umso stärker aus. Bereits bei heute üblichen 3-fach-Isolierverglasungen entsteht gerne Oberflächenkondensat entlang dem Randverbund, was auf die Dauer vor allem für Holzfenster schädlich ist, aber auch auf anderen Fensterkonstruktionen Schimmelbildung nach sich zieht.

4.3.3 Fensterrahmen und Glasverbund

Ca. 20 bis 30 % der Fläche des Fensters werden vom Rahmen beansprucht. Die wärmetechnische Optimierung darf also nicht beim Glas aufhören.

Die heutigen Rahmenkonstruktionen weisen, je nach Dicke, folgende k-Werte auf:

<i>Holz</i>	<i>1,6 bis 1,9 W/m²K</i>
<i>Holz - Metall</i>	<i>1,6 bis 1,9 "</i>
<i>Kunststoff</i>	<i>1,7 bis 2,3 "</i>
<i>Metall (unterbrochen)</i>	<i>3,0 bis 3,5 "</i>
<i>Metall</i>	<i>5,7 bis 6,1 "</i>

Bereits bei heutigen Verglasungsqualitäten wird damit der Fensterrahmen zur Schwachstelle in der Gebäudehülle. Vor allem auf besonnten Seiten, wo die transparente Fläche auch bei schlechtem k-Wert wegen der Sonneneinstrahlung eine wesentlich bessere Energiebilanz erzielt als die nichttransparente Rahmenkonstruktion. Bis auf weiteres kann aus dieser Situation nur die Konsequenz gezogen werden, dass der Rahmenanteil minimiert werden sollte (Grossformatigkeit, Festverglasung).

Wie in Abb. 4-8 illustriert, lässt sich das Fenster in vier Bereiche gliedern (in Anlehnung an (B. Keller, Lit. 27)).

- ① Die ungestörte Glasoberfläche
- ② Die Einflusszone des Randverbundes (Isolierglassteg und Rahmenkonstruktion), ein Streifen von ca. 5 cm Breite.
- ③ Rahmenkonstruktion gegen Aussenluft.
- ④ Rahmenanschlag.

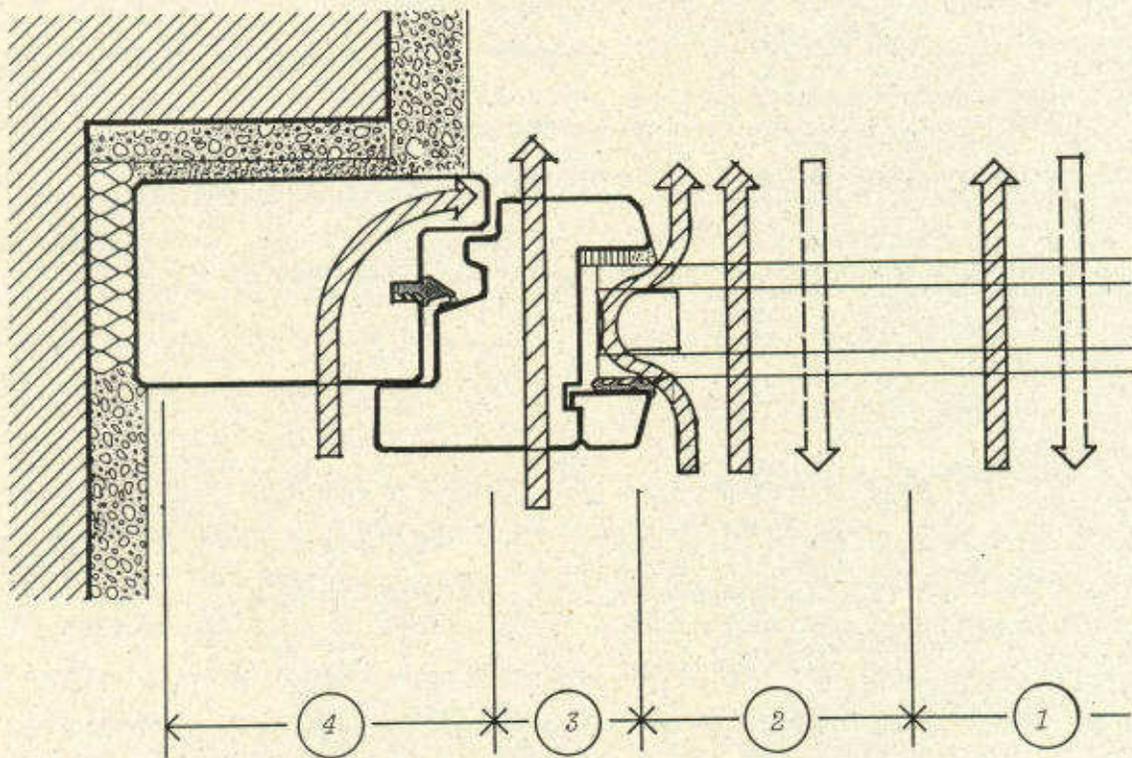


Abbildung 4-8:

Schematische Darstellung der Wärmeverluster (und Einstrahlungsgewinne) am Fenster. Horizontalschnitt durch 2-fach Isolierverglasung mit Holzrahmen.

<i>Fenstertyp</i>	<i>ungestörte Glasfläche</i> (1) <i>k-Wert (W/m²K)</i>	<i>Randzone</i> (2) <i>k-Wert (W/m²K)</i>
<i>Doppelverglasung, Holz</i>	2,8	3,0
<i>2-fach IV, Holz</i>	3 , 1,65*	3,9
<i>2-fach IV, Kunststoff</i>	3 , 1,65*	4,1
<i>2-fach IV, Alu+Isoliersteg</i>	3 , 1,65*	3,9
<i>3-fach IV, Holz</i>	2 , 1,15*	3,0
<i>3-fach IV Kunststoff</i>	2 , 1,15*	3,7
<i>3-fach IV Alu+ Isoliersteg</i>	2 , 1,15*	3,0

* mit einer IR verspiegelten Scheibe

Tabelle 4-III:

k-Werte der ungestörten Glasfläche und des Randverbundes verschiedener Fenstertypen.

Wie stark der Rahmenverbund als Wärmebrücke in Betracht fällt ist von Fall zu Fall verschieden und hängt ab von der thermischen Qualität des Rahmens, der Rahmenbreite, der Verglasung und zu einem kleinen Teil von der Art der Randstegverbindung des Isolierglases.

Aus Tabelle 4-III wird deutlich, dass insbesondere bei wärmetechnisch guten Verglasungen der Randverbund als Schwachstelle sich abhebt und es sich demzufolge vor allem bei guten Verglasungen lohnt, die Randzonenlänge zu minimieren (grosse Fensterformate wählen!). Obwohl die k-Werte für den eigentlichen Rahmen (Holz, Kunststoff oder Metall) in der gleichen Grössenordnung liegen, schneidet dieser Anteil der Fensterkonstruktion mit Abstand am schlechtesten ab, da den Verlusten, nicht wie im Glasbereich (inkl. Randzone!), keine Einstrahlungsgewinne gegenüberstehen.

Da der Einstrahlungsgewinn durch die Verglasung abhängig ist von Standort, Orientierung, Beschattung, Fensterflächenanteil usw. kann der Zusammenhang nur exemplarisch dargestellt werden. In Abb. 4-9 wird davon ausgegangen, dass der südorientierte Fensterflächenanteil optimiert worden sei, so dass

Durch Rahmen und
Randverbund verursachte
spez. Verluste
(kWh/m² a)

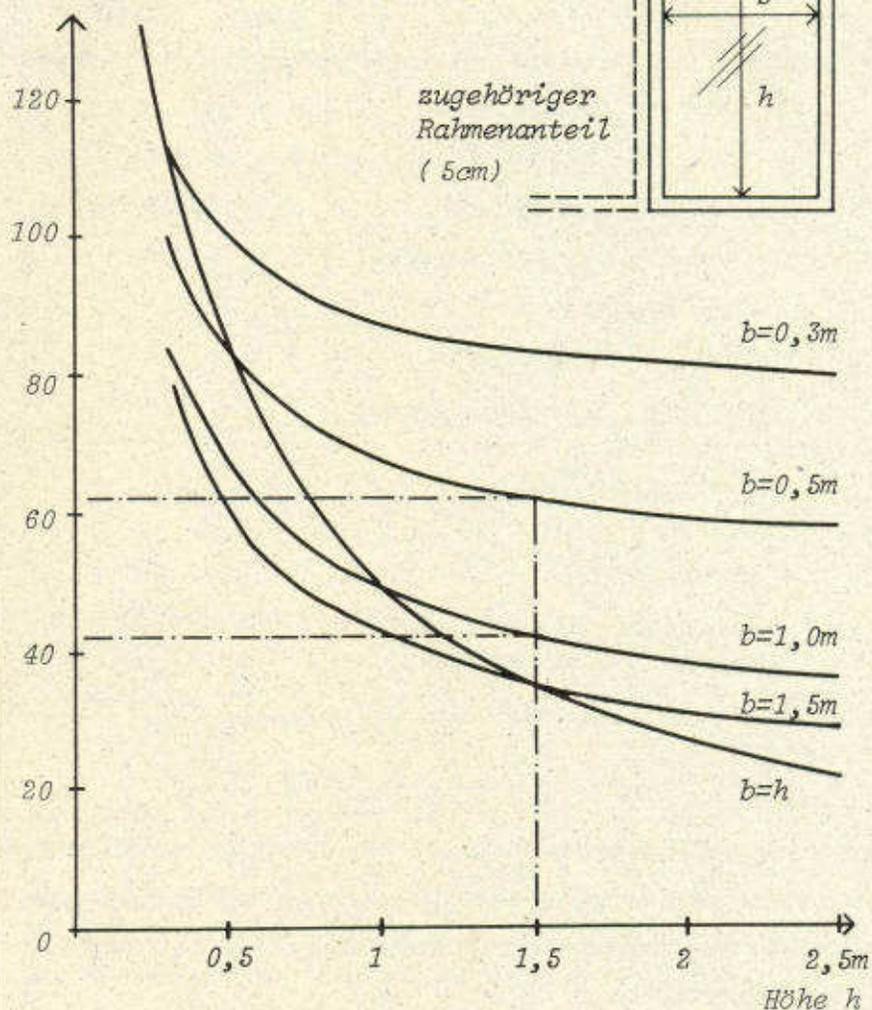


Abb. 4-9:

Spezifische Energiebilanz einer Fensterkonstruktion (Holzrahmen, 3-fach IV, Klimawerte von Bern, 225 Heiztage) in Abhängigkeit des Formats, wenn davon ausgegangen werden kann, dass die ungestörte Glasfläche eine Nullbilanz aufweist (Verluste = ausgenützte Sonneneinstrahlung. Die Hyperbel des quadratischen Formats $b = h$ nähert sich mit zunehmendem Wert für h dieser Nullbilanz asymptotisch).

Ablesebeispiel:

Wenn eine Fensteröffnung von 1,5m Höhe und 1m Breite zweiflügelig statt einflügelig (2x0,5m Breite), verglast wird, steigen die (Bilanz-) Verluste von 43 auf 82 kWh pro m² und Jahr (Heizperiode) an.

zusätzliche Glasflächen keinen ausnützbaren Einstrahlungsgewinn mehr abwerfen, dass also die Energiebilanz (Wärmeleitungsverluste versus ausgenützte Sonneneinstrahlung) gleich Null sei. Die spez. Verluste der ungestörten Glasfläche betragen also $0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Durch das Format wird der Durchschnittsverlust bei dieser relativ guten und südorientierten Verglasung recht massiv beeinflusst. Wenn nur die Beeinflussung des reinen k-Wertes (ohne Sonnenstrahlungsgewinn) untersucht wird, liegt die k-Wertverschlechterung von kleinformatigen Isolierglasfenstern gegenüber grossformatigen bei lediglich 10 bis 15 %. Daraus kann vielleicht geschlossen werden, dass es sich bei nordorientierten Fenstern nicht lohnt, die Fensterflächengeometrie und -einteilung zu optimieren, weil der Sonnenstrahlungsgewinn keine wesentliche Rolle spielt.

4.4 Nachtwärmedämmung der Fenster

Nachts kann aus dem Fenster ohne Nachteil ein nichttransparenter Bauteil gemacht werden. Da gerade in der Heizperiode die Nächte lang und die Aussentemperaturen nachtsüber besonders tief sind, ist die Möglichkeit, mit konventionellen opaken Materialien Wärmeschutz zu betreiben auf jeden Fall interessant. Leider sind Nachtwärmedämm-Massnahmen im Fensterbereich aufwendig und erfordern Bedienungsdisziplin. Auch bautechnisch und bauphysikalisch bleibt für den Planer und Konstrukteur noch manche Nuss zu knacken.

4.4.1 Stellenwert

Bei moderner, hochisolierter Bauweise liegen die k-Werte der nichttransparenten Bauteile der Gebäudehülle unter $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Wenn sich daher die Gelegenheit bietet, wenigstens temporär auch im Fensterbereich auf k-Werte von zumindest $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ zu kommen, wird damit nicht nur mehr Energie eingespart, sondern (ausser vielleicht noch den Lüftungswärmeverlusten) das letzte Wärmeverlustloch verstopft. Der verbleibende

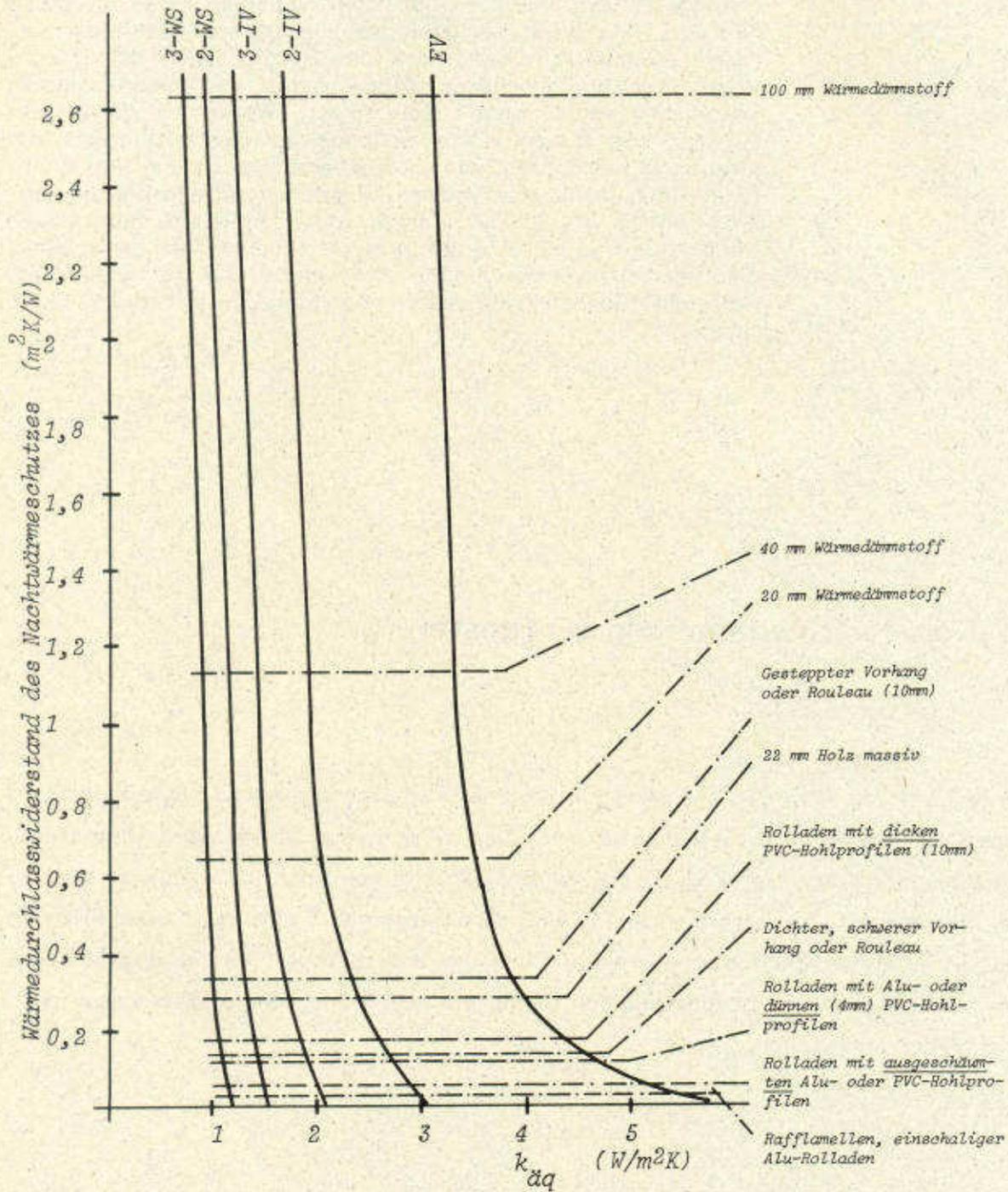


Abb. 4-10:

Aequivalenter k -Wert verschiedener Verglasungen mit unterschiedlichen Nachtwärmeschutz-Maßnahmen, welche konsequent bedient werden (Annahme: Nachtwärmeschutz sei während der Hälfte der HGT bedient, Klimadaten von Bern).

Energieverbrauch nähert sich damit so kleinen Werten, dass für die Beheizung echte Kleinalternativanlagen (z.B. mit Holz) ausreichen.

Abb. 4-10 zeigt, dass der Wärmedurchlasswiderstand des Dämmfadens umso weniger ins Gewicht fällt, je besser der k-Wert von Verglasungen ist. Sollten in Zukunft wirklich Verglasungen mit k-Werten von 1,0 bis 0,8 W/km² (bei guter Strahlungsdurchlässigkeit) zur Verfügung stehen, wird die Einsparung durch einen temporären Wärmeschutz so gering, dass sich nur ein kleiner Aufwand lohnt.

Der äquivalente k-Wert des Fensters mit Nachtwärmeschutz, entsprechend einem realistischen Verhältnis von Tagzustand und Nachtzustand (geschlossener Nachtwärmeschutz), verbessert sich bei schlechten Verglasungen relativ stark. Allerdings wird aus Abb. 4-10 deutlich, dass bereits Nachtwärmeschutzmassnahmen mit bescheidenem Wärmedurchlasswiderstand das energetische Potential weitgehend ausschöpfen. Es ist demzufolge wenig sinnvoll mit grossem Aufwand 10 cm Wärmedämmstoff in die Nachtwärmedämmung zu packen. Schon eher nützlich ist es, auf gute Dichtigkeit des Nachtwärmeschutzes zu achten, damit auch die Lüftungswärmeverluste positiv beeinflusst werden.

Anhand der Beispiele von Abb. 4-11 lässt sich der unterschiedliche Nutzen der Nachtwärmedämmung zeigen (Tab. 4-IV).

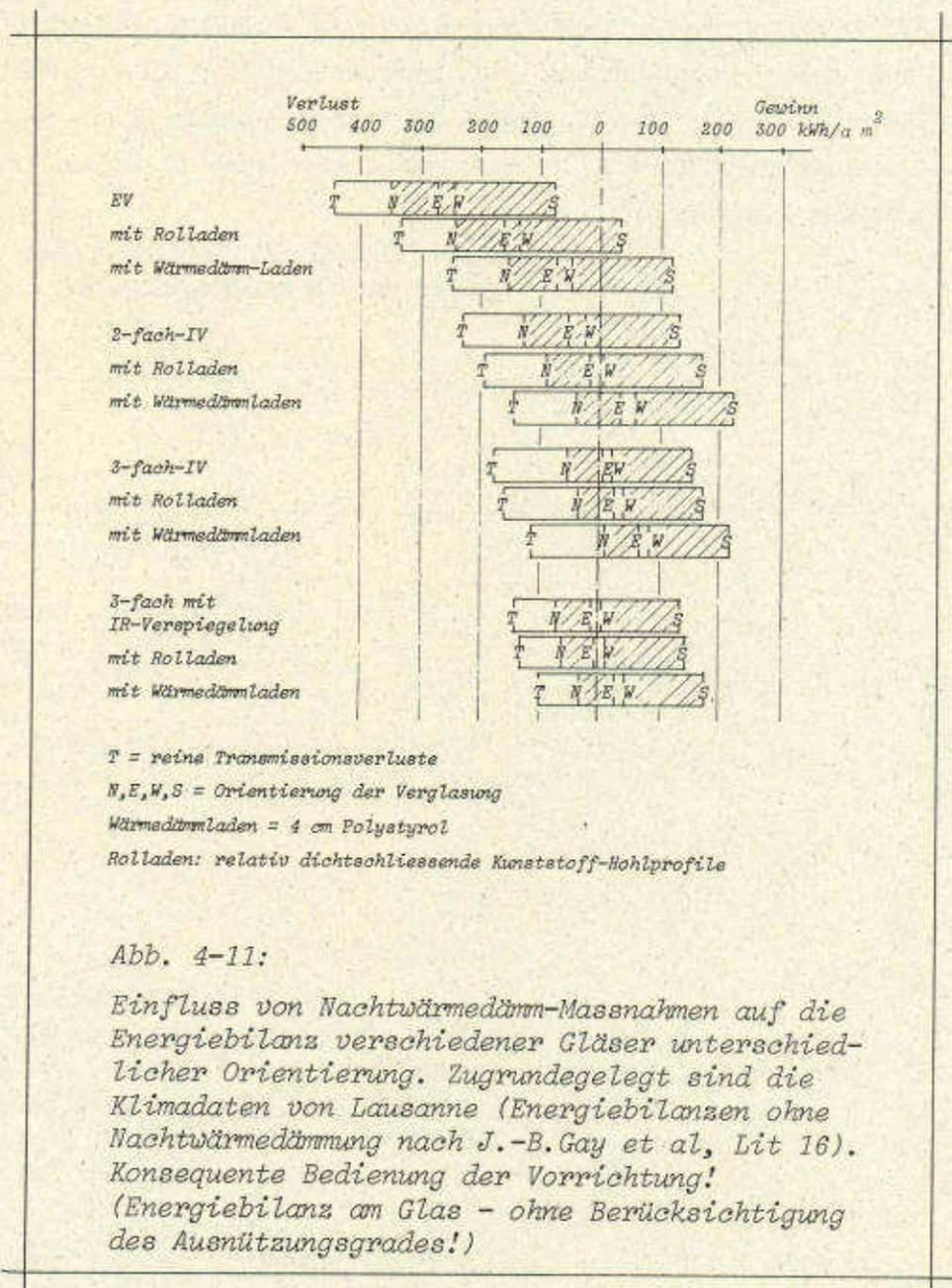
	Jährliche Einsparung		amortisierbare Investition (Fr./m ²)
	(kWh/m ² a)	(Fr./m ² a)	
2-fach IV	88	8.80	110.-
3-fach WS	42	4.20	53.-

Tabelle 4-IV:

Energie- und Betriebskosteneinsparung (bei 0,1 Fr./kWh Energiepreis) sowie amortisierbare Investition (n = 20 Jahre, p = 5%) bewirkt durch einen Dämmfaden (4 cm Polystyrol). Ausgangslage wie Abb. 4-10

Bei den zugrundegelegten Annahmen bezüglich Energiepreis, Amortisationsfrist und Kapitalzins, vermag die Einsparung durch den Dämmladen eine Investition von 110.- Fr./m² zu tragen, wenn der Laden vor einem 2-fach-Isolierglas eingesetzt wird. Derselbe Laden dürfte aber höchstens die Hälfte davon kosten, wenn er vor einem dreischiebigen Wärmeschutzglas (IR-verspiegelt, Spezialgasfüllung) sich noch bezahlt machen soll. Eine Nachtwärmedämmung ist allerdings oft eine multifunktionale Einrichtung: sie kann unter Umständen die Kosten für Vorhänge, Gardinen, evtl. Sonnenschutz, nächtliche Schallschutzverbesserung, Einbruchssicherung verringern oder überflüssig machen. Selbst ein unrentabler Nachtwärmeschutz ist so gesehen immer noch besser begründet als mancher andere Bauteil oder Ausstattungsgegenstand.

Gemäss Abb. 4-11 wird der Sonneneinstrahlungsgewinn durch



den Nachtwärmeschutz nicht geschmälert, da er ja bei Abwesenheit der Sonne wirksam ist. Ein Dämmladen ist deshalb auf der Südseite gleich wichtig wie auf der Nordseite. Aus Behaglichkeitsgründen ist er bei grossflächigen Fenstern besonders wertvoll. Durch den mit dem Dämmladen verbesserten k-Wert erhöht sich die raumseitige Oberflächentemperatur. Dadurch erfolgt eine Erhöhung der Temperaturstrahlung und gleichzeitig entstehen weniger Kaltluft-Fallströme. Beides beeinflusst das Behaglichkeitsempfinden erheblich. Es wird dadurch sogar möglich, ohne Komforteinbusse die Raumlufttemperatur leicht abzusenken, was wiederum die Wärmeverluste vermindert (und damit die Wirtschaftlichkeit erheblich positiv beeinflussen kann).

4.4.2 Nachtwärmedämmung auf der Aussenseite

Ein aussenliegender Wärmeschutz für das Fenster stellt hohe Ansprüche an Ausführungs- und Materialqualität, weil er, mehr noch als das Fenster selbst, der Witterung ausgesetzt ist und trotzdem masshaltig bleiben soll. Insbesondere wenn eigentliche Wärmedämmstoffe integriert werden, sind hohe Kosten kaum zu umgehen. Als eigentliche Nachtwärmedämmung stehen dem Planer heute lediglich ganz wenige Isolierladenprodukte (ausgeschäumte Metalläden) und die altbewährten Massivholzläden (ohne Lamellen!) zur Verfügung. Bei letzteren ist auf gute Dichtigkeit zu achten. Sowohl bei Klappläden wie bei Rolläden können die Erfordernisse des sommerlichen Wärmeschutzes nur unbefriedigend gelöst werden (Beeinträchtigung der Tageslichtbeleuchtung und des Ausblicks gegenüber Lamellenstoren). Bei Storen besteht die Gefahr, dass der Kasten zu einer thermischen Schwachstelle wird, der den ganzen Dämmeffekt wieder zunichte macht. Sein k-Wert sollte (als nichttransparenter Bauteil) nicht wesentlich schlechter sein, als derjenige der angrenzenden Aussenwand. Er sollte auch keine Undichtigkeiten verursachen (abgedichtete Serviceöffnung, Kurbel statt Zuggurt).

4.4.3 Innenliegende Nachtwärmedämmung

Das Feld der innenliegenden Nachtwärmedämmung bleibt bis heute im wesentlichen dem Do it yourself motivierter Hausbesitzer überlassen. In den USA hat sich mittlerweile eine Verkaufsbranche gebildet, welche Fertig- oder Halbfertigfabrikate für die Nachtwärmedämmung von Fenstern vertreibt: Gestepte, IR-verspiegelte Rouleaus, Vorhängepanels aus Wärmedämmstoff, Klapp- und Schiebeläden. Dem interessierten Bastler steht eine ausführliche Literatur zur Verfügung (z.B. Lit. 14 und 15), die von der Ideensammlung bis zu technischen Anleitungen reicht. In der Schweiz ist der Einsatz von Nachtwärmedämm-Vorrichtungen im Fensterbereich (mit Ausnahme von Vorhängen) selten, obwohl sie sich gut zu bewähren scheinen (z.B. in den Bauten von U. Schäfer und K. Haas). Dem kreativen Konstrukteur eröffnet sich hier also ein noch wenig begangener Pfad. Es sollen hierzu nur noch einige Anmerkungen hinzugefügt werden:

- Auch wenn der Nachtwärmeschutz nur zeitweise zum Einsatz kommt, muss beachtet werden, dass die dampfsperrende Verglasung abgekühlt wird und eine Tendenz zur Bildung von Oberflächenkondensat besteht (Innenisolation). Erfahrungen haben gezeigt, dass im Regelfall nur dann in bedenklichem Masse Kondensat entsteht, wenn Raumluft permanent an der kalten Scheibe vorbeiströmt (a), weil sie sich abkühlt und unten entweichen kann, während oben warme Raumluft nachfließen kann. Die Scheibe wirkt somit als eigentlicher Flächenentfeuchter. Wenn der Nachtisolator vor allem unten und seitlich ziemlich gut dichtet, bildet sich an der Scheibe eine Kaltluftzone, die aber nur in geringem Masse Raumluftzufuhr erhält. Die Feuchtigkeit, die infolge Diffusion (auch durch einen nur schwach dampfbremsenden Dämmladen) in 12 bis 14 Stunden an die Fensterscheibe gelangt, ist im Normalfall klein (b). Aus diesem Grund ist auch die Idee (meines Wissens von U. Schäfer) vertretbar, ein Ferienhaus auf diese Weise zu temperieren: der seitlich und unten dichte Dämmladen (der bei Abwesenheit ja nicht bedient werden kann) erwärmt durch seine dunkle Oberfläche bei Sonneneinstrahlung die Luft im Zwischenraum, welche durch den obenliegenden Spalt in den Raum entweicht und diesen erwärmt. Nachtsüber bleibt die Kaltluft im Zwischenbereich, weil sie nicht nach unten abfließen kann. Im Ferienhaus ist die Feuchtigkeitsbelastung allerdings üblicherweise relativ gering (bei Abwesenheit der Benutzer). Bei benützten Gebäuden ist eine eigentliche Oeffnung am oberen Rande nicht sinnvoll, da der Laden ja bedient werden kann und die Einstrahlung am Tag besser genutzt wird, wenn sie in den Raum eindringen kann. Es ist deshalb zweckmässig, bei normal benutzten Bauten die Nachtwärmedämmung dicht anzuschliessen (c). Die problemloseste Lö-

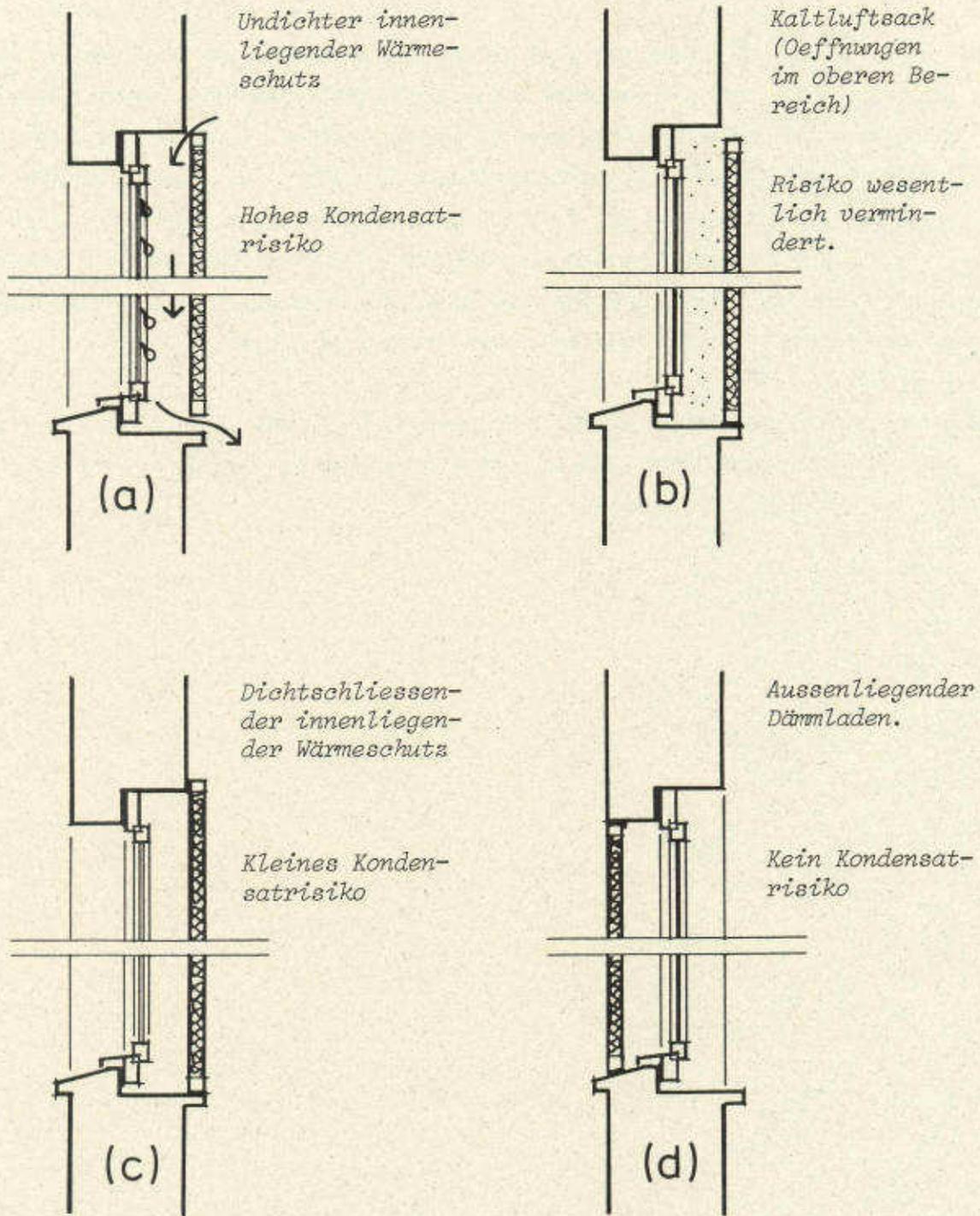


Abb. 4-12:

Kondensatrisiken bei verschiedenen Vorrichtungen zur Nachtwärmedämmung. Schemaschnitte.

sung stellt aus bauphysikalischer Sicht natürlich der aussenliegende Dämmladen dar (d).

- Infrarotverspiegelte Schichten sind für den Nachtwärmeschutz von Fenstern genauso möglich wie bei Verglasungen oder als Heizkörperreflektorfolien. Allerdings muss man sich im klaren sein, dass sie sinnvollerweise zusammen mit einem wärmedämmenden Element (Vorhang, Rouleau oder Laden) zum Einsatz kommen sollten. Gerade nachts muss das Fenster ja nicht transparent sein, also entfällt der Vorteil durchsichtiger, IR-verspiegelter Folien. Tagsüber halten diese Folien mehr Einstrahlung ab, als sie an Transmissionsverlusten einsparen. Geeignet sind sie, wo sie sommerliche Sonnenschutzfunktionen übernehmen sollen.
- Bisher wenig beachtet wurde der architektonische Aspekt einer wirksamen Nachtwärmedämmung: welchen Ausdruck erhält ein konsequent verdunkeltes und vor Einblicken geschütztes Gebäude?

5. Optimierung der Energieflüsse

In den beiden vorhergehenden Kapiteln wurden die beiden Grundpfeiler energiebewussten Bauens näher dargestellt: die möglichst weitgehende Reduktion der Wärmeverluste (Kap. 3, Wärmeschutz) und die energetisch optimale Energiebilanz transparenter Bauteile (Kap. 4, Sonneneinstrahlung). Insbesondere stationäre Energiebilanzbetrachtungen am Glas täuschen gerne darüber hinweg, dass nur eine sorgfältige Optimierung des Hauses als Gesamtsystem zu einem befriedigenden Verhalten mit geringem Fremdenergieverbrauch führt. Gerade hochisolierte Bauten reagieren sehr empfindlich auf Schwankungen in der Einstrahlungsintensität und selbst im Dezember und Januar stellt sich das Problem, dass entweder zu wenig oder zu viel Sonnenstrahlung einfällt, kaum aber gerade soviel wie das Haus zur Deckung seiner Verluste gerade benötigt. In diesem Kapitel soll deshalb dargestellt werden, in welchem Ausmass die eingestrahelte Sonnenenergie genutzt werden kann und wovon dieser Ausnützungsgrad zur Hauptsache abhängt. Diese Optimierung der Energieflüsse ist von zentraler Bedeutung für das Anliegen des energiegerechten Bauens.

5.1 Der Wärmebedarf als Funktion des Aussenklimas und menschlicher Bedürfnisse

In Abb. 5-1 ist in schematischer Weise der Zusammenhang zwischen Aussenklima und Anforderungen an das Raumklima dargestellt. Zunächst ergibt sich vom Bewohner her

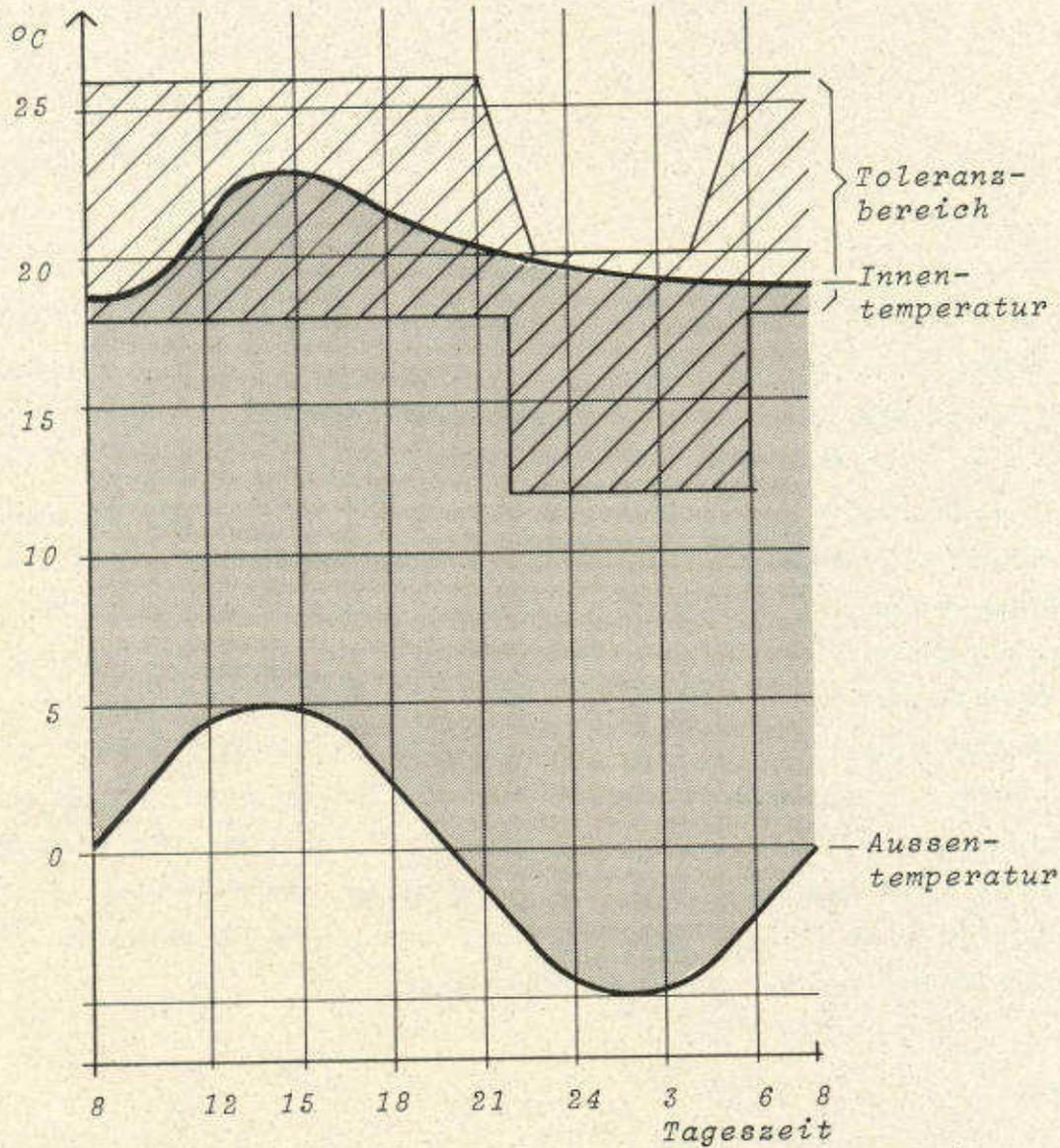


Abb. 5-1:

Differenz zwischen Innen- und Aussentemperatur im instationären Verlauf als massgebende Grösse für den Energieverbrauch.
Schematisierter Januartag.

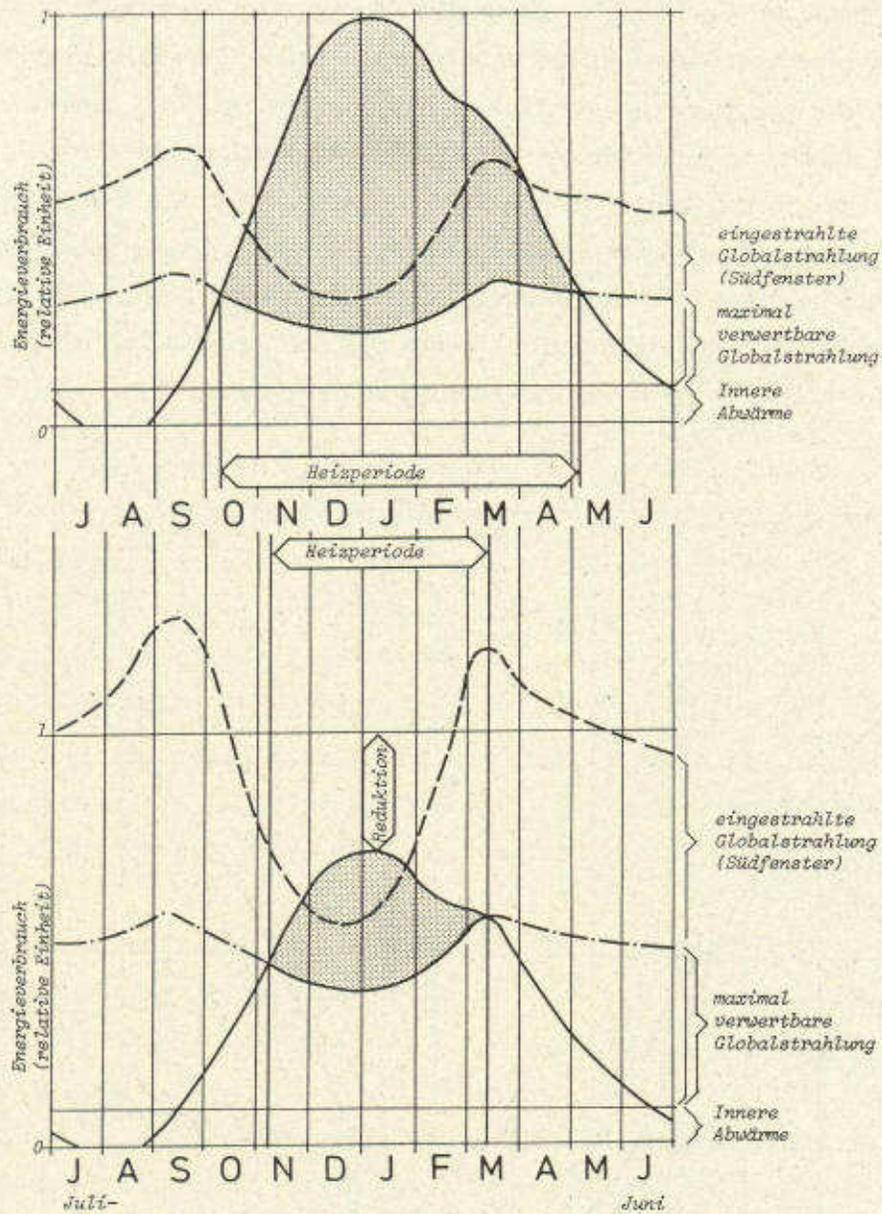
(bei Büronutzung sieht dieses Profil entsprechend anders aus) der Toleranzbereich, in welchem die Innentemperatur variieren darf: sinkt die Temperatur darunter, muss mit Fremdenergie nachgeheizt werden, steigt sie infolge Sonneneinstrahlung, Abwärme, Heizungsträgheit usw. darüber, muss Wärme weggelüftet werden. Die Differenz zwischen Innen- und Aussentemperatur ist die massgebende Proportionalitätsgrösse für den Wärmeverlust. Die Fläche zwischen der Innentemperatur- und der Aussentemperaturkurve entspricht also dem Wärmeverlustverlauf im Tagesablauf. Einzelne Verlustanteile, wie z.B. die Transmissionsverluste durch Massivwände, finden zwar mit erheblicher zeitlicher Verzögerung gegenüber der Aussentemperaturkurve statt, an der Wärmeverlustmenge (der Fläche zwischen den Kurven) ändert sich durch eine derartige Phasenverschiebung an sich nichts. (Genau genommen verbessert sich die Eindringung und Abspeicherung der eingestrahlten Sonnenenergie in die massiven Aussenwände minimal, wenn das grosse nächtliche Temperaturgefälle dank einer schweren Wandkonstruktion an der raumseitigen Oberfläche mit 10 bis 14 h Verzögerung wirksam wird (20 bis 30 cm Beton bzw. Mauerwerk plus Wärmedämmung). Der Effekt ist so geringfügig, dass er für die Praxis nicht von Bedeutung ist.) Bei einem einigermaßen energiegerecht konzipierten Haus (gute Wärmedämmung, Südorientierung mit geringer Beschattung) kann die eingestrahlte Energiemenge auch an einem (sonnigen) Januartag durchaus grösser sein, als die Wärmeverluste des Hauses. Das Problem besteht darin, dass der gesamte Sonnenenergiegewinn in vier bis sechs Stunden anfällt, während die Verluste mit verhältnismässig geringen Schwankungen über 24 Stunden andauern. Ein grosser Teil der eingestrahlten Energie muss also in irgend einer Form abgespeichert werden können ohne dass die Innentemperatur den oberen Toleranzwert (z.B. 26°C) überschreitet.

Wenn wir den Betrachtungszeitraum von einem auf mehrere Tage bis zwei Wochen ausdehnen, drängt sich eine weitere Eigenheit mitteleuropäischer Klimata ins Bewusstsein: Auf einen oder mehrere Sonnentage im Winter folgt oft eine sonnenlose Zeit von mehreren Tagen, im Gegensatz zum Klima in der "Heimat" der Solarhäuser (Arizona, New Mexico), wo sich die Sonne mit guter Zuverlässigkeit täglich für wenigstens drei bis vier Stunden blicken lässt. Shurcliff diskutiert in sehr kompetenter Weise (in Lit. 17) die verschiedenen üblichen Bewertungskriterien und Berechnungsansätze zur Beurteilung von Solarhäusern. Unter anderem empfiehlt er in diesem Zusammenhang als wichtiges Zusatzkriterium "the fourth day thermal vulnerability" zu untersuchen: die thermische "Verletzlichkeit" am vierten trüben Tag. Viele Solarhäuser sind in solchen Phasen gewöhnlichen Bauten unterlegen wie das Segelschiff bei Flaute dem Motorboot. Da die meisten schweizerischen Klimata im Hochwinter an chronischer "Solarflaute" leiden, ist dieser Beurteilungsaspekt für uns von besonderer Bedeutung.

Um die wesentlichsten wärmetechnischen Phänomene zu illustrieren, die sich im Jahresablauf ergeben, wurde in Abb. 5-2 einem "Normalhaus" (durchschnittlicher k-Wert $k = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$, also sogar recht gut) ein "Solarhaus" gegenübergestellt (optimale Wärmedämmung, Südfensterflächenanteil und Speichermassen). Durch die reduzierten Wärmeverluste einerseits und die maximierten Globalstrahlungsgewinne andererseits wird die Fremdenergiemenge, die für die Beheizung des Solarhauses noch notwendig ist, sehr klein. Gleichzeitig fallen aber noch folgende Punkte auf:

- Der maximale Wärmeleistungsbedarf wird verkleinert. Der Wärmeleistungsbedarf wird also durch den verbesserten Wärmeschutz verkleinert, durch die Optimierung der Sonnenenergiegewinne bei Direktgewinn-Systemen (Südfenster) hingegen nicht beeinflusst, da die Heizung auch an trüben Kaltwetterperioden genügen muss. Um für die Heizungsdimensionierung einen geringeren Leistungswärmebedarf, als er sich etwa nach der Norm SIA 384/2 ergibt, einsetzen zu können, müssen in unseren Klimata aktiv zu bewirtschaftende Speichermassen eingesetzt werden, also z.B. Geröllspeicher oder Wassertänke (oder es werden Komfortzugeständnisse gemacht).
- Bei Verringerung des Fremdenergiebedarfes verkürzt sich die Heizperiode. Die Wärmeverluste, die durch das Halten der Raumtemperatur auf 20°C bzw. innerhalb der Komfortgrenzen entstehen, werden durch drei Quellen gedeckt:
 - Durch die inneren Abwärmen (Personen, Haushaltstrom, an den Raum abgegebener Wärmeanteil des Warmwassers). Im Wohnungsbereich entspricht dies einer Dauerleistung von ca. 200 bis 250 W pro Bewohner, die der Wärmebilanz der Wohnung zugute kommt. Ein Vierpersonenhaushalt bringt somit das Äquivalent von ca. 2 kg Heizöl pro Tag in die Wärmebilanz ein.
 - Durch den Anteil der Sonneneinstrahlung, der nicht als reflektiertes Licht oder überschüssige Wärme verloren geht.
 - Durch Heizwärme.

Durch das Absenken der Wärmeverlustkurve und das Anheben der Kurve der ausgenutzten Globalstrahlung verringert sich in Abb. 5-2 die Fläche des Fremdenergiebedarfes sowohl hinsichtlich der durchschnittlich benötigten Tagesenergiemengen wie auch der Anzahl Tage, eben der Heiztage. Das bedeutet aber auch, dass die Länge der Heizperiode im Solarhaus viel stärker vom Bewohnerverhalten abhängt als beim Normalhaus, weil während der langen Uebergangszeiten durch vorschnelles Bedienen der Sonnenstoren, jeweils am Abend eben doch geheizt werden muss.

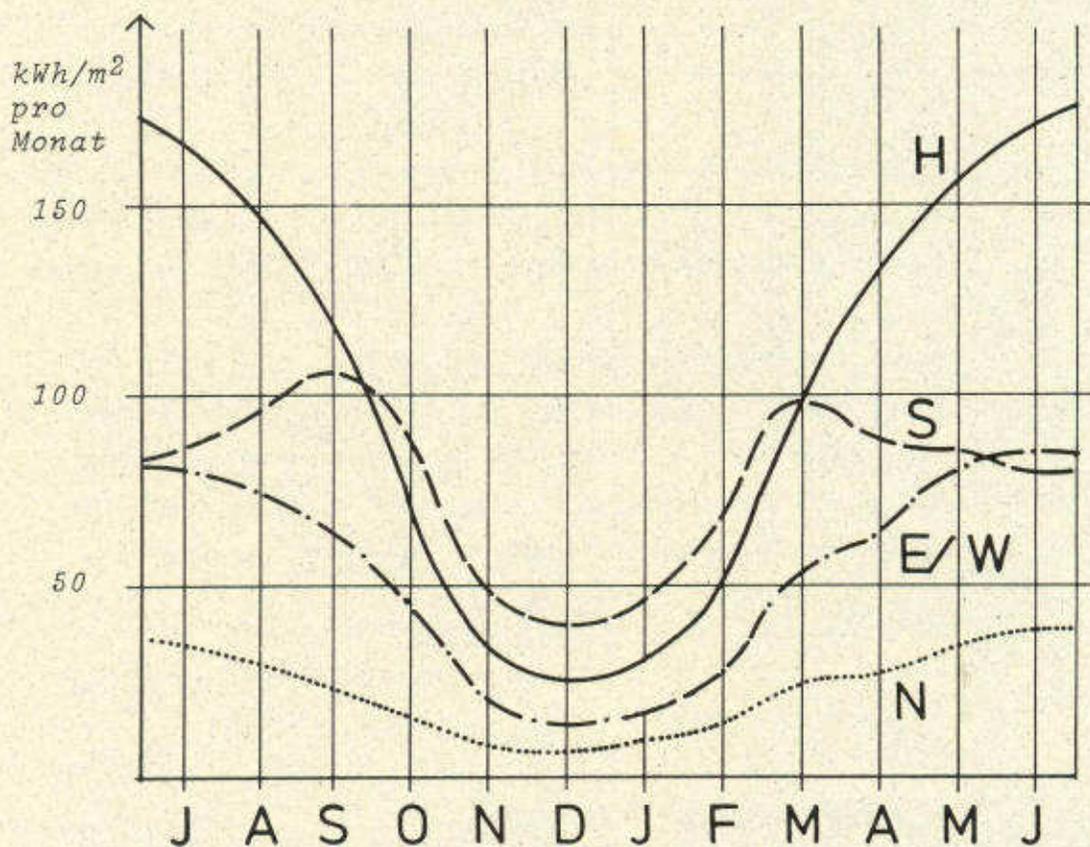


 Jährlich benötigte Heizenergie

Abb. 5-2:

"Normalhaus" (oben) und "Solarhaus" (unten). Auswirkung von Verbrauchsreduktion und vergrößerter Sonneneinstrahlung auf die Länge der Heizperiode und den Fremdenergiebedarf.

- In den (theoretischen) Häusern der Abb. 5-2 wurde ein monatsabhängiger Globalstrahlungsgewinn lediglich durch die Südfenster eingesetzt. Wegen der zunehmenden Elevation der Sonnenbahn gegen den Sommer hin, verringert sich die Einstrahlung auf eine vertikale Südfläche ab März bereits. Gerade beim Normalhaus wird dadurch die Heizperiode unnatürlich lang in den Frühling hineinverlängert. Unter Berücksichtigung einer kleinen ost- und westorientierten Fensterfläche wird diese Charakteristik korrigiert, da in den Uebergangszeiten die Energiebilanz von Ost - West - Verglasungen relativ gut ist. Je besser ein Haus wärmetechnisch optimiert ist, desto geringer wird der (energetische) Nutzen von Ost- und Westfenstern, weil die Heizperiode sich mehr und mehr auf die Zeit des Hochwinters reduziert, wo von Süden wesentlich mehr Globalstrahlung zu gewinnen ist (vgl. Abb. 5-3).



H = Horizontalfläche

Abb. 5-3:

Mittlere monatliche Globalstrahlung in Zürich, die auf unterschiedlich orientierte Flächen fällt (aus "Handbuch", Impulsprogramm I, Lit. 5)

5.2 Einstrahlung durch das Fenster (Direct Gain)

5.2.1 Begrenzte Ausnützung der Sonneneinstrahlung

Im vorhergehenden Abschnitt wurde deutlich, dass alle Aussagen über Energiebilanzen an Fenster bzw. an der Verglasung, die sich auf "den Winter" oder "die Heizperiode" beziehen, mit Vorsicht zu geniessen sind, denn wie lange die Heizperiode ist, hängt von der wärmetechnischen Qualität des Gebäudes ab. Gerade bei gut isolierten Bauten treten in den Uebergangszeiten massive Einstrahlungsüberschüsse auf, die sich sehr negativ auf die Energiebilanz auswirken, weil sie weggelüftet werden müssen. Sparanstrengung (Verbesserung der Wärmedämmung) und Maximierung der Sonneneinstrahlung (Vergrösserung der Südfensterfläche) stehen also in negativer Wechselwirkung zueinander: Je grösser das Verhältnis von eingestrahelter Sonnenenergie zu den Wärmeverlusten ist, desto schwieriger ist es, die Sonneneinstrahlung zu nutzen.

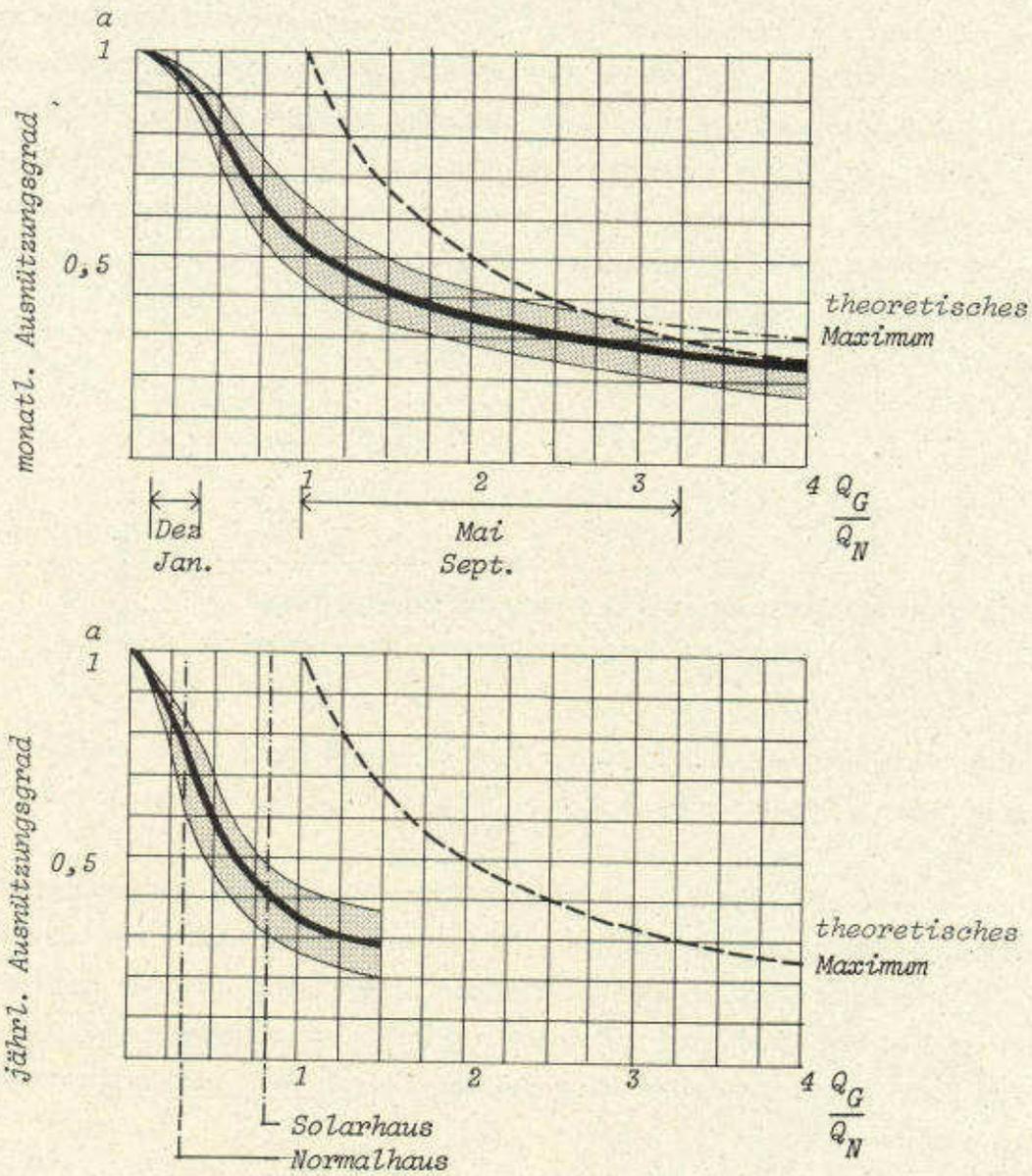
Es existieren verschiedene Vorstellungen, wie der Ausnützungsfaktor für die Sonneneinstrahlung vom Verhältnis Einstrahlung zu Wärmeverlusten abhängig sei, und wie er rechnerisch abgeschätzt werden könne (Lit. 18, 19, 20, 21). Jedes Gebäude verhält sich selbstverständlich anders, weil die Strahlungsausnützung von einer Vielzahl von Parametern abhängt, die von Haus zu Haus verschieden sind. Obige Ueberlegungen gelten strenggenommen nicht nur für die Sonneneinstrahlungsgewinne, sondern auch für alle Arten von inneren Abwärmern (Personenabwärme, Haushaltstrom usw.) Beide Komponenten bilden zusammen das Total an Gratiswärme (oder "freie Wärme"), die der Heizenergiebilanz des Gebäudes zugute kommt. Die gesamte Gratisenergie ist davon betroffen, da sie umso schlechter ausgenützt werden kann, je mehr davon im Verhältnis zum Wärmebedarf vorhanden ist.

Genau besehen müssten diese Gedanken auf die Realität des schweizerischen Klimas abgestimmt werden. Da sich Klimaeinflüsse (z.B. ein Tag mit Sonnenschein oder eine ausserordentlich kalte Nacht) in Gebäuden 1 bis 3 Tage im Temperaturverhalten auswirken, müssten die klimatischen Gegebenheiten nach typischen Tages- oder Wochenperioden kategorisiert und ausgezählt werden. Befriedigend genaue Resultate lassen sich aber auch erzielen, wenn die Verluste, Gewinne und Ausnützungsfaktoren monats-

weise ermittelt werden. Der Zusammenhang zwischen monatlichen Einstrahlungs- und Abwärmegewinnen ($Q_S + Q_I = Q_G$), den monatlichen Wärmeverlusten infolge Wärmeleitung und Luftwechsel ($Q_T + Q_L = Q_N$) und dem Ausnutzungsgrad präsentiert sich dann gemäss Abb. 5-4: Bis zu dem Punkt, wo Gratiswärme und Wärmeverluste gleich gross sind ($0 \leq Q_G/Q_N \leq 1$) könnte theoretisch die gesamte Gratiswärme zur Deckung der Verluste gebraucht werden und der Ausnutzungsfaktor ist auch relativ hoch. Wenn das Verhältnis Q_G/Q_N grösser als 1 wird, kann schon rein theoretisch nur noch ein Teil genutzt werden. Wenn beispielsweise zwei Mal mehr Gratiswärme vorhanden ist als Wärme verloren geht ($Q_G/Q_N = 2$) ist der Wärmebedarf bereits erfüllt, wenn die Gratiswärme zur Hälfte ausgenutzt wird. Der effektive Ausnutzungsgrad fällt also relativ schnell unter dieser theoretischen Begrenzungshyperbel ab. Je nach Gebäudequalität ist die Gratiswärme allein ausreichend für die Beheizung des Gebäudes, wenn sie das drei- bis fünffache der Wärmeverluste beträgt, was bei hochisolierten Bauten ab April bis Oktober der Fall sein kann. Auf das ganze Jahr bezogen sinkt der mittlere Ausnutzungsgrad mit zunehmendem Verhältnis von Gratiswärme zu Wärmebedarf sehr rasch ab, weil die grossen Einstrahlungsgewinne von Frühling bis Herbst in das Verhältnis eingehen, aber nur in geringem Masse verwertet werden können. Ertragsabschätzungen über Annahmen betreffend den Jahresausnutzungsgrad sind deshalb heikel, weil zunächst die Länge der Heizperiode abgeschätzt werden muss. Verschätzt man sich hierbei auch nur um 10%, wird der Fehler der gesamten Ertragsabschätzung erheblich. Wenn beispielsweise 20 Tagesmengen an eingestrahelter Sonnenenergie zur Hälfte ($AG = 0,5$) der Winterenergiebilanz gutgeschrieben werden, obwohl sie eigentlich ausserhalb der Wärmebedarfsperiode liegen, ist das Resultat der Ertragsabschätzung nicht mehr genauer als eine beliebige Pauschalannahme (z.B. dass die Sonne 25% der Heizenergie liefert). Eine monatsweise Berechnung der Erträge liefert aber Resultate, die für die Entwurfspraxis auf jeden Fall ausreichend sind.

Der in Abb. 5-4 angegebene Bereich, in welchem der Ausnutzungsgrad schwankt, illustriert den Optimierungsspielraum des Architekten: Je nach Bauweise (schwer oder leicht, gute oder mangelhafte Absorberflächen usw.) liegt der Ausnutzungsgrad höher oder tiefer. Dem Kurvenverlauf könnte ein zweiter Streubereich gleicher Grössenordnung auf der Unterseite angefügt werden, der den Einfluss des Benutzers darstellen würde. Wahrscheinlich ist der Benutzereinfluss sogar noch wesentlich grösser als bauliche Parameter, es sei denn, man folge der in den nordischen Ländern starken Tendenz zur Mechanisierung der Lüftung und Automatisierung der Heizungsregelung.

Eine Vielzahl von Einflussfaktoren bestimmen den Ausnutzungsgrad der Sonneneinstrahlung und der inneren Abwärmern. In Abb. 5-4 ist der Ausnutzungsgrad in Abhängigkeit des Verhältnisses von anfallender Gratisenergie zu Wärmebedarf angegeben. Diese



▨ Streubereich: schwere Bauweise - leichte Bauweise

$\frac{Q_G}{Q_N}$ = Verhältnis von Gratiswärme (Sonnenstrahlung, Abwärmen) zu den Nutzwärmeverlusten (Transmission und Luftwechsel)

Abb. 5-4:

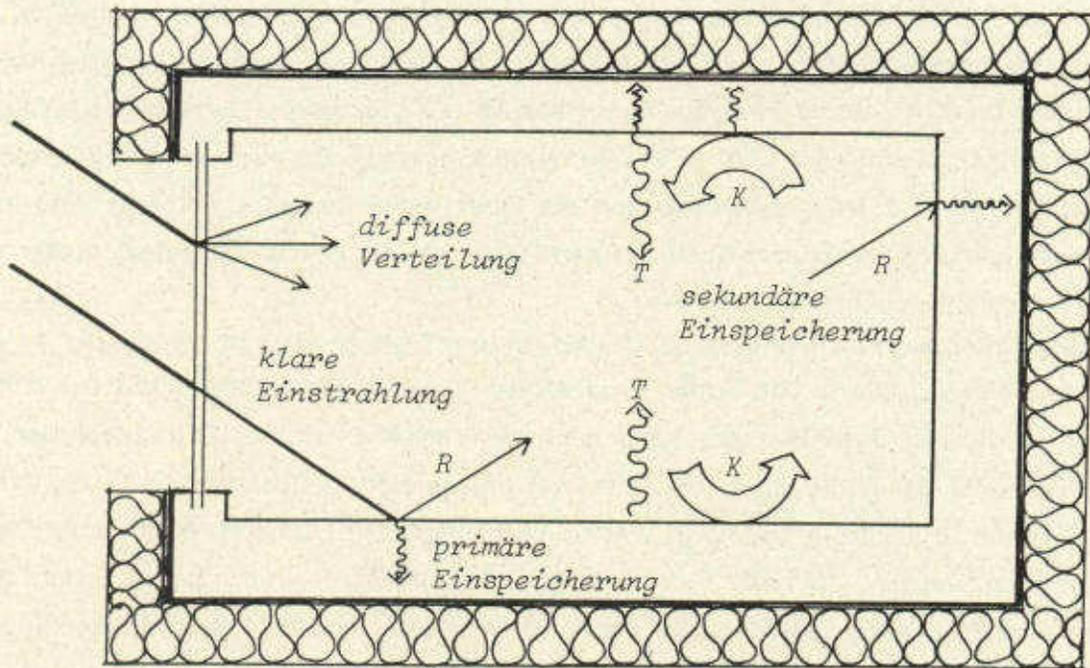
Monatlicher bzw. jährlicher Ausnützungsgrad der Gratiswärme (Globalstrahlung und Innere Abwärmen) in Funktion des Verhältnisses von Gratiswärme zu Wärmebedarf.

einfachen Pauschalwerte werden allerdings auch nur einer einfachen Ausgangslage gerecht: ein einzelner südorientierter Raum, bzw. ein entsprechend konzipiertes, einfaches Haus verhält sich nach dem Kurvenverlauf von Abb. 5-4. Ganze Häuser, mit nord-, ost- und westorientierten Räumen reagieren aber von Fall zu Fall anders, je nach Fähigkeit, die Wärme innerhalb des Hauses zu verteilen. Wenn also, was oft gemacht wird, die anfallende Gratiswärme auf die Wärmeverluste des gesamten Hauses (inkl. Nordräume usw.) bezogen werden, führt dies im Diagramm zu einer allzu positiven Einschätzung des Ausnutzungsgrades.

5.2.2 Speichermechanismen und Lenkung der Energieflüsse

Bei direkter Strahlungsnutzung durch die Fenster (direct gain) findet die Energieverwertung in folgenden Stufen statt (vgl. Abb. 5-5):

- Die Sonne bescheint eine innere Raumbofläche (meist Teile des Bodens) während mehreren Stunden. Je nach Helligkeit der Oberfläche wird ein mehr oder weniger grosser Anteil der Globalstrahlung (im wesentlichen Licht) diffus in den Raum reflektiert (R). Der Rest wird absorbiert und in Wärme umgesetzt. Ein Teil dieser Wärme kann in den Bauteil eindringen, was als primäre Speicherung bezeichnet werden kann.
- Weil dieser Vorgang aber mit einer Erhöhung der Oberflächentemperatur verbunden ist, entstehen primäre Speicherverluste (infolge erhöhter Temperaturabstrahlung und konvektiven Uebergangs (Erwärmung der lokalen Raumluft)).
- Die primären Speicherverluste und die reflektierte Globalstrahlung werden in einem sekundären Einspeicherungsvorgang von den nicht direkt sonnenbeschienenen Bauteilen (und Möbeln) zum Teil aufgenommen.
- Ein kleiner Teil der Globalstrahlung wird schliesslich direkt durch das Fenster wieder nach aussen geworfen, und ein Teil der Wärme wird sekundär in die Verglasung eingespeichert und erhöht ebenfalls die direkten Systemverluste.
- Zur kritischen Grösse in diesem System wird dabei die Tatsache, dass der Schritt



R = reflektierte Globalstrahlung
T = Temperaturstrahlung
K = Konvektion

Abb. 5-5:

Schematische Darstellung der Speichermechanismen bei direkter Strahlungsnutzung durch das Fenster.

von den primären Speicherverlusten zu der sekundären Einspeicherung über die (vom Bewohner empfundene) Raumtemperatur geht. (Die Raumtemperatur ist das Mittel aus Raumlufthtemperatur und umgebende Oberflächentemperaturen und stellt ein gutes Mass für die empfundene Temperatur dar.) Dies führt schliesslich dazu, dass überschüssige Energie nur noch bei unzumutbar hohen Raumtemperaturen abgespeichert werden kann, bzw. dass diese Wärme eben weggelüftet wird.

Diese insgesamt komplexen Vorgänge lassen sich nicht befriedigend optimieren, indem einfach die sonnenbeschienene Fläche als schwarzer Steinplattenboden ausgebildet wird. Vielmehr sollten alle Komponenten dieses Speichermechanismus optimiert und aufeinander abgestimmt werden.

Der zentrale physikalische Vorgang, der die Optimierung der Speicherung bestimmt, ist die dynamische Wärmeeindringung. Je besser sie klappt, desto geringer werden die primären und sekundären Speicherverluste. Die Wärmeeindringung hängt nun nicht nur von der Wärmespeicherkapazität des Materials ab, sondern verbessert sich mit zunehmendem Wert für die Wurzel aus dem Produkt aus Wärmespeicherfähigkeit, Dichte und Wärmeleitfähigkeit ($\sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda} = b = \text{Wärmeeindringzahl}$). Je kleiner die Wärmeeindringzahl ist desto stärker erwärmt sich die Oberfläche und gibt entsprechend mehr Energie als primäre Speicherverluste an den Raum ab. R. Kriesi illustriert diesen Zusammenhang sehr deutlich in Abb. 5-6.

Die Wärmeleistung, die in den Boden eingespielen werden kann, nimmt mit der Wurzel der Zeit ab, d.h. dass dementsprechend auch die Verluste mit der Zeit zunehmen. Im ersten Moment, wenn die Strahlung auf den kalten Boden (Raumtemperatur) trifft, kann die gesamte absorbierte und in Wärme umgewandelte Globalstrahlung vom Boden aufgenommen werden. Je nach Materialeigenschaft (Wärmeeindringzahl) erhöht sich dann die Oberflächentemperatur (und damit die Verluste in den Raum) unterschiedlich schnell. Bei Holz ist nach einigen Minuten bereits der Verlustanteil grösser als die eingespeicherte Energie. Aber auch ein dunkler Beton- oder Steinplattenboden muss

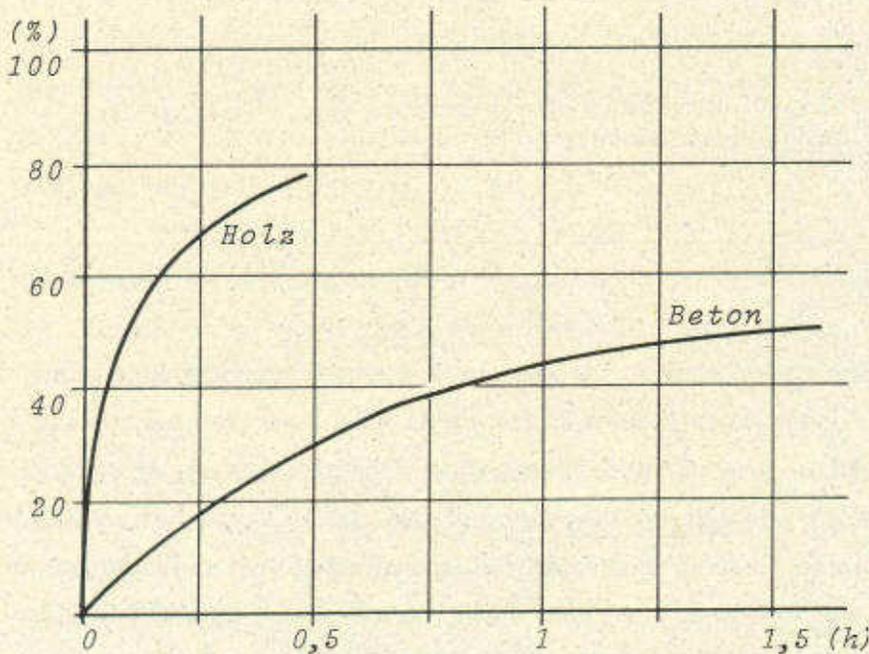


Abb. 5-6:
An Raumluft abgegebene Leistung zu absorbierter Strahlungsleistung (240 W/m^2) für 2 verschiedene Bodenmaterialien.

Quelle: R. Kriesi (Lit. 22)

nach ein bis zwei Stunden erhebliche Energieanteile an den Raum abgeben. Man muss sich vergegenwärtigen, dass im primären Speicherbereich (sonnenbeschienene Boden- und Wandzonen) enorme Energiedichten auftreten, in Relation zum Heizwärmebedarf eines gut isolierten Hauses, so dass die unvermeidlichen Verluste an den Raum rasch zu Uebererwärmung führen können.

5.2.2.1 Merkpunkte betreffend Primärspeicher (Absorberböden und -wände)

- Die Wärmeeindringzahl sollte möglichst gross sein. Bei geschichteten Böden (oder Wandkonstruktionen) gilt dies umso dringlicher für jede Schicht, je näher diese an der Oberfläche ist: mit einem Teppich (kleine Wärmeeindringzahl) kann der Wärmespeichereffekt des besten Steinbodens weitgehend zerstört werden.
- Je kleiner die Wärmeeindringzahl und je grösser die Südfenster, desto kritischer wird das Problem der Uebererwärmung. Es kann sinnvoll sein, bewusst die Absorption der Globalstrahlung klein zu halten und sie diffus (ohne Raumerwärmung) an die sekundäre Speichermasse zu reflektieren. Wenn beispielsweise (aus nichtenergetischen Gründen) ein Parkettboden eingesetzt wird, kann je nach Raum (Geometrie, Oberflächen von Decke und Wänden) ein helles Holz zu einem besseren Ausnutzungsgrad der Sonneneinstrahlung führen, weil es weniger zu Uebererwärmung führt und die Globalstrahlung nicht- umgewandelt den Sekundärspeichern zuführt. Decken und Wände sollten dann nicht allzu hell sein, damit nicht schliesslich der Anteil reflektierter Globalstrahlung aus dem Fenster zu gross wird. Diese Gefahr ist allerdings relativ gering: auch ein sogenannt "helles und freundliches" Zimmer wirft allenfalls 15 bis 20% der Globalstrahlung durch die Fenster zurück. Aus denselben Gründen ist es auch nicht notwendig, sich bei eigentlichen Absorberböden (Steinplatten, Beton usw.) für eine triste schwarze Oberfläche zu entscheiden: ein beliebiger dunkler Farbton dürfte ein gutes thermisches Verhalten des Gesamtsystems gewährleisten.
- Eine grosse Wärmeeindringzahl bedeutet auch eine gute Wärmeableitung aus dem Fuss. Auch ein 25^oC warmer Betonboden fühlt sich kalt an, weil dem 30^oC warmen Fuss effizient Wärme entzogen wird. Wo dies vom Bewohner als gewichtiger Nachteil eingeschätzt wird, ist es möglicherweise sinnvoller, einen gezielten Kompromiss (z.B. Klebparkett auf Beton) einzubauen, als nachträglich den Bewohner Teppiche auf die Absorberfläche auslegen zu lassen.

- Ein bereits sehr alter Versuch, die obenerwähnten Probleme zu umschiffen ist das Einsetzen einer diffus streuenden Verglasung (St. George's School, Wallasey, 1961), welche die Globalstrahlung von Anfang an auf alle zur Verfügung stehenden Speicherelemente (Wände, Decke, Boden, Mobiliar) verteilt. Diffuse Gläser reflektieren allerdings etwas mehr Energie als Klargläser und können natürlich auch nur ergänzend eingesetzt werden, wo nicht die Verglasung auch Ausblick gewähren soll.

Mit der Idee einer Reflexions-Jalousie (vgl. Abb. 5-7), werden mehrere Probleme gleichzeitig angegangen:

- Die Strahlung wird mehr oder weniger diffus an die Decke geworfen, die sehr geeignet ist als Primärspeicher und Lichtreflektor, weil sie nicht wie der Fussboden mit Mobiliar verstellt ist und begangen wird.
- Die Jalousie ist ein gutes Mittel, die Tageslichtbeleuchtung auch für tiefe Räume zu optimieren.
- Erfahrungsgemäss wird auch in der Heizperiode mit Rolladen und Jalousien aktiv

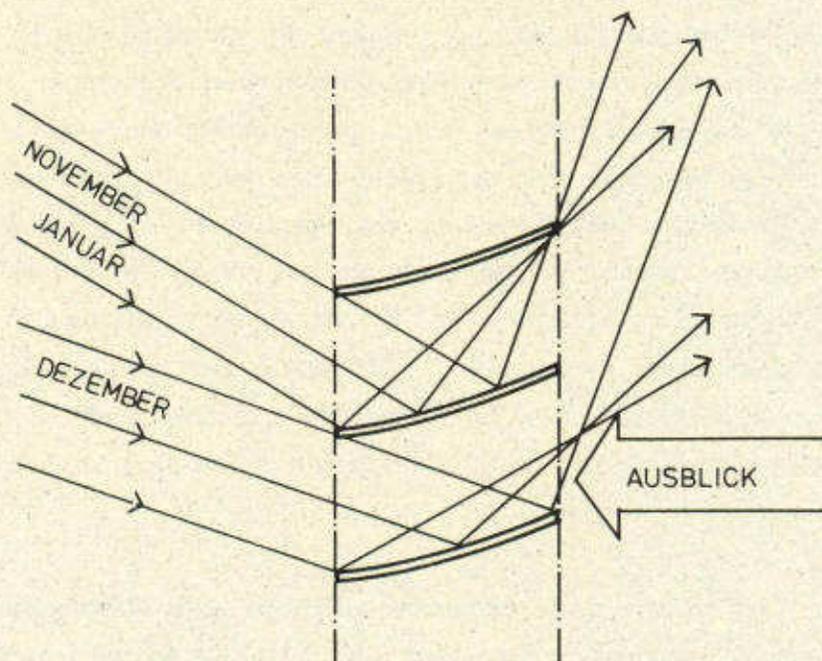


Abb. 5-7:

Schemaschnitt durch Reflexions-Jalousie (nach Lit. 23)

Sonnenschutz betrieben (Blendung, Materialausbleichung), mit einer Reflexions-Jalousie ist dies ohne wesentliche Strahlungseinbusse möglich.

Die Geometrie einer derartigen Jalousie ist relativ kompliziert (damit die Strahlungsverteilung optimal, der Ausblick maximal und die Bedienung einfach ist). Der in Abb. 5-7 zitierte Vorschlag ist in dieser Form meines Wissens patentiert, jedoch noch nicht auf dem Markt erhältlich.

5.2.2.2 Die sekundären Speichermassen

Die Energie, die direkt vom Fenster oder als Reflexion oder Abwärme des sonnenbeschienenen Absorberbodens in den hinteren Teil des Raumes oder an die Decke gelangt, trifft dort auf genau die gleichen Einspeicherungscharakteristika wie im Bereich der primären Absorption und Einspeicherung. Allerdings trifft die Energie in sehr viel geringerer Leistungsdichte auf Wand- und Deckenoberfläche. Maximal dürften dies im ersten Moment vielleicht 40 W/m^2 sein, wenn die Wand- und Deckenmaterialien noch kühl, der Raum und (Absorber-) Bodenoberfläche aber schon massiv aufgeheizt sind. In Abb. 5-8 ist gezeigt, wie die Aufnahmefähigkeit rasch absinkt mit zunehmender Erwärmung der obersten Materialschicht. Bei Wärmedämmstoffen findet dieser Prozess im wesentlichen in der ersten Viertelstunde statt. Nachher dringt mehr oder weniger konstant nur noch wenig Wärme in das Material ein. Bei Beton und Kalksandstein geht dieses Absinken langsamer vor sich und die Aufnahmefähigkeit bleibt relativ hoch entsprechend der grossen Wärmeeindringzahl.

Sowohl Abb. 5-8 wie vorher schon Abb. 5-6 setzen voraus, dass die betreffenden Bauteile so dick sind, dass die "Temperaturwelle" und mit ihr der Wärmestrom nicht in der untersuchten Zeit die Schicht bereits durchlaufen hat. Wo dies der Fall ist, "füllt" sich der Bauteil zwar auch weiterhin mit Wärme. Die Eindringung wird aber noch stärker abgebremst, weil die Wärme hinten durch Wärmedämmung oder Luft "gestaut" wird. Vernünftigerweise kann angenommen werden, dass die sekundären Speicherflächen während vier bis maximal acht Stunden vom Raum her Wärme aufnehmen müssen. Nachher soll die Wärme ja wieder an den sich auskühlenden Raum abgegeben werden. Die Dicke der Materialschicht, die überhaupt während dieser 4 bis 8 Stunden Einspeicherung aktiv "mitmacht", kann mittels folgender Beziehung grob abgeschätzt werden (vgl. auch Lit. 24):

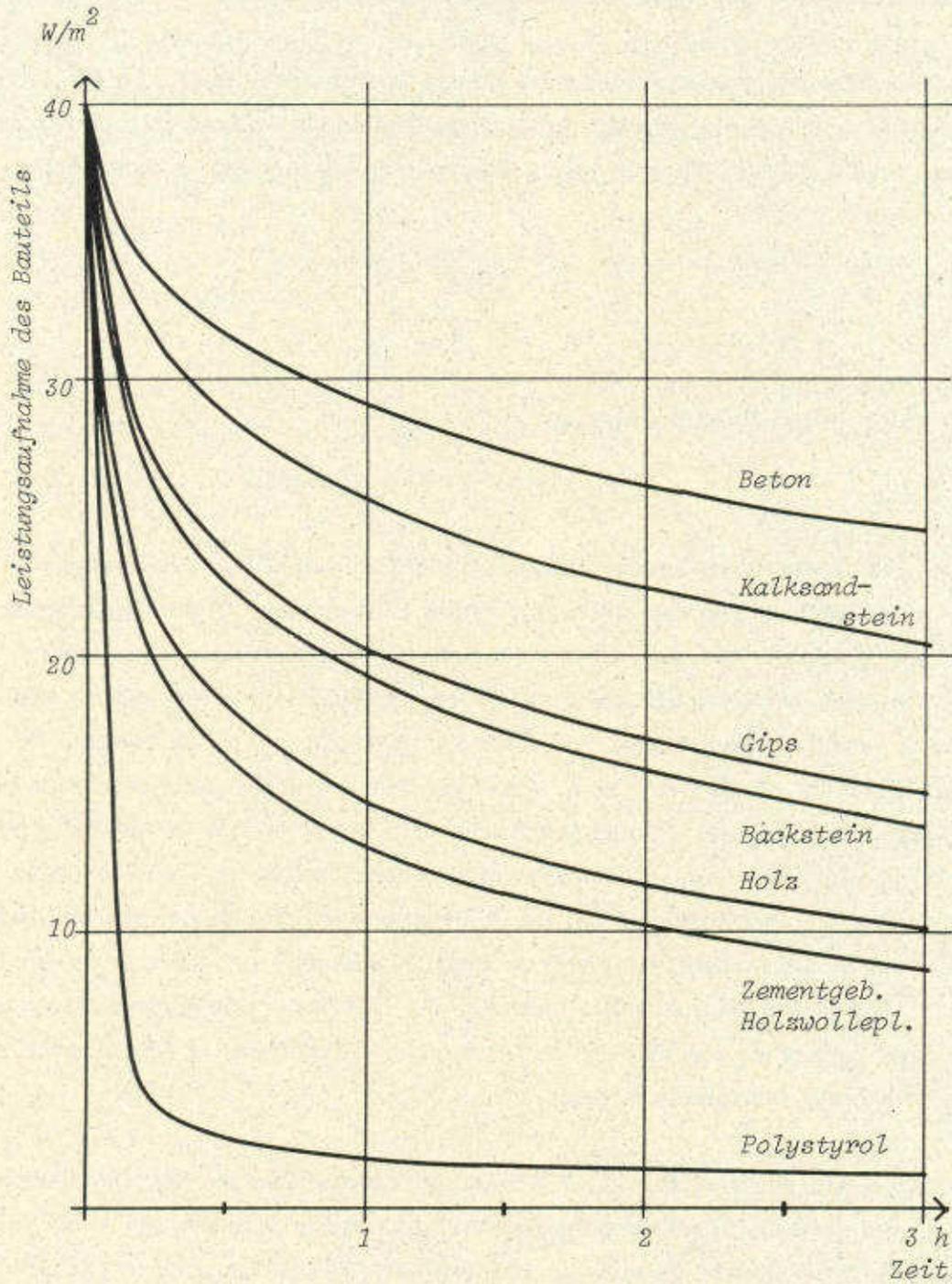


Abb. 5-8:

Approximative maximale Leistungsaufnahme von Baumaterialien, die als sekundäre Speichermassen wirken (Raumtemperatur anfänglich 5 - 7° über der Oberflächentemperatur der betreffenden Wand / Decke).

$$d_{act} = \sqrt{\frac{\lambda}{\rho c} \cdot t}$$

λ = Wärmeleitzahl (W/km)
 ρ = Dichte (kg/m³)
 c = spez. Wärme (Wh/kg)
 t = Zeit

Der 8-Stunden-Wert stimmt praktisch überein mit einer Definition der "aktiven Dicke" von Borresen, den U. Schäfer zitiert (Lit 25) und der von einer periodischen Temperaturschwankung ausgeht. Im vorliegenden Fall handelt es sich um 24-Stunden-Perioden:

$$d_{act} = \sqrt{\frac{\lambda}{\rho c} \frac{h}{\pi}} = \sqrt{\frac{\lambda}{\rho c} \frac{24}{\pi}}$$

Die aktive Dicke sagt nichts aus über die Qualität des Materials als Speichermedium. Das Beispiel Polystyrol in der Tabelle 5-I macht dies deutlich: Innerhalb von acht

	Wärme- leitzahl λ (W/mK)	Volumen spez. Wärme $\rho \cdot c$ (Wh/m ³ K)	Aktive Dicke $d_{act} = \sqrt{\frac{\lambda}{\rho c} t}$		Wärme- eindring- zahl $b = \sqrt{\lambda \rho c}$ (Wh ^{1/2} /m ² K)
			$t = 4h$ (cm)	$t = 8h$ (cm)	
Beton	1,8	700	10,1	14,3	35
Kalksand- stein	1,0	470	9,2	13,0	21,6
Gips	0,58	280	9,1	12,9	12,7
Backstein	0,44	290	7,8	11,0	11,3
Holz	0,15	350	4,1	5,9	7,2
Polystyrol	0,04	7,6	14,5	20,5	0,6

Tabelle 5-I:

Baustoffkenngrößen für das Speicherverhalten

Stunden partizipiert eine dicke Schicht (20 cm) am Temperaturgeschehen. Im Polystyrol werden aber die Temperaturänderungen mit dermassen wenig Wärme verursacht, dass der Speichereffekt minimal ist (wie der letzten Spalte zu entnehmen ist: Die Wärmeeindringzahl beträgt nur etwa einen Sechzigstel derjenigen von Beton).

Für die Optimierung der sekundären Speichermassen lassen sich also folgende Merkpunkte zusammenstellen:

- Ein möglichst "schwerer" Innenausbau ist anzustreben. Meist wird bei der energetischen Beurteilung von Gebäuden abgeklärt, ob eine schwere oder leichte Bauweise vorliegt. Dies ist aber ein nur bedingt taugliches Kriterium. Entscheidend für das thermische Verhalten sind in erster Linie die oberflächennahen 5 bis 10 cm der Bauteile, wo die Temperaturschwankung am grössten ist und demzufolge am meisten Wärme eingespeichert wird. (Dieses Verhalten wird allerdings günstig beeinflusst, wenn hinter der Oberflächenschicht das schwere Material weitergeht und sie nicht isoliert ist.) Bei schwerer Bauweise ist also darauf zu achten, dass die Bauteile nicht gerade in der entscheidenden Oberflächenschicht entwertet werden (durch Teppiche, Holztäfer, untergehängte Decken usw.). Bei Leichtbauweise sollte wenigstens ein möglichst massiver Innenausbau eingesetzt werden. 8 cm Gips als innere Wandverkleidung kann schon sehr effizient die Nachmittagswärme bis tief in den Abend übertragen. Nahezu optimal sind Vormauerungen aus 10 bis 12 cm Kalksandstein. Zwischenwände werden in der Regel von zwei Seiten "geladen", sie sollten daher nach Möglichkeit noch dicker sein. Definitiv ungenügend hinsichtlich Speicherfähigkeit sind Holz- und Gipskartonabdeckungen (zu dünn) und "schwere" Dämmstoffe, wie zementgebundene Holzwoollplatten u.ä. (viel zu tiefe Wärmeeindringzahl).
- Eine möglichst grosse Oberfläche, die als Sekundärspeicher wirkt ist erwünscht! Die Speicher-Aufnahmeleistung steigt direkt proportional mit der Oberfläche der Bauteile die als Speicher wirken. Je grösser also die Oberfläche (und je besser die Wärmeeindringzahl natürlich) desto seltener tritt der Fall ein, dass die Raumtemperatur an der oberen Komfortgrenze anstösst und umso besser wird die Sonneneinstrahlung ausgenützt. In der Praxis wird es kaum realistisch sein, aus diesem Grund mehr Zwischenwände einzubauen oder deren Abwicklung extra gross zu halten. Hingegen verändert der Spielraum hinsichtlich Raumtiefe und Grundrissorganisation die Oberfläche bereits beträchtlich. Durch offene Grundrissgestaltung kann auch versucht werden, südabgewandte Regionen des Hauses in die Sekundärspeicherung einzubeziehen, wie dies schematisch in Abb. 5-9 anhand einer Galerie mit offenem Treppenhaus illustriert ist.

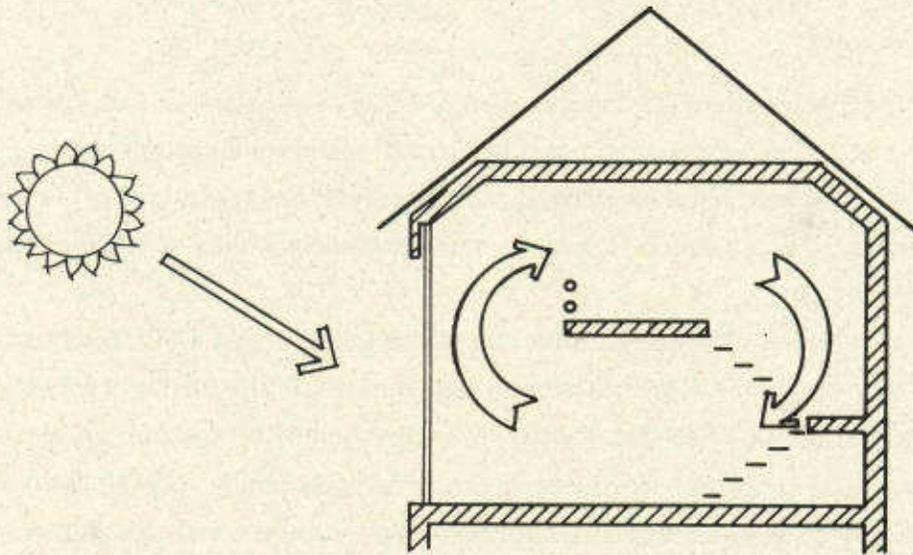


Abb. 5-9:

Schemaschnitt: Warmluftwalze über offener Galerie, Korridor und Treppenhaus.

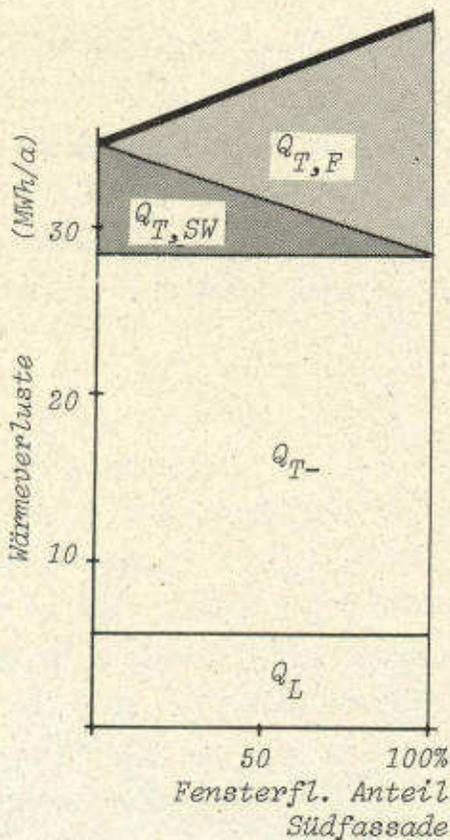
- An sich ist es denkbar, zusätzliche Masse um der Speicherung Willen irgendwo im Haus zu deponieren. Wegen der geringen Temperaturdifferenzen ist der Speichereffekt aber auch bei den besten Materialien (Beton, Wasser, oder sogar Latentspeicher) zu gering, als dass grosse Kosten oder auch nur schon entsprechender Nutzflächenverlust in Kauf genommen werden könnte. Der Einsatz zusätzlicher Masse lohnt sich in der Regel nur im Primärspeicherbereich, wo die direkte Sonnenbestrahlung eine hohe Leistungsdichte bewirkt.

5.2.3 Optimierung der Südverglasung

Anhand der nachfolgenden 10 Abbildungen (Abb. 5-10 bis 5-19) soll versucht werden, mittels eines (theoretischen) gut besonnten und optimal südorientierten Einfamilienhauses die Zusammenhänge zwischen Südfensterflächenanteil, Verglasungsqualität, Wärmedämmung, Ausnutzbarkeit der Sonneneinstrahlung und dem Bewohnerverhalten zu illustrieren.

Es handelt sich dabei um prinzipielle Zusammenhänge. Die Darstellungen sollen den Stellenwert der einzelnen Einflussgrößen und ihre wichtigsten Wechselwirkungen aufzeigen. In Wirklichkeit wird das thermische Geschehen in komplexer Wechselwirkung geprägt von Hunderten von Einflussgrößen, die selbst mit aufwendigen Rechenprogrammen nur unter starken Vereinfachungen zu simulieren sind und deren quantitative Aussagen nur bedingt auf andere Gebäude übertragbar sind.

In Abb. 5-10 sind die reinen Wärmeverluste in Abhängigkeit des Fensterflächenanteils der Südfassade aufgetragen. Lüftungswärmeverluste (Q_L) und Wärmeleitungsverluste durch die Gebäudehülle exkl. Südfassade (Q_{T-}) sind unabhängig vom Südfensterflächen-



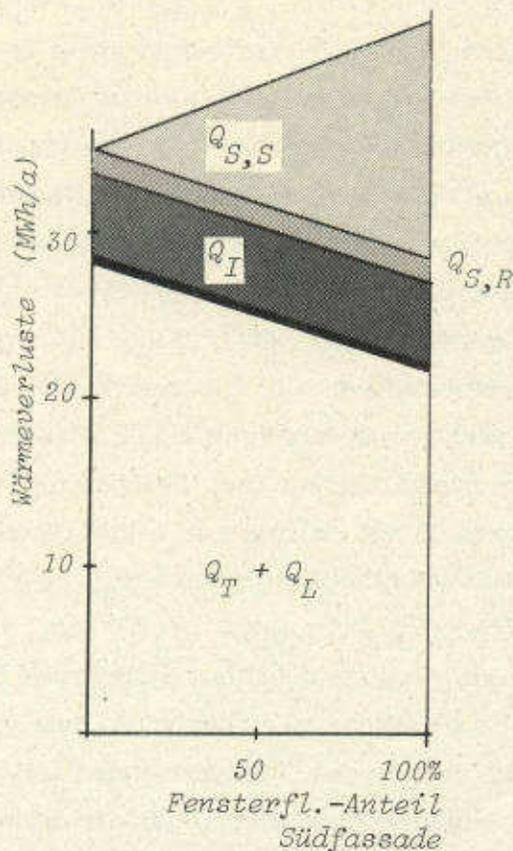
- Q_L = Lüftungswärmeverluste
- Q_{T-} = Transmissionsverluste ohne Südwand
- $Q_{T,SW}$ = Transmissionsverluste Südwand
- $Q_{T,F}$ = Transmissionsverluste Fenster

Abb. 5-10:
Wärmeverluste in Abhängigkeit der südorientierten Fensterfläche (Durchschnitts-EFH).

anteil. Die Wärmeleitungsverluste durch die Südwand ($Q_{T,SW}$) werden mit zunehmendem Fensterflächenanteil durch die Wärmeleitungsverluste durch die Fensterfläche ($Q_{T,F}$) ersetzt.

Auch der angenommene sehr schlechte Wand-k-Wert (ca. $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$), ist doch wesentlich tiefer als derjenige der Fensterfläche ($Q_{T,F}$), so dass insgesamt die Verluste mit zunehmendem Fensterflächenanteil steigen. Die gesamten Jahresverluste bewegen sich also in der Region 35 bis 40 MWh/a, entsprechend ca. 3,5 bis 4 to Heizöl pro Jahr.

In Abb. 5-11 sind von den Verlusten die Gewinne an "Gratiswärme" abgezählt. Die Energiebilanz am Südfenster ist bei zweischiebiger Verglasung gerade etwa ausgeglichen: Die Sonneneinstrahlung ($Q_{S,S}$) ist etwa gleich gross, wie die Transmissionsverluste durch Verglasung und Rahmen. Da aber mit zunehmendem Fensterflächenanteil weniger Wandfläche mit deren Verlusten bleibt, sinken die Verluste insgesamt. Unberührt vom Fensterflächenanteil der Südfassade kommen der Energiebilanz noch die Globalstrahlung durch Ost-, West- und Nordfenster sowie die inneren Abwärmen von Personen und Haushaltstrom zugute. Während Abb. 5-10 noch den Schluss nahelegte, einen möglichst kleinen Fensterflächenanteil zu wählen, impliziert Abb. 5-11, dass die Südfassade so stark wie möglich verglast werden sollte.



$Q_{S,S}$ = Globalstrahlung durch Südfenster

$Q_{S,R}$ = Globalstrahlung durch restliche Fenster

Q_I = Innere Abwärmen

Abb. 5-11:

Wärmeverluste abzüglich theoretische (maximale) Gratiswärme durch Sonneneinstrahlung und innere Abwärmen. (Schweiz. Mittelland).

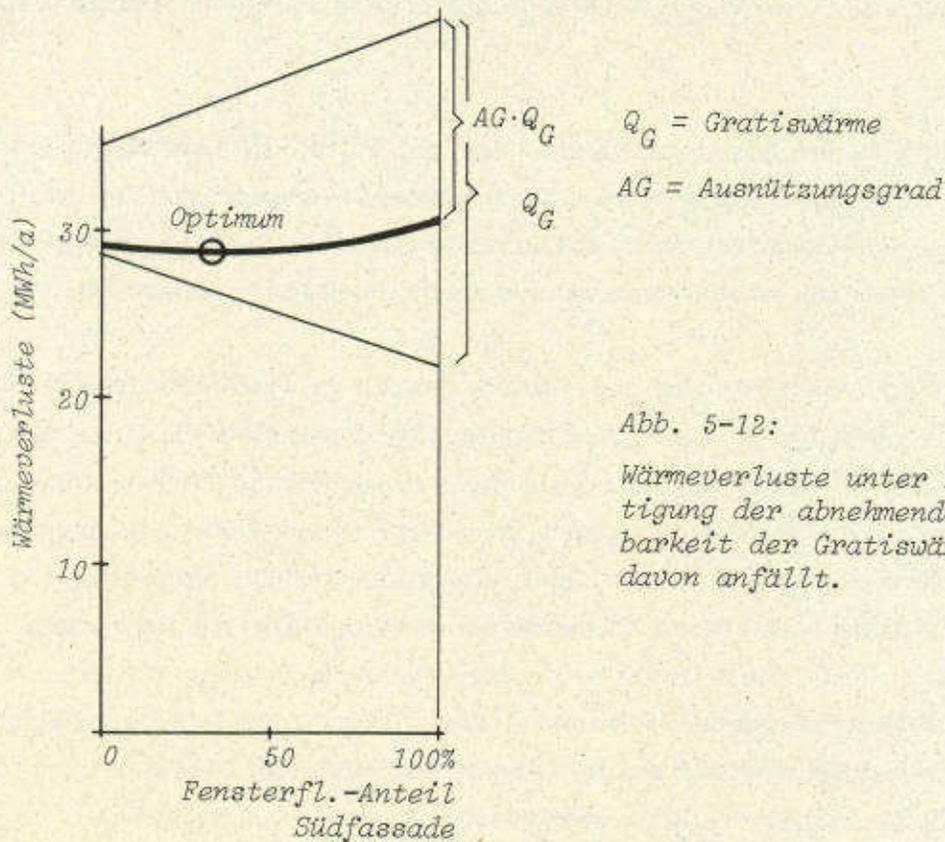
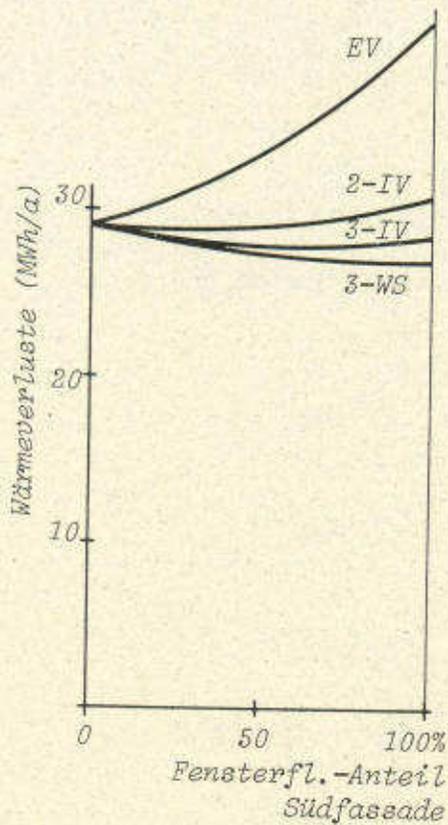


Abb. 5-12:

Wärmeverluste unter Berücksichtigung der abnehmenden Ausnützbarkeit der Gratiswärme, je mehr davon anfällt.

In Abb. 5-12 wird der Tatsache Rechnung getragen, dass die Gratiswärme umso schlechter ausgenutzt werden kann, je mehr von ihr vorhanden ist. Bei einem Fensterflächenanteil von 0% können die Einstrahlung durch Ost-, West- und Nordfenster, sowie die inneren Abwärmen zu 90% genützt werden. Mit zunehmendem Südfensterflächenanteil sinkt der Ausnützungsgrad beträchtlich und die effektiven Wärmeverluste beginnen zu steigen. Im vorliegenden Beispiel (!) liegt der optimale Südfensterflächenanteil bei 33%: hier sind die gesamten Wärmeverluste am tiefsten: sie liegen bei rund 28 MWh/a, entsprechend einem Heizölverbrauch von ca. 2,8 to pro Jahr. Ein Viertel der gesamten Verluste während der Heizperiode werden durch die Gratiswärme getragen, wie es eben der Situation eines durchschnittlichen (gut besonnten) Einfamilienhauses entspricht. Die Verluste, die ausserhalb der Heizperiode vollumfänglich durch die freie Wärme gedeckt sind, wurden damit noch nicht berücksichtigt.

In Abb. 5-13 wird der Einfluss unterschiedlicher Verglasungsqualitäten dargestellt. Bei Einfachverglasung hat die Kurve kein Optimum, da die Bilanz so schlecht ist, dass vom ersten Quadratmeter Südfenster an die Verluste überwiegen. Mit zunehmender Verglasungsqualität rutscht das Optimum weiter gegen höhere Fensterflächenanteile. Beim dreischeibigen Wärmeschutzglas ist das Optimum gar gegen 100% gerutscht. Ge-



EV = Einfachverglasung
2-IV = 2-fach Isolierverglasung
3-IV = 3-fach Isolierverglasung
3-WS = Wärmeschutzglas (3 Scheiben, Spez. Glas, IR-Ver-
spiegelung, $k=1,2\text{W/m}^2\text{K}$)

Abb. 5-13:
Unterschiedliche Verglasungs-
qualitäten

rade dieses Beispiel zeigt einen Zusammenhang, der bei der isolierten wärmetechnischen Bewertung der Verglasungstypen in Kapitel 4 nicht berücksichtigt wurde: durch jeden Quadratmeter Fensterfläche wird ein Quadratmeter Wandfläche ersetzt, der somit keine Verluste mehr verursacht. Je nachdem, wie gut oder schlecht der k -Wert dieser Wandfläche als Alternative zur Fensterfläche ist, liegt der optimale Fensterflächenanteil tiefer oder höher. Im vorliegenden Beispiel wurde ein sehr schlechter Wand- k -Wert angenommen. Würde man der Südverglasung hingegen als Alternative eine hochisolierte Wand entgegenstellen, käme auch das Optimum der Wärmeschutzverglasung in den Bereich von 30 bis 50% zu liegen.

In Abb. 5-14 wird der Sprung vom Durchschnitts-Einfamilienhaus zum Superisolationshaus, mit Wand-, Dach- und Boden- k -Werten um $0,25\text{W/m}^2\text{K}$) und einem minimalen Luftwechsel, gemacht. Zwei Sachverhalte fallen am meisten auf:

- Der enorme Sprung, der durch die Verbesserung des Wärmedämm-Standards erreicht wird. Die Verbrauchsschwankungen, die durch den Südfensterflächenanteil verursacht werden, sind im Verhältnis dazu gering. Der Verbrauch des Superisola-

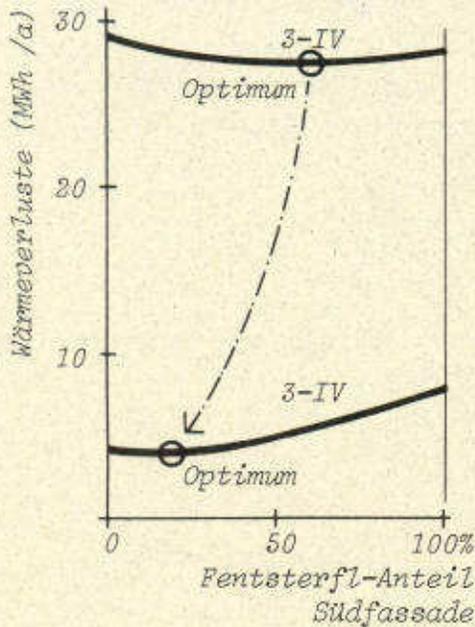


Abb. 5-14:

Durchschnitts-Einfamilienhaus
und superisoliertes Einfami-
lienhaus (beide mit 3-IV).

tionshauses bewegt sich bei 500 bis 800 kg/Oel pro Jahr gegenüber 2,8 bis 3 to pro Jahr beim Durchschnitts-Einfamilienhaus.

- Der optimale Südfensterflächenanteil verschiebt sich beim Superisolationshaus gegen kleinere Werte, weil der Ausnutzungsgrad von Anfang an kleiner ist und dazu noch mit zunehmendem Fensterflächenanteil rapide abnimmt. Wir stehen also vor der paradox erscheinenden Aussage, dass das (hier dargestellte) "Solarhaus" sich durch einen relativ kleinen Südfensterflächenanteil auszeichnet; zumindest mit normaler 3-fach-Isolierverglasung.

In Abb. 5-15 wird darauf hingewiesen, dass mit grösser werdendem Fensterflächenanteil die Transmissionsverluste wachsen und dadurch eine Verlängerung der Heizperiode bewirkt wird (vgl. dazu auch die Ausführungen in 5.1). Die Verluste steigen daher nicht linear mit zunehmendem Fensterflächenanteil, sondern überproportional. In gleichem Masse wird damit natürlich auch die Kurve der effektiven Wärmeverluste auf der rechten Seite angehoben und das Optimum des Fensterflächenanteils gegen kleinere Werte hin verschoben. Merklich ins Gewicht fällt dieser Effekt nur beim Superisolationshaus, wo die Vergrößerung der Verluste mit zunehmendem Fenster-

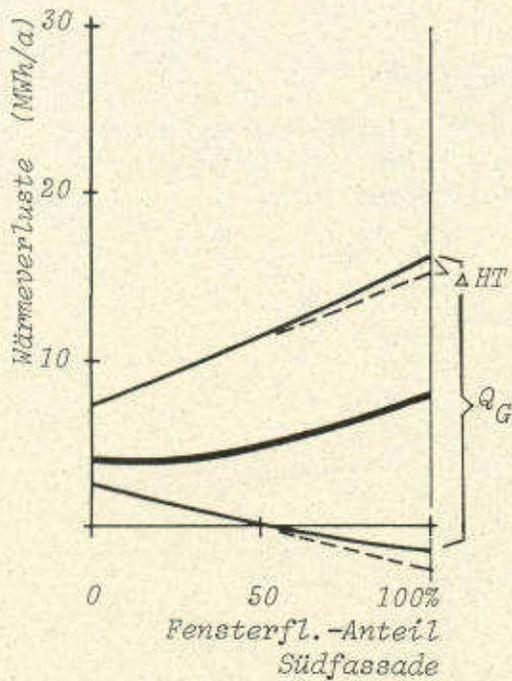


Abb. 5-15:

Einfluss der Heizperiodenverlängerung ($\Delta HT =$ zusätzliche Heiztage) auf die Wärmeverluste.

$Q_G =$ Gratiswärme

flächenanteil in Relation zu den übrigen Verlusten gross ist und deshalb einen starken Einfluss auf die Länge der Heizperiode hat.

In Abb. 5-16 ist der Einfluss unterschiedlicher Verglasungsqualität beim Superisolationshaus illustriert. Vor allem der Effekt hochwertiger Gläser wird stark eingeschränkt, weil der Ausnützungsgrad von Anfang an sehr klein ist, da bereits die inneren Abwärmen einen erheblichen Anteil der Verluste decken. Tatsächlich wird in dieser Darstellung allerdings ein Mangel des (einfachen) Abschätzungsmodells deutlich, das von Monats-Temperaturmittelwerten und -Einstrahlungsmengen ausgeht: es benachteiligt hochwertige Verglasungen, indem es die trüben Perioden und die Nachtauskühlung unterschätzt. Es ist also auch bei kleinen Fensterflächenanteilen im Superisolationshaus auf der Südseite sinnvoll, eine hochwertige Verglasung zu wählen.

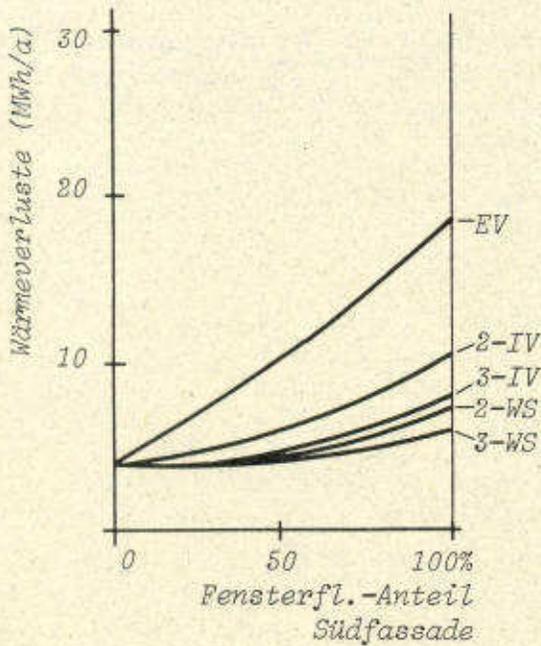


Abb. 5-16:
Unterschiedliche Verglasungs-
qualitäten beim hochisolier-
ten Einfamilienhaus.

In Abb. 5-17 wird der Wärmeschutzverglasung eine zweischiebige Isolierverglasung mit Nachtwärmedämmung (Isolierladen) gegenübergestellt. Das Wärmeschutzglas weist einen tiefen k-Wert auf ($1,2 \text{ W/K m}^2$), lässt aber auch merklich weniger Globalstrahlung eintreten. Durch den sehr guten nächtlichen k-Wert der zweischiebigen Variante werden die durchschnittlichen Verluste bei ungehinderter Einstrahlung stark verkleinert. In energetischer Hinsicht können die beiden Varianten als gleichwertig bezeichnet werden. Trotzdem gibt es Unterschiede, die in der Evaluation dieser beiden Varianten berücksichtigt werden müssen:

- Die Isolierverglasung mit Nachtwärmedämmung weist ein ausgeprägteres Optimum auf, das bei kleineren Fensterflächenanteilen liegt. (Grosse Gewinne, die aber mit zunehmendem Fensterflächenanteil nicht mehr verwertet werden können.)
- Nur wenn der Isolierladen konsequent bedient wird, ist das Resultat befriedigend. Die Wirksamkeit des Wärmeschutzglases ist bewohnerunabhängig.

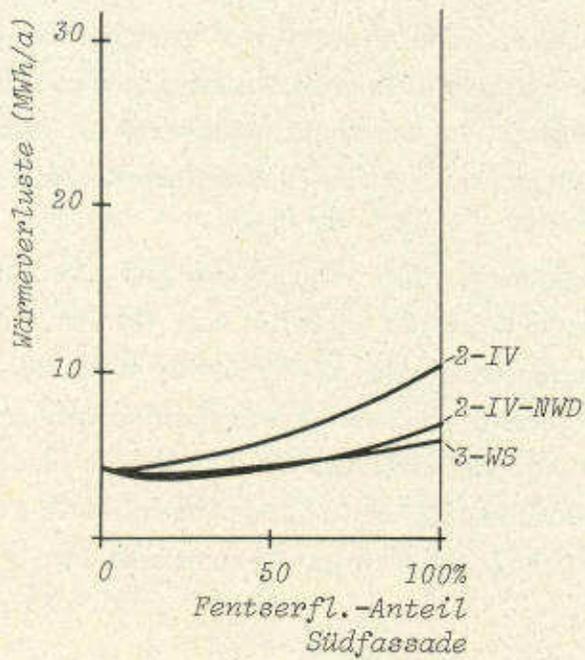


Abb. 5-17:

Nachtwärmeeämmung (NWD) im Vergleich mit Wärmeschutzverglasung.

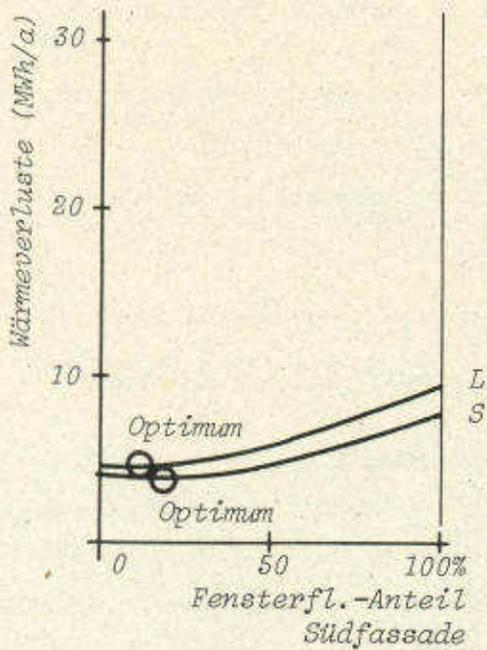
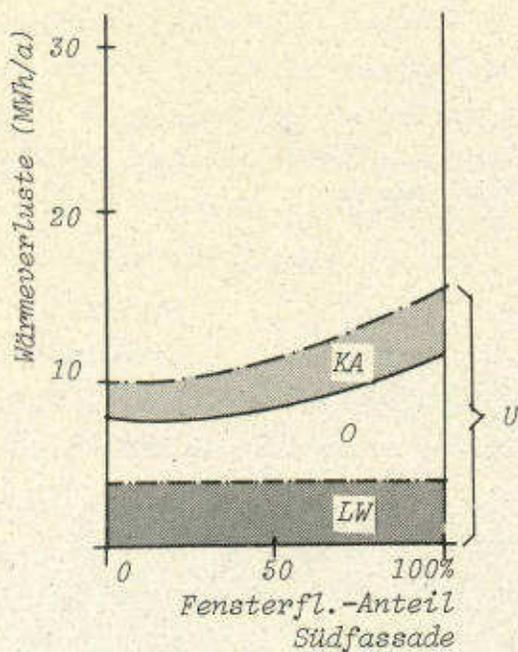


Abb. 5-18:

"Leichte" (L) und "schwere" (S) Bauweise (bei 3-fach Isolierverglasung).

In Abb. 5-18 wird auf den Unterschied hingewiesen, der durch die verschiedenen Speichereigenschaften verursacht wird. Bei allen bisherigen Diagrammen wurde davon ausgegangen, dass der betrachtete Bau hinsichtlich Primär- und Sekundärspeicherung optimiert sei, also zumindest einen massiven Absorberboden und eine schwere Innenbauweise mit unverkleideten Oberflächen aufweise. Wenn diesen Anforderungen nur ungenügend Rechnung getragen wird, steigen die Verluste generell, insbesondere aber bei grossen Fensterflächenanteilen, weil die Einstrahlung überhaupt nicht mehr verwertet werden kann. Dadurch rutscht auch das Optimum gegen kleine Fensterflächenanteile.

In Abb. 5-19 wird schematisch auf den Bewohnereinfluss aufmerksam gemacht. Alle vorangegangenen Abbildungen stellen in diesem Sinne ein Potential dar, das von energiebewussten und motivierten Bewohnern ausgeschöpft werden kann. Mit etwas Ungeschick, hohen Komfortansprüchen und Desinteresse am Energieverbrauch können auch im Solarhaus stattliche Mengen an Energie durchgebracht werden. Die Verschwenderisiken steigen mit zunehmendem Fensterflächenanteil, weil häufiger bei direkter Einstrahlung die Raumtemperatur an die obere Grenze des Komfortbereichs ansteigt.



- O* = optimales Benutzerverhalten
- U* = unmotivierter Bewohner
- KA* = Komfortanpassung
- LW* = übermässiger Luftwechsel

Abb. 5-19:
Der Einfluss des Bewohners

Nachbemerkung: Die Gedankenentwicklung, wie sie in der Abbildungsfolge 5-10 bis 5-19 enthalten ist, könnte nun für verschiedene Haus- und Raumtypen wiederholt werden. Die quantitativen Aspekte würden sich dabei verändern, die grundsätzlichen Zusammenhänge würden sich aber in gleicher Weise zeigen. Wenn beispielsweise statt des Einfamilienhauses, das Wohnzimmer einer Vierzimmerwohnung, mitten in der Südfassade eines grossen Wohnblocks gelegen, gewählt wird, zeigen alle Kurven eine ausgeprägtere Krümmung bzw. deutlichere Optima. Das Wohnzimmer weist ausser den Lüftungswärmeverlusten nur noch die Verluste durch die Südfassade selbst auf, weil seitlich, hinten oben und unten ebenfalls beheizte Räume angrenzen. Wenn alle diese Verluste (Q_{T-}) wegfallen, steht die Sonneneinstrahlung von Anfang an in einem anderen Verhältnis zum Wärmebedarf, als beim Einfamilienhaus. Berücksichtigt man weiter, dass im mehrgeschossigen Wohnungsbau nur begrenzt leistungsfähige Absorberböden eingesetzt werden können (Gewicht), wird deutlich, dass die maximal verwertbare Sonneneinstrahlung tendenziell bei kleineren Fensterflächenanteilen erreicht wird. Bei einem Büroraum (mitten in der Südfassade) ist die Situation ähnlich, wobei sich positiv auswirkt, dass die Benützungszeit mit der Zeit der Globalstrahlung zusammenfällt (vgl. dazu auch Lit. 26).

5.2.4 Sommerbetrieb

Je mehr danach getrachtet wird, im Winterhalbjahr die Sonne einzufangen, desto weniger dürfen eventuell notwendige Vorkehrungen gegen sommerliche Ueberhitzung vergessen werden. Diese Aussage wird allerdings durch folgende Punkte entschärft:

- Das mitteleuropäische Klima sorgt auch im Sommer dafür, dass die Raumüberhitzung kein Riesenproblem wird.
- Gerade ein optimiertes Solarhaus sollte dank innenraumaktiver Speichermassen ein gutes Temperaturverhalten aufweisen: Es kann nachts gründlich ausgekühlt werden (offene Fenster) und kann daher am folgenden Sonnentag einiges schlucken, bevor die Temperatur unangenehm hoch wird. Zudem sind die Hauptfensterflächen südorientiert und vertikale Südfächen erhalten wegen des hohen Sonnenstandes im Sommer verhältnismässig wenig Energie (vgl. dazu auch Abb. 5-3), welche zudem

noch aus demselben Grund vermehrt reflektiert wird. Hitzeperioden im August sind in dieser Hinsicht am kritischsten, weil die Sonnenbahn bereits wieder erheblich flacher als am 21. Juni verläuft.

Der unerwünschten sommerlichen Einstrahlung wird mit verschiedenen geometrischen (starren) und beweglichen Vorrichtungen begegnet, die hier kurz charakterisiert werden:

- Vordächer oder vorgehängte Beschattungspanels werden so bemessen, dass die flach eintreffende Wintereinstrahlung nicht behindert wird, dass aber im Sommer der Schatten möglichst viel von der Fensterfläche abdeckt.

Starre Beschattungsvorrichtungen sollten unbedingt die Oktobersonne noch voll auf die Scheibe treffen lassen (40 bis 45° am Mittag), auch wenn im Hochsommer möglicherweise deshalb keine hundertprozentige Beschattung erreicht werden kann. Trotzdem ist es unumgänglich, dass sie auch im Winterhalbjahr die diffuse Globalstrahlung vermindern. Im übrigen sind sie nur bei südorientierten Glasflächen einsetzbar. Bezüglich sommerlicher Ueberhitzung sind aber West- und Ostfenster problematischer. Wegen des hohen Sonnenstandes im Sommer erhalten West- und Ostfenster während der drei wärmsten Monate etwa gleich viel Sonnenenergie wie Südfenster. Starre Beschattungseinrichtungen sind aber hier nicht angebracht, da sie im Winter ebenfalls wirken würden. Auch wenn West- und Ostfenster in einem Sonnenhaus hoffentlich nicht allzu reichlich vorhanden sind, steigt die Leistung bei direkter Einstrahlung sofort auf mehrere Hundert Watt pro Quadratmeter, was unweigerlich zu rascher Uebererwärmung der betreffenden Räume führt.

- Aussenliegende Rolläden oder Jalousien genügen den Anforderungen aller schweizerischer Klimata. Sogar bei Leichtbauweise ist die Ueberhitzungsgefahr damit gebannt, sofern nicht übermässige innere Abwärmen noch hinzukommen (Geschäftshäuser, Gewerbe usw.). Allerdings wirken sie nur, wenn sie bedient werden (sonnengesteuerter Motorantrieb ist möglich, aber teuer). Innenliegende (helle!) Sonnenschutzstoren oder -Lamellen sind kritisch. Gut isolierte Bauten reagieren empfindlich auf Energiegewinne, so dass auch helle Storen bereits zuviel Globalstrahlung in Wärme umsetzen.

5.2.5 Blendung, lokale Übererwärmung und Materialausbleichung

Die energetische Optimierung des Gebäudeentwurfs und der Einbezug der Sonnenstrahlung brauchen im allgemeinen nicht als Restriktion empfunden zu werden. Einzelne Schwierigkeiten ergeben sich aber natürlich aus dieser neuen Situation. Nebst dem vorerwähnten Problem des sommerlichen Wärmeschutzes sei im folgenden noch auf weitere Zielkonflikte hingewiesen, die sich in der Praxis negativ auf die passive Nutzung der Sonneneinstrahlung auswirken: oftmals gehen im Winter bei Sonnenschein die Rolladen hinunter, weil die Bewohner geblendet werden, der fensternahe Sitzplatz bei direkter Bestrahlung zu heiss ist, oder die Bewohner das Mobiliar vor der intensiven Sonnenbestrahlung schützen wollen. Die Umsetzung von Globalstrahlung (Energie) in Tageslichtbeleuchtung, Helligkeit, Kontraste, Farbton usw. ist ein architektonischer Schöpfungsakt. Wenn diese Umsetzung misslingt, leidet sowohl die Bewohnbarkeit wie das energetische Verhalten des Gebäudes.

Ein Teil des Mobiliars und einzelne Bauteile sind in Sonnenhäusern einer intensiven Bestrahlung ausgesetzt. Mit der Zeit findet dadurch eine Ausbleichung und z.T. sogar eine Zerstörung statt. Bei Holzschutz- und Farbanstrichen sollte daher auf entsprechende Qualität geachtet werden. Natürliche Materialfarben sind weniger gefährdet, als Beschichtungen (z.B. Klinker statt gestrichener Beton). Bei Teppichen scheinen Acryl, Nylon, Polyester und Naturwolle die geeignetsten Qualitäten mitzubringen (Lit. 33) und für Polstermöbel können zusätzlich Leder, Baumwolle, Leinen und Vinyl eingesetzt werden. Allerdings spielen bei Textilien nicht nur die Materialeigenschaften eine Rolle, sondern ebenso sehr die Gewebe- und Einfärbequalität (Farbechtheit).

5.3 Massenspeicherwände

Wenn das Prinzip Massenspeicherwand mit der direkten Nutzung der Sonneneinstrahlung verglichen wird, fallen folgende Merkmale auf:

- Die Einspeicherung der Globalstrahlung findet nicht mehr im bewohnten Raum statt. Die Absorberwand ist in viel geringerem Masse Nutzungskonflikten ausgesetzt als ein Absorberboden, der immer in erster Linie auch Nutz- und Wohnfläche sein soll.
- Die Abwärme, die beim Einspeichern entsteht, belastet nicht den Raum. Allerdings geht sie dadurch auch definitiv verloren, weil sie durch die Verglasung an das Ausenklima abgegeben wird und keine sekundäre Einspeicherung stattfinden kann. Ueberdies ist die Temperatur der Absorberoberfläche höher, da die Wärme zuerst durch die Wand fliessen muss, bevor sie dem Raum zugute kommt. Dadurch erhöhen sich aber auch die Verluste durch die Glasabdeckung. Eine allfällige Warmluftzirkulation vom Absorberlufttraum in den Wohnraum verbessert diese Situation kaum: geringe Energiemengen können so zwar in die Innenbauteile transferiert werden. Der grössere Teil trägt aber als Warmluftheizung zu schneller Uebererwärmung des Raumes bei. Gleichzeitig wird auch die Wärmetransmission durch die Wand, also der hauptsächlich erwünschte Effekt, verschlechtert, weil die Absorberfläche durch die Luftzirkulation ständig gekühlt wird.
- Die schliesslich gewonnene Nettoenergie trifft nach mehrstündiger Wanderung durch die Massenwand im richtigen Zeitpunkt (abends) im Raum ein. Die Zeitverzögerung kann durch die Wahl der Wanddicke und des Materials in der Planungsphase bestimmt werden.
- Probleme wie Blendung und Materialausbleichung treten bei Massenspeicherwänden nicht auf. Der Ertrag ist in diesem Sinne auch weniger vom Bewohnerverhalten abhängig als bei der Direktnutzung durch Südfenster.

5.3.1 Wirkungsweise und Aufbau von Massenspeicherwänden

Eine Massenspeicherwand besteht aus einer ganzen Reihe von Elementen (Abb. 5-20), die unter der Sonneneinstrahlung und den Temperaturbedingungen zusammenwirken. In Abb. 5-21 ist in vereinfachter und unvollständiger Form dargestellt, dass Qualität und thermisches Verhalten im wesentlichen von folgenden 5 Komponenten abhängt: die Transparente Abdeckung (A), die Absorberoberfläche (B), die Massenswand selbst (C) die Nachtwärmedämmung (D) und die Betriebsweise (E). Jede Komponente kann unterschiedlich ausgebildet sein (Spalte 1 bis 7 und noch mehr). Theoretisch sind alle Varianten von A, B usw. miteinander kombinierbar. Allein aus der unvollständigen Abb. 5-21 lassen sich auf diese Weise 720 "Kennlinien" A-B-C-D-E zusammenstellen, die alle zu sich thermisch unterschiedlich verhaltenden Massenspeicherwänden führen. Auch wenn die Mehrzahl dieser Kombinationen nicht sinnvoll ist, bleibt doch die Tatsache bestehen, dass "die Massenspeicherwand" nur sehr bedingt pauschal bewertet werden kann.

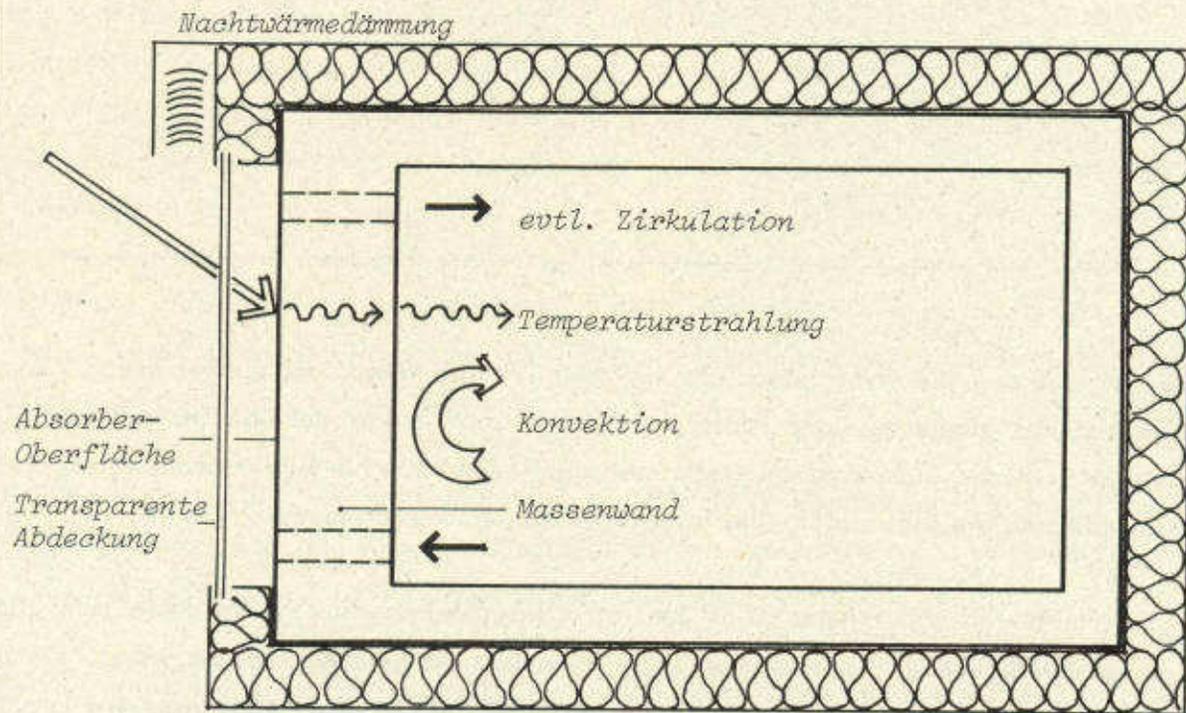


Abb. 5-20:

Wirkungsprinzip der Massenspeicherwand

		①	②	③	④	⑤	⑥
Transparente Abdeckung	(A)	Einfachverglasg.	2-fach Isolierverglasg.	3-fach Isolierverglasg.	2-fach Wärme schutzvergl.	PC-Tripel-Steckplatten	Einfachglas + IR-Folie
Absorber-Oberfläche	(B)	dunkler Farb-anstrich	selektive Beschichtung			
Massenwand	(C)	Beton	Kalksandstein	Wasser	Latent-speicher	
Nachwärm-dämmung	(D)	keine	Rolladen	Isolier-laden	Vorhang im Zwischen-raum	automat. Rolladen
Betriebsweise	(E)	Reine Trans-mission	Luft-zirkulat. handgest.	Luft-zirkulat. automat.		



"Normalausführung" der Massenspeicherwand, in dieser oder ähnlicher Form auch Trombe-Wand genannt.

Abb. 5-21:

Die energetisch wichtigsten Merkmale von Massenspeicherwänden (A,B,C,D,E) in verschiedenen Varianten 1-6, ergeben mögliche Konstruktionen (Prinzipielle, unvollständige Darstellung)

Zunächst soll nun die "Normalausführung" der Trombe-Wand, die dunkel gestrichene Betonwand mit zweiseibiger Isolierverglasung, noch etwas detaillierter dargestellt werden. Mit dieser Ausgangslage stellt sich die Frage nach Nachwärm-dämmung und Luftzirkulation, die thesenartig wie folgt beantwortet werden kann:

- Eine Nachwärm-dämmung ist in unseren Klimata eine wichtige Voraussetzung für ein befriedigendes Funktionieren des Prinzips der Massenspeicherwand. Ohne Nachwärmeschutz "flutet" die Temperaturwelle in so starkem Masse ins Freie zurück, dass schliesslich zuwenig Energie für den Innenraum abfällt. Im Minimum sollte ein dichtschiessender Rolladen eingesetzt werden.

- Durch Luftklappen kann die Massenspeicherwand als Luftkollektor betrieben werden, der bei direkter Einstrahlung im Umluftbetrieb die Raumluft erwärmt. Der Wert solcher Klappen ist allerdings mehr als zweifelhaft: Bei direkter Sonneneinstrahlung ist bei gut isolierten Bauten meist ohnehin zuviel Raumwärme vorhanden, ausser vielleicht in der morgendlichen Anheizphase. Es dürfte daher sehr wahrscheinlich sein, dass die Klappen im praktischen Einsatz das thermische Gesamtverhalten der Massenspeicherwand verschlechtern, weil sie die Absorberoberfläche zugunsten weitgehend unerwünschter Direktheizung auskühlen. Insgesamt darf man sich über die Leistungsfähigkeit einer "normalen" Massenspeicherwand in unserem Klima keine Illusionen machen: Wenn ein Nettowärmeertrag von $30 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$ erreicht wird (entsprechend ca. 3 kg Öl pro Quadratmeter und Jahr), dürfte damit das Potential ausgeschöpft sein. Die gut isolierte Wand als Alternative dazu verliert demgegenüber ca. $20 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$. Die Differenz beträgt also $50 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$, welche in Relation zum Aufwand für eine derartige Konstruktion zu setzen ist (vgl. dazu auch Lit. 29).

Auch die Massenspeicherwand darf nicht losgelöst vom Gebäude bewertet werden. Wie beim Südfenster hängt auch hier der effektiv verwertbare Gewinn davon ab, in welchem Verhältnis der gesamte Wärmebedarf zum Bruttoertrag der Massenspeicherwand und übriger Gratiswärme steht. Zweifellos ist es angezeigt, zunächst die direkte Einstrahlungsnutzung zu optimieren, also den optimalen Südfensterflächenanteil festzulegen. In dieser Situation kann gesagt werden, dass jeder zusätzliche Quadratmeter Südfenster den Heizenergiebedarf tendenziell wieder erhöht. Im verbleibenden Südwandanteil kann die Massenspeicherwand dann durchaus mit positiver Wärmebilanz eingesetzt werden. Allerdings stehen diesem Nutzen erhebliche Kosten gegenüber. Zudem besteht ein nicht zu unterschätzendes Risiko, dass bei weitem nicht der Maximalertrag erreicht wird (Undichte Konstruktion, Luftzirkulation, lokales Klima, lokale Beschattung, übermässiger Rahmenanteil). Die Massenspeicherwand wirft drei an sich kleine, aber wichtige, Probleme auf, deren schlechte Lösung Unannehmlichkeiten bringt und deren gute Lösung oft teuer ist:

- Die sommerliche Ueberhitzung muss wirksam verhindert werden (Entlüftung zwischen Verglasung und Absorberoberfläche gegen aussen, starre oder bewegliche Abschattung, letztere kann evtl. auch die Nachwärmedämmung sein).
- Die Verglasung sollte mit vertretbarem Aufwand geöffnet werden können, für die Glas- und Hohlraumreinigung (als Serviceöffnung sozusagen).
- Mit der Verglasung befindet sich eine Dampfsperre auf der Aussenseite. Bei län-

geren Perioden ohne Direktstrahlung können an dieser Oberfläche übermässige Mengen an Oberflächenkondensat ausgeschieden werden.

5.3.2 Tendenzen

Die Massenspeicherwand hat wenig Gegenwart, aber durchaus Zukunft auch in unserem Klima, allerdings nur wenn es gelingt, mit vernünftigem Aufwand hochwertigere Komponenten einzusetzen. Bezüglich transparenter Abdeckung würde dies heissen, dass eine Verglasung mit relativ tiefem k-Wert (bei gutem Durchlassgrad) gewählt werden müsste. Eventuell würden die Verluste noch weiter vermindert durch eine selektive Oberflächenbeschichtung der Massenspeicherwand; eine Beschichtung, die im sichtbaren Bereich dunkel ist, entgegen einem üblichen Farbanstrich im Temperaturstrahlungsbereich aber nur sehr wenig abstrahlt (vgl. dazu Lit. 28).

Im Bereich der Speicherung bieten sich Alternativen an, die im folgenden kurz charakterisiert werden sollen.

- Wasser hat eine hohe spezifische Wärmekapazität und nimmt die Wärme von der Oberfläche auch sehr gut auf, weil eine permanente Umwälzung stattfinden kann. Allerdings erwärmt sich die Wasserwand dadurch ziemlich gleichmässig und beginnt mit kleiner Zeitverzögerung bereits Wärme an den Innenraum abzugeben, was wiederum mit einer inneren Isolation vermindert werden kann (Isoliervorhang). Gestapelte Wasserkanister verhalten sich besser als eine durchgehende Wasserwand (Temperaturschichtung).
- Als Latentspeicher können für den vorliegenden Zweck Salze gewählt werden, deren Schmelztemperatur leicht über der durchschnittlichen Raumtemperatur liegen. Die ganze Schmelzwärme kann dadurch bei konstant bleibender Speichertemperatur "eingefüllt" werden. Auch die Wärmeabgabe erfolgt bei gleichbleibenden Temperaturen und mit konstanter Leistung. Latentspeicher sind bis zu 10mal kompakter als beispielsweise Beton- oder Steinspeicher. Seit neuestem werden auch in der Schweiz Latentspeicherkanister (mit verschiedenen Schmelztemperaturen) angeboten (Conergy SA, Zürich).

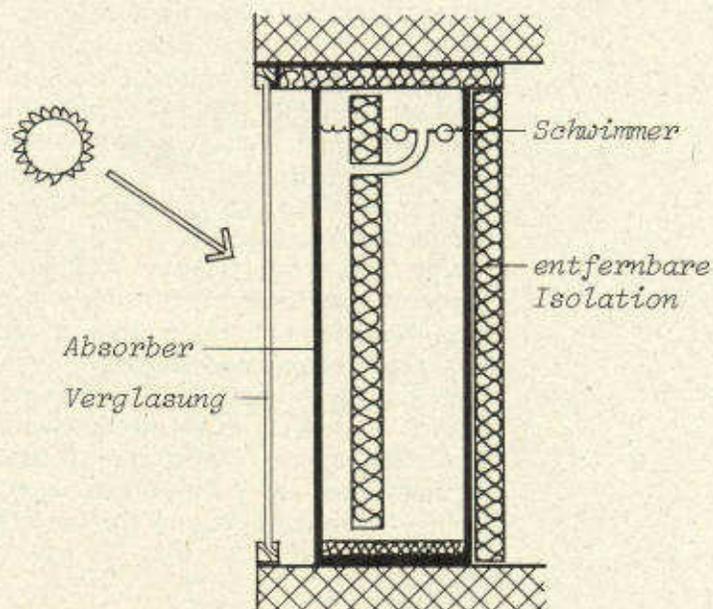


Abb. 5-22:

Wasserwand mit integrierter Nachtwärmedämmung und Rückschlagventil.

Bei Sonnenstrahlung erwärmt sich die kollektornahe Wassersäule, dehnt sich aus und warmes Wasser fließt über den Schwimmer in das raumseitige Abteil des Tanks. Unten fließt kaltes Wasser in den kollektorseitigen Tank nach. Nachts ist das raumseitige Wasser wärmer und der Wasserpegel höher als auf der Kollektorseite. Der Schwimmer verhindert aber ein Abfließen des Wassers in den (kalten) kollektorseitigen Tankraum. Damit wird eine nächtliche Auskühlung verhindert (nach Lit. 31). In unseren Breitengraden muss allerdings beachtet werden, dass Frostgefahr besteht.

Die energetische Optimierung der Massenspeicherwand läuft im Endeffekt darauf hinaus, einen Bauteil zu entwickeln, mit einem Ausnutzungsgrad, der dem einer Flachkollektor-Anlage entspricht. Als Beispiel dafür mag die in Abb. 5-22 gezeigte Idee dienen. Wenn es allerdings nicht gelingt, derartige Konstruktionen als standardisierte, kostengünstige Elemente anzubieten, wird die Kosten-Nutzen-Relation immer schlecht bleiben. Es ist von dieser Ausgangslage aus auch kein allzu grosser Schritt mehr zu einer eigentlichen Kollektoranlage mit Wasserspeicher an einem anderen Ort und einer Speicherbewirtschaftung nach Bedarf. Damit wird es möglich, die Wärme für mehrere trübe Tage oder sogar Wochen zu speichern. Allerdings handelt man sich mit diesem Konzept anspruchsvolle regel- und haustechnische Probleme ein. Ein sehr interessantes und weitreichendes Beispiel dieser Art wurde von C. Fröhlich in Davos realisiert: In einem Zweifamilienhaus wurden 60 m^2 Kollektoren in die Südwand und ein 65 m^3 Wasserspeicher in die Hausmitte integriert (Lit. 30). Es bleibt abzuwarten, ob es gelingen wird, einfache, selbstregulierende Kollektorsysteme für diesen Zweck zu realisieren.

5.4 Die Luftkollektorwand

Je sonnenärmer das Klima ist, desto mehr verschärft sich bei der Massenspeicherwand der Konflikt, dass die Nutzung der Sonnenstrahlung nur unter Inkaufnahme grosser Wärmeverluste möglich ist. Die Kollektorwand ist darauf die adäquate Antwort: Die Wand ist gut gedämmt, und die Sonneneinstrahlung wird trotzdem genutzt (vgl. Abb. 5-23). Allerdings muss die in Wärme umgesetzte Strahlung abtransportiert, irgendwo gespeichert, und zum richtigen Zeitpunkt dem Raum zugeführt werden. Grundsätzlich ist dieser Wärmetransport mit verschiedenen Medien möglich. So entsprechen beispielsweise auch wassergekühlte Flachkollektoren an der Südfassade dieser Beschreibung. Im Zusammenhang mit sogenannter Solararchitektur sind aber vor allem Ideen mit Luft als Wärmeträgermedium realisiert worden. So oder so handelt es sich dabei um hochstehende Kollektortechnologie, und die einzelnen Komponenten (Absorber, transpa-

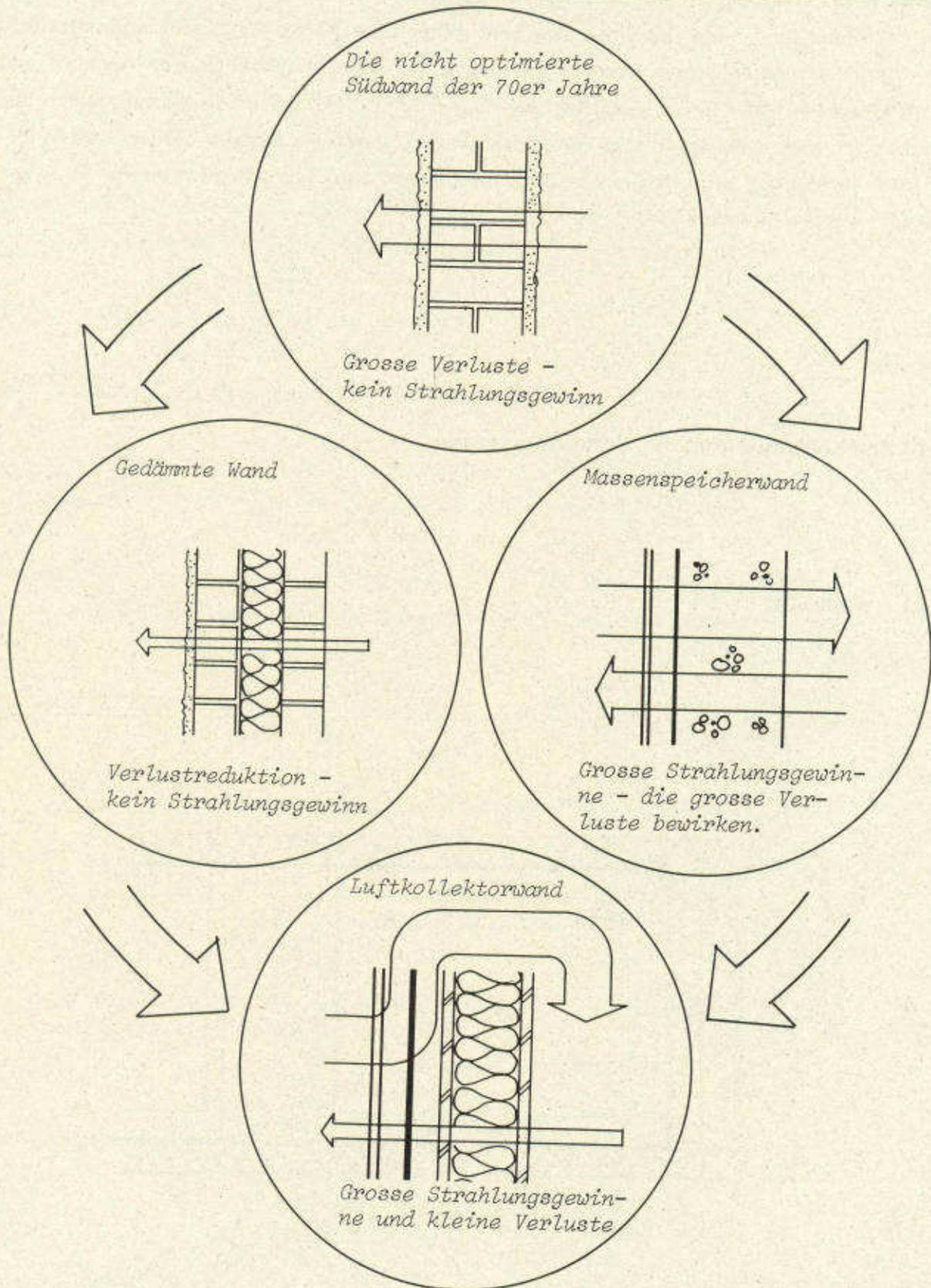


Abb. 5-23:

Die Luftkollektorwand vereint Verlustreduktion und Strahlungsnutzung.

rente Abdeckung, Leitungen, Speicheraufbau, Wärmeabgabe an die Heizverteilung bzw. an den Raum usw.) wie das Gesamtsystem müssen sorgfältig konzipiert und optimiert werden. Im Rahmen dieser Publikation sollen zumindest die wichtigeren Aspekte und Anforderungen dargestellt werden, so dass vom projektierenden Baufachmann das System im wesentlichen richtig konzipiert werden kann und Fragen der optimalen Dimensionierung und die Lösung von Detailproblemen vom Spezialisten überhaupt angegangen werden können.

5.4.1 Die Komponenten des Kollektorsystems

5.4.1.1 Kollektor

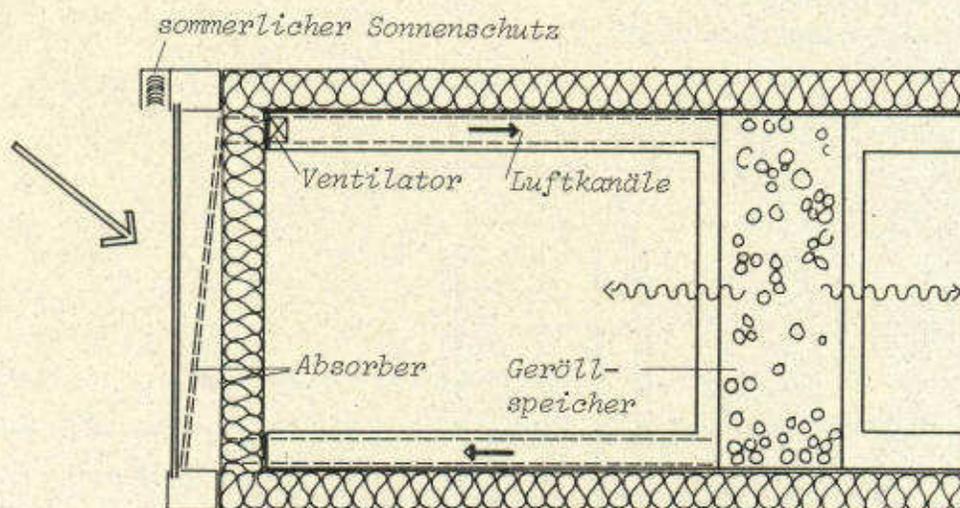


Abb. 5-24:

Komponenten und Wirkungsweise der Luftkollektorwand

An sich muss der Kollektor keineswegs in die Wand integriert werden. Es sprechen allerdings einige Gründe dafür:

- Die vertikale Südorientierung ist für die winterliche Strahlungsnutzung nahezu ideal (60 Grad Neigung wäre noch eine Spur besser).
- Die Kollektorverluste kommen z.T. dem Haus zugute und die Wärmeverluste durch die Wand werden verringert (kleineres durchschnittliches Temperaturgefälle).
- Die Transportwege für die Luft sind kurz.
- Der zusätzliche Raumbedarf ist gering.

Allerdings ist die Absorberfläche auf die zur Verfügung stehende Südwand beschränkt. Grössere Absorberflächen müssen vor dem Haus vorgesehen werden.

Als Absorber werden oft schwarze, diagonal in den Kollektorquerschnitt eingebaute Streckmetall-Gitter eingebaut, die in optimaler Weise der durchströmenden Luft die

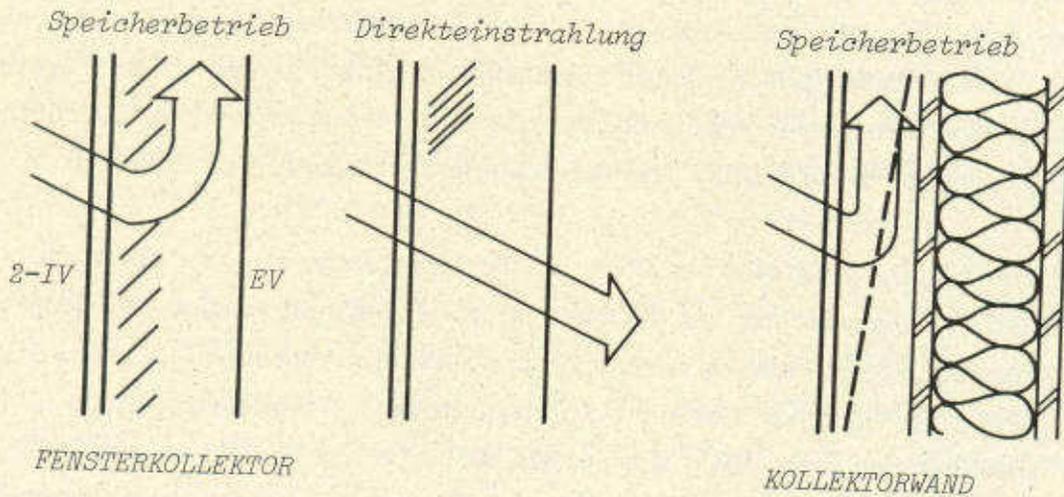


Abb. 5-25:

Die zwei Winter-Betriebsweisen des Fensterkollektors wiegen den schlechten k-Wert zum Teil auf.

absorbierte Energie abgeben. Eine Lösung, die schon fast als bewährt bezeichnet werden kann, ist in Abb. 5-25 dargestellt: Im Fensterbereich wird ein Lamellenstoren zwischen den Scheiben geführt. Im Winter ist die dunkle Seite der Lamellen gegen aussen gerichtet und wirkt als Absorber. Im Sommer können die Lamellen um 180 Grad gedreht werden und zeigen dann der Sonne eine weisse, reflektierende Seite. Besonders interessant ist, dass die Betätigung des Rolladens zwar die direkte Einstrahlung verhindert, die Energie aber einfach in den Geröllspeicher geführt wird. Da der k-Wert dieser Konstruktion relativ schlecht ist, sollte der Fensterflächenanteil auch mit diesem System nicht allzu gross werden: Sobald der optimale Südfensterflächenanteil bezüglich Ausnützbarkeit der direkten Einstrahlung in den Raum überschritten wird, ist die nichttransparente (isolierte) Kollektorwand dem Fensterkollektor vorzuziehen. Der optimale Anteil Fensterkollektor gegenüber nichttransparenter Wandkollektorfläche hängt wie im Kapitel über die direkte Strahlungsnutzung gezeigt wurde stark von der wärmetechnischen Qualität der Verglasung (bzw. der Nachtwärmedämmung) sowie von der Innenbauweise ab. Je nachdem dürfte das Optimum zwischen 40 bis 80% Fensterflächenanteil schwanken. Der Fensterkollektor hat zwei Betriebsweisen: Speicherbetrieb und Direktstrahlung. Würde der Fensterkollektor nur im Speicherbetrieb eingesetzt, wäre er der isolierten Kollektorwand unterlegen, weil er nicht mehr Einstrahlung umsetzt als diese, aber (vor allem nachts) grössere Verluste bewirkt. Der Speicherbetrieb erfordert bei beiden Typen eine minimale Kollektortemperatur: Die Luft wird erst umgewälzt, wenn sie im Kollektor wärmer ist als im Speicher. Mit dem Direkteinstrahlungsmodus "funktioniert" der Fensterkollektor aber schon bei Einstrahlungsintensitäten, die der Kollektorwand für den Speicherbetrieb noch nicht ausreichen. Mit zunehmendem Flächenanteil sinkt aber der Ausnutzungsgrad des Fensterkollektors im Direkteinstrahlungsbetrieb, so dass die Unterlegenheit im Speicherbetriebsmodus bestimmend wird. (Zum Thema Fensterkollektor siehe vor allem Lit. 32)

Um möglichst häufig im Kollektor über die Speichertemperatur zu gelangen, um diesem weiter Energie zuführen zu können, ist es unumgänglich, den Kollektor als Hochleistungsgerät zu optimieren: zweilagige transparente Abdeckung und schwarzer, evtl. sogar selektiver Absorber. Bei einer gut konzipierten Luftkollektor-Anlage ist der Absorber allerdings nur geringfügig wärmer als die Luft. Die Reduktion der Abstrahlung durch eine selektive Beschichtung nützt in diesem (niedertemperaturigen) Fall also nicht sehr viel (insbesondere auch, weil der konvektive Wärmeübergang zwischen Absorber und Scheibe relativ hoch ist).

5.4.1.2 Zirkulation

Meines Erachtens lohnt es sich, für die Zirkulation einen Ventilator einzusetzen. Die Kanäle können kleiner gewählt werden und der Anlagenbetrieb kann präzise und optimal gesteuert werden. Die Ventilatorleistung fällt energetisch nicht ins Gewicht (Größenordnung 15 W pro m² Kollektorfläche) und gibt Gelegenheit, ohne wesentliche Uebertemperaturen (die mit entsprechenden Verlusten verbunden sind), die Wärme dem Kollektor zu entnehmen und dem Speicher zuzuführen. Der Kollektor sollte unterdruckseitig vom Ventilator zu liegen kommen.

Wer die "Einfachheit" eines rein passiven, selbsttätigen Schwerkraftsystems nicht der Wirkungsgradverbesserung opfern will, sollte drei Grundsätze beachten:

- Je höher der Kollektor, desto stärker wirkt die Schwerkraft, und gewährleistet damit die Zirkulation.
- Die Behinderung im Kollektor, Leitungen und Speicher sollte minimal sein. (Anders ausgedrückt: Die Luftgeschwindigkeit muss überall sehr klein bleiben; unter 0,5 bis 1 m/s.)
- Der Speicher muss höher liegen als die Kollektormitte und die Wärmeübergangsf lächen müssen sehr gross sein (z.B. Geröllspeicher).

Jede Luftkollektorzirkulation hat die Tendenz, die Richtung zu wechseln, wenn der Kollektor kälter wird als der Speicher. Dies muss verhindert werden, damit nachts keine Speicherauskuhlung stattfindet. Nebst den mechanischen Vorrichtungen scheinen sich einfache Folien-Rückschlagklappen gut zu bewähren (Abb. 5-26).

Es ist dringend zu empfehlen, eine geschlossene Luftzirkulation vom Kollektor zum Geröllspeicher und zurück vorzusehen. Sobald Raumluft direkt über den Kollektor oder durch den Geröllspeicher geführt wird, muss mit auskondensierendem Wasser gerechnet werden, was ernste bauphysikalische und lufthygienische Konsequenzen haben kann.

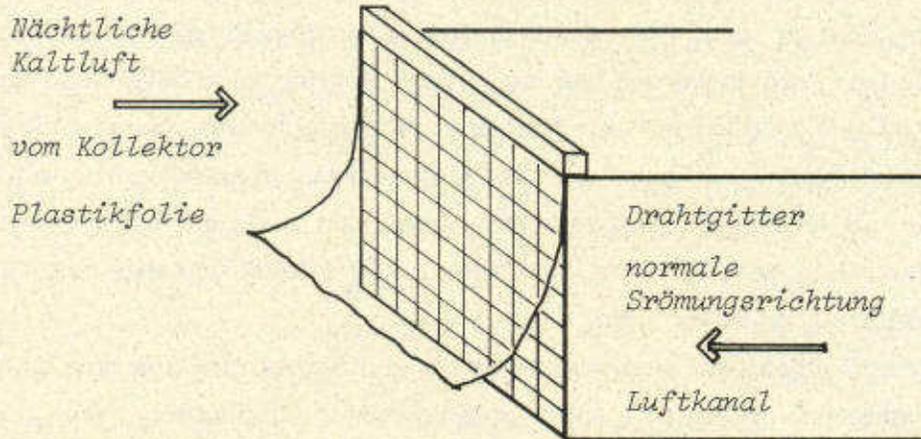


Abb. 5-26:

Einfaches Rückschlagventil gegen nächtliches Auskühlen des Kollektorsystems.

5.4.13 Steinspeicher

Die Warmluft, die vom Kollektor her durch den Geröllspeicher geblasen wird, soll die Wärme möglichst vollständig dem Geröll übergeben. Damit dieser Ladevorgang befriedigend funktioniert, müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Geeignet ist sauber gewaschenes Flusskies der Körnung 30/50 bzw. bis maximal 80 mm.
- Die Luft muss im Speicher einen Weg von mindestens 2 m zurücklegen. D.h., geschosshohe Geröllspeicherwände sind vollauf genügend. Selbstverständlich sind längere Ladestrecken, wie sie etwa in Geröllspeicherböden vorkommen, nicht nachteilig.
- Wenn (bei schweizerischem Mittellandklima) pro Quadratmeter Kollektorfläche 0,4

bis 0,5 Kubikmeter Geröllspeicher erstellt wird, können etwa zwei aufeinanderfolgende Sonnentage ohne Ueberschusswärme "verdaut" werden. Kleiner sollte die Relation Speichervolumen zu Kollektorfläche wenn möglich nicht sein. Grösser darf der Speicher natürlich jederzeit sein.

- Ein Geröllspeicher bietet an sich die Möglichkeit, die Einstrahlungsgewinne nicht nur über einige Stunden oder einen Tag zu verteilen, sondern zwei bis vier trübe Tage zu überbrücken. Allerdings muss dazu die Anlage gross genug sein: in einem gut isolierten Einfamilienhaus an sonniger (Mittelland-) Lage müsste es 20 bis 50 m³ Geröllspeicher und 30 bis 50 m² Kollektorfläche sein. Bei einer wesentlich kleineren Anlage verliert man gerade den Vorteil, mehrere trübe Tage überbrücken zu können, was die gesamte Investition für ein Luftkollektorsystem fraglich macht.

Das Entladen des Speichers ist um einiges heikler als der Ladevorgang. Es muss davon ausgegangen werden,

- dass das Wärmeträgermedium nicht gewechselt werden kann, weil zu hohe Verluste entstehen würden. (Die Uebertragung der Wärme auf eine Wasser - Bodenheizung beispielsweise würde zu hohe Temperaturen erfordern.)
- und dass im Speicher nicht direkt die Raumluft erwärmt werden kann (Kondenswasser, Lufthygiene).

Bis heute wurden vor allem zwei Wege eingeschlagen:

- Die Wärme wird über einen sekundären Luftkreislauf dem gut isolierten Speicher entzogen und nach dem Hypokaustenprinzip an den Raum abgegeben. Dazu sind aber aufwendige Doppelboden- und -wandkonstruktionen nötig, wo die Warmluft die Wärme an dünne Abdeckungen abgeben kann, die sie wiederum in den Raum abstrahlen. Alle diese Versuche haben sich meines Wissens bis jetzt als teuer und wenig effizient erwiesen.
- Der Speicher wird gegen die zu beheizenden Räume hin nur schwach isoliert (2 bis 3 cm Wärmedämmstoff), so dass die Wärme als "Speicherverluste" langsam an den Raum abgegeben wird. Bis zu einem gewissen Grad wirkt dabei ein Selbstregulierungsmechanismus, indem mehr Wärme in den Raum fliesst, wenn dieser kalt ist (höheres Temperaturgefälle), und bei hoher Raumtemperatur entsprechend dem reduzierten Temperaturgefälle der Wärmestrom gebremst wird. Allerdings geschieht dies nur, wenn die Bewohner entsprechende Raumtemperaturschwankungen akzep-

tieren, z.B. bis unter 18°C . Natürlich hängt das Temperaturgefälle auch von der Wärmemenge ab, die im Speicher ist: Der "Bodensatz" an Speicherwärme fließt nur noch sehr langsam in den Raum.

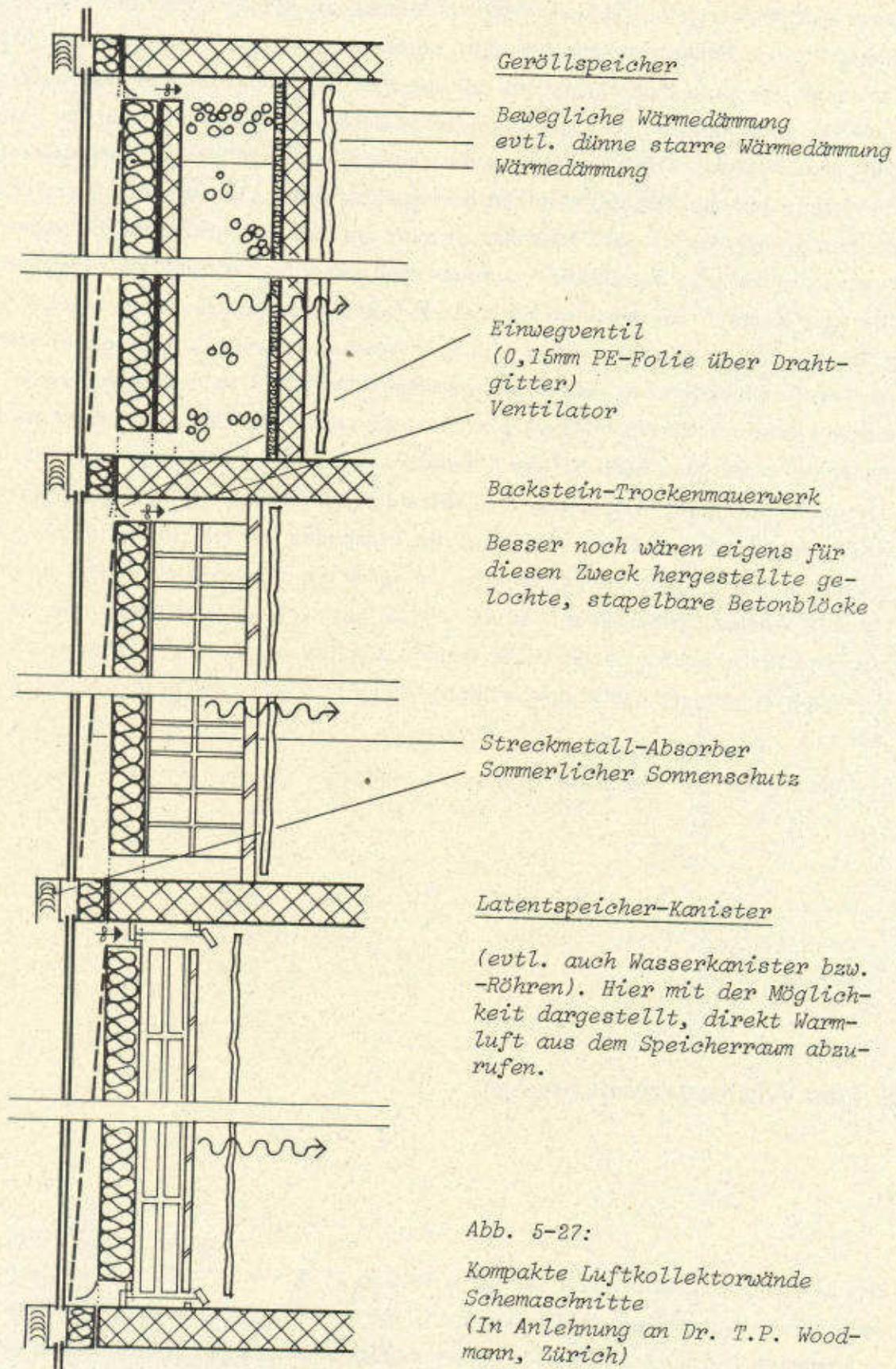
In den Uebergangszeiten, bei geringem Wärmebedarf, wird wohl ab und zu eine Uebererwärmung des Raumes in Kauf zu nehmen sein. Dies führt zu einem leicht verminderten Systemwirkungsgrad, weil diese Ueberwärme weggelüftet werden muss. In verschiedenen schweizerischen Bauten hat sich dieses System offenbar sehr gut bewährt (gutes energetisches Verhalten und geringe Ueberhitzungsprobleme).

Bei Wandspeichern sollte unbedingt die Möglichkeit genutzt werden, die Wärmeabgabe mindestens mit einer partiellen beweglichen Isolation (z.B. Wärmedämm-Vorhang) dosieren zu können.

5.4.2 Varianten

Wie bei den Massenspeicherwänden existieren auch bezüglich Luftkollektor-Wänden beinahe beliebig viele Möglichkeiten, die einzelnen Komponenten zu Systemen zusammenzufügen und unterschiedliche Typen zu konstruieren. An dieser Stelle sollen nur zwei Entwicklungslinien erwähnt werden, die besonders interessant sind:

- Die kompakte Luftkollektorwand. Üblich (und in der Schweiz realisiert) sind Geröllspeicherwände und -böden, die möglichst mitten im Haus eingebaut werden und die zwei benachbarte Räume gleichzeitig mit Wärme versorgen. Wo dies nicht nötig oder sinnvoll ist (Grundrissdisposition), bietet sich eine kompakte Konstruktion an, indem der Speicher unmittelbar hinter dem Kollektor angeordnet wird. Dadurch können vor allem Kanäle für den Lufttransport gespart werden. Eine Hauptschwierigkeit dürfte die Plazierung befriedigender Speichermassen darstellen: wenn pro Quadratmeter Kollektor 0,5 Kubikmeter Geröll eingebaut werden soll, dann wird dieser Geröllkoffer 50 cm dick (Nutzflächenverlust, Disposition des Grundrisses, Einpassung der Fenster usw.). Die schematischen Beispiele in Abb. 5-27 sollen Ideen vermitteln, in welcher Weise derartige Konstruktionen entwickelt werden könnten. Anders als bei zentral angeordneten Geröllspeichern kommen leider bei kompakten Luftkollektor-Wänden nicht alle Speicherverluste dem Raum zugute.



- Die Frischlufthvorwärmung über Luftkollektoren. Ueblicherweise liegt ein geschlossener Kollektorkreislauf vor, in welchem die Luft als Medium die Wärme vom Kollektor zum Speicher transportiert. Ein Wärmegewinn resultiert in diesem System nur, wenn der Kollektor wärmer als der Speicher ist. Im besten Fall also, wenn der Speicher noch kalt ist, genügen Kollektortemperaturen, die wenig über der Raumtemperatur liegen. Trotzdem reduziert sich die Betriebszeit eines solchen Kollektorsystems auf die Zeit der direkten Sonneneinstrahlung. Bei winterlichen Temperaturen genügt die diffuse Einstrahlung nicht, um den Kollektor über die Speichertemperatur zu erhöhen. Dieser Systemnachteil entfällt, wenn mit dem Luftkollektor die Frischluft vorgewärmt wird: Auch bei diffuser Einstrahlung werden vom Kollektor 50 bis 150 W/m² Einstrahlung in Wärme umgesetzt. Wird die Frischluft für den Raum durch den Kollektor angesogen, vermag 1 m² Kollektorfläche mit dieser Wärme 30 bis 80 m³ Luft von beispielsweise 0 auf 5°C vorzuwärmen. Das System arbeitet also auch bei der (häufigen) diffusen Einstrahlung; und zwar mit gutem Wirkungsgrad! (Bei direkter Einstrahlung allerdings ist die Frischluftvorwärmung von zweifelhaftem Wert, weil die Einstrahlung ohne Zeitverzögerung umgesetzt und dem Raum zugeführt wird, wo durch die direkte Einstrahlung durch die Fenster ohnehin momentaner Wärmeüberfluss herrscht. In Verbindung mit mechanischen Lüftungs- oder Entlüftungssystemen könnten bei unseren klimatischen Gegebenheiten kleinere Luftkollektorflächen zur Frischluftvorwärmung gute Dienste leisten.)

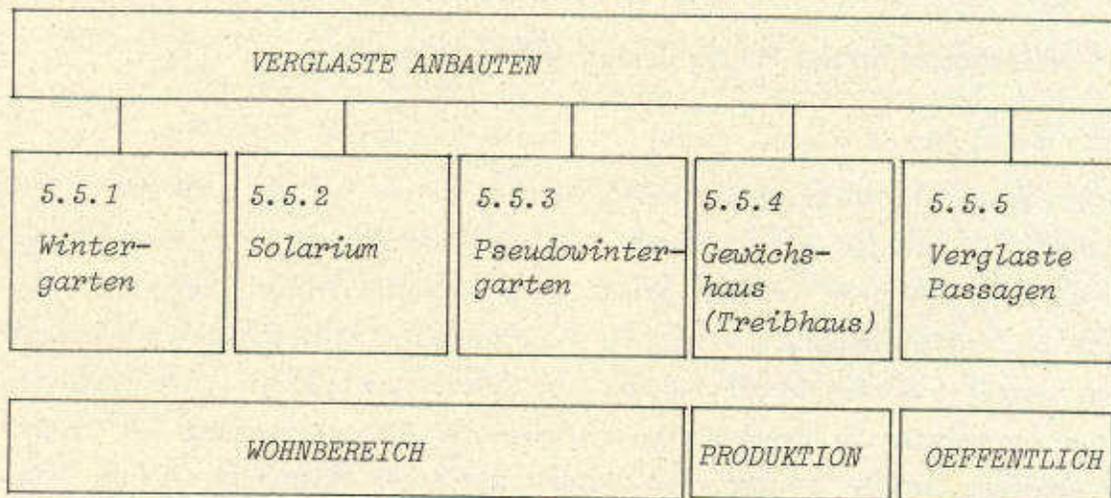
5.5 Das Wintergartenkonzept

In den Jahren unmittelbar nach der Ölkrise von 1973 wurde zunächst der Ruf nach besserer Wärmedämmung laut. Verglasungen, mit ihrem schlechten k-Wert wurden kritisch bewertet und zurückhaltend eingesetzt. Erst vor wenigen Jahren haben eigentliche Sonnenhäuser im In- und Ausland den Baustoff Glas in energetischer Hinsicht rehabilitiert: Der Treibhauseffekt wurde für den Wohnungsbau entdeckt und Bauherren

wie Architekten nahmen mit ihrer Faszination von Glasbauten einen Faden wieder auf, der bis tief ins 19. Jahrhundert zurückreicht. Das populärste und auffälligste Element dieser "Sonnenhausbewegung" ist der sogenannte Wintergarten, der in unzähligen Varianten landauf landab verwirklicht wird.

Aus energetischer Sicht muss bemerkt werden, dass es "den Wintergarten" nicht gibt: die Spanne reicht von Glasanbauten, die den Heizenergiebedarf des Hauses merklich verringern, bis zu Konstruktionen, welche einen erheblichen Mehrverbrauch an Heizenergie bewirken. Es soll an dieser Stelle daher der Versuch gemacht werden, die Begriffe und Konstruktionsvarianten typologisch zu ordnen.

Unter dem Sammelbegriff "Verglaste Anbauten" lassen sich fünf Kategorien bilden, die sich in erster Linie durch ihre Nutzung und in zweiter Linie durch Form und Konstruktion unterscheiden, und die dadurch auch aus energetischer Sicht unterschiedlich zu bewerten sind.



5.5.1 Der Wintergarten

Die Erwartungen, die in der Regel mit einem Wintergarten verknüpft werden, lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

- Ein lichtdurchfluteter, immergrüner Garten, der an mindestens 300 Tagen im Jahr ein Klima aufweist, in welchem man sich aufhalten kann (wohnen, spielen, arbeiten usw.).
- Er soll (durch den Treibhauseffekt der Verglasung) die Heizkosten des Gebäudes reduzieren.
- Oft sollen auch noch Nutzpflanzen für den Eigengebrauch darin wachsen.

Zahlreiche Architekten haben inzwischen auch in der Schweiz bewiesen, dass fast paradiesische Wintergärten realisierbar sind. Allerdings müssen einige Grundsätze beim Bau und Betrieb des Wintergartens beachtet werden, und der energetische Nutzen muss nüchtern beurteilt werden.

5.5.1.1 Heizenergie für das Haus aus dem Wintergarten?

Die Temperatur im Wintergarten darf in einem weiten Bereich schwanken: Sie soll nicht über 30°C steigen (Behaglichkeit, Pflanzen) und sie soll nicht unter 5°C fallen, damit die Pflanzen nicht zugrunde gehen. Wenn an kalten trüben Tagen und in kalten Nächten die Aussentemperatur erheblich unter diese 5°C fällt, muss dem Wintergarten Wärme zugeführt werden. In der meisten Zeit während der ganzen Heizperiode bewegt sich die Temperatur im Wintergarten zwischen der Raumtemperatur (20°C) und der Aussentemperatur: Der Wintergarten drosselt somit den Wärmeabfluss durch die dahinterliegende Wand bzw. das dahinterliegende Fenster. Nur während eines Teils der eigentlichen Sonnenstunden, also während 5 bis maximal 10% der gesamten Heizstunden, steigt die Temperatur im Wintergarten auf über 20°C . Nur in dieser Zeit kann ein Wärmegewinn für das Haus erfolgen: Zum grössten Teil als Warmluft, die dem Haus zugeführt werden kann und in bescheidenem Umfang durch Umkehrung des Wärmeflusses in Wand und Fenster. Allerdings ist dieser Gewinn von zweifelhaftem Wert, da er unmittelbar bei Sonnenschein als Raumwärme wirksam wird, wenn das Haus ohnehin genügend Wärme infolge Sonneneinstrahlung durch die Fenster erhält. Die Wärme der Wintergartenluft kann nur minimal sekundär abgespeichert werden.

Die Gebäudehülle, als Grenze zwischen Wohnraum und Wintergarten, kann transparent oder opak ausgeführt werden:

- Die verglaste Abtrennung des Wintergartens sollte zweiseibig sein. Der Wintergarten selbst kann dann als dritte bzw. als dritte und vierte Scheibe des Direkt-Gewinn-Systems der Einstrahlung durch die Fenster aufgefasst werden. Energetisch ist dies eine leichte Verschlechterung gegenüber der Variante, die zusätzlichen Scheiben direkt in der Fensterebene zu integrieren (grössere Oberfläche, Beschattung durch die Wintergartenkonstruktion).
- Die Rückwand des Wintergartens legt den Gedanken nahe, sie als Massenspeicherwand mit Absorberoberfläche (dunkel) auszuführen. Leider ist auch bei doppelter Verglasung des Wintergartens in schweizerischen Klimaverhältnissen die Bilanz zwischen Gewinn und Verlust negativ. Sobald der resultierende Wärmestrom aber vom Wohnraum zum Wintergarten gerichtet ist, sollte dieser Wärmestrom mittels Wärmedämmung möglichst stark vermindert werden. Allerdings steigt damit die Anzahl Tage, an welchen die Temperatur im Wintergarten unter 5°C fällt und er beheizt werden muss.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Rückwand gut isoliert werden sollte und sie in energetischer Hinsicht deswegen auch nicht viel vom Wintergarten "merkt". Die verglasten Partien der Rückwand funktionieren als Direkt Einstrahlungssystem mit leicht vermindertem Wirkungsgrad und bei Sonnenschein kann in bescheidenem Umfang Warmluft aus dem Wintergarten bezogen werden. Dieser energetische Nutzen wird durch die Notwendigkeit, dem Wintergarten in der kältesten Zeit Wärme zuzuführen, auch bei gut konzipierten Wintergärten fast wieder aufgehoben. Dabei kommt es nicht darauf an, ob im Wintergarten eigens eine Heizung installiert ist, oder ob die Wärme über den schlechten k-Wert der Rückwand dem Wintergarten zugeführt wird.

Der Wert des Wintergartens als Wärmelieferant für das Gebäude ist minimal. Sein Wert als (transparente) Zusatzisolation im Fassadenbereich, den er abdeckt, ist erheblich. Sein wahrer Wert aber liegt darin, dass er ein während 300 Tagen im Jahr benutzbarer, unbeheizter Raum von reizvoller Schönheit ist. Es muss betont werden, dass der hier beschriebene 5°C -Wintergarten einem sogenannten Kalthaus für die Pflanzen entspricht: geeignete immergrüne Pflanzen können bei dieser Temperatur überwintert werden (Pflanzen in "Halbschlafphase"). Der Heizenergiebedarf dürfte sich bei einem zweiseibigen Wintergarten von 20 bis 30 m^2 Grösse auf einige Dutzend kWh beschränken. Wenn die Temperaturlimite von 5°C eingehalten wird, ist es möglich, eine vielfältige Subtropenflora im Wintergarten einzurichten. Selbstverständlich kann man sich auch auf Pflanzen beschränken, die vereinzelte leichte Frostnächte unbeschadet überstehen oder sogar völlig "winterhart" sind. Im Normalfall entsprechen solche Pflanzengesellschaften aber nicht mehr den Vorstellungen der Wintergartenbenutzer.

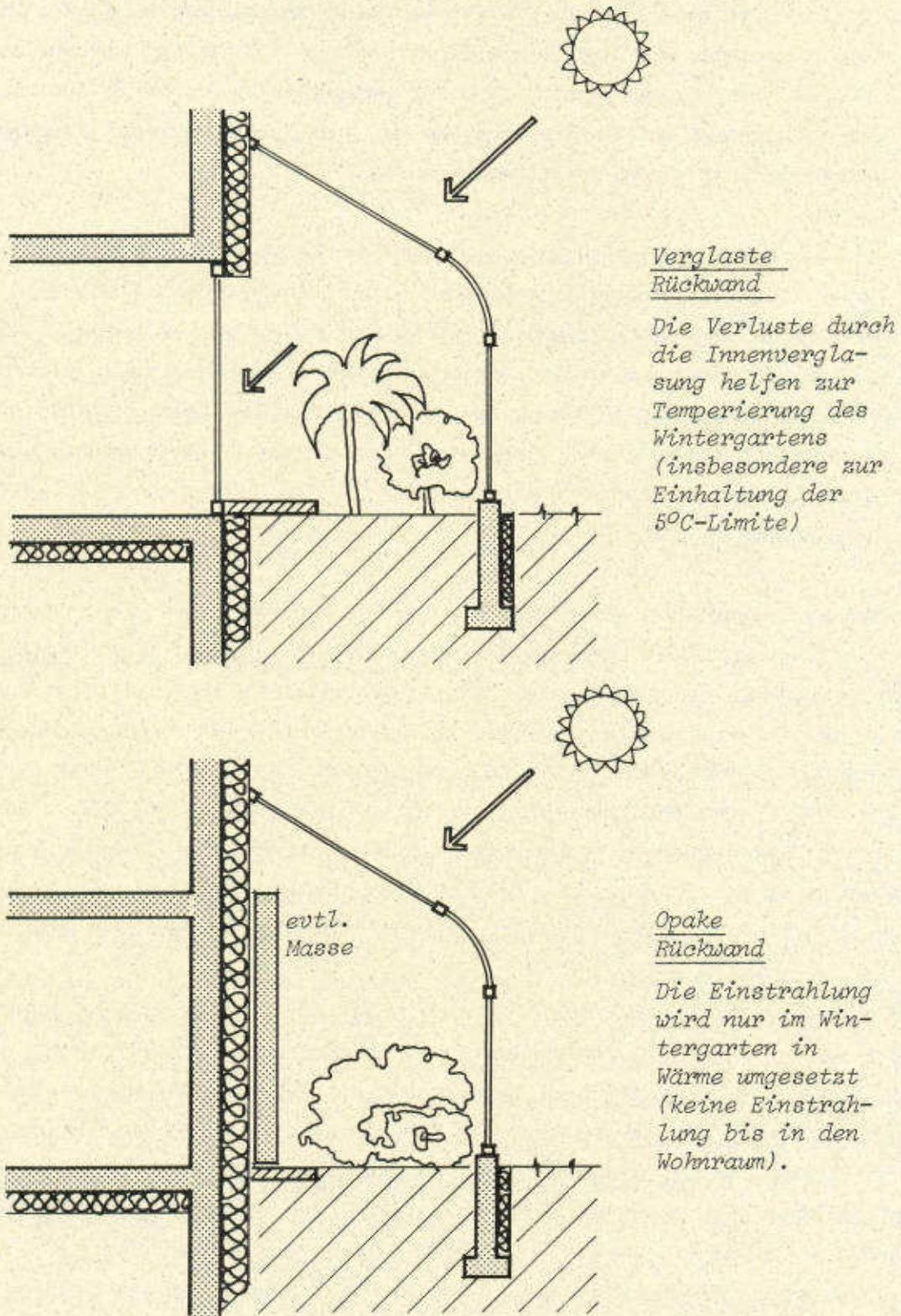


Abb. 5-28:

Die verglaste Trennung zwischen Wintergarten und Wohnraum ist (im Rahmen des ungefähren optimalen Südfensterflächenanteils) eine gute Lösung, sowohl thermisch wie auch wegen des Ausblicks auf den Wintergarten.

Sobald aber Pflanzen gewählt werden, die sich nur im temperierten Haus wohlfühlen (8 bis 12⁰C), steigt der Heizenergiebedarf stark an und kann nicht mehr vernachlässigt werden. Der temperierte Wintergarten ist ebenso wie das eigentliche Tropenhaus (20⁰C) als energieintensives Hobby nicht Thema dieser Publikation.

5.5.1.2 Gartennutzung und Wohnnutzung am gleichen Ort

In einen Wintergarten, wie er hier definiert wurde, gehören mehr als nur Topfpflanzen, wie sie in jeder Stube auch gehalten werden können. Die enge Koppelung des Wohnens mit dem Garten birgt aber einige Aspekte, deren man sich im allgemeinen wenig bewusst ist:

- Aufbau und Pflege der Pflanzenwelt im Wintergarten erfordert Interesse, Talent und ein gewisses Mass an gärtnerischem Sachverstand. Wer den Traum vom immergrünen subtropischen Wintergarten ohne diese Voraussetzungen angeht, hat grosse Chancen, enttäuscht zu werden. Wer sich in diese Thematik einarbeiten möchte, dem seien vor allem Lit. 8,9 und 10 empfohlen, die detaillierte Angaben (bis zur Beschreibung der tauglichen Pflanzen) enthalten.
- Im Wintergarten ist mit hoher Feuchtigkeit zu rechnen. Von vielen Liebhabern wird gerade die Luftqualität im Wintergarten und damit auch in den angrenzenden Wohnräumen) besonders gelobt. Im Wintergarten selbst sollte aber mit zeitweise auftretendem Oberflächenkondensat, das z.T. eben auch abtropft, gerechnet werden. Eine Polstermöbel/Teppich Wohnidee verträgt sich daher schlecht mit dem Wintergartenklima.
- Die Pflanzenwelt im Wintergarten bringt auch eine Kleintierwelt mit sich, die nicht ausschliesslich aus lieblichen Schmetterlingen besteht.

5.5.1.3 Energetische Optimierung des Wintergartens

Der Wintergarten wird als Wärmelieferant für das Haus in mitteleuropäischen Klimata nie grosse Bedeutung erlangen. Hingegen ist es wichtig, das thermische Verhalten des Wintergartens selbst zu optimieren, um einerseits möglichst wenig Heizwärme zur Einhaltung der 5°C -Limite zu brauchen und um andererseits den Wintergarten möglichst lange für Wohnzwecke nutzen zu können. Das thermische Geschehen im Wintergarten hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, unter anderem von den jeweils gesetzten Rahmenbedingungen (zugelassene Minimal- und Maximaltemperaturen, minimaler Luftwechsel usw.), so dass die Optimierungsvoraussetzungen von Fall zu Fall verschieden sind. Einige Grundsätze lassen sich aber trotzdem formulieren:

- Aus energetischer Sicht sollte nur die Südseite verglast werden. Ost-, West- und Nordseite sollten gut wärmegeklämt sein (und womöglich die Trennwand zum Gebäude bilden).

Dies führt zu thermisch optimalen Formen, wo die transparente Fläche möglichst

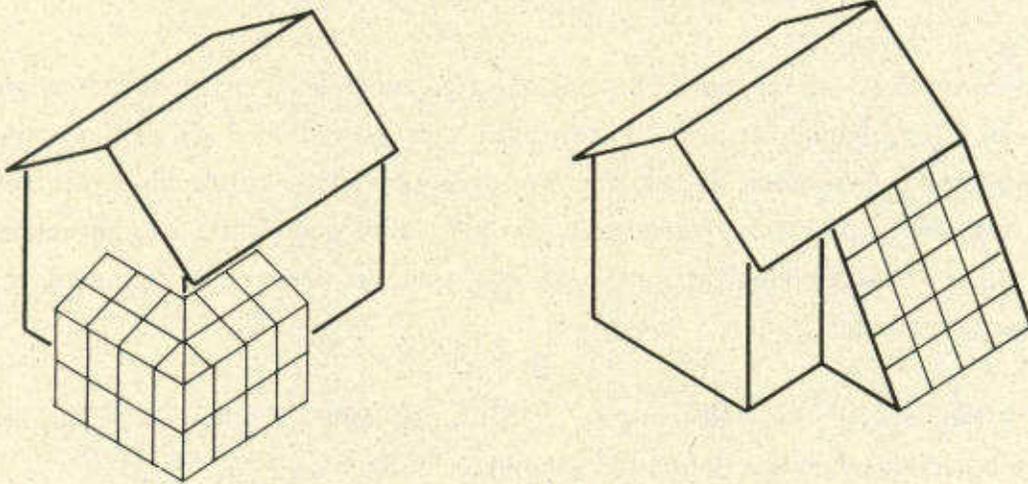


Abb. 5-29:

Form und Glasflächenanteil als bestimmende Faktoren für das thermische Verhalten des Wintergartens.

gerade (kleinste Oberfläche) der Sonne im Winkel von 45 bis 60 Grad Steilheit zu geneigt ist, und alle anderen Grenzflächen möglichst gut isoliert sind (Abb. 5-29, rechte Seite). Architektonische, nutzungsmässige und ästhetische Aspekte lassen oft Formen entstehen, die bei gleichem Einstrahlungsnutzen eine wesentlich vergrösserte auskühlende Oberfläche aufweisen (Abb. 5-29, linke Seite).

- Einfach verglaste Wintergärten brauchen stattliche Mengen an Fremdenergie, um ohne Schäden an der Bepflanzung über den Winter zu kommen, und sind in den strengen Wintermonaten auch nur sehr eingeschränkt zu Wohnzwecken zu gebrauchen. Für einen echten Wintergarten drängt sich eine doppelte Verglasung daher auf, obwohl dies natürlich wesentlich aufwendiger und teurer ist.
- Im Wintergarten sollte genügend Masse vorhanden sein, um das Temperaturverhalten über den 24-Stunden-Rhythmus auszugleichen. Als Speicher können schwere Bauteile wirken, wobei zusätzliche Massen z.B. in Form von Wasserkanistern oder -tonnen auf jeden Fall sinnvoll sind. Wo die Speicherelemente durch die Bepflanzung beschattet sind (häufig!), kann die Wärme nur sekundär über die warme Wintergartenluft eingespeichert werden. Die Speicherelemente sollten daher über viel Oberfläche verfügen (z.B. gestapelte, kleine Wasserkanister). Ein eigentliches Optimum an Speichermasse lässt sich nicht angeben. Es gilt: "je mehr, desto besser und wenig ist besser als nichts." Eine sinnvolle Orientierungsgrösse ist allenfalls die Einstrahlungsmenge eines Sonnentages, die bei einer Speichererwärmung von 10°C aufgenommen werden sollte. Dies führt zur Faustregel, dass pro Quadratmeter Südverglasung 120 bis 150 Liter Wasser oder 400 bis 500 kg Steinmaterialien eingebaut werden müssten. Entgegen den schematischen Skizzen in Abb. 5-28 bietet sich als Wintergartenrückwand eine zweisechalige isolierte Konstruktion an, so dass zumindest ein Teil des Wandmauerwerks als Speicher im Wintergarten wirksam werden kann.
- Ein Nachtwärmeschutz der Verglasung wäre an sich wünschbar. Die bis heute gezeigten Lösungen sind aber bedienungsaufwendig und wenig dauerhaft oder dann unverhältnismässig teuer.
- Oberflächenkondenswasser ist eine Erscheinung, mit der man sich temporär auch im doppelt verglasten Wintergarten abfinden sollte. Durch sorgfältige Detailplanung und Materialwahl kann zumindest darauf geachtet werden, dass keine extremen Wärmebrücken entstehen. Zwei ab und zu eingesetzte Lösungen müssen hier besprochen werden, weil beide sich energetisch sehr negativ auswirken:

- Durch Beheizung des Wintergartens, insbesondere durch Konvektoren an der Glasbasis kann natürlich die innere Glasoberflächentemperatur angehoben werden, womit das Kondensationsrisiko verkleinert wird. Die Beheizung des Wintergartens bzw. der Verglasung ist aber ein energetisches Fass ohne Boden.
- Durch gezielt eingebaute Luftundichtigkeit der Verglasung (z.B. ein durchgehender Spalt von einigen mm Breite zwischen Wand und Dachverglasung des Wintergartens) wird der Luftwechsel dermassen erhöht, dass die Feuchtigkeit im Wintergarten gar nie sehr hoch steigt, was wiederum das Kondensationsrisiko drastisch senkt. Gleichzeitig aber wird der Wintergarten energetisch gründlich entwertet.

5.5.1.4 Konstruktion und Materialien

Für den Baufachmann wie für den Heimwerker besteht heute eine reiche Literatur mit Anleitungen zur Konstruktion von Wintergärten und auch die Materialproduzenten (Glas und transparente Kunststoffe) stellen detaillierte Konstruktionsgrundlagen zur Verfügung, die hier nicht wiederholt werden sollen. Hier soll das Augenmerk auf einige übergeordnete Aspekte gelenkt werden, die durch Material- und Systemwahl beeinflusst werden. Im Vordergrund stehen dabei natürlich die transparenten Materialien:

● Glas.

Beeinflusst von den Gewächshäusern des Erwerbsgartenbaus werden recht häufig einfachverglaste Wintergärten gebaut. Auch wenn viel Speichermasse eingebaut wird, muss dem Wintergarten aber erheblich mehr Heizwärme zugeführt werden (5°C - Limite) als er dem Haus als vorgelagerter Pufferraum einspart.

Im Normalfall dürfte für Wintergärten (mit immergrüner Dauerbepflanzung) die konventionelle zweiseibige Isolierverglasung adäquat sein. Doppelverglasungen (zwei einzelne Scheiben) sind aus Kondensat- und Verschmutzungsgründen nicht zu empfehlen.

Es sind heute im Handel IR-verspiegelte Gläser erhältlich, deren Schicht widerstandsfähig genug ist, dass sie als Einfachgläser (vor allem im Erwerbsgartenbau) eingesetzt werden können (z.B. Hortipus). Diese Gläser sind erfreulich farbneutral und auch die beschichtete Seite kann gereinigt werden. Für

Gewächshäuser dürfte diese Verglasungsart energetisch sehr interessant sein, weil die zweischiebige Verglasung aus Kostengründen kaum in Frage kommt und weil nicht die Raumtemperatur, sondern Wachstumsfaktoren (z.B. Blattoberflächentemperaturen) positiv beeinflusst werden sollen, was mit Temperaturstrahlungsverspiegelung sehr direkt geschehen kann. Allerdings: Eine (nicht unwahrscheinliche) Kondenswasserschicht hebt die Verspiegelungswirkung der Reflexions-schicht auf. Da der (parallelgeschaltete) konvektive Wärmeübergang an der beschichteten Oberfläche weiterhin unverändert bleibt, nützt die Verspiegelung einer Einfachverglasung wesentlich weniger, als eine Verspiegelung im konvektiv ruhigestellten Isolierglaszwischenraum. Für die Wintergarten-Nutzung, wo grundsätzlich die zweischiebige Verglasung ins Auge gefasst werden kann, dürfte die verspiegelte Einfachverglasung nicht sehr bedeutungsvoll werden. Wenn man die Nachteile der IR-Verspiegelung in Kauf nimmt (leichte Tönung, leicht erhöhte Spiegelung auch im sichtbaren Bereich), wird man sich besser für die energetisch ausgezeichnete, zweischiebige Wärmeschutzverglasung entscheiden (z.B. Comfort). Glas wird durch seine hervorragenden materialtechnischen Eigenschaften (Witterungsbeständigkeit, Dauerhaftigkeit, Kratzfestigkeit, Unbrennbarkeit, Farbneutralität, verzerrungsfreie Durchsicht usw.) immer ein erstrangiges Baumaterial für transparente Bauteile bleiben, insbesondere im Wohnungsbau. Der einzige wesentliche Nachteil des Glases, seine Bruchempfindlichkeit, führt allerdings beim Wintergarten zu speziellen Anforderungen: Transparente Dachflächen sollten aus Drahtglas (untere Scheibe) gefertigt sein. Wo klare Durchsicht auch nach oben erwünscht ist, kann auch (teures) Verbundglas eingesetzt werden. Je stärker der Wintergarten in die Wohnnutzung einbezogen ist, desto dringlicher sollte jedenfalls dieser Sicherheitsaspekt bedacht werden.

● **Transparente Kunststoffplatten.**

Transparente Platten lassen sich aus verschiedenen Kunststoffen herstellen. Für die Nutzung am Bau eignen sich aber vor allem Acrylglas (PMMA) und Polycarbonat (PC), die bei relativ günstigen Preisen eine gute Alterungsstabilität aufweisen (hohe UV-Resistenz). Trotzdem muss mit einer gegenüber Glas kürzeren Lebensdauer gerechnet werden. Ausserdem sind sie weniger kratzfest und neigen zu elektrostatisch bedingter Verschmutzung. Oftmals sind sie auch aus brandschutztechnischen Gründen nicht zugelassen. Die Vorteile gegenüber Glas liegen auf drei Ebenen:

- Kunststoffplatten können auf einfache Weise geformt werden. Selbst Doppel- und Tripelstegplatten können gebogen oder in komplizierte Formen gepresst werden (PC).
- Die hohe Schlagzähigkeit (insbesondere von PC) macht risikofreie transparente Dachelemente möglich.

- Das geringe Gewicht erlaubt billige, leichte Tragkonstruktionen auch bei Doppel- und Tripelstegplatten. (Mit dem geringen Gewicht wird allerdings auch die Schallabschirmung minimal.)

Im Wintergarten wird zweifellos grossen Wert darauf gelegt, unverzerrten Ausblick zumindest in der Hauptorientierung geniessen zu können. Die Isolierverglasung wird hier kaum durch zwei plane Acrylglasplatten ersetzt werden. Im Dachbereich kann eine gewisse Lichtstreuung hingegen sogar erwünscht sein. Doppel- oder Tripelstegplatten ermöglichen, derart in Mischbauweise eingesetzt, eine relativ kostengünstige Leichtkonstruktion.

Detaillierte Angaben über die materialtechnischen und optischen Eigenschaften von transparenten Kunststoffen (und Glas) sind in Lit. 34 und 35 gegeben.

● Kunststofffolien.

Transparente Folien sind leicht und relativ billig. Ihre Einsatzmöglichkeiten sind aber angesichts des in der Schweiz üblichen Baustandards begrenzt und sollten, wo sie nicht hermetisch in ein Kollektorsystem integriert sind, nur eingesetzt werden, wo auf ein Minimum an Heimwerker-Enthusiasmus beim Bewohner abgestellt werden kann. Auch die verhältnismässig dauerhaften Folien (Mylar, Tedlar, Teflon) werden mit Vorteil als Zusatzschicht unter der Verglasung eingesetzt, wo vor allem die Belastung durch UV wesentlich geringer ist.

Als Unterspannbahn wird oft die billige Polyäthylen-(PE)-Folie eingesetzt. Der sogenannte Bauplastik ist allerdings sehr empfindlich auf UV-Strahlung und hält auch unter der Verglasung montiert allenfalls zwei Jahre. UV-stabilisierte PE-Folien, wie sie im Erwerbsgartenbau eingesetzt werden, halten vielleicht doppelt so lange. Auch wer temporär oder permanent PE-Bläschenfolie als Unterspannbahn einsetzt, sollte ein UV-stabilisiertes Produkt einsetzen (Gartenfolie, nicht Verpackungsfolie). PE-Folien sind fast das einzige transparente Baumaterial, das ausser für Globalstrahlung auch für die langwellige Temperaturstrahlung weitgehend durchlässig ist. Das bedeutet aber, dass der "Treibhauseffekt" nur sehr reduziert auftritt. Die Wirksamkeit von PE-Folien liegt daher vor allem bei der Verminderung des konvektiven Wärmeübergangs. Es ist deshalb besonders wichtig, dass die Folien dicht angeschlossen sind.

Bezüglich der Tragkonstruktion geht es im wesentlichen um den Entscheid, ob Holz oder Metall eingesetzt werden soll. Dazu einige Anmerkungen:

- Aus energetischer Sicht ist es gleichgültig, ob Holz oder Metall gewählt wird. Holz ist besser wärmedämmend, behindert aber wegen der dickeren Profile die Einstrahlung mehr. Die Beeinflussung des Temperaturverhaltens dürfte sowohl für die Be-

nützbarkeit des Wintergartens, und erst recht für den Heizenergieverbrauch des Hauses, unmerklich sein.

- Es werden heute vom Gartenbau her ausgeklügelte metallische Profilsysteme für einfache Wintergärten für praktisch alle Arten von Einfach- und Doppeldeckungen mit Glas oder Kunststoffplatten angeboten. Immer mehr werden auch ganze Wintergarten-Module angeboten, die schnell und einfach zum erwünschten, form-schönen Wintergarten führen. Trotzdem ist es aber keineswegs ausgeschlossen, dass der lokale Schlosser eine konkurrenzfähige Offerte anzubieten hat. Bei all diesen Konstruktionen sollte man sich im klaren sein, dass es sich um Billigkonstruktionen handelt, die hinsichtlich dauernder Schlagregendichtigkeit und Oberflächenkondensat eine gewisse Toleranz und auch die Bereitschaft zu dauernden kleinen Unterhalts-, Reinigungs- und evtl. Abdichtungsarbeiten erforderlich machen. Wer einen "problemlosen" Wintergarten will, wo auch die Oeffnungen im Dachbereich perfekt schliessen, wird sich für ein System entschliessen müssen, das sich an den Konstruktionsgrundsätzen des Metallfassadenbaus orientiert und entsprechend teuer ist.
- Holz ist als Traggerüst des Wintergartens stark beansprucht durch die hohe Luftfeuchtigkeit, die wechselnden Temperaturen und die Bestrahlung. Die beiden Konsequenzen die aus dieser Situation am häufigsten gezogen werden, müssen allerdings mit einem grossen Fragezeichen versehen werden:
 - Der Einsatz tropischer Harthölzer ist ökologisch bedenklich. Die Tropenwälder sind zu einem wesentlichen Teil wegen der Nachfrage nach Edelhölzern gefährdet.
 - Der Einsatz von bioziden Holzschutzmitteln im Wintergarten ist aus Gründen der Gesundheitsgefährdung abzulehnen.

Trotzdem kann Holz ohne weiteres als Konstruktionsmaterial verwendet werden. Nichtbiozide Holzschutzbehandlungen reichen durchaus (in Lit. 6 und 36 sind Möglichkeiten und Produkte angegeben. Allerdings braucht die Konstruktion eine periodische Kontrolle und Wartung.

- Art und Material der Tragkonstruktion bestimmen zusammen mit Form und Anordnung des Wintergartens den architektonischen Ausdruck: Metallkonstruktionen wirken als leichte Annexbauten ausserhalb des Hauses, während die dickere Holzkonstruktion tendenziell eher als integrierter Hausteil erscheint, der die Form des Hauses mitprägt.

- Nebst Eigengewicht und Winddruck muss vor allem auch an die beträchtlichen Schneelasten gedacht werden, mit denen in unseren Klimata bei Dachneigungen unter 60 Grad gerechnet werden muss. Ausländische Fertigsysteme und Bauanleitungen sollten auf diesen Aspekt hin geprüft werden.

5.5.15 Sommerlicher Wärmeschutz

Im Gegensatz zum vertikalen Südfenster, das durch die sommerliche Sonnenbahnhöhe kaum Ueberhitzungsprobleme verursacht, kann ein Wintergarten mit seinen geneigten und ost-/westorientierten Glasflächen mit der Sonneneinstrahlung im Sommer ohne weiteres auf 40 bis 50⁰C geheizt werden. Das Problem ist allerdings einfach lösbar: Grosszügig bemessene Klappen oder Fenster, die eine Querlüftung erlauben, genügen bereits. Allerdings sollte die Querlüftung von unten nach oben erfolgen können. Die Warmluft sollte im oberen Bereich des Wintergartens Oeffnungen von ca. 5% der Wintergartennutzfläche vorfinden und im unteren Bereich sollte Frischluft nachfliessen können (Klappen, Türe).

Um den Wintergarten auch im Sommer benutzbar zu halten ist es sinnvoll Beschattungsvorrichtungen vorzusehen (innenmontierte helle Stoffrollos, konventionelle ausenliegende Gewächshaus-Jalousien und dergleichen mehr). Je nach Bepflanzung muss auch zu deren Schutz beschattet werden können.

5.5.2 Das Solarium

Der Wintergarten soll seinem Namen gemäss in der kalten Jahreszeit eine der Wohnung zugehörige Grünfläche sein. Aus energetischer Sicht hat dies zur Folge, dass Wärme aus dem Haus geliefert werden muss, damit die Temperatur nie unter 5⁰C fällt. (Wenn eigentliche Tropenpflanzen gehalten werden, liegt diese Limite noch wesentlich

höher.) Von diesem Glasbautypus sollte, zumindest aus energetischer Sicht, der verglaste, südorientierte Pufferraum unterschieden werden. Ein derartiger Pufferraum, der hier Solarium genannt sein soll, kennzeichnet sich dadurch, dass er grundsätzlich nicht beheizt wird und auch vom dahinterliegenden Raum möglichst wenig Wärme infolge Transmissions- oder Lüftungswärmeverluste erhalten soll. Im Solarium werden Topfpflanzen gehalten, die bei Frostgefahr an die Wärme gezügelt werden (oder frostbeständig sind).

Grundsätzlich gelten für das Solarium die gleichen Ueberlegungen, wie sie für den Wintergarten im vorhergehenden Abschnitt ausführlich dargestellt wurden. Mit dem einen Unterschied, dass Solarien energetisch höher einzustufen sind, als Wintergärten, weil keine Minimaltemperatur-Heizung nötig ist. Wie der Wintergarten, ist auch das Solarium bis zu 300 Tage pro Jahr voll nutzbar (die Minimalheizung des Wintergartens verlängert die Periode der Bewohnbarkeit nicht, weil sie ja nur auf z.B. 5°C temperiert). Das Solarium ist also als energetisch autonomer Raum mit leicht eingeschränkter Nutzungsdauer sehr hoch einzuschätzen. Als Wärmelieferant für das dahinterliegende Haus taugt aber auch das Solarium in unseren Breitengraden wenig. Das Solarium kann als wirksame Wärmedämm-Massnahme für die dahinterliegende Fassadenpartie betrachtet werden. Anstatt einer leistungsfähigen Fassadenisolation (10 cm Dämmstoff bzw. Fenster mit Wärmeschutzverglasung) kann ein angebautes Solarium bei günstigen Voraussetzungen (Besonnung) den gleichen Dämmeffekt bewirken (zweischeibiges Solarium, südorientiert).

Verglaste Veranden (im Neubau eingeplant oder als nachträgliche Verglasung bestehender Balkone ausgeführt) gehören meist zum Typus Solarium. Als energetisch ungefähr gleichwertige Variante zur Fassadendämmung, sind Veranden in aller Regel mit wesentlich höheren Kosten verbunden. Diese Mehrkosten lassen sich durch den Nutzwert der verglasten Veranda rechtfertigen. Ausserdem können mit einer nachträglichen Fassadenverglasung Wärmebrücken entschärft werden (z.B. die auskragenden Betonplatten) für die sonst nur aufwendige Kompromisslösungen gefunden werden könnten.

Die Unterscheidung zwischen Wintergarten und Solarium, die hier aus energetischen Gründen getroffen wurde, resultiert also nicht aus formalen oder technisch-konstruktiven Unterschieden, sondern aus Abweichungen im Betrieb und in der Benutzung des gläsernen Anbaus. Mit dieser Unterscheidung soll verdeutlicht werden, dass Glasbauten sich energetisch sehr unterschiedlich verhalten können, je nach Nutzung.

Für Solarien kann eine Einfachverglasung sehr wohl in Betracht gezogen werden, da

ihnen auch in diesem Fall keine Heizwärme zugeführt wird. Bei einfach verglasten Solarien wird der k-Wert zwischen Gebäude und Solarium allerdings wieder wichtiger: er sollte möglichst tief sein, da der resultierende Wärmestrom in dieser Wand doch deutlich zu Lasten der Raumwärme erfolgt.

5.5.3 Der Pseudowintergarten

Verglaste Elemente verschiedenster Art bereichern heute die Palette der architektonischen Gestaltungsmöglichkeiten (Oblichtbänder, verglaste Gebäudedecken usw.). Sehr häufig ist der Pseudowintergarten anzutreffen, der formal-äusserlich einem Anlehn-Wintergarten entspricht, nutzungsmässig aber eine offene Erweiterung des Wohnraumes darstellt (Abb. 5-28). Dieser Typus von Glasanbau bietet zweifellos die Mög-

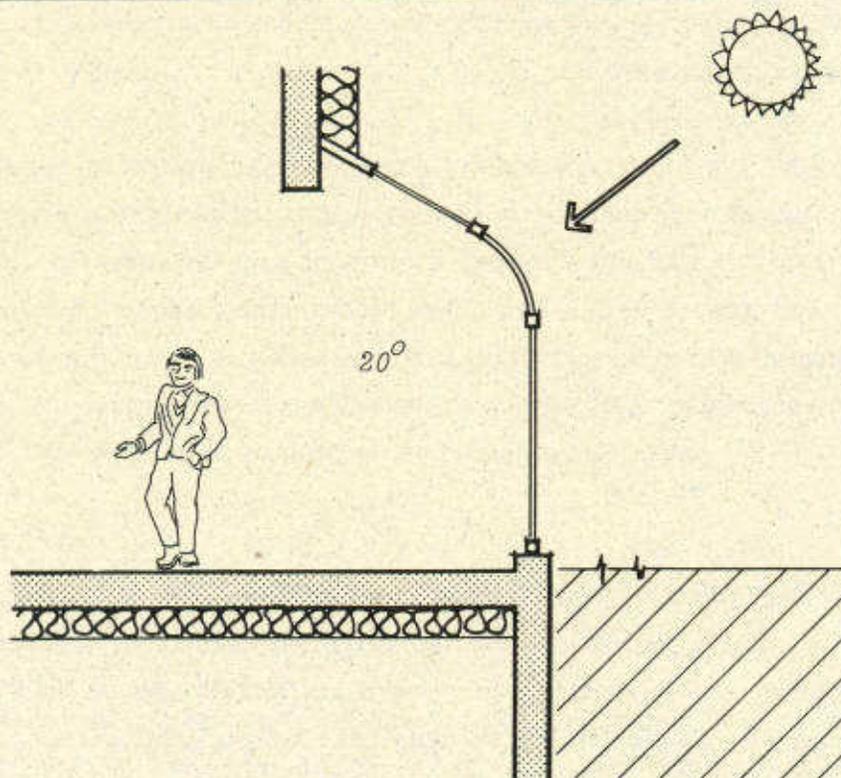


Abb. 5-30:

Der Pseudowintergarten (Schemaschnitt)

lichkeit, reizvolle Räume zu schaffen und tatsächlich trifft man ihn sowohl im Wohnungsbau wie im öffentlichen Bereich (z.B. Restaurants) immer häufiger an. Aus energetischer Sicht muss allerdings bemerkt werden, dass es sich nicht um einen Wintergarten handelt, sondern um einen Pseudowintergarten, den man auch als Glas-Erker bezeichnen könnte. Es handelt sich aus energetischer Sicht also eigentlich um ein schlecht konzipiertes Direkt-Gewinn-System (Einstrahlung durch das Fenster):

- Der Pseudowintergarten ist auf volle Nutzungstemperatur beheizt (20°C). Meist ist sogar eine erhöhte Heizleistung erforderlich, damit am Glas und an der Rahmenkonstruktion kein Kondensat entsteht und für den Benutzer nachts die geringe Temperatureinstrahlung von der Glasoberfläche her kompensiert werden kann.
- Die Einfallsöffnung für die Sonnenstrahlung (Mauerlichtmass der Oeffnung) ist mit einer sehr grossen, wärmetechnisch schlechten, Glashülle abgedeckt. Das vertikale Fenster als Alternative, liesse die gleich Menge an Strahlung eintreten, bei wesentlich geringerer Auskühl-Oberfläche.
- Auch ein südorientierter Pseudowintergarten weist häufig west- und ostseitig verglaste Seitenwände auf, deren Energiebilanz ohnehin nicht sehr gut ist. Je grösser diese Ost-/Westanteile sind, desto negativer muss die (energetische) Beurteilung ausfallen.
- Während beim vertikalen Südfenster wegen der Sonnenelevation im Sommer geringe Einstrahlungsmengen eintreffen, erfordern die schrägen und ost-/westorientierten Dachflächen einen einwandfreien Sonnenschutz, damit nicht die Behaglichkeit stark vermindert wird, bzw. eine Klimatisierungsnotwendigkeit geschaffen wird. Oeffnungsklappen wie beim Wintergarten und Solarium sind bei Pseudowintergärten wenig geeignet, weil sie Durchzug ins ganze Haus bringen.
- Der Pseudowintergarten wirkt als Teil der unmittelbaren Gebäudehülle um den vollbenutzten und beheizten Raum. Dies stellt hohe Anforderungen an die Qualität der Bauteile hinsichtlich Stabilität, k-Wert, Dichtigkeit, Dauerhaftigkeit und Aesthetik. So sollte zum Beispiel wenn möglich Dreifachverglasung oder eine zweischeibige Wärmeschutzverglasung gewählt werden. Insgesamt wird der Pseudowintergarten dadurch zu einem teuren Bauelement.

5.5.4 Gewächshaus und Treibhaus

Oft werden Glasanbauten an Wohngebäuden als Gewächshäuser oder Treibhäuser bezeichnet. Streng genommen sind die Begriffe allerdings genau definiert und bezeichnen Glashaustypen des Erwerbs-Gartenbaus (wobei natürlich auch ein Hobbygärtner eine Pflanzenproduktion im eigenen Gewächshaus betreiben kann). Mit Hilfe eben des "Treibhauseffekts" der Sonnenstrahlung und nicht unerheblichen Mengen an Heizenergie wird Gartenbau betrieben. Je nach Pflanzung muss dabei mit sehr unterschiedlichem Heizenergieverbrauch gerechnet werden. Man unterscheidet demgemäss auch Ueberwinterungshäuser (1 bis 3⁰C), Kalthäuser (5 bis 10⁰C), temperierte Häuser (12 bis 18⁰C) und Warmhäuser (18 bis 30⁰C). Zum Thema Gewächshäuser existiert eine sehr detaillierte Literatur (z.B. lit. 34 und 35), in welcher auch die energetische Optimierung einen gebührenden Platz einnimmt. An dieser Stelle interessieren nur diejenigen Aspekte, die auch auf den dem Wohnbereich zugeordneten Wintergarten oder das Solarium zutreffen. Viele der vorgängig zusammengestellten Informationen stammen tatsächlich aus dieser Quelle. Oft wird aber doch etwas zu unbedacht eine eigentliche Gewächshauskonstruktion als Wintergarten eingesetzt, was zu Problemen führen kann:

- Im Gewächshaus gehören Undichtigkeiten und vereinzelt sogar abtropfendes Kondenswasser zum Normalbetrieb. Dies entspricht vielfach nicht den (Wohn-)Vorstellungen des Wintergartenbenützers.
- Im Gewächshaus werden Wachstumsfaktoren optimiert. Dies läuft nur bedingt parallel zur Nutzungsoptimierung des Wintergartens.

5.5.5 Verglaste Passagen und Hallen

"Parallel zum Gewächshaus entwickelte sich im 19. Jahrhundert ein Bautyp, der eben falls die industrielle Fertigung eiserner Walzprofile und von Glasplatten zur Voraussetzung hatte: die Passage, die glasüberdeckte, dadurch wettergeschützte, auf beiden Seiten von Läden gesäumte Verbindung zwischen belebten Strassen, die dem Fussgänger vorbehalten war. Sie ist in Frankreich entstanden und diente dem in der Revo-

lution emanzipierten Bürgertum als Promenade." (Zitat aus Lit. 40). Glasüberdeckte öffentliche Räume sind weitgehend aus dem Repertoire des Städtebaus verschwunden (zum Teil abgelöst von unter dem Strassenverkehr angelegten, künstlich belichteten Einkaufspassagen). Die Idee des glasgeschützten urbanen Raums scheint aber wieder an Boden zu gewinnen. Dem Zweck dieses Buches entsprechend soll nur kurz auf die wichtigsten energetischen Aspekte eingetreten werden:

- Durch eine geschlossene transparente Abdeckung wird aus dem Aussenklima ein Innenklima, das sich vor allem durch Schutz vor Regen und milde Temperaturen auszeichnet. Das Ziel könnte denn auch schlagwortartig auf die Formel reduziert werden "250 Tage pro Jahr Strassencafé". Erfüllt wird dieses Ziel allerdings nur, wenn die permanenten Oeffnungen des Raumes relativ klein sind: reine Durchzugspassagen weisen praktisch Aussenklima auf. Bei überdeckten Räumen mit kleinen Oeffnungen muss in jedem Fall die zu erwartende lufthygienische Situation untersucht werden. Die baupolizeiliche Bewilligungspraxis ist fallbezogen. Ein ausreichender Luftwechsel sollte aber ohne mechanische Lüftungsvorrichtungen erreicht werden können. Immerhin würde eine mechanische Abluftanlage eine gute Wärmequelle für eine Wärmepumpenanlage abgeben. Der (winterliche) Luftwechsel könnte damit auch ausreichend kontrolliert werden. Der erforderliche Luftwechsel kann nicht generell genannt werden. Er hängt von den Emissionen (Tätigkeiten) im Raum ab.
- Selbstverständlich besteht eine Vielzahl von Möglichkeiten, auch glasgedeckte Hallen mit viel Energie zu betreiben. Insbesondere besteht die Tendenz zur Ganzjahres-Klimatisierung (z.B. Malls in Einkaufszentren) oder zum Abschluss von Passagen mit Warmluftvorhängen. Ich möchte mit Nachdruck betonen, dass der innenklimatische Nutzen im Winter ohne Heizung erreicht werden kann und sollte und dass dem sommerlichen Wärmeschutz durch grosszügige Oeffnungsvorrichtungen an Dach und Seitenwänden Genüge getan werden kann. Ein derart konzipierter, glasüberdeckter Raum wirkt wie der Wintergarten als Bremse auf den Wärmeabfluss aus den umliegenden, beheizten Räumen, ohne einen Eigenbedarf an Heiz- und Kühlenergie aufzuweisen.
- Gerade im Bereich der grossflächigen transparenten Ueberdeckungen dürften die transparenten Kunststoffe eine, gegenüber der Situation des 19. Jahrhunderts interessante Bereicherung darstellen. Das geringe Gewicht, auch von Doppel- und Tripelstegplatten entschärfen die Statikprobleme, die Schlagzähigkeit löst das Sicherheitsproblem ohne grosse Kosten und die gute und einfache Formbarkeit schafft neue gestalterische Möglichkeiten.

6. Deckung des Restwärmebedarfs

Für eine totale energetische Autarkie des Hauses muss in unserem Klima ein unverhältnismässig hoher Preis bezahlt werden. Die Ueberbrückung der winterlichen Schlechtwetterperioden ist nur mit enormen Speichern möglich. Bei der überwiegenden Anzahl aller Bauten geht es deshalb lediglich um die Absenkung des Verbrauchs an Endenergie auf ein bescheidenes Mass, das mit vertretbarem Aufwand erreichbar ist.

Bei energiegerechter Bauweise (gute Wärmedämmung und Berücksichtigung der wichtigsten energierelevanten Entwurfskriterien) sinkt der spezifische Heizenergieverbrauch auf eine Grössenordnung von $250 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ ab. Der spezifische Wärmeleistungsbedarf liegt dann bei etwa 25 W/m^2 (Mittelland, Wohnnutzung). Bei einer Aussentemperatur von 5° kann somit ein Raum von 20 m^2 Grösse mit lediglich 250 W auf 20° C gehalten werden. Das entspricht beispielsweise der Körperabwärme von einer Person (ca. 100 W) und zwei 70-Watt -Glühbirnen. Auch kleine innere Abwärmequellen und einfallende Sonnenstrahlung stellen in diesem System sofort erhebliche, an sich erwünschte Störungen dar. Für die Wahl der Heizung bedeutet dies aber, dass die rasche Anpassung der Heizleistung zu einer äusserst wichtigen Eigenschaft wird. Im Rahmen dieser Publikation sollen bezüglich Heiztechnik keine Lösungen angeboten, sondern auf Aspekte hingewiesen werden, die sich aus der baulichen Optimierung ergeben und die aus dieser Sicht auch die Voraussetzungen und Anforderungen an die Heizung stark verändern.

6.1 Bodenheizung oder Heizkörper

Die Warmwasser-Zentralheizung ist in den letzten Jahrzehnten zum weitaus am häufigsten eingesetzten Wärmeverteilungssystem geworden. Immer mehr haben sich in den letzten Jahren dabei die grossflächigen, niedertemperaturigen Systeme, vor allem Bodenheizungen, durchgesetzt. Sie bieten in trägen Konstruktionen ein optimales, auf grossflächiger Abstrahlung basierendes Raumklima. Bei hochisolierten Bauten stellt sich aber vor allem bei Bodenheizungen die Frage der Reaktionsträgheit ziemlich dringlich: Im fünf bis sieben Zentimeter starken Unterlagsboden der Bodenheizung lagert genügend Wärme, um den Raum während 8 bis 12 Stunden weiter zu beheizen. Eine Uebererwärmung kann aber durch Abwärmen oder Sonneneinstrahlung bereits nach einer halben Stunde eintreten. Bei leichter Innenbauweise sogar noch wesentlich früher. Man ist in dieser Situation also gezwungen, die im Boden gespeicherte Heizwärme zu einem guten Teil wegzulüften. Heizkörper schneiden in dieser Hinsicht besser ab und sind vor allem auf dieses Ziel hin optimierbar (möglichst grosses Verhältnis von Wärmeabgabeleistung zur Masse des (wassergefüllten) Heizkörpers). E. Spitzli hat in Lit. 47 verschiedene Heizkörper- und Bodenheizungssysteme grob verglichen und diesbezügliche Vergleichswerte von 1 zu über 20 festgestellt, d.h., dass Bodenheizungen 7 bis 20 mal mehr thermische Speicherkapazität aufweisen, als die "flinksten", heute erhältlichen Heizkörper (vgl. Tabelle 6-I). In gut isolierten Bauten sollten meines Erachtens daher Bodenheizungen nur in Kombination mit Heizkörpern eingesetzt werden. Damit ist wenigstens ein Teil des Wärmeverteilungssystems gut regelbar.

Im übrigen verschärft sich die Situation, je leichter die Innenbauweise des betreffenden Raumes ist. Zu einer (trägen) Bodenheizung sollte zumindest auch ein träge reagierender Raum gehören. Er sollte also entweder in Massivbauweise erstellt oder dann doch wenigstens mit schweren Verkleidungsmaterialien ausgebaut sein.

Auch was die Regelung angeht, ist zu hoffen, dass mit modernen und allenfalls künftigen Geräten, die Heizung differenzierter und möglicherweise sogar "vorausschauend" gesteuert werden kann (bei vertretbaren Kosten.) An sonnigen Tagen beispielsweise wäre es nützlich, ost- und südorientierte Räume unabhängig von der Aussentemperatur morgens gar nicht erst einzuschalten und auf der Westseite bereits am Vormittag wieder abzuschalten, weil die Sonneneinstrahlung bei gut isolierten Bauten ohnehin ein Mehrfaches des Wärmebedarfs liefern wird. Bereits heute sind mikroprozessorgesteuerte Regelungen erhältlich, die eine sehr differenzierte Einzelraum-Temperatur-

	HEIZKÖRPER					BODENHEIZUNG			
	Rad. Säulen	HW o. Lam.	HW m. Lam.	Konv.	HW Jet-X	ohne Lamellen		mit Lamellen	
Heizfläche Modell Länge L = (m)	2050 2,9	S 42 5,4	SL42/42 2,8	C 142 4,6	X 42/42 3,8	Platten D = 15 S = 7	Teppich D = 15 S = 7	Platten D = 30 S = 4	Teppich D = 30 S = 4
Wärmeleistung q = (W/m ²)	195	195	85	95	76	100	60	100	60
Heizfläche A = (m ²)	6,12	5,13	11,76	10,58	13,13	10,0	17,0	10,0	17,0
Masse HK m = (kg)	52	55	47	47	50	1050	1790	600	1023
Masse Wasser m = (kg)	34	23	12	11	6	-	-	-	-
Total m = (kg)	86	78	59	58	56	1050	1790	600	1023
Wärmeinhalt t = (K)	25	25	25	25	25	15	16	16	15
Q = (kJ)	4211	3096	1845	1740	1254	16750	28850	9000	16343
Vergleichsfaktor f	3,4	2,5	1,5	1,4	1	12,6	21,4	7,2	12,2

Wärmeabgabe $Q_H = 1000W / t_c = 20^{\circ}C / t_a = -10^{\circ}C$
 Heiztemp. $t_H = 50/40^{\circ}C / t_m = 45^{\circ}C$

HW = Heizwand
 S = Ueberzugstärke in cm
 D = Distanz der Heizungsrohre in cm

Tabelle 6-I:

Approximativer Vergleich verschiedener Heizflächen gleicher Wärmeleistung hinsichtlich thermischer Reaktionsfähigkeit.
 (Quelle: Spitzli E., Lit. 47)

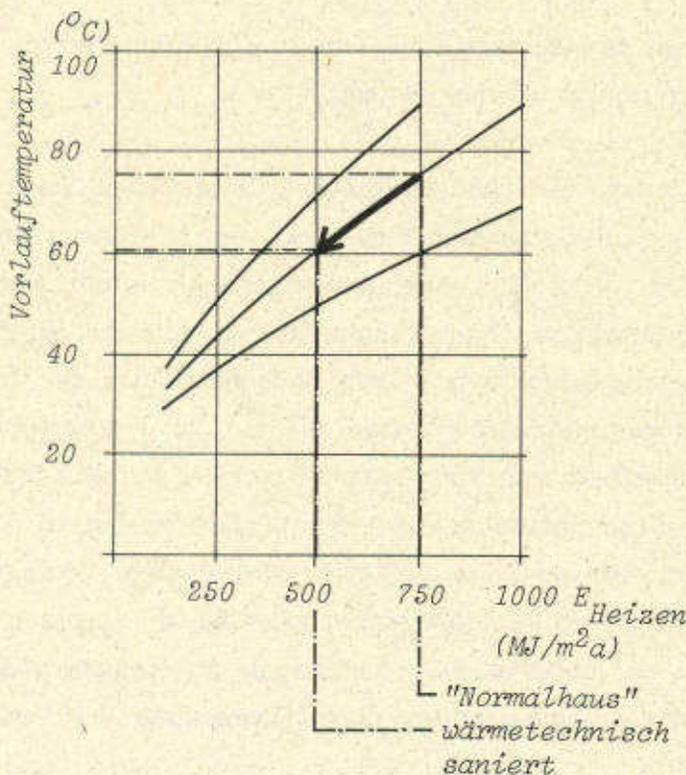
regelung ermöglichen. Es ist zu hoffen, dass derartige Systeme in Zukunft zu vertretbaren Kosten auch im Wohnungsbau eingesetzt werden können.

Wegen der geringen Temperaturdifferenzen zwischen Wärmeverteilsystem und Raumtemperatur, tritt bei der Bodenheizung ein Selbstregelungseffekt ein: je wärmer der Raum wird, desto weniger Wärme wird von der Bodenheizung abgegeben (infolge veringertem Temperaturgefälle). Dieser Effekt sollte aber nicht überschätzt werden. Er stellt eine leichte Milderung der Regelungsproblematik von Bodenheizungen dar. Im übrigen tritt er bei niedertemperaturigen Heizkörpern ebenfalls auf. Im Primärspeicherbereich dürfte der Selbstregelungseffekt voll zum Tragen kommen: Direkte Sonnenstrahlung erwärmt einen dunklen Steinplattenboden rasch auf Temperaturen, die dem Heizungsvorlauf entsprechen, so dass von diesem keine Wärme mehr bezogen wird. Der Einbau eines Bodenheizungsregisters in den Absorberboden ist aber trotzdem von zweifelhaftem Nutzen, weil mit der üblichen Dämmunterlage des Registers die Speicherkapazität des Absorberbodens zu gering wird und ohne Wärmedämmung dieser Bodenheizungsbereich enorm träge wird.

Heizkörper weisen den Nachteil auf, dass sie Wandfläche beanspruchen und dadurch die Möblierung erschweren. Dank der sehr geringen notwendigen Heizleistung in hochisolierten Bauten werden aber selbst niedertemperaturige Heizkörper verhältnismässig klein in ihren Abmessungen, bzw. werden in bestehenden Bauten bei guter nachträglicher Dämmung die ehemals hochtemperaturigen, kleinen Brüstungsradiatoren zu Niedertemperaturheizkörpern (Vgl. Abb. 6-1).

Wärmeverteilsysteme mit Heizkörpern erzeugen wegen der punktuellen Wärmezuführung in den Raum, im Gegensatz zu Bodenheizungen, ein Raumklima mit erhöhter Luftumwälzung (Zug, Staubtransport) und tendenziell eine ungleichmässige Temperaturverteilung. Bei den geringen Heizleistungen in hochisolierten Bauten dürften diese Aspekte gänzlich wegfallen. Meines Erachtens ist es sogar ohne weiteres möglich, in gut gedämmten Räumen mit entsprechenden Fenstern (Gummidichtung und $k=2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$) die Heizkörper nicht mehr unter dem Fenster, sondern innenliegend zu montieren. Bei wärmetechnisch hochwertigen Verglasungen ($k < 2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$) ist dabei nicht mit übermässigem Kondensat an der Scheibenoberfläche zu rechnen. Innenliegend montierte Heizkörper bewirken dreierlei:

- Es können relativ hohe, schmale Heizwände eingesetzt werden.



$E = \text{Energiekennzahl}$

Abb. 6-1:

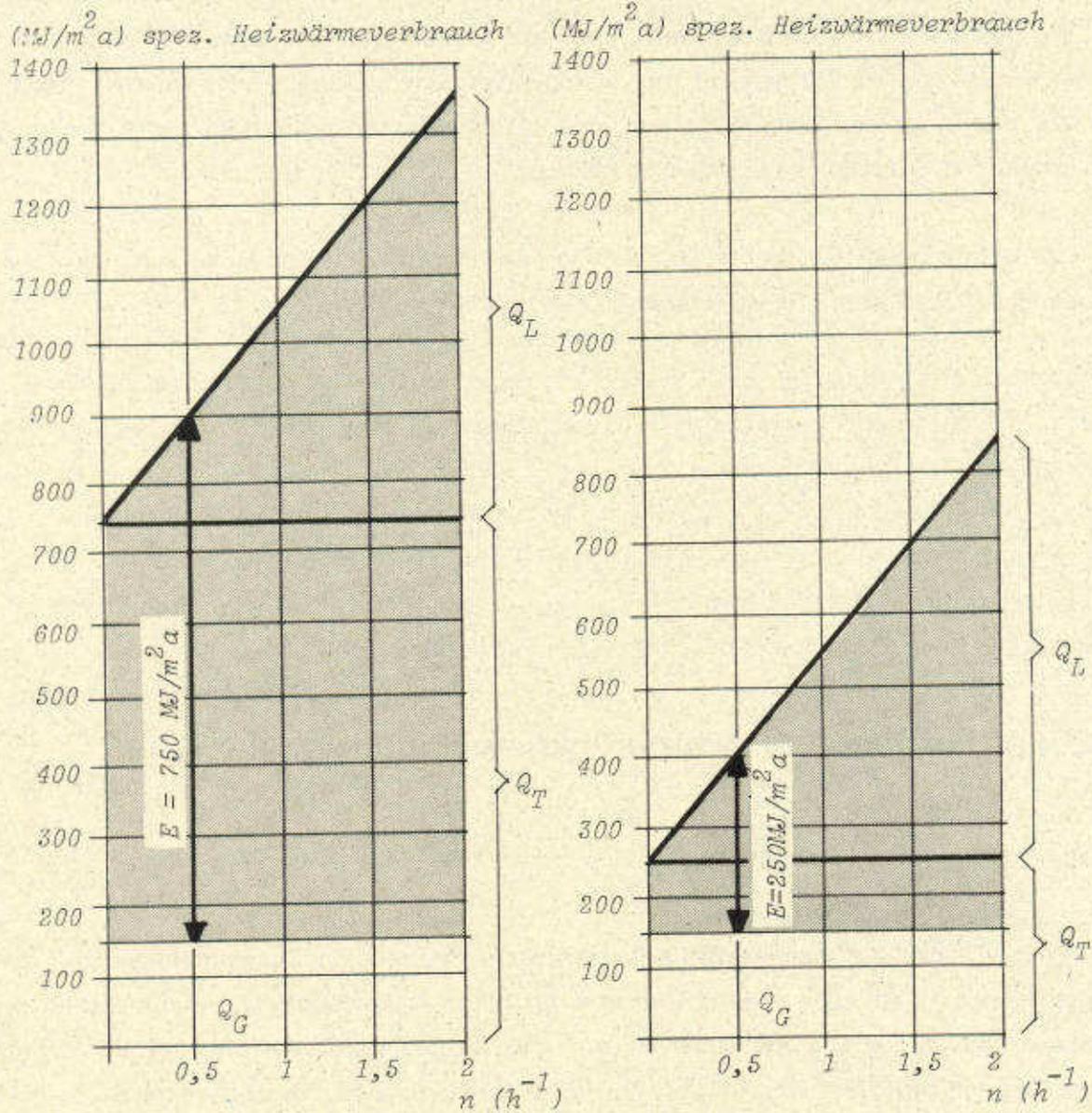
Vorlauftemperatur in Abhängigkeit des wärmetechnischen Zustandes (bei gegebener, konstanter Heizfläche und 20° Raumtemperatur. Der exakte Kurvenverlauf variiert leicht je nach Heizkörperart).

- Die Wärmeverteilung wird kleiner und billiger. Das Wärmeverteilnetz muss nicht die ganze Fassade "bestreichen". Vielmehr können die einzelnen Heizkörper von einem zentralen Steigstrang mit wenigen Metern Leitung angeschlossen werden. Vor allem bei der Umrüstung von einzelofenbeheizten Altbauten kann dies einen erheblichen Kostenvorteil mit sich bringen.
- Die Wärmeverluste sind kleiner, weil insbesondere die direkte Beheizung der Scheibenoberfläche durch Brüstungsradiatoren entfällt.

6.2 Luftheizung und Wärmerückgewinnung aus der Abluft

In Abb. 6-2 wird auf den Konflikt hingewiesen, der sich in Zusammenhang mit der Reduzierung der Verluste ergibt: Während mit guter Wärmedämmung zumindest in der Neubausituation die Transmissionsverluste ohne grosse Probleme bis fast zur Bedeutungslosigkeit reduziert werden können, führt die Reduktion des Luftwechsels, zwecks Reduktion der Lüftungswärmeverluste, sehr bald zu mangelhafter Raumlufqualität. Die Transmissionsverluste durch die Gebäudehülle lassen sich mit den heutigen Dämmtechniken und Dämmstärken (10 bis 20 cm) soweit verringern, dass das Problem als gelöst betrachtet werden kann. Der Kampf um einige weitere Hundertstel W/m^2K k-Wert-Verbesserung ist kaum mehr relevant. Weit wichtiger ist es, die Lüftungswärmeverluste in den Griff zu bekommen. Bei hochisolierter Bauweise bestimmen sie in hohem Mass den Restwärmebedarf, der durch die Heizung gedeckt werden muss (Abb. 6-3).

Aufgrund dieser Ausgangslage muss sorgfältig geprüft werden, auf welche Weise die Lüftungswärmeverluste angegangen werden können. Mit dem Abdichten von Fensterfalten und Konstruktionsfugen kann immerhin erreicht werden, dass der Luftwechsel nicht mehr vorwiegend von den Launen des Windes abhängig ist, sondern von der Fen-



Herkömmliche Bauweise

hochisolierte Bauweise

Q_L = Lüftungswärmeverlust

Q_T = Transmissionsverluste

Q_G = Gratiswärme (Sonne, Abwärme)

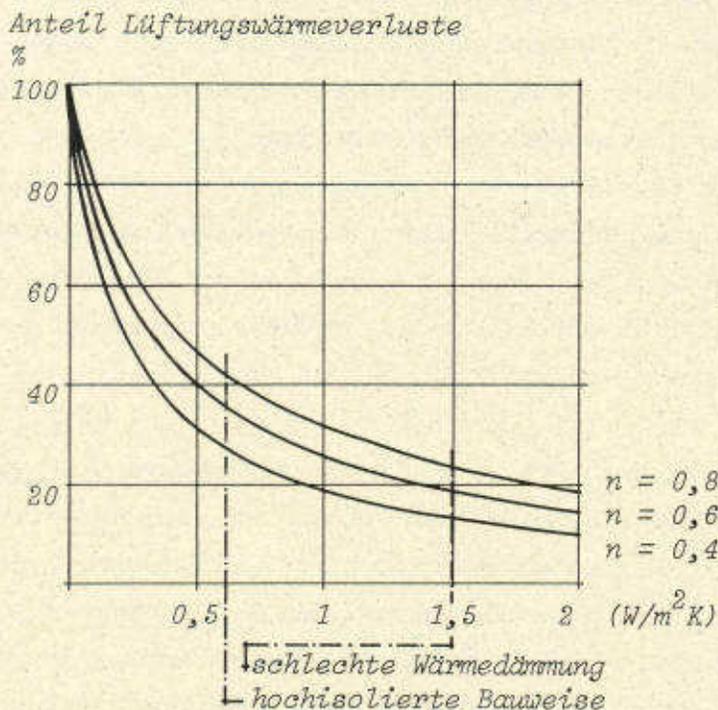
n = Luftwechsel

E = Energiekennzahl (spez. Endenergieverbrauch)

Jahres-Heizwärmeverbrauch

Abb. 6-2:

Spezifischer Jahres-Heizwärmeverbrauch in Abhängigkeit des Luftwechsels. Beispiel für herkömmliche und hochisolierte Bauweise.



$n =$ Luftwechsel (h^{-1})
 $\bar{k} =$ Mittlerer k -Wert
(ohne Korrektur-
Koeffizienten)

Abb. 6-3:

Anteil der Lüftungswärmeverluste an den gesamten Heizenergieverlusten in Abhängigkeit des mittleren k -Wertes der Gebäudehülle.

sterbedienung des Bewohners. Wo nicht strukturelle Hindernisse dessen Sparmotivation unterlaufen (z.B. pauschale Heizkostenabrechnung) dürfte diese Art der "Luftwechselsteuerung" bedarfsgerechter (und vor allem energiesparender) sein, als eine generell undichte Gebäudehülle. Der minimale Austausch des Luftvolumens von 0,5 bis evtl. 0,3 Mal pro Stunde (Wohnnutzung) kann aber nicht unterschritten werden. Der Gedanke ist deshalb naheliegend, die Forderung nach reichlichem Luftwechsel mit dem Streben nach möglichst geringem Energieverlust mittels eines Systems kontrollierter Lüftung zu begegnen, das der Abluft die Wärme entzieht und sie auf die Frischluft überträgt. Für dieses Vorhaben steht eine reiche Palette von Apparaten zur Verfügung, die sich in drei Qualitäts- (und Kosten-)Kategorien gliedern lassen:

- Rekuperatoren, welche die fühlbare Wärme der Abluft mit unterschiedlichem Wirkungsgrad auf die Frischluft übertragen (Plattenwärmetauscher, Wasserumlaufsysteme, Heat Pipes).
- Regeneratoren vermögen zusätzlich die latente Wärme des Wasserdampfes in der Abluft zu nutzen (rotierender Wärmetauscher, Kapillarventilator)

- Luft-Wärmepumpen können, mindestens zeitweise, die Abluft unter die Aussenlufttemperatur abkühlen. Damit kann der Abluft wesentlich mehr Wärme entzogen werden als mit einfachen Wärmetauschern, wo die Frischluft selbst die Abluft abkühlt und deren Wärme übernimmt. (Wodurch die Abluft natürlich nicht unter die Aussenlufttemperatur gekühlt werden kann.) Die Wärme kann zur Erwärmung der Frischluft dienen. Sie kann aber auch anders verwendet werden.

Welches System im Einzelfall am geeignetsten ist, lässt sich im wesentlichen auf eine Wirtschaftlichkeitsfrage reduzieren und hängt dann zur Hauptsache von der Grösse und den Betriebs- und Leistungserfordernissen der Anlage ab (vgl. dazu auch Recknagel/Sprenger, Lit. 50).

Es muss klar hervorgehoben werden, dass mit einer einfachen mechanischen Lüftungsanlage noch nichts gewonnen ist. Zwar kann der Luftwechsel auf ein kontrolliertes Mindestmass reduziert werden (sofern die Anlage richtig bedient und gewartet wird), oft sind aber gerade mechanische Lüftungen, insbesondere reine Abluftanlagen eigentliche Förderer der Lüftungswärmeverluste. Energetisch interessant werden Lüftungsanlagen erst, wenn Wärmerückgewinnungskomponenten integriert sind. Für den Einbau solcher Systeme in grössere Bauten besteht auch in der Schweiz ein reiches Know how. In der Nebausituation ist der Einsatz einer Wärmerückgewinnung auch meist mit guter Wirtschaftlichkeit möglich. Leider ist die nachträgliche Bestückung bestehender Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnungskomponenten oft unverhältnismässig teuer. Der Bau von kleinen (und billigen) mechanischen Lüftungssystemen mit Wärmerückgewinnung (für Einfamilienhäuser) wird in Skandinavien stark propagiert. In der Schweiz fehlt die Erfahrung für solche Systeme bis jetzt weitgehend.

Wenn mit einer richtig konzipierten Wärmerückgewinnung (Rekuperator oder Regenerator) ca. 60% der Lüftungswärmeverluste vermieden werden können (unter Berücksichtigung der benötigten Ventilatorleistung, vgl. dazu Gertis und Erhorn in l. it. 48), ist der verbleibende Restwärmebedarf winzig. Es drängt sich dann der Gedanke geradezu auf, diese Restwärmemenge auch noch der Frischluft "aufzuladen". Dies kann mittels eines konventionellen Heizregisters geschehen, oder eben mittels einer Wärmepumpe (wobei je nach Heizlast doch noch ein nachgeschaltetes Heizregister notwendig sein kann). Damit haben wir ein eigentliches Luftheizungssystem, das allerdings gegenüber den früher ab und zu eingebauten Luftheizungen die Besonderheit aufweist, dass nur minimale Wärmemengen transportiert werden müssen. Damit kann sowohl die Temperatur der eingeblasenen Luft tief gehalten werden (wenige Grade über der Raumtemperatur), wie auch die Luftmenge auf die lufthygienischen Erfordernisse abgestimmt werden (0,3 bis 0,8 Luftwechsel pro Stunde, je nach Belegungsdichte, Rauch-

gewohnheiten usw.). Mit diesen Voraussetzungen sollte es möglich sein, sowohl kostengünstige (kleine Luftkanäle, z.B.: flexible Rohre), wie auch komfortable (keine Staubaufwirbelung und -versengung, kein Zug) Luftheizungen zu erstellen. Immerhin dürfte es für grössere Objekte (Mehrfamilienhäuser) noch etliche Probleme zu lösen geben (Leitungsführung, Schallschutz). Energetisch wäre eine Luftheizung, kombiniert mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft dermassen interessant (vor allem für hochisolierte und passivsolare Bauten), dass vermehrte Aufwendungen für Entwicklung und Pilotobjekte in diesem Bereich zu begrüssen wären.

Nebst den an sich konventionellen Lüftungs- und Luftheizungssystemen mit Wärmerückgewinnung in der Art, wie sie oben beschrieben wurden, ist eine Vielzahl von Konzepten möglich, was ich an dieser Stelle aber nur anhand von zwei Beispielen illustrieren möchte:

- Die Wärmemenge, die mittels Wärmepumpe der Abluft entzogen werden kann, liegt in der richtigen Grössenordnung für die Erwärmung des Brauchwarmwassers. Vorteil: Die Abluftwärme wird genutzt und die Lüftungsinstallation reduziert sich auf eine Abluftanlage (ohne Zuluftsystem). In Schweden werden derartige Systeme stark propagiert.

Bemerkung: Die Frischluft wird normalerweise durch Fugen, Ritzen, Fensterfälze oder spezielle Oeffnungen oder Kanäle nachgesogen. Es bestünde die Möglichkeit, sie durch Luftkollektoren zu führen. Die Arbeitstemperatur dieser Kollektoren läge dann nur wenig über der Aussentemperatur, was einen guten Wirkungsgrad gewährleistet und eine Vorwärmung der Frischluft mit sich bringt. (Vgl. Kap. 5.4.2.). Sehr interessante Vorarbeit in diese Richtung wurde von Buchli/Studach geleistet, die sogar Prototypen derartiger Luftkollektoren bauten und ausmessen liessen (lit. 52). Leider werden diese Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Zeit offenbar nicht weiterverfolgt.

- Die der Abluft mittels Wärmepumpe entzogene Wärme wird durch eine Wasser-Zentralheizung (Bodenheizung) in den Raum zurückgeführt. Ein derartiges System wurde von Architekt N. Amsler, Zürich, realisiert.

Vorteil: Die Luftheizung lässt sich umgehen; es ist lediglich eine Abluftanlage nötig. Die Frischluft wird durch Fugen und Fälze in der Gebäudehülle nachgesogen und z.T. im Wintergarten vorgewärmt.

Probleme:

- Die Bodenheizung erfordert bereits eine merklich höhere Vorlauftemperatur

als eine Luftheizung, was die Leistungsziffer der Wärmepumpe bei hohem Wärmeleistungsbedarf verkleinert.

- Bei Frosttemperaturen und bescheidenem Wärmegewinn (Sonne, Abwärme) steigt die benötigte Wärmeleistung bald einmal deutlich über die Wärmeleistung, welche die Abluft-Wärmepumpe erbringt. Es muss dann ein zusätzliches Heizsystem zugeschaltet werden, wobei der bestechend einfache Elektroofen (Heizlüfter, Lampen u.ä.) energetisch wenig sinnvoll ist.

6.3 Energieträger

Die vorgängig besprochenen Komponenten der Heizung, die Wärmeverteilung und die Regelung, werden am unmittelbarsten von baulichen Entscheidungen betroffen. Auf welche Weise der notwendige Restwärmebedarf erzeugt wird, ist dadurch nicht bestimmt und bleibt im Optimierungsfeld des Haustechnikfachmanns. Allerdings können auch hier typische "Energiespar - Folgeprobleme" auftreten: es gibt beispielsweise immer noch wenig befriedigende Lösungen, Ölheizungen mit kleinen Leistungen (unter 10 kW) zuverlässig und mit gutem Wirkungsgrad zu betreiben.

Eine wichtige Konsequenz energiebewussten Bauens muss allerdings an dieser Stelle noch dargestellt werden. Dank der geringen Energiemengen, die als Restwärmebedarf noch benötigt werden, weitet sich die Palette der realistischerweise einsetzbaren Energieträger aus:

- Ein Heizenergiebedarf von 500 bis 800 kg Öl (-Äquivalent) kann auch als Holz verfeuert werden. Dies entspricht 1'400 bis 2'300 kg Holz (3 bis 5 Ster Laubholz). Die Umstellung von Öl auf Holz beim Durchschnittseinfamilienhaus (3 to Öl pro Jahr), bringt die Aufgabe mit sich, 17 Ster Laubholz zu handhaben (Anlieferung, Lagerung, Ofenbeschickung, evtl. sägen usw.) Kleine benötigte Heizleistungen be-

wirken auch, dass mit verhältnismässig kleinen Speichern (Wassertank) gearbeitet werden kann.

Allerdings sollte man aufgrund der relativ kleinen Heizlast nicht vorschnell auf ein eigentliches Heizungssystem mit Kessel und Speicher verzichten. Oft werden Heizcheminees und Holz-Heizkochherde eingebaut, die dann zu Enttäuschungen führen, weil das Holz mit (z.T. enorm viel) schlechterem Wirkungsgrad verbrannt wird (und man deshalb wesentlich mehr davon braucht) und weil auch das Heizen mit wenigen Ster Holz einiges an Aufwand mit sich bringt (vor allem wenn es stark verkleinert werden muss und wenn es in der Stube oder Küche verfeuert werden muss).

- Auch die Frage, ob Umweltwärme mittels Wärmepumpe genutzt werden kann, erhält beim Solarhaus einige neue Aspekte. Betreffend konventioneller Wärmepumpenanlagen (also üblicherweise Luft-Wasser-Elektrowärmepumpe mit Wasserzentralheizung) kann festgehalten werden, dass die Anlage kleiner wird. Leider nehmen dadurch die Kosten nicht im gleichen Mass ab, so dass sich die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit zur Oelfeuerung noch mehr verschlechtert. Bei grösseren Anlagen (Mehrfamilienhäuser) tritt dieser Effekt in geringerem Masse auf.
- Der verbleibende Heizwärmebedarf sinkt auch bei weitestgehender baulicher Optimierung nicht soweit ab, dass eine Deckung des Restwärmebedarfs durch eine Sonnenkollektor-Anlage mit vertretbarem Aufwand möglich wäre. Zusätzlich bleibt immer noch die Notwendigkeit bestehen, ein vollwertiges (endenergiebetriebenes) Heizsystem zu installieren, was mit entsprechenden Investitionen verbunden ist. Immerhin erhält eine Kollektoranlage zur Warmwasserbereitung und Heizunterstützung (z.B. 30 m² Kollektor) in einem baulich konsequent optimierten Haus einen wichtigen Stellenwert, indem der verbleibende Heizwärmebedarf so klein wird, dass er ohne Bedenken mit Oel oder elektromotorisch (Wärmepumpen) gedeckt werden kann. Gerade bei kleinen Wärmepumpensystemen besteht allerdings die Gefahr, dass sie allzu bedenkenlos auch während Spitzenlastzeiten eingesetzt werden und so eine unnötige Nachfrage nach elektrischer Leistungskapazität (zusätzliche Kraftwerke) bewirken.

7. Übergeordnete Betrachtung

Es ist das Anliegen dieser Publikation, die Vielzahl von Ideen, Systemen, Konzepten, Produkten usw. im Bereich des energiegerechten Bauens zu sichten und vor dem Hintergrund schweizerischer Gegebenheiten (Klima, Bauweisen, Vorschriften usw.) zu bewerten und allenfalls zu spezifizieren. In diesem letzten Kapitel soll versucht werden, die Techniken baulicher Energieoptimierung aus etwas übergeordneter Warte zu betrachten, um ihren Stellenwert und ihre Relativität zu erhellen.

7.1 Wohnvorstellung und Lebensstil

Immer wieder wurde in den vorhergehenden Kapiteln das Durchschnittseinfamilienhaus bzw. das Solar-Einfamilienhaus für die Illustration energieoptimaler Konzepte herangezogen. Dies trifft sich zwar mit einer starken Tendenz im Baugeschehen, ist aber weder typisch für die heutige Wohnstruktur (über 80% aller Haushalte sind in zwei- und Mehrfamilienhäusern) noch als energetisches Optimum anzustreben. Der im Trend liegende Wegzug der Familie Durchschnittsschweizer aus der kleinen Stadtwohnung ins freistehende Solarhaus im Grünen hat aus energetischer Sicht eher negative Konsequenzen. Die Aufteilung des gesamten Endenergieverbrauchs zeigt, dass für die Wohnungsbeheizung heute pro Kopf durchschnittlich ca. 28 GJ/EW (28 Gigajoules = 650 kg

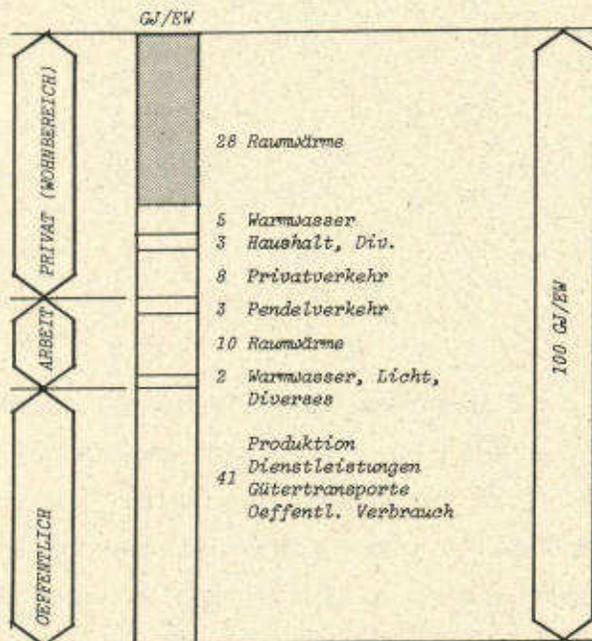
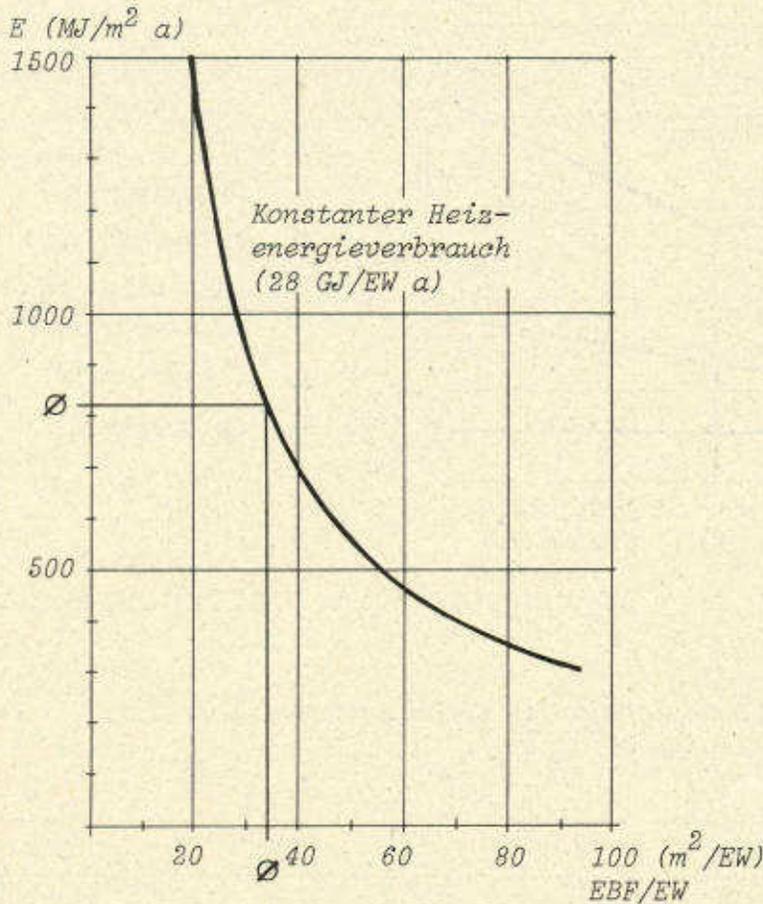


Abb. 7-1:

Durchschnittlicher Endenergieverbrauch pro Einwohner in der Schweiz. Approximative Zuordnung zu den Lebensbereichen "Privat" (persönlicher Verbrauch, Wohnungsheizung etc.), "Arbeitsplatz" und "öffentlicher Konsum" (Pro-Kopf-Anteil des übrigen Energieverbrauchs).

Oel) eingesetzt werden (Abb. 7-1). Der Stellenwert bautechnischer Energiesparmöglichkeiten wird durch mehrere Aspekte heutiger Wohntrends relativiert:

- Es wird immer mehr (beheizter) Wohnraum pro Bewohner beansprucht. Abb. 7-2 zeigt, in welchem Mass die Energiekennzahl (als Kennzahl wärmetechnischer Gebäudequalität) abgesenkt werden müsste, um bei weiterer Zunahme des spezifischen Wohnflächenbedarfs den Heizenergiebedarf pro Kopf konstant zu halten.
- Etwas weniger empfindlich, aber ebenfalls verbrauchserhöhend, wirkt sich der Umzug vom Mehrfamilienhaus ins Solarhaus aus, weil das Verhältnis von Oberfläche zu beheiztem Volumen anwächst (Abb. 7-3).
- Das Wohnen auf dem Land schafft Pendelverkehr. Abb. 7-4 illustriert die Relationen zum heutigen Durchschnitts-Heizwärmeverbrauch. Im Verhältnis zum Energieverbrauch hochisolierter Bauweise fällt der Anteil Pendlerenergie noch wesentlich stärker ins Gewicht.



E = Energiekennzahl (Endenergieverbrauch bezogen auf die beheizte Bruttogeschossfläche).

EBF = Energiebezugsfläche, beheizte Bruttogeschossfläche (pro Einwohner)

\emptyset = Heutiger Durchschnittswert (approximativ)

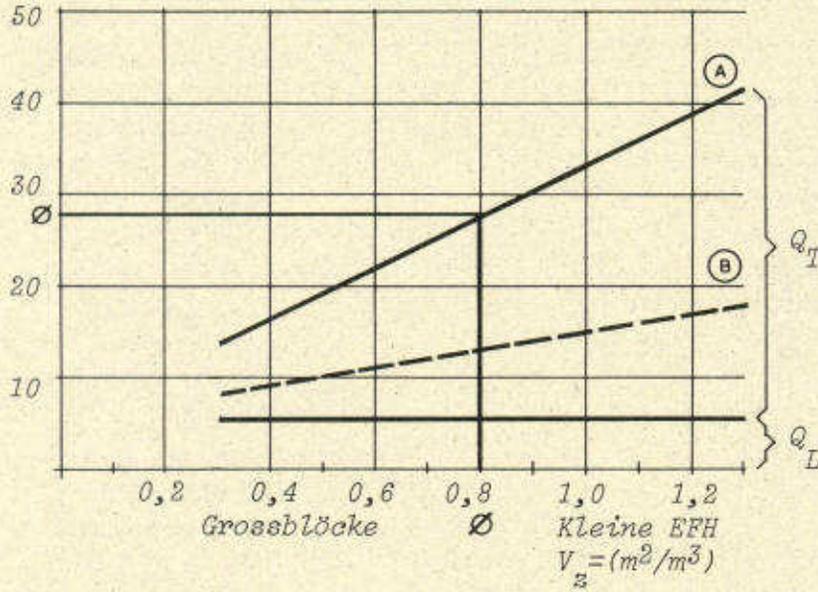
Abb. 7-2:

Erforderliche bauliche Qualität (ausgedrückt durch die Energiekennzahl) für gleichbleibenden Heizenergieverbrauch bei unterschiedlichem Bedarf an beheizter Bruttogeschossfläche (Konstante Oberflächensiffer).

Wärmedämmende Bauweise und passive Nutzung der Sonnenenergie stellen den technischen Lösungsansatz der Baubranche dar, den Heizenergiebedarf zu senken. Die Rahmenbedingungen sind aber keineswegs invariant, sondern beinhalten enorme (nichttechnische) Energiesparmöglichkeiten. Bei der Konzipierung energiegerechter Bauten sollte man sich eigentlich eine Viertelstunde Zeit nehmen und die Einflüsse auf den Gesamtenergieverbrauch des betreffenden Haushalts überdenken.

Die Realisierung passiver Sonnenenergienutzung in grossen Wohnbauten ist sowohl in technischer Hinsicht schwieriger, vor allem aber auch aus institutionellen Gründen oft verunmöglicht (pauschale Heizkostenabrechnung, Bewohner sind nicht Eigentümer,

Endenergie
GJ/EW·a



A = Herkömmliche Bauweise
 B = Hochisolierte Bauweise
 $V_z = \text{Volumenziffer} = \frac{\text{Gebäudehüllenoberfl.}}{\text{Gebäudevolumen}}$
 $Q_T = \text{Transmission}$
 $Q_L = \text{Luftwechsel}$

Abb. 7-3:

Heizenergieverbrauch in Abhängigkeit der Gebäudegrösse, bzw. des Oberflächen-Volumen-Verhältnisses.

Endenergie
(GJ/EW·a)

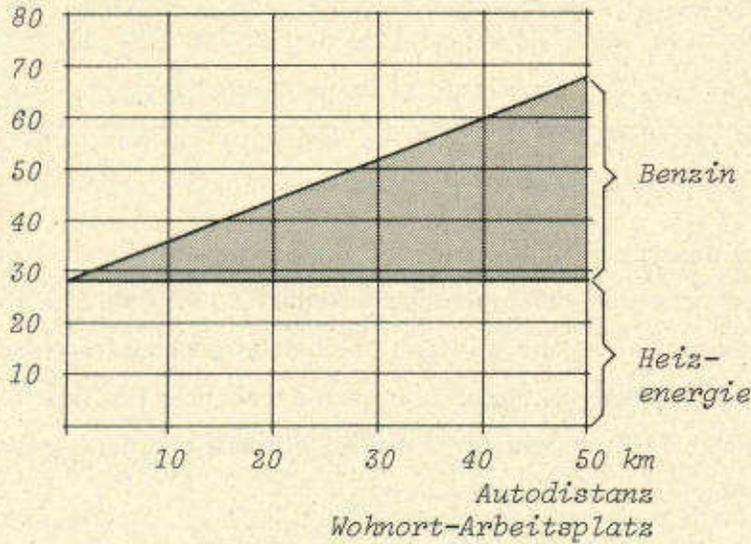


Abb. 7-4:

Heizenergie und Pendlerenergie. Pro-Kopf-Verbrauch von Heizenergie (Durchschnitt CH 1983) und von Benzin in Abhängigkeit der Distanz zwischen Wohn- und Arbeitsort. (0,5 Arbeitsplätze pro EW, Mittelklassewagen mit nur einer Person belegt).

usw.). So bestehen im Einzelfall manche Zielkonflikte und Hindernisse für eine energiegerechte Bauweise. Auf der grundsätzlichen Ebene der Wohnvorstellungen ist es deshalb umso bemerkenswerter, dass energiegerechte Bauweise eine Besiedlungsweise impliziert, die von raumplanerischer Seite (aus anderen Gründen) schon lange gefördert wird: Nutzungsdurchmischung, verdichtete Flachbauweise.

7.2 Komfort und Gesundheit

Energie ist ein Begriff, der im alltäglichen Sprachgebrauch ziemlich unpräzise definiert ist. Entsprechend simpel wird auch meist angenommen, dass pro kWh Energieverbrauch ein entsprechendes menschliches Bedürfnis befriedigt werde und dass demzufolge mit Energiesparen die Bedürfnisbefriedigung eingeschränkt werde. Die Zusammenhänge zwischen Bedürfnissen und Energieverbrauch sind in Wirklichkeit aber viel indirekter. Zunächst besteht einmal ein Bedürfnis nach behaglich warmen Wohnräumen. Dies kann allenfalls als Energiedienstleistung als Folge eines Energieeinsatzes bezeichnet werden. Die Energiedienstleistung wird mittels Nutzenergie (erwärmter Raumluft, temperaturstrahlender Heizkörperoberflächen u.ä.) erbracht. Welche Mengen an Endenergie (Öl, Gas, Strom usw.) notwendig sind, um die geforderte Nutzenergie bereitzustellen, wird bestimmt durch den Grad der Wärmedämmung und den Wirkungsgrad der Heizanlage (Massnahmen zur Verbrauchsreduktion) sowie durch das Mass an passiv genutzter Sonneneinstrahlung und die Nutzung interner Wärmequellen (Substitution von Endenergie durch Gratiswärme). Reduktion und Substitution von Endenergie bei gleichbleibender Energiedienstleistung sind das Thema dieser Publikation. An dieser Stelle möchte ich aber darauf hinweisen, dass auch die Energiedienstleistung, das Bedürfnis nach einer warmen Stube, so wie es sich heute manifestiert, durchaus hinterfragt werden kann.

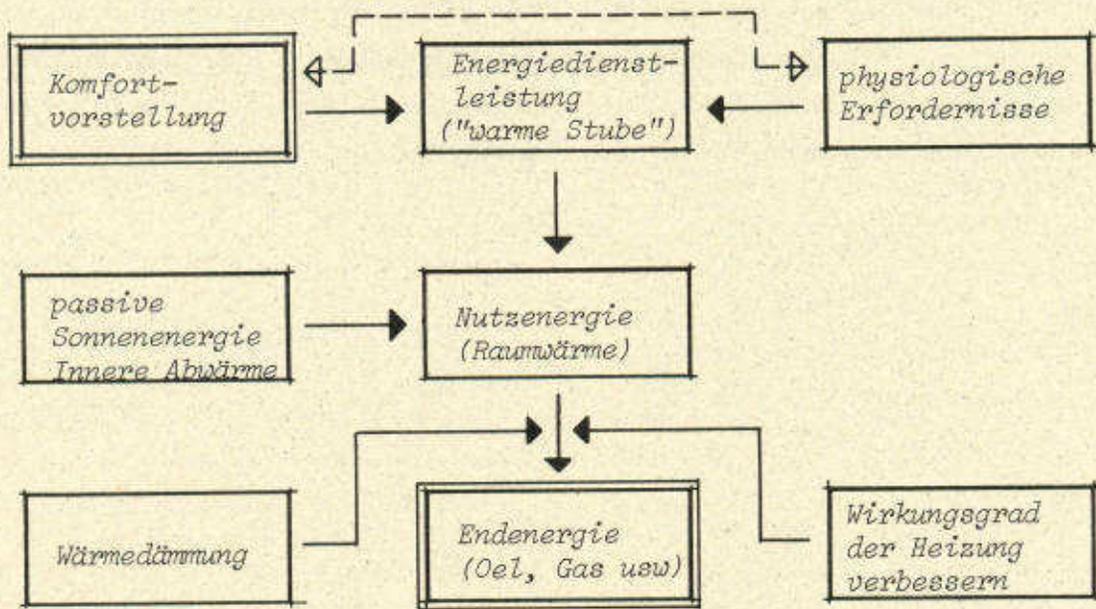


Abb. 7-5:

Energieverbrauch und Komfortvorstellung

Es entspricht unseren Komfortvorstellungen, möglichst überall gleichmässig beheizte, auf hohem Temperaturniveau (20 - 22^oC) thermostatisierte Wohnräume bereitzustellen. Ob dies längerfristig dem menschlichen Wohlbefinden zuträglich ist, muss sehr bezweifelt werden. Wo immer Komfort darin besteht, Körperfunktionen der Technik zu delegieren, folgen die gesundheitlichen Probleme unweigerlich. "Fahren statt Gehen", "selbstadaptierende Sonnenbrillen statt Iriskontraktion" und eben "Raumthermostatisierung statt Körpertemperaturregelung" sind Beispiele dazu. Die Gruppe LOG ID meint dazu: "Wir benötigen für unser Wohlbefinden eine ständige Stimulation wechselnder klimatischer Reize im Sinne eines peristaltischen Trainings" (D. Wolter, Lit. 51). Mit einem derartigen Komfortverständnis wird selbstverständlich erheblich weniger Energie verbraucht, weil die Temperaturzyklen des Tages- wie des Jahresablaufs in gemilderter Form mitgemacht werden: Auch innerhalb der Wohnung ist eine allzu gleichmässige Temperaturverteilung nicht erstrebenswert. Möglicherweise entspräche eine Beheizungsphilosophie, die sich etwas mehr an traditionellen Bauten orientiert, unseren physiologischen Erfordernissen besser. Das würde bedeuten, dass eine richtig warme Stube vorhanden sein müsste und dass darin sogar ein eigentlicher "Aufwärmeplatz" vorgesehen ist (Ofen mit Ofenbank). Die Temperatur in den übrigen Zimmern

aber würde je nach Aussentemperatur in weiten Bereichen schwanken und im Hochwinter eben bis beispielsweise 10 oder 12⁰C fallen. Aus heutiger Sicht bedeutet dies Komforteinbusse und Rückschritt. Es wäre aber durchaus denkbar, dass sich diese Ansichten ändern und "unkomfortable", sparsame Heizsysteme in ähnlichem Mass verlangt werden, wie das Fahrrad, als "unkomfortables, aber gesundes Verkehrsmittel" wieder vermehrt Anklang findet.

Anhang

*Besonnungsdiagramm (Stereografische Projektion) von U. Schäfer
1974 in den heute vergriffenen Bulletins der Schweizerischen Vereinigung für
Sonnenenergie (SSES) publiziert.*

Das Sonnendiagramm nach Fleijel

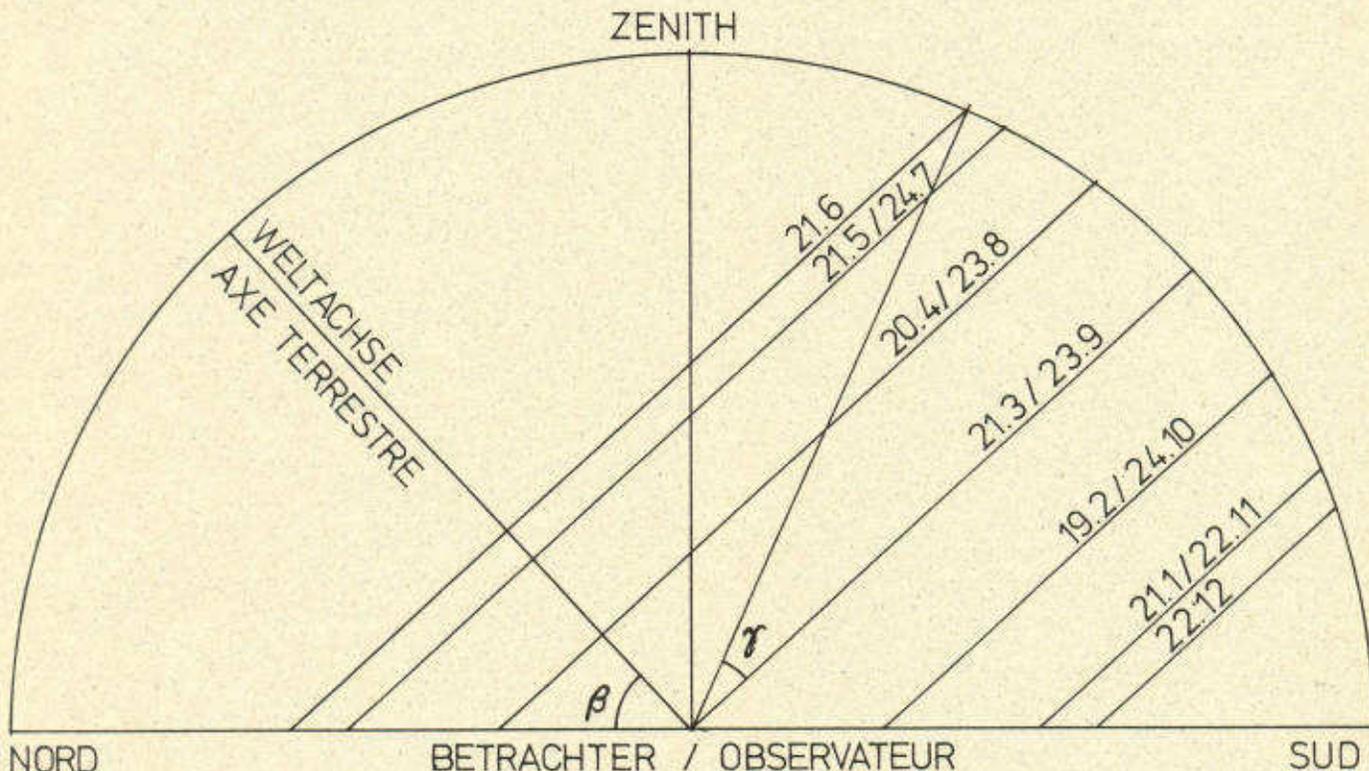
Die Himmelshalbkugel

Die sichtbare Welt über dem Horizont kann als Halbkugel mit dem Betrachter als Zentrum dargestellt werden. Der Himmelsnordpol (weitgehend identisch mit dem Polarstern) befindet sich senkrecht über dem Nordpunkt des Horizontes in einer Höhe β , die der geographischen Breite entspricht. Durch Himmelsnordpol und Betrachter verläuft die Weltachse, um die sich Sonne und Sterne zu drehen scheinen. Entsprechend ihrer Lage (Deklination) zum Himmelsäquator, dem Grosskreis gebildet aus Himmelshalbkugel und der Normalebene durch den Betrachter zur Weltachse, beschreiben sie Kreise mit dem Radius der Himmelshalbkugel r multipliziert mit dem \cos des Deklinationswinkels γ . Entsprechend der Neigung der Drehachse der Erde zur Ebene der Umdrehung um die Sonne schwankt die Deklination der vom Betrachter wahrgenommenen Sonnenbahnen zwischen Winter und Sommer um zweimal 23.5° .

Le diagramme solaire d'après Fleijel

L'hémisphère céleste

On peut représenter la silhouette terrestre visible au-dessus l'horizon par une demi-sphère ayant l'observateur comme centre. Le pôle nord céleste (pratiquement identique avec l'étoile polaire) se trouve à la verticale du point nord de l'horizon à une hauteur β , laquelle correspond à sa latitude. L'axe terrestre, autour duquel semblent tourner le soleil et les étoiles, passe par le pôle nord céleste et l'observateur. Suivant leur position (déclinaison) par rapport à l'équateur céleste, le grand cercle formé par l'hémisphère et le plan vertical à l'axe terrestre passant par l'observateur, ils décrivent des cercles ayant pour rayon celui de l'hémisphère r multiplié par le \cos de l'angle de déclinaison γ . Suivant l'angle de l'axe de rotation de la terre par rapport au plan de rotation autour du soleil, la déclinaison des trajectoires solaires, vues par l'observateur, varie de l'hiver à l'été de deux fois 23.5° .



Die stereographische Projektion

Es ist erwünscht, die Sonnenbahnen zweidimensional darzustellen. Sie werden auf die Horizontalebene projiziert. Von den verschiedenen Projektionsarten ist die stereographische Projektion am weitesten verbreitet. Ein beliebiger Himmelspunkt P wird mit dem Nadir N verbunden. Die Projektion P' befindet sich im Schnittpunkt mit der Horizontalebene. Dabei bleibt das Azimut erhalten. Der Abstand vom Betrachter ist $r \cdot \text{tg} \frac{\gamma}{2}$.

Die Besonderheit dieser Projektionsart, die ich nicht herleiten kann, ist, dass Kreise auf der Himmelshalbkugel als Kreise auf der Horizontalebene wiedergegeben werden. Uberschneldungen von zwei Kreisen werden zudem winkeltreu abgebildet. Den Mittelpunkt M' des Kreises der Projektion erhalten wir, wenn wir die Spitze des Tangentenkegels M , den Kreis und Kugel miteinander bilden, mit dem Nadir N verbinden. Da oft schleifende Schnitte entstehen, ist es sinnvoll die Lage von M' auch rechnerisch zu bestimmen:

La projection stéréographique

Il est désirable de représenter les trajectoires solaires deux-dimensionnellement. Elles sont projetées sur le plan horizontal. Des différentes méthodes, la projection stéréographique est la plus répandue. Un point quelconque du ciel et relié au nadir N . La projection P' se trouve au point d'intersection avec le plan horizontal. L'azimut reste le même. La distance de l'observateur est $r \cdot \text{tg} \frac{\gamma}{2}$.

La particularité de cette méthode de projection, que je ne peux pas reconstruire, est que tout cercle sur l'hémisphère est représenté par un cercle sur le plan horizontal. Les intersections de deux cercles sont, d'autre part, reproduits avec leurs angles réels. Nous obtenons le centre M' du cercle de la projection en reliant la pointe M du cône, formé par les tangentes à la sphère sur le cercle, au Nadir N . Comme souvent les angles d'intersection sont très petits, il est important de définir également la position de M' mathématiquement:

Radius des
entstehenden
Kreises

Rayon du
cercle de
projection

$$r_p = \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha + \delta}{2} - \operatorname{tg} \frac{\alpha - \delta}{2}}{2} \cdot r$$

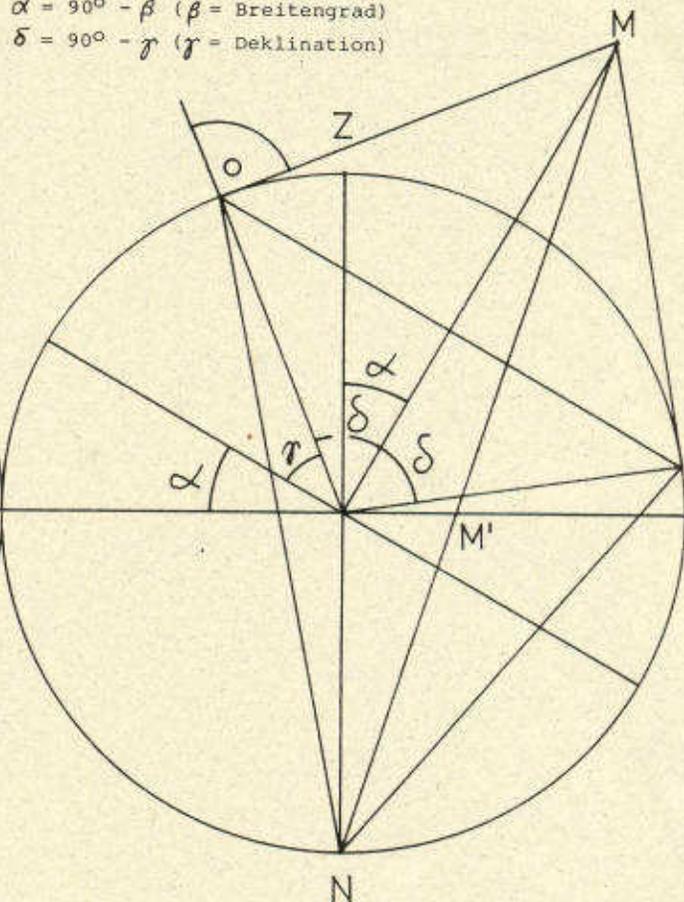
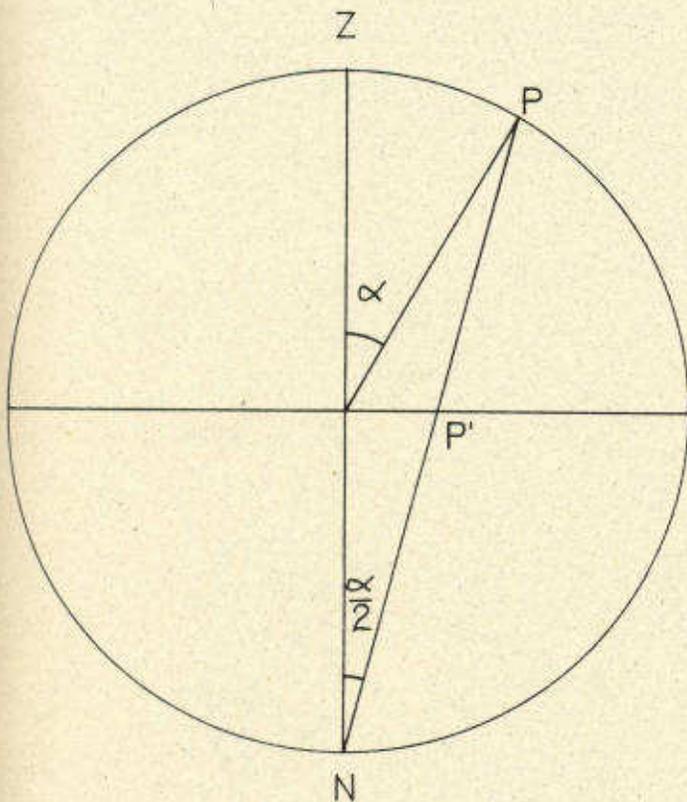
Abstand des
Mittelpunktes
vom Betrachter

Distance du
centre à
l'observateur

$$a_M = \left[\operatorname{tg} \frac{\alpha + \delta}{2} - \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha + \delta}{2} - \operatorname{tg} \frac{\alpha - \delta}{2}}{2} \right] \cdot r$$

$$\alpha = 90^\circ - \beta \quad (\beta = \text{Breitengrad})$$

$$\delta = 90^\circ - \gamma \quad (\gamma = \text{Deklination})$$



Das Sonnendiagramm

Mit Hilfe der Deklinationen der verschiedenen Kalendertage kann für jede beliebige geographische Breite das Sonnendiagramm gezeichnet werden, $\gamma =$

- 23.5°	22. Dezember
- 20 °	22. November, 21. Januar
- 11.5°	24. Oktober, 19. Februar
0 °	23. September, 21. März
+ 11.5°	23. August, 20. April
+ 20 °	24. Juli, 21. Mai
+ 23.5°	21. Juni

Die scheinbar unregelmässige Verteilung im Kalender beruht auf der elliptischen Bahn der Erde um die Sonne, wodurch auf der nördlichen Halbkugel der Winter 9 Tage kürzer ist als der Sommer. Rechtwinklig zu den Sonnenbahnen befinden sich die Projektionen der Grosskreise der Tagesstunden. Das Netz von Sonnenbahnen und Stundeneinteilungen kann als zweidimensionaler Kalender der theoretischen Sonnenscheindauer für je ein Halbjahr betrachtet und für Eintragungen eines weiteren Parameters (Strahlung, Temperatur, Feuchtigkeit etc.) verwendet werden.

Le diagramme solaire

A l'aide de la déclinaison des différents jours calendriers on peut tracer pour chaque latitude le diagramme solaire correspondant, $\gamma =$

- 23.5°	22 décembre
- 20 °	22 novembre, 21 janvier
- 11.5°	24 octobre, 19 février
0 °	23 septembre, 21 mars
+ 11.5°	23 août, 20 avril
+ 20 °	24 juillet 21 mai
+ 23.5°	21 juin

La distribution apparemment irrégulière dans le calendrier vient de l'orbite elliptique que la terre décrit autour du soleil, et par laquelle, dans l'hémisphère nord, l'hiver est de 9 jours plus court que l'été. Perpendiculairement aux trajectoires solaires se trouvent les projections des grands cercles des heures journaliers. L'entrelacs des trajectoires et les divisions des heures peut être considéré comme un calendrier deux-dimensionnel des heures théoriques d'ensoleillement pour une demi année, et être utilisé à inscrire d'autres paramètres (rayonnement, température, humidité etc.)

Literatur

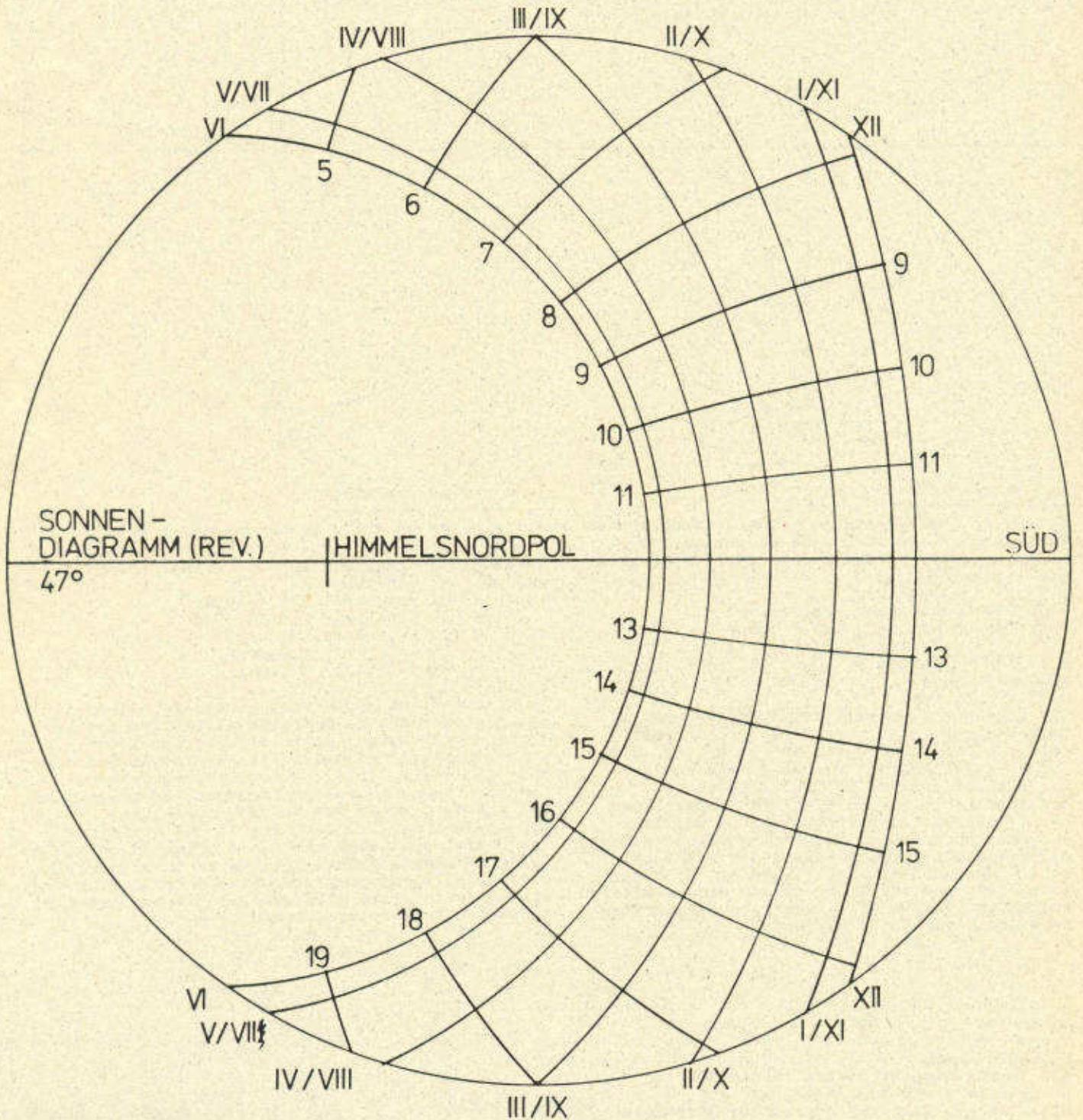
Fleijel, Gunnar
The Computation of Natural Radiation in
Architecture and Town Planning
Diss. Kungl. Tekniska Högskolan, Stockholm 1954

Sonnendiagramm für Zürich

(Breitengrad $\beta = 47^\circ$)

Le diagramme solaire de Zürich

(Latitude $\beta = 47^\circ$)



Ermittlung der Horizontabdeckung

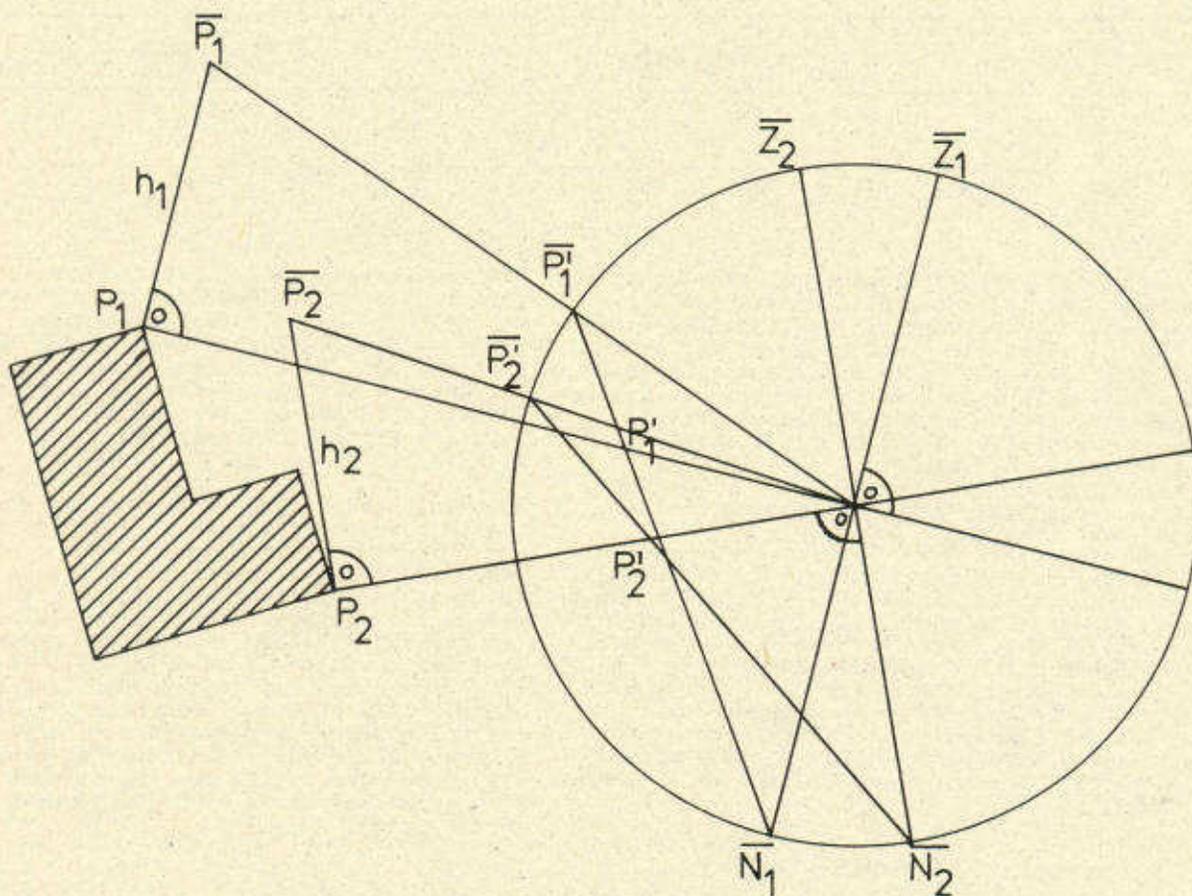
Mit einem Teodoliten oder einem andern geeigneten Instrument kann jeder interessierende Himmelspunkt ausgemessen werden. Das Azimut wird direkt in die Zeichnung übertragen. Die Höhe wird als Abstand vom Betrachter mit $r \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2}$ eingesetzt.

Entsprechend den Gesetzen der stereographischen Projektion kann aus einem dem Sonnendiagramm untergelegten Plan die Horizontabdeckung übertragen werden. Dabei wird für jeden Punkt die Normalebene durch den Betrachter zur Horizontalebene in jene umgeklappt. Rechtwinklig zur Schnittlinie kann jetzt im gleichen Masstab die wirkliche Höhe abgetragen und auf den umgeklappten Kugelschnitt projiziert werden. Durch Verbindung mit dem in der Umklappung erscheinenden Nadir entsteht auf der Schnittlinie der gesuchte Punkt P'.

Représentation de l'obstruction de l'horizon

A l'aide d'un téodolite ou d'un autre instrument approprié, on peut situer chaque point intéressant du ciel. L'azimut est reporté directement sur le dessin. La hauteur est introduite comme distance dès l'observateur par $r \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2}$.

Selon les lois de la projection stéréographique, on peut reporter, d'un plan placé sous le diagramme solaire, la projection de l'obstruction de l'horizon. Ainsi, pour chaque point, le plan vertical passant par l'observateur sera renversé en plan horizontal. A angle droit par rapport à la ligne d'intersection, on peut reporter maintenant, à la même échelle, la hauteur réelle et la projeter sur la coupe sphérique renversée. Par liaison avec le nadir apparaissant sur le plan renversé, on obtient alors, sur la ligne d'intersection, le point recherché P'.



Da alle waagrecht sichtbaren Linien auf Grosskreisen der Himmelshalbkugel liegen, ist ein Diagramm der verschiedenen Grosskreisprojektionen nützlich als Zeichenhilfe zum Unterlegen. Dabei muss die Grundlinie (Grosskreis mit $\alpha = 0^\circ$) parallel zur Gebäuderichtung im Plan liegen.

Von einem spiegelnden Paraboloid mit der Gleichung $x^2 + y^2 = 8z^2$ kann direkt das Abbild der Himmelshalbkugel nach der stereographischen Projektion erstellt werden. Das gleiche kann heute mit einem Fischaugenobjektiv gemacht werden. Dabei ist zu beachten, dass es Objektive für verschiedene Projektionsarten gibt.

Comme toutes les lignes horizontales visibles sont situées sur des grands cercles de l'hémisphère céleste, un diagramme des différentes projections de grands cercles est utile comme auxiliaire à glisser sous un plan. Il faut alors que la ligne de base (grand cercle avec $\alpha = 0^\circ$) soit placée parallèlement à la direction du bâtiment, en plan.

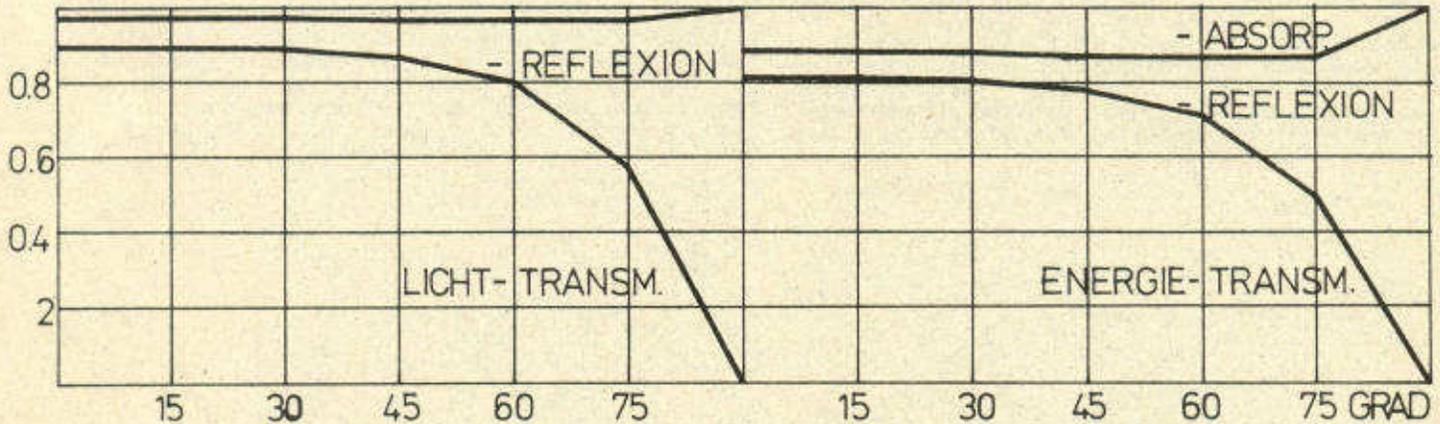
D'un miroir parabolique dont l'équation est $x^2 + y^2 = 8z^2$, on peut obtenir directement l'image de l'hémisphère céleste selon la projection stéréographique. Le même résultat peut être obtenu aujourd'hui avec un objectif dit "en oeil de poisson" qui couvre un champ hémisphérique. Il faut remarquer ici qu'il existe des objectifs pour différentes sortes de projection.

Blendung durch Reflexion von geneigten Glasflächen

Stoffe können elektromagnetische Wellen entweder durchlassen, absorbieren oder reflektieren. Glas als "durchsichtiges" Baumaterial ist für die sichtbaren - und die infraroten - Sonnenstrahlen grösstenteils durchlässig. Mit zunehmendem Einfallswinkel werden, wie das Beispiel eines 6mm Klarglases zeigt, die Faktoren für Absorption und Reflexion jedoch grösser, bis sie bei 90° zusammen 1 betragen. (1, S.30).

Eblouissement par réflexion de surfaces vitrées inclinées

La matière peut laisser passer, absorber ou réfléchir les ondes magnétiques. Le verre, comme matériel de construction "translucide", est en grande partie transparent pour les rayons solaires visibles et infrarouges. Avec l'angle d'incidence croissant, les facteurs d'absorption et de réflexion augmentent, jusqu'à ce que leur somme est égale à 1, comme le montre l'exemple d'un verre clair de 6 mm (1, p.30).



Blendung

Blendung ist in physiologischer Sicht eine grobe Störung des Adaptationszustandes der Netzhaut. Sie ist umso stärker, je länger sie wirkt, je näher die Blendquelle an der Blickrichtung liegt und je geringer die allgemeine Beleuchtung im Gesichtsfeld ist. Als zulässige Kontraste werden für die mittleren Partien des Gesichtsfeldes 1:3, für die äusseren 1:10 angegeben (2, S.242).

Eblouissement

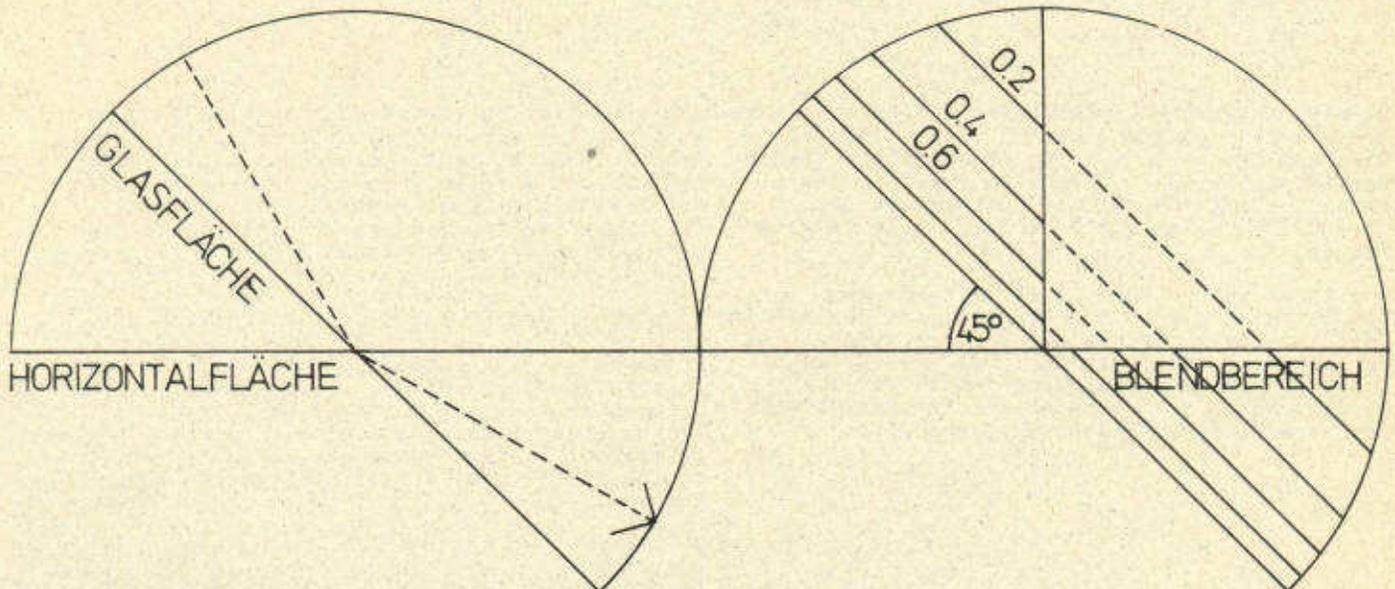
L'eblouissement est, physiologiquement vu, une perturbation grossière de l'adaptation de la rétine. Elle est d'autant plus forte, selon le temps qu'elle agit, que la source d'éblouissement est près de la direction de visée et que l'éclairage est faible dans le champ de vue. Comme contrastes admissibles sont indiqués pour les parties centrales du champ de vue 1:3, et à la périphérie 1:10 (2, p.242).

Blendung durch geneigte Glasflächen (Kollektoren oder Dachfenster)

Glasflächen auf Dächern befinden sich im Allgemeinen über der Horizontalfläche des Betrachters. Blenden können deshalb nur Strahlen, die nach unten reflektiert werden. Durch die Horizontalebene und die Glasfläche wird der Kugelausschnitt definiert, in dem die Störung auftritt. Der entsprechende Himmelsausschnitt, aus dem die blendenden Strahlen kommen, kann mittels Kleinkreisen gleicher Einfallswinkel in Zonen mit verschiedenen Reflexionsfaktoren unterteilt werden.

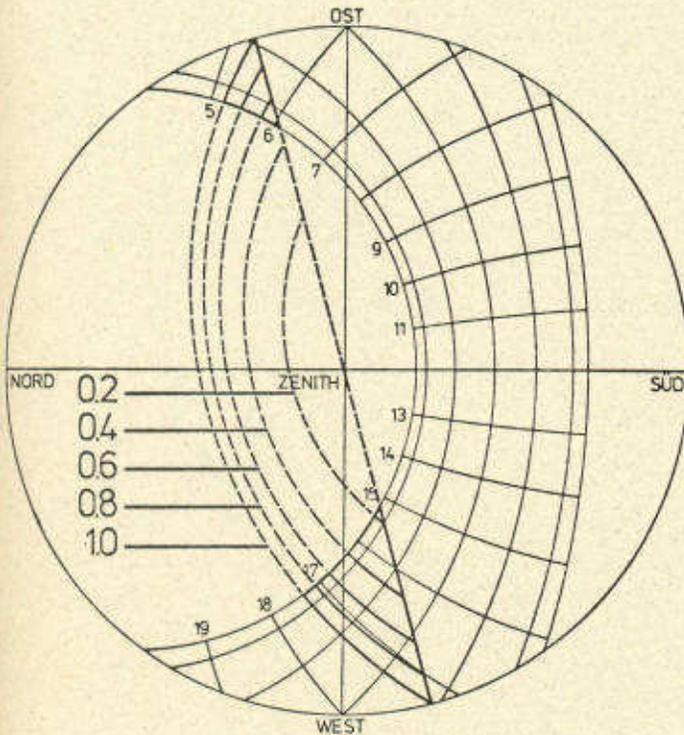
Eblouissement des surfaces vitrées inclinées (collecteurs, fenêtres à tabatière)

Les surfaces vitrées sur les toitures se trouvent en général au-dessus du plan horizontal de l'observateur. Pour cette raison, seuls les rayons réfléchis vers le bas peuvent éblouir. La section sphérique dans laquelle se produit la perturbation est définie par le plan horizontal et le plan de la surface vitrée. Le secteur céleste correspondant, d'où proviennent les rayons éblouissants, peut être divisé par des petits cercles de même angle d'incidence en zones ayant différents facteurs de réflexion.



Ermittlung von Dauer und Stärke der Blendung

Durch Uebertragung des durch Reflexion blendenden Himmelsausschnittes in das Sonnendiagramm kann für eine bestimmte Neigung und Orientierung die tages- und jahreszeitliche Dauer der Blendung angegeben werden (3, ARCH 3). Die Stärke der Blendung ergibt sich aus der mit dem Reflexionsfaktor multiplizierten Normalstrahlung (4, Fig.55). Dabei zeigt die Darstellung einer um 15° aus der Südrichtung nach Osten verschobenen, um 45° geneigten Fläche, dass bei üblichen Orientierungen von Kollektoren die Blendung nur von kurzer Dauer ist.



Folgerungen

Geneigte Glasflächen (Kollektoren, Dachfenster) können, auch wenn sie sich über der horizontalen Blickrichtung befinden, Blendung durch Reflexion verursachen. Hingegen erzeugen horizontale Flächen nie, vertikale immer Blendung. Sonnenkollektoren können, weil sie wegen ihrer Neigung auch bei höherem Sonnenstand Strahlen in die horizontale Blickrichtung spiegeln können, in besonderen Fällen unangenehme Nebenwirkungen haben, die jedoch umso kleiner sind, je besser sie, im Interesse der Energiegewinnung, nach der maximalen Einstrahlung orientiert sind. In unsicheren Fällen, besonders auch wenn der Kollektor unter der Horizontalfläche liegt, kann der Blendungsbereich, wie das Diagramm zeigt, mit einfachen Mitteln vor dem Bau der Anlage festgestellt werden.

Literatur

- 1 Glaceries de Saint-Roch, Vitrage et Rayonnement Solaire
- 2 Etienne Grandjean, Wohnphysiologie, Artemis, Zürich 1973
- 3 SSES-Handbuch
- 4 Verband Schweizerischer Heizungs- und Lüftungsfirmen (VSHL), Regeln für die "Kühllastberechnung"

Recherche de la durée et la force d'éblouissement

Par translation du secteur céleste éblouissant par réflexion dans le diagramme solaire pour une inclinaison et une orientation donnée, on peut obtenir la durée journalière et annuelle d'éblouissement (3, ARCH 3). La force de l'éblouissement est le produit du facteur de réflexion par le rayonnement solaire normal (4, fig.55). La représentation d'une surface inclinée à 45° , déplacée de 15° du sud vers l'est montre, qu'avec une orientation usuelle des collecteurs solaires, l'éblouissement est seulement de courte durée.

Conclusions

Les surfaces vitrées inclinées (collecteurs, fenêtres à tabatière) peuvent causer des éblouissements par réflexion même s'ils se trouvent au-dessus de la direction de visée horizontale. Par contre les surfaces horizontales ne produisent jamais, les verticales toujours un éblouissement. Les collecteurs solaires peuvent, dans des cas spéciaux, avoir des effets secondaires désagréables, dus à leur propriété de réfléchir également lors d'une position élevée du soleil, des rayons dans la direction de visée horizontale. Ces effets seront d'autant plus petits, selon que les collecteurs sont, dans l'intérêt du gain d'énergie, orientés d'après le maximum de rayonnement solaire. Dans des cas incertains, particulièrement lorsque le collecteur se trouve au-dessous du plan horizontal, on peut déterminer, à l'aide de moyens très simples, la portée d'éblouissement avant le montage de l'installation.

Ueli Schäfer
Traduction:
Peter Kuyper

Literatur

- 1 Schäfer S. und U.: *Passive und hybride Sonnenenergie-Nutzung in der Schweiz*, INFOSOLAR, HTL Brugg-Windisch, 1983
- 2 SIA Dokumentation 48: *Sonnenenergienutzung im Hochbau*, SIA, Zürich 1982
- 3 Kiraly J.: *Architektur mit der Sonne*, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe 1981
- 4 Valko P.: *Solardaten für die Schweiz*, Schweizer Baudokumentation, Blauen, 1982
- 5 *Publikationen des Impulsprogrammes (Bundesamt für Konjunkturfragen) über wärmetechnische Gebäudesanierung, insbesondere: "Handbuch Planung und Projektierung" und "Resultate der Vergleichsprüfungen"*, Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern 1983.
- 6 Lorenz-Ladener C.: *Solargewächshäuser*, Oeko-Buchverlag, Grebenstein BRD 1981
- 7 Lorenz-Ladener C., H. Ladener: *Baupläne für ein Solargewächshaus*, Oeko-Buchverlag, Grebenstein BRD 1982
- 8 LOG ID: *Grüne Archen*, D.Fricke Verlag, Frankfurt am Main, 1982
- 9 Clegg P., Watkins D.: *The Complete Greenhouse Book*, Garden Way Publ., Vermont USA, 1978
- 10 Mc Cullagh J.C.: *The Solar Greenhouse Book*, Rodale Press, Emmaus, PA, USA, 1978
- 11 Amt für Bundesbauten: *Energiegerechte Neubauten*, EDMZ, Bern, 1981
- 12 Künzel H., Snatzke Chr.: *Wärmeverlust und Wärmegewinn durch Fenster*, Glasforum 1/79
- 13 Geiger W., Furter R.: *Praktische Bewertung von Sonnenschutzvorrichtungen mit Hilfe von kalorimetrischen Messungen*. Verband schweizerischer Rolladen- und Storenfabrikanten (1979), Zürich
- 14 Shureliff W.A.: *Thermal Shutters & Shades*, Brickhouse Publishing Co., Andover, Massachusetts, USA

- 15 Langdon W.K.: *Movable Insulation*, Rodale Press, Emmaus, Pa., USA
- 16 Gay J.-B. et al.: *3 em Symposium sur la recherche et le développement en énergie solaire en suisse, Bilan thermique d'un vitrage*, Lausanne 1981
- 17 Shurcliff W.A.: *Superinsulated Houses and Double Envelope Houses*, Brickhous Publishing Co., Andover, Massachusetts, USA
- 18 Brunner C.U. et al.: *Auslöser und Nebenwirkungen beim Energiesparen im Bauwesen*, Zürich 1982
- 19 Balcomb J.D. et al.: *A semi-empirical Method for Estimating the Performance of Direct Gain passive solar heated Buildings*, in 3rd National Passive Solar Conference, USA 1979
- 20 Lohr A.W.: *Eine einfache Berechnungsmethode für passiv-sonnenbeheizte Wohngebäude*, in *Bauphysik* 3/81
- 21 Gass J., Sagelsdorff R.: *Heizenergieverbrauch von Wohnbauten*, EMPA-Bericht Nr. 39200, 1980
- 22 Kriesi R.: *Sonnenbauten - ältere Beispiele aus den USA, neuere Beispiele aus der Schweiz*, in "Energiesparendes Bauen mit Holz, SAH/Lignum, Zürich 1982
- 23 Lebens R.M.: *Passive Solar Heating Design*, Applied Science Publishers Ltd., London 1980
- 24 Roulet C.: *Introduction à l'inertie thermique dans le bâtiment*, Chronique du LMP, EPF-Lausanne 1980
- 25 Schäfer U.: *Wärmeverhalten von Bauteilen*, in SSES-Tagung 1974 "Gottlieb-Duttweiler-Institut", Rüschlikon
- 26 Keller B. et al.: *Zur Nutzbarkeit der eingestrahlten Sonnenenergie in bewohnbaren Räumen*, in *Wärmeschutz-Forschung im Hochbau*, Seminar Oktober 1982, EMPA, Dübendorf.
- 27 Keller B. et al.: *Thermische Schwachstellenanalyse von Fenstersystemen*, in *Wärmeschutz-Forschung im Hochbau*, Seminar Oktober 1982, EMPA, Dübendorf
- 28 Woodman T.P., Fischer A.: *Selektive Schichten für die passive Nutzung der Sonnenenergie*, in: *3em Symposium sur la recherche et le développement en énergie solaire en suisse*, EPFL, Ecublens 1981
- 29 Rey Y., Gay J.-B., Faist A.: *Mesures et Modelisation d'un mur trombe*, in *3em Symposium sur la recherche et le développement en énergie solaire en suisse*, EPFL, Ecublens 1981
- 30 Fröhlich C.: *Ein Sonnenenergiehaus in Davos-Wolfgang*, in: *Energiesparendes Bauen mit Holz*, SAH/Lignum, Zürich 1982

- 31 Shurcliff W.A.: *New Inventions in Low Cost Solar Heating*, Brick House Publishing Co., Andover, Massachusetts USA, 1979
- 32 Arbeitsgruppe Solar Trap, Kurer Th.V. et al.: *Forschungsprojekt "Solar Trap"*, Schlussbericht, Basler und Hofmann, Zürich 1982
- 33 Guerin D.A.: *Textiles selected for use with Passive Solar Energy*, in 2nd National Passive Solar Conference, USA 1978
- 34 von Zabeltitz Chr.: *Gewächshäuser*, E. Ulmer Verlag, Stuttgart, 1978
- 35 Tantau H.-J.: *Doppelbedachungen*, Gartenbautechnische Informationen Heft 5, Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, TU Hannover 1976
- 36 WWF: *Aufgepasst mit Holzschutzmitteln! Merkblatt*, WWF Schweiz, Zürich 1982
- 37 Haas K., Ernst B.: *Energiebewusst bauen*, in "Öffentliche Baumappte der Ostschweiz", Goldach 1981/82
- 38 Schäfer U.: *Sonnenenergie - sieben Jahre später*, in *Sonnenenergie* 4/81
- 39 Sagelsdorff R.: *Wärmeschutz im Hochbau*, Element 23, Schweiz. Ziegelindustrie, Zürich 1980
- 40 Schweizerische Verkehrszentrale: *Glas*, in "Schweiz" 12/81, Zürich
- 41 Sabady P.R.: *Solararchitekturpraxis*, Helion Verlag, Zürich 1981
- 42 Schweizerische Ziegelindustrie: *Element 24, Backstein-Zweischalenmauerwerk*, Zürich 1981
- 43 Hillmann G., Nagel J., Schreck H.: *Klimagerechte und energiesparende Architektur*, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe 1982
- 44 Hauser G. et al: *Wärmebrücken im Holzbau*, *Bauphysik* 1/83
- 45 Carlson B. et al: *Airtightness and thermal Insulation*, Swedish Council for Building Research, Stockholm 1980
- 46 Paschen H., Hardjapamekas E.D.: *Bauliche Einflüsse auf das sommerliche Raumklima*, in *Bauphysik* 4/80
- 47 Spitzli, E.: *Haustechnische Anlagen und Energiesparen*, in SAH-Tagung "Energiesparendes Bauen mit Holz", LIGNUM, Zürich 1982
- 48 Gertis, K., Erhorn, H.: *Superdämmung oder Wärmerückgewinnung?* in "Bauphysik" 2/81.
- 49 3rd AIC Conference: *Energy Efficient Domestic Ventilation Systems for Achieving Acceptable Indoor Air Quality*, Proceedings, Air Infiltration Center, Bracknell, Berkshire GB, 1982
- 50 Recknagel/Sprenger: *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik*, Oldenburg-Verlag, München.

- 51 *Wolter, G.: Medizinische Aspekte der Solararchitektur, Symposium 81 der Flachglas AG, Gelsenkirchen.*
- 52 *Buchli J., Studach J.: Wärmeversorgung Sent, IG EK, Chur 1980*
- 53 *Mazria E., The Passive Solar Energy Book, Rodale Press, Emaus, Pa.USA, 1979*
- 54 *SIA: Dokumentation 64, Meteodaten für die Sonnenenergienutzung, SIA, Zürich 1983*

Energiebewusstes Bauen bedeutet in unserem Klima zunächst einmal, dass der Wärmeschutz optimal und lückenlos erstellt werden muss. Daraus ergeben sich erhebliche bauphysikalisch-konstruktive Konsequenzen, welche die Baupflogenheiten in Zukunft massgeblich beeinflussen werden.

In zweiter Linie soll die Sonnenstrahlung einen möglichst stattlichen Teil des Heizwärmebedarfs übernehmen. Ideen für die passive Nutzung der Sonnenenergie sind in Ueberfülle vorhanden. Glas (und transparente Kunststoffe) spielen dabei eine zentrale Rolle. Das energetische Geschehen an transparenten Materialien wird in diesem Report daher eingehend dargestellt, weil es die Grundlage für die Auswahl und die Beurteilung geeigneter Verglasungsvarianten ist.

Der isolierten Betrachtung von Energiebilanzen an einer einzelnen Glasfläche muss aber auch die nüchterne Beurteilung von passiv-solaren Bauelementen wie Wintergärten und Trombe-Wänden folgen, damit die vorhandenen Mittel beim Hausbau zielwirksam eingesetzt werden können.

Alles in allem wird die energiebewusste und klimagerechte Bauweise der nahen Zukunft den Heizenergiebedarf auf unter einen Drittel der herkömmlichen Bauweise (vor 1973) senken. Der SES - Report Nr. 13 möchte den diesbezüglichen Stand des Wissens dokumentieren und Anregungen zur Weiterentwicklung der entsprechenden know how's geben.