

Kostenreduzierung durch warmluft-
durchströmte und wärmespeichernde
Bauteile in Verbindung mit passiven
Sonnenenergiesystemen

F 2056

F 2056

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

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

KOSTENREDUZIERUNG DURCH WARMLUFTDURCHSTRÖMTE UND
WÄRMESPEICHERNDE BAUTEILE IN VERBINDUNG MIT PASSIVEN
SONNENENERGIESYSTEMEN

ABSCHLUSSBERICHT

Der Bundesminister für Wohnungsbau

*Abschluß - Zwischen - Bericht
zum Forschungs - Auftrag*

Az. 316-8001 84-209 Eing.: 16.10.86

*Sammlung der
Forschungsberichte
des Referats*

Nr. 2056

KOSTENREDUZIERUNG DURCH WARMLUFTDURCHSTRÖMTE UND
WÄRMESPEICHERNDE BAUTEILE IN VERBINDUNG MIT PASSIVEN
SONNENENERGIESYSTEMEN

ABSCHLUSSBERICHT

Der Bundesminister für Wohnungsbau

*Abschluß-Zwischen-Bericht
zum Forschungs-Auftrag*

Az. 316-8001 84-209 Eing.: 16.10.86

*Sammlung der
Forschungsberichte
des Referats*

Nr. 2056

E I N F Ü H R U N G

FORSCHUNGSVORHABEN:

"KOSTENREDUZIERUNG DURCH WARMLUFTDURCHSTRÖMTE UND WARME-SPEICHERNDE BAUTEILE IN VERBINDUNG MIT PASSIVEN SONNENENERGIESYSTEMEN"

E i n f ü h r u n g

A n l a ß

Die Kenntnis über die begrenzte Verfügbarkeit unserer fossilen Energieträger, die ungewisse Energiepreisentwicklung, die starke Importabhängigkeit der Bundesrepublik von flüssigen und gasförmigen Brennstoffen sowie die zunehmende Umweltbelastung durch Energiewandlungsprozesse müssen heute als wichtigste Konsequenz einen sparsamen und rationellen Energieeinsatz und den Ersatz der nur begrenzt vorhandenen Energieträger durch regenerierbare Energiequellen zur Folge haben.

Allein die Tatsache, daß in der Bundesrepublik der Anteil am Gesamtenergieverbrauch für private Haushalte und Kleinverbraucher ca. 45% beträgt und die privaten Haushalte ca. 87% ihres Energiebedarfs für die Raumheizung aufwenden, verdeutlicht den besonderen Stellenwert des Heizenergieverbrauchs innerhalb des Gesamtenergiekonsums.

Neue Ansätze zum Umgang mit Energie und für den Ersatz der endlichen Ressourcen fossiler Energieträger sowie neue Raumheizungskonzepte scheinen daher unumgänglich.

Dem Planer stehen zur Verringerung des Heizenergiebedarfs von Gebäuden prinzipiell die folgenden Möglichkeiten zur Verfügung:

- Die Verringerung von Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten durch entsprechende bauliche Maßnahmen und technische Einrichtungen;
- die weitestmögliche Substitution fossiler Energieträger durch die passive/hybride Nutzung der Sonnenenergie;
- die aus den beiden vorher genannten Bedingungen resultierende Entwicklung technischer Systeme, die als Raumheizungssystem am ehesten in der Lage sind, die gewünschten Anforderungen zu erfüllen.

A u f g a b e n s t e l l u n g

Es soll untersucht werden, ob und unter welchen Voraussetzungen durch Sonnenenergie-Nutzungssysteme mit warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen (Wänden, Böden,

E I N F Ü H R U N G

Decken) Ansatzmöglichkeiten für Energieeinsparungen in Einfamilienhäusern gegeben sind.

V o r g e h e n s w e i s e

Das Gebäude als wesentlichster Bestandteil eines passiven/hybriden Sonnenenergiesystems und seine Nutzer mit ihrem Einfluß auf den Systembetrieb bewirken eine komplexe Verknüpfung von Vorgaben aus Architektur, Haustechnik, Bauphysik und Baustoff-Forschung mit Bereichen der Physiologie und Hygiene, der Verhaltensforschung und den aus diesem Komplex folgenden psychosozialen und betriebswirtschaftlichen Bedingungen.

Die Optimierung von nach diesen Aspekten definierten Heizungssystemen erfordert daher die Untersuchung aller energiewirksamen Maßnahmen in ihrem komplexen Zusammenwirken, d.h. die Betrachtung des Gebäudes als Gesamtsystem unter Berücksichtigung der wechselseitigen Abhängigkeiten einzelner Teilsysteme wie auch externer Einflußgrößen.

Inhalt einer derartigen Energieplanung ist die Erstellung einer nutzungsbezogenen Hierarchie, aus der sich die Rangordnung für ein gezieltes Vorgehen zur Reduzierung des Energieverbrauchs ableitet.

In der Arbeit werden daher zunächst (Abschnitt I - Grundlagen) die Rahmenbedingungen und Einflußgrößen für eine angestrebte Optimierung in ihren Wechselbeziehungen dargestellt und untersucht.

In diesem Zusammenhang wird die genaue Analyse von offenen und geschlossenen betriebenen Warmluft-Heizkreisläufen vorgenommen.

Als Ergebnis einer umfangreichen Literatur-Recherche ergibt sich (Abschnitt II - Vorhandene Systeme) eine Sammlung von vorhandenen Systemen mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen, die sich teils im theoretischen Stadium, teils aber auch bereits im praktischen Betrieb befinden, sowohl als Prototypen und in Kleinserien, wie auch in einem Fall im Großserieneinsatz.

Die in Abschnitt I aufbereiteten Grundlagen dienen nun dazu, die einzelnen Systeme und deren Eigenschaften zu untersuchen und ihre Aufbau-, Wirkungs- und Betriebsmerkmale herauszuarbeiten, um schließlich in Abschnitt III - Entwicklung eines Systemkonzepts - prinzipielle Systemaufbauten und deren Vor- und Nachteile zu erörtern.

Als Ergebnis wird, gleichfalls in Abschnitt III, eine optimierte Systemkonzeption vorgeschlagen, deren Brauchbarkeit in Bezug auf die vielfältigen Nutzungsanforderungen durch die Gegenüberstellung möglicher Lastsituationen überprüft wird.

UNIVERSITÄT HANNOVER INSTITUT FÜR BAUTECHNIK UND ENTWERFEN
ABTEILUNG FÜR BAUKONSTRUKTION UND ENTWERFEN O.PROF. P.KAUP
SCHLOSSWENDER STRASSE 1 3000 HANNOVER 1 TEL.0511-762 2122

KOSTENREDUZIERUNG DURCH WARMLUFTDURCHSTRÖMTE UND
WÄRMESPEICHERNDE BAUTEILE IN VERBINDUNG MIT PASSIVEN
SONNENENERGIESYSTEMEN

Bearbeitung:

O.Prof.Dipl.-Ing. Peter Kaup
Dipl.-Ing. Hans-Adolf Dettmer
Dipl.-Ing. Georg Klaus
Dr.-Ing. Eckart Luz
Dipl.-Ing. Walter Henry Stridde

Mitarbeit:

cand.arch. Beate Herchenbach
cand.arch. Roland Jesse
cand.arch. Ingo Werner
cand.arch. Britta Wolf

Im Auftrag des Bundesministers für Raumordnung,
Bauwesen und Städtebau

Oktober 1986

G L I E D E R U N G

FORSCHUNGSVORHABEN: "KOSTENREDUZIERUNG DURCH WARMLUFTDURCHSTRÖMTE UND WARMESPEICHERNDE BAUTEILE IN VERBINDUNG MIT PASSIVEN SONNENENERGIESYSTEMEN"

Seite:

Einführung

E - 1

Abschnitt I: Grundlagen

I.1 - Nutzer und Gebäude

- | | |
|--|---------|
| 1.1 Aspekte der Gebäudenutzung; Nutzungsstrukturen privater Haushalte | I.1 - 2 |
| 1.2 Wohnphysiologie; thermische Behaglichkeit | I.1 - 7 |
| 1.3 Planerische und bauliche Maßnahmen zur Energieeinsparung - energiegerechte Architektur | I.1 -11 |
| 1.4 Passive und hybride Nutzung von Sonnenenergie und gebäudeinternen Wärmequellen | I.1 -20 |
| 1.5 Energiesparpotentiale in den Bereichen Heizung und Raumluft-Konditionierung | I.1 -36 |
| 1.6 Energiebilanzen von Gebäuden | I.1 -47 |
| 1.7 Allgemeine ökonomische Aspekte - Kostenreduzierung durch energiesparende Maßnahmen | I.1 -53 |

I.2 - Das Hypokausten-Prinzip

- | | |
|---|---------|
| 2.1 Hypokaustenheizung: Geschichtlicher Rückblick | I.2 - 1 |
| 2.2 "Moderne" Varianten der Hypokaustenheizung | I.2 - 2 |

I.3 - Offene und geschlossene Warmluft-Heizkreisläufe mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen

- | | |
|---|---------|
| 3.1 Das Wärmeträgermedium Luft in offenen und geschlossenen Systemen | I.3 - 2 |
| 3.2 Energetische Aspekte des Betriebs offener und geschlossener Warmluft-Heizkreisläufe | I.3 - 6 |
| 3.3 Passive und hybride Sonnenenergienutzung in Abhängigkeit vom Systembetrieb | I.3 - 9 |
| 3.4 Bauliche Integrationsfähigkeit der Systeme | I.3 -13 |

I.4 - System-Peripherie

4.1 Technische Einrichtungen für den Systembetrieb	I.4 - 1
4.2 Offene und geschlossene Systeme - Anforderungen an die Peripherie	I.4 - 1
4.3 Funktions-Kombinationen	I.4 - 3
4.4 Einzelkomponenten der Systemperipherie	I.4 - 8
4.5 Zusammenfassung - Schematischer Überblick	I.4 -24

I.5 - Aspekte der Behaglichkeit und Hygiene beim Betrieb von Luftheizkreisläufen mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen

5.1 Allgemeine Behaglichkeits- und Hygiene-Problematik bei dem/durch den Betrieb offener und geschlossener Systeme	I.5 - 1
5.2 Beeinflussung der thermischen Behaglichkeit durch den Systembetrieb	I.5 - 2
5.3 Geräuschbildung und Geräuschübertragung in Luftheizkreisläufen mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen	I.5 - 4
5.4 Schadstoffübertragung durch offene Luftheizkreisläufe; Schadstoffbildung im System	I.5 - 5
5.5 Zusammenfassung der "Gutachterlichen Stellungnahme" von Prof. Beckert über die Beurteilung offener Luftheizkreisläufe mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen aus hygienischer Sicht	I.5 - 8
5.6 Anmerkungen zum "gesunden Heizen"	I.5 -10

I.6 - Spezielle ökonomische Aspekte

6.1 Wirtschaftlichkeitsüberlegungen zum Systembetrieb	I.6 - 1
6.2 Herstellungskosten	I.6 - 1
6.3 Betriebskosten	I.6 - 4
6.4 Verhältnis von einmaligen zu laufenden Kosten	I.6 - 6
6.5 Zusammenfassende Prognose	I.6 - 6

I.7 - Nachrüstbarkeit der Systeme in vorhandene
Bausubstanz

7.1 Allgemeine Voraussetzungen	I.7 - 1
7.2 Systemspezifische Voraussetzungen	I.7 - 1
7.3 Schlußfolgerung	I.7 - 5

I.8 - Ergebnisse und Diskussion

8.1 Hintergrund und Entwicklung eines Anforderungs- profils an Warmluft-Heizsysteme mit warmluft- durchströmten Speicherbauteilen	I.8 - 1
8.2 Zusammenfassung des Anforderungsprofils und Gegenüberstellung der Betriebsmerkmale der offenen und geschlossenen Systeme - tabellarische Übersicht	I.8 - 1
8.3 Diskussion der Ergebnisse	I.8 - 9

Abschnitt II: V o r h a n d e n e S y s t e m e

II.1 - Untersuchte Systeme:

(Quellenangaben und Herstellerhinweise s. a.a.O.)

Systembezeichnung:

1.1 Hambro (Knauf)	II.1 - 5
1.2 Thermodeck (Isfält)	II.1 -12
1.3 Airfloor	II.1 -21
1.4 Wärmespeicherfähigkeit interner Massen (Fuchs)	II.1 -29
1.5 Durchlüftete Baukonstruktionen (Haferland)	II.1 -38
1.6 Minimalenergiehäuser (Küsgen)	II.1 -43
1.7 Porenlüftung/Solpor-Sonnenwand (Bartussek)	II.1 -48
1.8 Hohlkörperdecken (Hoffman)	II.1 -55
1.9 Luftheizung mit Speicherdecken (Brink)	II.1 -59
1.10 Beton-Sohlplattenspeicher (Mitchell)	II.1 -65
1.11 Chaleff-Slab	II.1 -70
1.12 Flexicore	II.1 -75
1.13 Acorn-Slab	II.1 -79
1.14 Luftheizung m. passiver Sonnenenergienutzung, (System Arnke)	II.1 -84
1.15 Hohlkammerdecken, System Seppanen/Ripatti	II.1 -89
1.16 Sonnenwand mit transparenter Wärmedämmung (Fraunhofer-Institut für Bauphysik; Stuttgart)	II.1 -94
1.17 Hypokausten-Wand, System Bambek	II.1 -98

GLIEDERUNG

Seite:

II.2 - Weitere Systeme

2.1 Systeme mit warmluftdurchströmten und wärme-speichernden Bauteilen, ohne Detailunterlagen	II.2 - 1
2.2 Systeme mit warmluftdurchströmten Zusatzspeichern	II.2 - 2
2.3 Systemkonzepte in diversen Veröffentlichungen (theoretische Ansätze)	II.2 - 2
2.4 Systemverwandte Konzeptionen	II.2 - 2

G L I E D E R U N G

Seite:

Abschnitt III: E n t w i c k l u n g e i n e s S y s t e m k o n z e p t s

III.1 - Voraussetzungen und Anforderungen

1.1 Rahmenbedingungen	III.1 - 1
1.2 Systembetrieb	III.1 - 2
1.3 Systemkomponenten	III.1 - 4
1.4 Lastsituationen	III.1 - 8

III.2 - Bewertung der untersuchten Systeme

2.1 Systemkonzepte und Rahmenbedingungen	III.2 - 1
2.2 Systeme in Abhängigkeit von ihrem Wirkungsprinzip	III.2 -14
2.3 Übersicht	III.2 -34

III.3 - Systemkonzept

3.1 Systemskizze	III.3 - 2
3.2 Systembetrieb	III.3 - 3
3.3 Luftdurchströme, wärmespeichernde Bauteile	III.3 -16

III.4 - Zusammenfassender Überblick

III.4 - 1

E I N F Ü H R U N G

Der theoretische Ansatz dieser Untersuchung bringt es mit sich, daß die vorgestellte Systemkonzeption natürlich nur Modellcharakter besitzen kann. Sie ist daher als Voruntersuchung und Anregung für die weiterführende, praktische Systementwicklung gemeint. Als Vorbereitung für diesen weiteren Schritt sind die am Ende von Abschnitt III exemplarisch dargestellten Deckenkonstruktionen zu verstehen.

Teilweise wurden die erläuterten Konstruktionen bereits in einigen der vorhandenen Systemkonzeptionen realisiert und erprobt; es sollte aus diesem Grunde keine technisch-konstruktiven Hindernisse geben, den folgerichtig nächsten Forschungsschritt zu tun und an einem gebauten Demonstrations- und Versuchsprojekt die Gebrauchstüchtigkeit und Effizienz der vorgeschlagenen Konzeption zu verifizieren.

Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit können ebenfalls nur tendenziell erörtert werden. Detaillierte Angaben können erst in der Folge zukünftiger praktischer Erprobungen gegeben werden.

Die vorliegende Arbeit verfolgt somit in erster Linie die Absicht, die für die Themenstellung erforderlichen theoretischen Grundlagen übersichtlich und in Ihren Zusammenhängen transparent aufzubereiten und durch die Untersuchung bereits vorhandener Systeme zu qualitativen Aussagen über Lösungsansätze für ein neues, energiesparendes Heizungssystem zu gelangen.

Die praktische Erprobung und Anwendbarkeit sowie die quantitative Erfassung eines solchen Lösungsansatzes muß einem zweiten Forschungsschritt, also der Umsetzung des Systemkonzeptes in und seiner Untersuchung an Versuchsbauten, vorbehalten bleiben.

A B S C H N I T T I . : G R U N D L A G E N

Kapitel I.1 - Nutzer und Gebäude

Statt Einleitung:

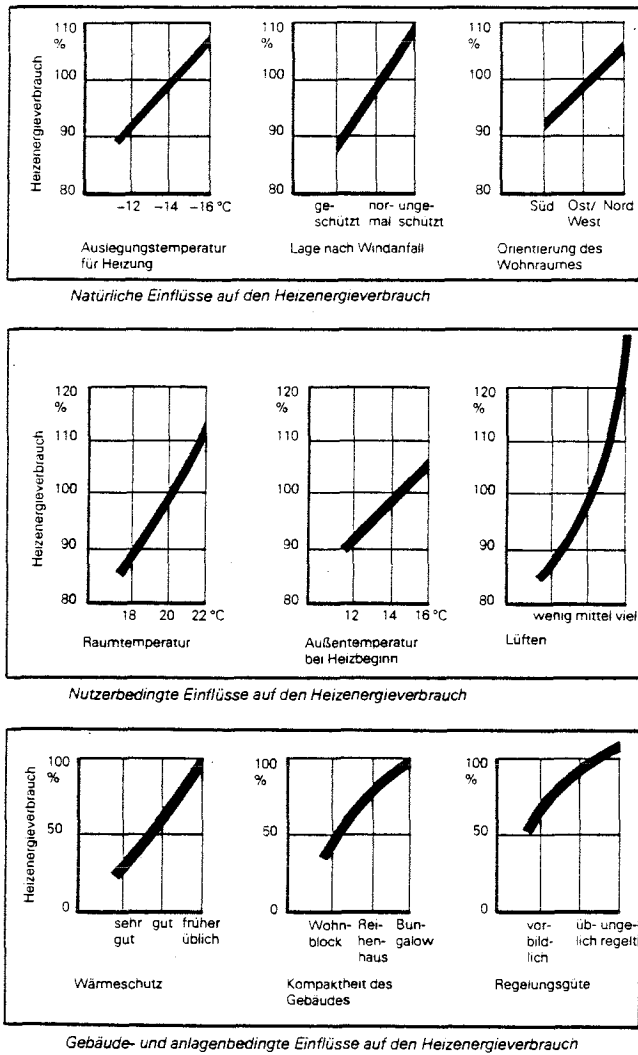


Abb. n. /C07/(S.223)

1.1 Aspekte der Gebäudenutzung; Nutzungsstrukturen privater Haushalte

Das Nutzerverhalten beeinflusst entscheidend die Wirksamkeit von baulichen und haustechnischen Maßnahmen /N02/.

1.1.1 Energieumsatzoptimierung und Nutzerverhalten Erläuterung der Zusammenhänge

Gleichrangig neben oder gar noch vor den baulichen (s. 1.3) und gebäudetechnischen (s.1.5) Maßnahmen zur Energieeinsparung bzw. Energieumsatzoptimierung besitzen die nutzerbezogenen Abhängigkeiten übergeordneten Einfluß auf den Energiebedarf von Gebäuden. Zwei unterschiedliche Parameter sind dabei von Bedeutung:

- Die Art der Gebäude-/Wohnraumnutzung mit den daraus folgenden Anforderung und Konsequenzen;
- das Bewußtsein des Nutzers in Bezug auf das Konsumgut Wärme bzw. Energie

Die Schwierigkeiten bei der Betrachtung und dem Versuch einer Quantifizierung der Einflußgrößen liegen in dem Umstand begründet, daß sich das Verhalten von Individuen und Haushalten den planerischen Überlegungen in aller Regel entzieht, weil es nicht gelingen kann, die wesentlichen Bestimmungsgrößen für das Verhalten in einem Modell zu integrieren. Gleichwohl soll mit Hilfe der Darstellung einzelner Nutzungsparameter versucht werden, Einfluß und Bedeutung der Nutzungsaspekte in Beziehung zu setzen zu den in den nachfolgenden Kapiteln vertieften baulichen und haustechnischen Energieeinsparungsmaßnahmen.

1.1.1.1 Art der Gebäudenutzung

Die Art der Gebäudenutzung wird gekennzeichnet sowohl von den spezifischen personenbezogenen Nutzermerkmalen (Alter, Geschlecht, physische und psychische Kriterien) als auch von den nutzungsbedingten Temperaturanforderungen und den die Temperaturanforderungen bestimmenden Nutzertätigkeiten. Eine weitere Rolle spielt die Belegungsdichte in Räumen (Wärmeabgabe eines Menschen ca. 100 W/h, vgl. 1.4). Hinzu kommen die Tages- und Lebensrhythmen (sog. Nutzungszyklen), die die zeitliche Dauer der Temperaturanforderung als wiederkehrende Einflußgröße definieren.

Besondere Bedeutung für das subjektive Behaglichkeitsempfinden (vgl. 1.2) und die damit verbundenen individuellen Temperaturanforderungen besitzt das Maß der Temperaturgewöhnung: "Heute sind Raumtemperaturen im Winter von 22°C und darüber üblich, während früher in den Wohnräumen Temperaturen von 18° und 20°C als behaglich angesehen wurden. Hier hat sich eindeutig die Gewohnheit des Menschen verändert, und somit haben sich die Forderungen verschoben." /S21/(S.17)

Trotz vorliegender Erkenntnisse einiger wichtiger Nutzungsmerkmale ist der durch die Gebäudenutzung gekennzeichnete mengenmäßige Einfluß gegenwärtig nur unpräzise zu determinieren. Detaillierte Untersuchungen mit ganzheitlichem Betrachtungsansatz liegen nicht vor /N02/.

1.1.1.2 Nutzerverhalten und Energiebewußtsein

Das Potential allein verhaltensbedingter Energieeinsparungsmöglichkeiten faßt Geiger in /G16/(S.36) zusammen: "Allein Verhaltensänderungen können zu erheblichen Energieeinsparungen führen - und dies ohne nennenswerte Komforteinbuße. (...) Unter Einbezug der (...) nicht investiven Maßnahmen und einer allgemein energiebewußten Verhaltensweise dürften Energieeinsparungen bei der Raumheizung von rd. 15% durchaus realisierbar sein."

Hinsichtlich des Verhaltens und des Umgangs mit Energie in privaten Haushalten muß differenziert werden zwischen bewußtem und unbewußtem (unreflektiertem, gewohnheitsmäßigem, arglosem) Verhalten. Während die Bereitschaft zur bewußten Auseinandersetzung mit Energiefragen bereits als günstige Voraussetzung für die Einsparung von aktiver Energie auf dem privaten Sektor gewertet werden kann, muß das unbewußte energiewirksame Verhalten als Ursache für den Mehrumsatz von Energie gewertet werden.

Der Ansatz von Bestrebungen zur positiven Nutzerbeeinflussung im Sinne der gebotenen Notwendigkeit zur Energieeinsparung muß darin bestehen, bestehende Fehlverhaltensweisen abzubauen und den bewußten Umgang mit dem Konsumgut Energie zu wecken, "... denn Energieeinsparung ist nicht nur ein technologisches, vielmehr ein erzieherisches, psychologisches und soziales Phänomen." /N02/(S.207) Eine gezielte Aufklärung über die Wirkungszusammenhänge scheint daher das wichtigste Instrumentarium für die gebotene positive Nutzerbeeinflussung darzustellen:

1.1.2 Maßnahmen zur positiven Nutzerbeeinflussung

1.1.2.1 Aufklärung über energetische Wirkungszusammenhänge zur Ermöglichung energiegerechter Verhaltensweisen

Über den vorrangigen Stellenwert der Aufklärung mit dem Ziel der Verbesserung des Informationsstandes der Bevölkerung über allgemeine und spezielle energiewirtschaftliche Zusammenhänge herrscht in allen diesbezüglichen Veröffentlichungen Einigkeit, vgl. Ausführungen in /B25/, /K12/, /M10/, /M11/, /N01/, /S18/. Zudem wird einstimmig ein erhebliches Informationsdefizit identifiziert.

Bezüglich der Aufklärung zur Verbesserung des allgemeinen Informationsstandes fällt nach /G24/(S.30-33) den Architekten eine besondere Rolle zu, da diese überdurchschnittlich oft

Anlauf- und Auskunftsstelle für ratsuchende Bauherren und Bewohner ist.

Zusätzlich zu den in den nächsten Kapiteln untersuchten Zusammenhängen energiewirksamer baulicher und gebäudetechnischer Maßnahmen scheint die schwerpunktmäßige Aufklärung über folgende Sachverhalte angezeigt:

- Die gesamtwirtschaftlichen Aspekte der bundesrepublikanischen Energiebilanz. Verhaltens- und Handlungsweisen der Nutzer mit politischer Bedeutung.
- Grundzüge der Physiologie des menschlichen Wärmehaushaltes.
- Verhaltensgewohnheiten und Gewöhnungen. Herkunft und Mechanismen, Ansätze zur Beseitigung von Störungen.
- Kenntnis über Umgang mit und Herkunft von Primärenergieträgern. Verständnis von einfachen physikalischen und thermodynamischen Zusammenhängen. Einblick in alternative Technologien zur Substituierung des aktiven Energieeinsatzes.
- Wirtschaftlichkeit von Energiesparmaßnahmen aus volks- und betriebswirtschaftlicher Sicht.
- Energieeinsatz für energiesparende Maßnahmen (Herstellung, Transport, Einbau).

Es muß noch auf eine zusätzliche Bedeutung eines möglichst hohen Informationsstandes der Verbraucher hingewiesen werden: der Planer braucht, gewissermaßen als 'Feedback', Anhaltspunkte darüber, wie die von ihm vorgesehenen baulichen und technischen Maßnahmen auf das individuelle Verhalten zurückwirken. Auskunft erhalten kann er aber nur von denjenigen Nutzern und Bewohnern, die über die jeweiligen Maßnahmen und ihre Stellung im Energiekonzept des Gebäudes informiert sind.

Es sei auf die Veröffentlichung von Mettler-Meibom mit dem Titel "Informationsstand und Einstellung als Verhaltensregulative" /M10/ hingewiesen.

1.1.2.2 Aufklärung und Passive Energiequellennutzung

Eine Sonderstellung in Bezug auf das Bewohnerverhalten nimmt die Nutzung passiver Energiequellen ein, da das Funktionieren und der Wirkungsgrad einer entsprechenden Einrichtung in weitaus größerem Maße vom aktiven Mitwirken des Nutzers abhängen, als dies bei konventionellen Raumheizungssystemen der Fall ist (vgl. 1.4). "Die Maßnahmen zur verstärkten Solarenergiegenutzung müssen immer in enger Verknüpfung mit dem Nutzer gesehen werden." /N02/(S.215)

Zudem erfordern die meisten Systeme, insbesondere diejenigen zur Nutzung der Sonnenwärme, die Duldung von größeren Temperaturschwankungen seitens der Bewohner. - Diese komplexen Zusammenhänge müssen den Betreibern derartiger Systeme bewußt werden, um den von dem Systembetrieb erhofften Heizungsbeitrag mit der entsprechenden Reduzierung des aktiven Energieanteils zu erreichen. Grundsätzlich kann nach /L20/(S.67) gelten: "Je passiver das System, desto aktiver der Nutzer."

In einer Projektskizze des vom österreichischen Bundesbauministerium geförderten Forschungsvorhabens F-863 ("Bewohner einfluß auf passive Solarsysteme", /T03/(S.36) wird die Problematik wie folgt zusammengefaßt: "Das Funktionieren von passiven solartechnischen Systemen ist - verglichen mit anderen Energiesystemen - in besonders hohem Maße vom Verhalten und dem Mitwirken der Bewohner abhängig. (...) Ganz wichtig für die Akzeptanz des Solarsystems bei den einzelnen Bewohnern ist auch, wie die Entscheidungsfindung zugunsten dieses Systems organisatorisch abgelaufen ist. Dies wird ebenso aufzuarbeiten sein wie die Motivation der Bewohner in Bezug auf energiebewußtes Verhalten."

1.1.3 Motivation der Verbraucher zur Energieeinsparung

Die Bereitschaft der Verbraucher zur Senkung des Energieverbrauchs setzt eine Veranlassung, eine Motivation voraus. In der gegenwärtigen Situation handelt es sich dabei in erster Linie um materielle Sachzwänge (vgl. b. /G24/u./S18/), verursacht durch die ständig und steil gestiegenen Energiepreise. Je direkter die finanziellen Auswirkungen für den Einzelnen spürbar werden, desto größer ist in der Regel sein Interesse, den steigenden Kosten durch geeignete, dämpfende Maßnahmen zu begegnen. Diese beziehen sich, je nach Verbrauchergruppe, sowohl auf investive als auch auf allein verhaltensbedingte Einsparungsmöglichkeiten.

Der Preis für das "Verbrauchs"-Gut Energie ist daher als das wesentliche Verhaltensregulativ zu bewerten. Besondere Bedeutung erlangen in diesem Zusammenhang staatliche Eingriffsmöglichkeiten in die Preisstruktur zur Durchsetzung übergeordneter und das Allgemeinwohl betreffender Interessen (Energiepreispolitik: Verordnungen und Gesetze mit energieumsatzoptimierender Wirkung, Besteuerung von (Edel-) Energieträgern, Sonderabgaben zur Lastenverteilung, Förderung von Energiesparmaßnahmen etc.).

Private Bauherren und Haus- bzw. Wohnungseigentümer können vor diesem Hintergrund als an Energieeinsparung besonders interessierte Verbrauchergruppe betrachtet werden. - Als in energiepolitischer Hinsicht problematisch muß das Verhältnis von Vermieter zu Mieter gewertet werden, da es wenig Ansätze für eine Motivation zum Energiesparen erkennen läßt. (Einschlägig zu dieser Problematik: /B36/, /M11/, /M12/.)

Ferner bestehen Hinweise darauf, daß ein weiterer Anlaß zur Energiesparbereitschaft in der vermehrten Schaffung von Identifikationsbereichen und -möglichkeiten für die Bewohner besteht: "Diese Verklammerung von Technik und Nutzerverhalten, diese Motivation, energiebewußt zu leben, wird dann zum Tragen kommen, wenn den Bewohnern eine hohe Kompetenz hinsichtlich der Planung und Gestaltung ihres Wohnbereiches zukommt. (...) Ein Bewohner, der Entscheidungen, deren Folgen sich auf seinen unmittelbaren Lebenszusammenhang auswirken, selbst treffen und verstehen kann, wird eher vernünftiger und spar-

samer mit Energie umgehen als Bewohner, deren Identifikation mit der Wohnung bzw. dem Haus geringer ist. (...) Als besonders geeignetes Modell sehen wir Wohnprojekte an, bei denen die Bewohner in einem hohen Maß an der Planung teilhaben und gewillt sind, ihre Wohnungen gemeinschaftlich selbst zu verwalten und letztlich die Steuerung von passiven Systemen selbst zu übernehmen." /F08/(S.17)

1.1.4 Möglichkeiten zu weiteren Einsparungen, Zumutbarkeitsgrenzen und Komfortverzicht

Obwohl substantielle Energieeinsparungen in privaten Haushalten auch ohne Komforteinbußen möglich sind (vgl. /G16/ u. /M12/), müssen darüber hinaus zu erschließende Energiesparmöglichkeiten und -maßnahmen erörtert werden. Einige Ansätze in weiterführende Richtungen finden bereits statt: "So werden von den Bewohnern (...) niedrigere Temperaturen in Kauf genommen. Ein weiterer Gesichtspunkt für Energieeinsparungsmöglichkeiten, jedoch als subjektives Moment nicht übertragbar und nicht verallgemeinerbar." /H02/(S.31)

Einsparmöglichkeiten um den Preis möglichen Komfortverzichts müssen in Betracht gezogen werden. - Bislang hat ein echter, ohne Sachzwänge begründeter Komfortverzicht seitens der Verbraucherallgemeinheit noch nicht stattgefunden. Raumtemperaturabsenkungen etwa erfolgen nur im Rahmen einer "Entwöhnung" (s. 1.1.1), also einer Korrektur des Wärmeanspruchdenkens und -empfindens. Echter Komfortverzicht bestünde darin, die Raumtemperaturen bewußt so weit abzusenken, daß von den Bewohnern zur Aufrechterhaltung ihres individuellen, subjektiven Behaglichkeitsempfindens mehr und wärmere Kleidung getragen werden müßte. Einer Veranlassung derartiger Maßnahmen stehen jedoch noch zu bedeutende, nicht zuletzt psychologische Barrieren entgegen.

Zudem muß die Frage gestellt werden, ob und in welchem Umfang in der Zukunft derartige Einschränkungen, sofern sie nicht freiwillig ergriffen werden, den privaten Haushalten abverlangt werden müssen - zumal, wenn längst nicht alle Möglichkeiten auf baulichem und haustechnischem Sektor ausgeschöpft und auch in weiteren, am Gesamtenergieumsatz beteiligten Bereichen (Industrie, Verkehr etc.) z.T. erhebliche Einsparungskapazitäten frei sind (volkswirtschaftliche Lastenverteilung).

1.2 - Wohnphysiologie und Behaglichkeit

Das menschliche Wohlbefinden, die Gesundheit und das Leistungsvermögen sind stark vom Raumklima und seinem Einfluß auf die Behaglichkeit abhängig. Die Maßnahmen zur Energieeinsparung in den letzten Jahren haben das Raumklima nicht immer positiv (dampfdichte Konstruktionen, Verwendung gesundheitsbedenklicher Baustoffe) verändert; hinsichtlich der Energieeinsparung in Gebäuden ohne Beeinträchtigung der Gesundheit, der Behaglichkeit und des Komforts müssen neue Strategien gesucht und diskutiert werden /F01/, /T01/.

1.2.1 Definition der Behaglichkeit - Thermische Behaglichkeit

"Die Behaglichkeit ist der Zustand des Wohlbefindens des Menschen aufgrund äußerer Einwirkung aller Klimakomponenten." /S21/(S.17)

Raumklimatische Einflußfaktoren für das menschliche Behaglichkeits- und physiologische Wohlempfinden:

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| - Temperatur | - Wärmestrahlung |
| - Feuchtigkeit | - Beleuchtung |
| - Geschwindigkeit und | - Geräusche |
| - Reinheit der Luft | - elektrische Felder |
| - Ionisation | |

Gemäß DIN 1946 Teil 2 wird die Behaglichkeit wechselseitig beeinflusst durch:

- a) den individuellen Zustand der Personen,
 - wie geistige und/oder körperliche Tätigkeit, Bekleidung,
 - psychisches und physisches Allgemeinbefinden,
 b) die RLT-Anlagen,
 - Lufttemperatur, -feuchte, -geschwindigkeit, -erneuerung,
 - Reinheit der Luft,
 - Raumlufttechnisches System,
 - insbesondere die Luftführung im Raum, Anlagen-geräusch,
 c) die bauphysikalische Ausbildung des Raumes,
 - wie Temperatur der Umschließungsflächen und sonstiger Wärmestrahler,
 - Akustik,
 - Beleuchtung.

Weitere Einflußgrößen auf die Behaglichkeit sind Aufenthaltsdauer, Dichte der Personenbelegung, Belastung des Raumes (Art, örtliche Verteilung, Intensität, zeitlicher Anfall von Schadstoffen) und andere mehr.

Behaglichkeit ist nur dann sichergestellt, wenn diese Faktoren während der Aufenthaltsdauer des Menschen im Aufenthaltsbereich aufeinander abgestimmt sind.

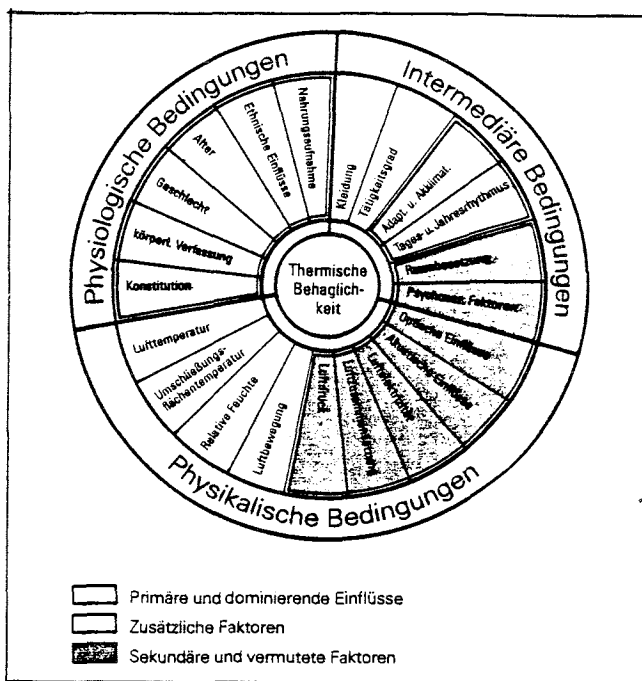
Mit RLT-Anlagen können Raumlufttemperatur, Raumluftgeschwindigkeit, Raumluftfeuchte und Reinheit der Luft beeinflusst werden.

Thermische Behaglichkeit ist gegeben, wenn die Person mit der Temperatur, Feuchte und Luftbewegung in ihrer Umgebung zufrieden ist und weder wärmere noch kältere, weder trockenere noch feuchtere Raumluft wünscht.

Bestimmte Klimakomponenten können entweder durch haustechnische Einrichtungen unter Einsatz von aktiver Energie oder durch bauliche Maßnahmen (Gebäudegestaltung, Materialwahl, Konstruktion) in den Behaglichkeitsbereich gebracht werden. Letztgenannte Maßnahmen sollten unter dem Aspekt der Energieeinsparung Vorrang besitzen. Die wechselseitige Beeinflussung einiger baulicher Maßnahmen muß berücksichtigt werden (z.B. dichte neue Fensterkonstruktionen).

Entscheidend für die thermische Behaglichkeit sind die Klimakomponenten, die das Kälte- und Wärmeempfinden des Menschen beeinflussen ("thermische Einflußgrößen") /I01/(S.37).

Für die Untersuchung von offenen und geschlossenen Warmluft-Heizkreisläufen ist die Betrachtung der thermischen Behaglichkeit von besonderer Bedeutung: Thermische Behaglichkeit ist nicht nur eine subjektive Empfindungsgröße, sondern eine entscheidende Basisgröße, sowohl für körperliches wie für geistiges Leistungsvermögen. Bei Behaglichkeitstemperaturen sind Stoffwechsel sowie Energieumsatz auf ein relatives Minimum, dessen Niveau von der Körpertätigkeit abhängt, eingestellt; der Kreislauf ist vergleichsweise entlastet. Folge davon sind optimierte Leistungsreserven und geringe Ermüdbarkeit. Somit ist die thermische Behaglichkeit kein unnötiger Komfort, kein Luxus, sondern Erfordernis im Hinblick auf Leistung und Gesundheit /T01/.



Thermische Behaglichkeit in Abhängigkeit von physiologischen, intermediären und physikalischen Einflüssen

Abb. n. /C07/(S.101)

1.2.2 Einfluß der Raumtemperatur auf das Behaglichkeitsempfinden

Bei der Betrachtung des Einflusses der Raumtemperatur auf die menschliche Behaglichkeit ist das Zusammenwirken von Raumlufttemperatur, der Temperatur der Umschließungsflächen und sonstiger Wärmestrahler zu berücksichtigen /S21/. "Physiologische Untersuchungen haben gezeigt, daß das Temperaturempfinden in erster Annäherung dem Durchschnittswert aus Temperatur der Luft und Temperatur der Umschließungsflächen entspricht." /G20/(S.195)

Für das Behaglichkeitsempfinden ergibt sich daraus eine Reihe wichtiger Voraussetzungen:

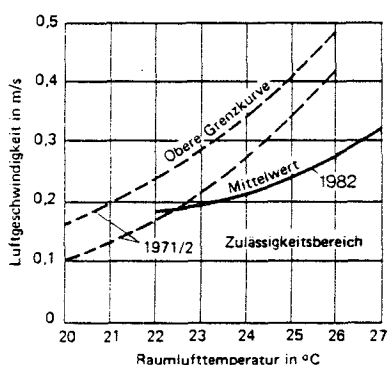
- Die empfundene Temperatur ist von der Bekleidung, der körperlichen Tätigkeit, vom Alter, dem Geschlecht und der Gewöhnung abhängig /G20/, /S21/ (vgl. auch 1.1).
- Die Temperatur der Umschließungsflächen sollte max. 2-3 K von der Raumlufttemperatur abweichen /G20/(S.195).
- Die Raumtemperaturen sollten im mitteleuropäischen Bereich für sitzende, normal gekleidete Menschen im Winter 20° bis 21°C und im Sommer 21° bis 22°C betragen (für unbedeckte Menschen 28°C) /R03/(S.40).

1.2.3 Einfluß der Luftbewegung auf das Behaglichkeitsempfinden

"Die thermische Behaglichkeit der Personen wird im besonderen Maße von der Luftbewegung im Aufenthaltsbereich mitgeprägt." (DIN 1946 Teil 2, S.3) "Am meisten wird das Wohlbefinden gestört, wenn die bewegte Luft eine geringere Temperatur als die Raumluft hat und vorwiegend aus bestimmter Richtung einen Körperteil trifft. Man spricht in diesem Fall von Zugluft." /R03/(S.46)

Die Grenzwerte für die max. Luftgeschwindigkeit innerhalb des Behaglichkeitsbereiches sind abhängig von:

- der Lufttemperatur (s. Abb.),
- Alter, Geschlecht, Kleidung, Gewöhnung und Tätigkeit der Personen.



Bei Temperaturen von 20° - 22°C sind Luftgeschwindigkeiten von 0,15 - 0,20 m/s zulässig. Eine mechanische Belüftung hält die Luftgeschwindigkeit konstant im Behaglichkeitsbereich. Fensterlüftung führt häufig zu Zugerscheinungen.

Zulässige Luftgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur (DIN 1946, Bl. 2 - 1982 u. Entwurf 1971/2).

Extrem niedrige Luftgeschwindigkeiten oder gar Luftstillstand sind ebenso wenig wünschenswert wie zu hohe.

Abb. n. /R03/(S.47)

1.2.4 Einfluß der Luftfeuchte auf das Behaglichkeitsempfinden

Da der Wärmeverlust des menschlichen Körpers zum Teil durch Verdunstung auf der Haut erfolgt, hat auch die Luftfeuchte Einfluß auf das thermische Behaglichkeitsempfinden; das Maß der Verdunstung hängt, bei sonst gleichen Verhältnissen, vom Dampfdruckunterschied des Wassers an der Hautoberfläche und des Wasserdampfes in der Luft ab /R03/(S.44).

Von besonderer Bedeutung ist dabei die relative Luftfeuchte, worunter man das Verhältnis von Wasserdampf-Teildruck (p^D) zu Wasserdampf-Sättigungsdruck (p'') versteht.

Solange der Mensch nicht bzw. nicht nennenswert schwitzt, wie es bei Temperaturen im Bereich der thermischen Behaglichkeit der Fall ist, ist der Einfluß der Luftfeuchte für seinen Wärmehaushalt nur von beschränktem Einfluß.

Als optimal für das Behaglichkeitsempfinden gilt der Bereich von 40 - 60% rel. Luftfeuchte. Zu trockene Luft schädigt die Schleimhäute mit der Folge einer erhöhten Infektionsanfälligkeit. Zudem steigt die Staubkonzentration in der Luft. Eine hohe relative Luftfeuchte hat zur Folge:

- die Senkung des Staubgehaltes in der Luft;
- eine Einschränkung evtl. vorhandener Geruchbelästigungen;
- eine erhöhte Gefahr der Tauwasserbildung.

Die Luftfeuchte beeinflusst den mechanischen, thermischen und elektrischen Widerstand der Haut sowie die Abwehrfähigkeit des Organismus gegen Mikroben. Bestimmte pathogene Mikroben haben ihre größte Absterbequote bei 30 - 50% relativer Luftfeuchte.

1.2.5 Lüftung und Schadstoffkonzentration in der Raumluft

Neben den bereits dargestellten thermischen Einflußgrößen gewinnt der Schadstoffgehalt der Innenluft zunehmend an Bedeutung.

Informationen über zulässige Konzentrationen von Schadstoffen in der Raumluft und über die Emissionen von Schadstoffen aus Baumaterialien und anderen Quellen sind immer noch sehr beschränkt /F01/(S.35). Aus diesem Grund beschreibt DIN 1946 T.2 die erforderliche Mindest-Lüftung, d.h. die Rate der Außenluft, die einem Raum pro Person zugeführt werden muß, um die Schadstoffkonzentration zu minimieren, folgendermaßen:

Mindestaußenluftstrom	
Raumart	Mindestaußenluftstrom je Person m ³ /h
Einzelbüro	30
Großraumbüro	50
Theater, Konzertsaal	20
Kantine	30
Konferenzraum	30
Kino	20
Festsaal	20
Ruhezimmer	30
Pausenraum	30
Klassenraum	30
Lesesaal	20
Hörsaal	30
Messehalle	20
Verkaufsraum	20
Museum	20
Hotelzimmer	30
Gaststätte	40
Turn- und Sporthalle mit Zuschauerplätzen	20

"In Räumen zum Aufenthalt von Personen ist der Aussenluftstrom nach der Anzahl der gleichzeitig anwesenden Personen und der Nutzung der Räume zu bemessen. Der (s. Abb.) Aussenluftstrom braucht bei den Maximalwerten der Aussentemperaturen (s. DIN 4701 Teil 1 und 2 u. VDI 2078) nur 50% des Mindestluftstromes je Person zu betragen."

Viele Jahre konnte das Problem der Lüftung vernachlässigt werden, da die bestehenden (Fenster-) Gebäudekonstruktionen relativ undicht waren und einen ausreichenden unkontrollierten Luftwechsel sicherstellten.

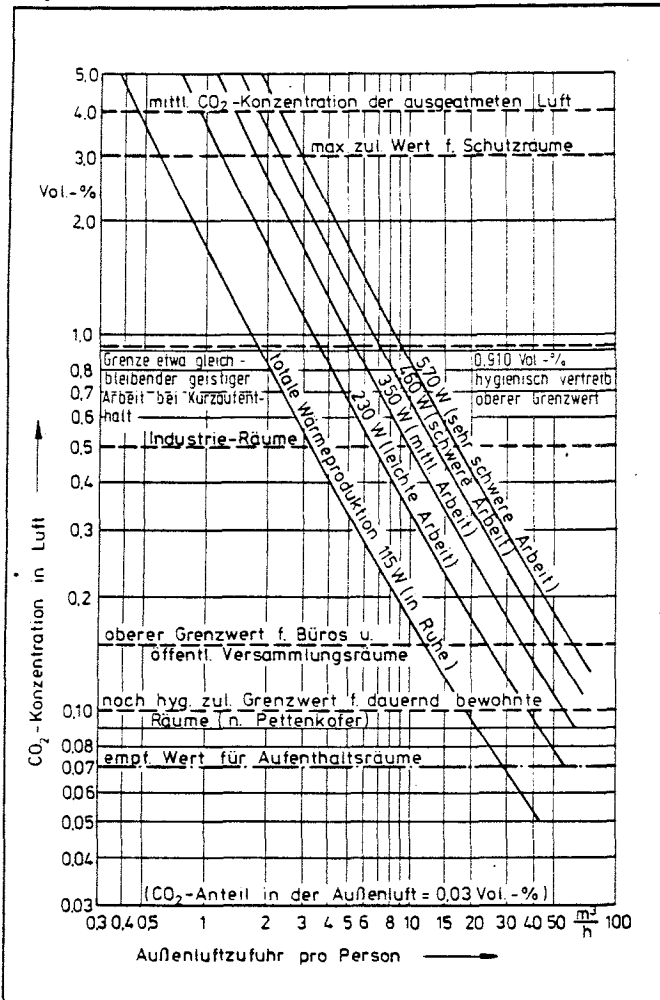
Abb. n DIN 1946, T.2, S.4

Durch die gegenwärtig üblichen, energiesparenden dichten Konstruktionen hat sich der natürliche Luftwechsel auf ca. 0,1/h verringert. Bei mangelnder Fensterlüftung können überhöhte Konzentrationen verschiedener Schadstoffe auftreten.

Für Wohlbefinden und Behaglichkeit kommt dem CO₂-Gehalt der Raumluft besondere Bedeutung zu. Der Mensch produziert beim Atmungsprozess selbst CO₂; die ausgeatmete Luft hat eine CO₂-Konzentration von ca. 4%. Der CO₂-Gehalt der Außenluft liegt bei 0,03%. Daraus folgt, daß durch entsprechenden Luftaustausch ein Konzentrationsabbau des CO₂-Wertes auf ein das Wohlbefinden sicherstellendes Niveau erfolgen kann. Diese

Außenluftstraten sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

Erforderliche Außenluftstraten zur Verdünnung der CO₂-Konzentration in Räumen auf benagliche Werte



Voraussetzung für diesen Luftaustausch ist natürlich eine entsprechende Qualität der Außenluft. - Weitere in der Raumluft vorkommende Schadstoffe können sein:

- das radioaktive Gas Radon; es tritt aus Baumaterialien oder aus dem Erdboden aus. In jüngster Zeit werden Vermutungen laut, wonach Radon als kanzerogen einzustufen sein könnte.
- Formaldehyd tritt aus Baumaterialien und Einrichtungsgegenständen aus und kann Augen- und Luftwegirritationen hervorrufen. Es steht gleichfalls im Verdacht, krebserregend zu sein.

Mangelnde Raumlüftung kann eine Erhöhung der Luftfeuchte und die damit verbundenen, bereits dargestellten Gefahren zur Folge haben.

Fanger /F01/ fordert daher - entsprechend eines skandinavischen Normentwurfs - eine mechanische Lüftung mit einem Außenluftwechsel von 0,5/h für alle Wohnungen, um die Schadstoffe auf ein akzeptables Niveau zu bringen. Darüber hinaus weist er darauf hin, daß nur durch den Einsatz von mechanischen Lüftungseinrichtungen eine Wärmerückgewinnung möglich ist, d.h. eine höhere Energieeinsparquote bei gesteigerter Behaglichkeitsqualität (s. auch /L13/).

dinavischen Normentwurfs - eine mechanische Lüftung mit einem Außenluftwechsel von 0,5/h für alle Wohnungen, um die Schadstoffe auf ein akzeptables Niveau zu bringen. Darüber hinaus weist er darauf hin, daß nur durch den Einsatz von mechanischen Lüftungseinrichtungen eine Wärmerückgewinnung möglich ist, d.h. eine höhere Energieeinsparquote bei gesteigerter Behaglichkeitsqualität (s. auch /L13/).

1.3 - Planerische und bauliche Maßnahmen zur Energieeinsparung - Energiebewußte Architektur

Aus der Forderung heraus, den Energiebedarf von Gebäuden zu verringern, ergibt sich folgerichtig die Notwendigkeit, die Wärmeverluste der Gebäude zu minimieren, um dadurch ihren Bedarf an aktiver Heizenergie zu reduzieren. Die Verminderung von Wärmeverlusten hängt von verschiedenen Einflußfaktoren ab; der Mensch mit seinen Nutzungsansprüchen (s. 1.1), die außerklimatischen Verhältnisse, das Gebäudekonzept sowie die haustechnische Konzeption (s. 1.5) bestimmen den Heizenergiebedarf.

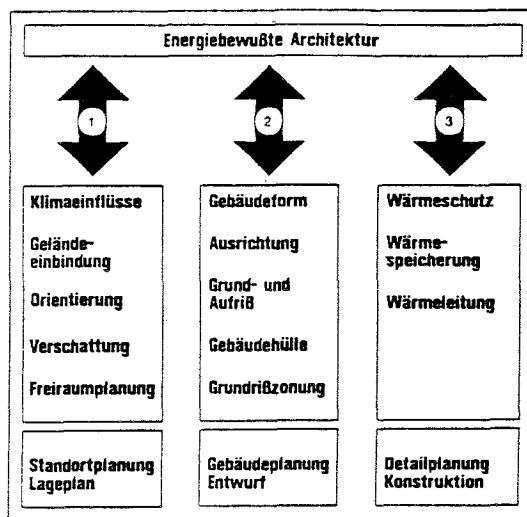


Abb. n. /I04/(S.3)

Zwei Arten von Wärmeverlusten werden unterschieden:

- Die Transmissionswärmeverluste (Wärmedurchgang durch die Umfassungs- bzw. Hüllflächenflächen eines Gebäudes); kennzeichnende Größe für die Transmissionswärmeverluste von Bauteilen oder Gebäuden ist der k-Wert (in W/m^2K)
- Die Lüftungswärmeverluste durch Fensterfugen, Türspalte und andere Undichtigkeiten, die als eine Art "Dauerlüftung" wirken, sowie gewollte zusätzliche Lüftung zur Lufterneuerung. Der Fugendurchlaßkoeffizient a (in $m^2/hmdaPa^2/3$) dient zur rechnerischen Bestimmung der ungewollten, durch Undichtigkeiten entstehenden Lüftungswärmeverluste.

DIN 4108 regelt die Bezugsgrößen für den Wärmeschutz im Hochbau.

1.3.1 Standortfaktoren

Die Standortbedingungen werden geprägt von den bauklimatologischen Gegebenheiten. Für eine energiegerechte Bauweise ist es erforderlich, das Gebäudekonzept in Beziehung zu den Standortfaktoren zu setzen. Für die Nutzung von Umgebungs- und Sonnenenergie (s. 1.4) ist diese Forderung die Grundvoraussetzung.

Zu den standortbedingten Faktoren zählen:

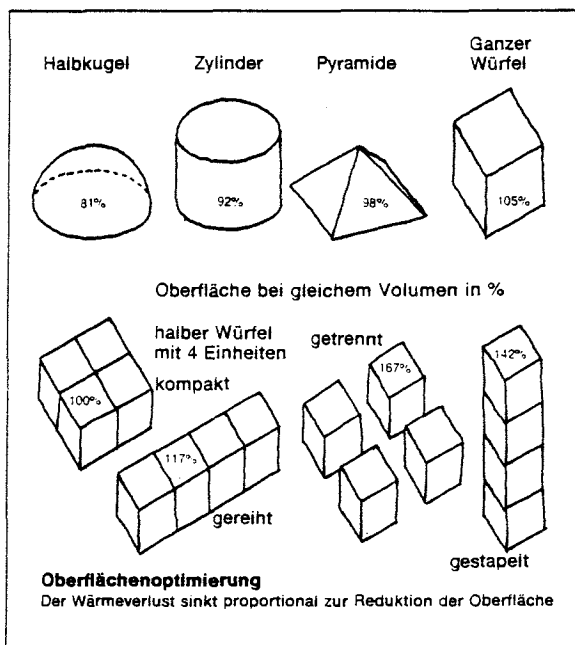
- Allg. geographische Daten (Lage, Höhe ü. NN, Mikroklima, örtl. Besonderheiten, Verschattungen etc.)
- Außenluftzustände (Tages- und Jahresgänge von Temperatur, Feuchte etc.)
- Heizgradtage
- Wind

- Sonnenstrahlung (Solarkonstante, Strahlungskomponenten, Strahlungsdauer, Trübungsfaktoren, geometrische Zusammenhänge etc.)

Durch standortbedingte Faktoren kann der Heizenergieumsatz zu Schwankungen von +/- 20% in der Energiebilanz von Gebäuden führen /B24/(S.29).

1.3.2 Raum- und Gebäudegeometrie

1.3.2.1 Das Flächen-/Volumenverhältnis



Die Größe der wärmetauschenden Hüllfläche eines Gebäudes ist abhängig von der Bauform bzw. vom Bauvolumen. Der Transmissionswärmeverlust eines Gebäudes sinkt naturgemäß proportional zur Reduktion der Oberfläche.

Diese Erkenntnis kann in die Planung von Gebäuden in Form einer "Oberflächenoptimierung" einfließen. Gesamtoberflächenvergrößernde Fassadenversprünge wie Loggien, Erker, Durchgänge etc. müssen in Bezug zum Energiehaushalt eines Gebäudes gesehen werden.

Zahlenmäßigen Niederschlag findet dieser Zusammenhang in der Darstellung des Verhältnisses der Gebäudeaußenfläche

Abb n. /B24/(S.40)

A zum Gebäudevolumen V als dem A/V-Wert. Je kleiner das Ergebnis dieses Quotienten, desto günstiger ist das Verhältnis in Bezug auf Verringerung der Transmissionswärmeverluste.

1.3.2.2 Gebäudezonierung

Ebenfalls der Reduzierung von Transmissionswärmeverlusten dient die planerische Maßnahme der "thermischen Zonierung" von Gebäuden; man versteht unter dem Begriff "Zonierung" ein Konzept, das von einer Baudisposition ausgeht, in der Räume nach Wärmezonen differenziert sind /B24/(S.40); /H20/(S.90).

Da die Wärmestromdichte unter anderem von der Temperaturdifferenz zwischen inneren und äußeren Bauteiloberflächen abhängt, ist es notwendig, das Temperaturgefälle von innen nach außen zu verringern, um den Wärmeabfluß nach außen zu hemmen /B21/(S.47). Aus diesem Grund ist es sinnvoll, daß Räume, deren Nutzung ein niedrigeres Temperaturniveau erlaubt, jene Räume mit höherer Temperatur umschließen; angestrebt wird die Grundrißzonung entsprechend einer Temperaturhierarchie.

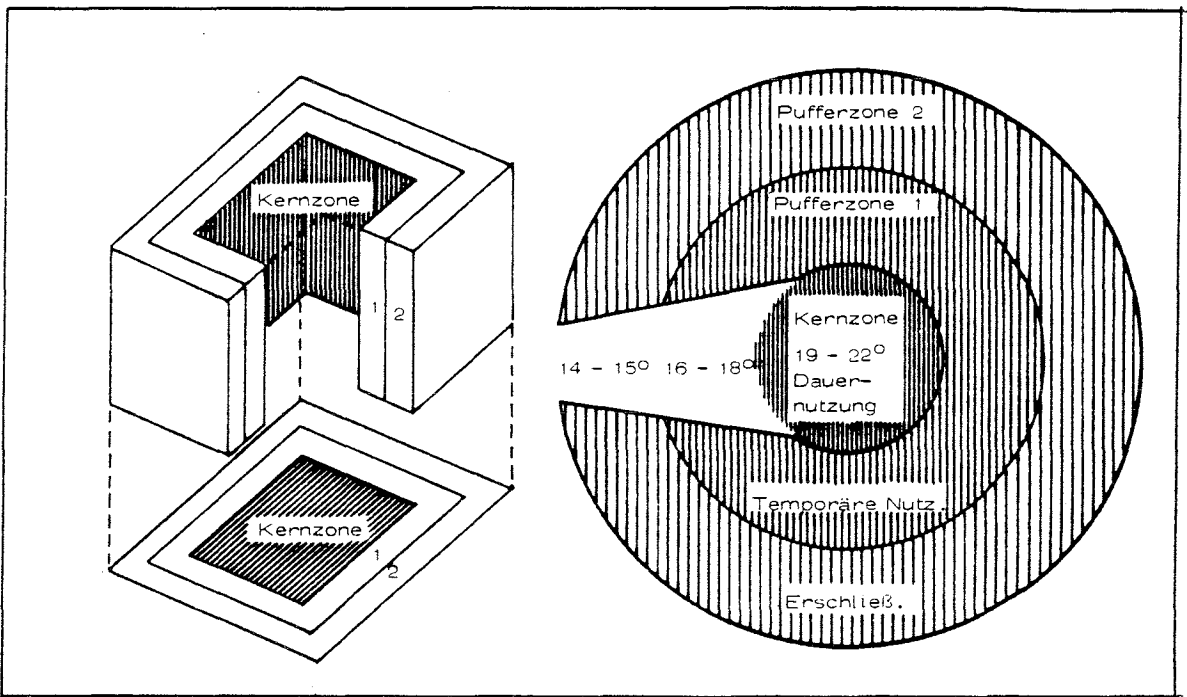


Abb. n. /H20/(S.91)

PLENAR-Haus. - Schematischer Grundriß und Längsschnitt mit Speicher.

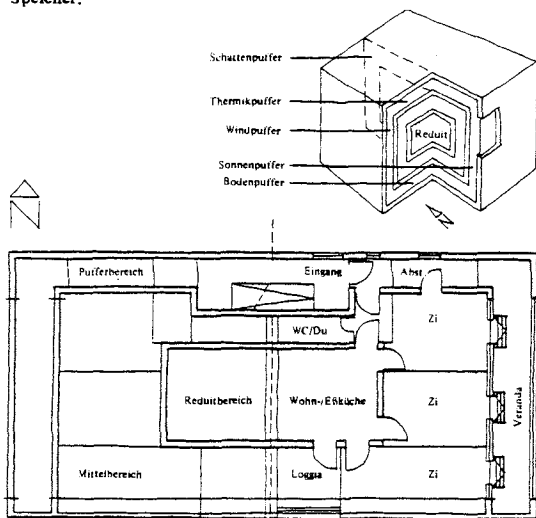


Abb. n. /N01/(S.324)

Räume mit höheren Raumtemperaturen oder mit abwärmeentwickelnden Einrichtungen liegen bevorzugt im Kern einer Wohnung oder eines Gebäudes, umgeben von den Wohnräumen, die wiederum von Räumen mit niedrigen Raumtemperaturen, thermischen Puffern, nach außen abgeschirmt werden. - Die Zonierung von Räumen in vertikaler Richtung kann analog erfolgen.

Fazit:

- Das A/V-Verhältnis besitzt den größten Einfluß bzgl. der nicht bauteilgebundenen Transmissionswärmeverluste eines Gebäudes.

- Räume mit peripherer Lage in einem Gebäude und hohem internen Temperaturniveau weisen vergleichsweise hohe Wärmeverluste auf. Der Energiehaushalt dieser Räume kann nur durch die Anordnung entsprechender thermischer Pufferzonen (s.o.) oder die Verbesserung der thermischen Qualität der Hüllflächen (s.u.) optimiert werden.
- Nach Erkenntnissen aus /N02/(S.277ff) ist der Einfluß der Raum-/Gebäudegeometrie auf den Energieumsatz von Gebäuden von größerer Bedeutung als die energiegerechte Orientierung zur Himmelsrichtung.

1.3.3 Einfluß der thermischen Qualität der Hüllflächen

Der die wärmetauschenden Gebäudehüllflächen transmittierende Wärmestrom (in W) von innen nach außen (während der Heizperiode) läßt sich verzögern, nicht jedoch verhindern. Darin besteht die "thermische" Aufgabe von Wänden, Fenstern, Decken und Böden unter gleichzeitiger Beibehaltung ihrer übrigen Funktionen. Die bauteilspezifische Abhängigkeit besteht in dem Stoffwert der Wärmeleitfähigkeit (in W/mK) bzw. dem Wärmedurchlaßkoeffizienten eines Bauteils (in W/m²K); die Addition der Wärmedurchlaß- mit den Wärmeübergangskoeffizienten (Innen und Außen) ergibt den Wärmedurchgangskoeffizienten einer Konstruktion (sog. k-Wert) als Kenngröße (ebenfalls in W/m²K). Die Kehrwerte der jeweiligen Koeffizienten bezeichnen die betreffenden Widerstände (Wärmedurchlaß-, -übergangs-, und -durchgangskoeffizienten).

Verbessert werden kann der Wärmeschutz der Gebäudehülle durch die Erhöhung des Wärmedurchlaßwiderstandes, die durch folgende Maßnahmen erreicht werden kann:

- Vergrößerung von Schichtdicken im Bauteil;
- Einsatz eines Baustoffes mit geringer Wärmeleitfähigkeit;
- Anordnung einer zusätzlichen (wärmedämmenden) Schicht im Bauteilquerschnitt.

Grundlage für die Bemessung des Wärmeschutzes bilden die Bestimmungen der DIN 4108 gemeinsam mit der Wärmeschutzverordnung. - Es ist jedoch sinnvoll, den von der Energiepreissituation bestimmten wirtschaftlich optimalen Wärmeschutz zu betrachten; danach sind im Wandbereich Wärmedurchlaßwiderstände von 2,5 m²K/W und im Dachbereich solche von 4,5 m²K/W anzustreben; Dämmwerte für Kellerdecken dazwischenliegend (Angaben n. /G11/S.1412). Diese Werte liegen über den von DIN 4108 und der Wärmeschutzverordnung geforderten Größen. Für die Fensterflächen gilt: Eine bessere thermische Qualität der Fenster senkt grundsätzlich den Heizenergiebedarf. Bezüglich der Fenstergröße als einem entscheidenden Einflußfaktor für den Heizenergiebedarf bedeutet dies: "Größere Fensterflächen als ca. 50% der Außenwandfläche (des Bezugsraumes), unabhängig von Orientierung und der Himmelsrichtung, sind energetisch ungünstiger." /N02/(S.211) "Bei einer energiesparenden Bauweise müssen Fensterflächen mindestens dreifach verglast sein. Eine vierfache Verglasung ist vor allem nach Norden anzustreben." /N02/(S.212) Der Einsatz von temporären Wärmeschutzmaßnahmen hat ungefähr den gleichen Effekt wie der Einbau einer Isolierverglasung mit einer zusätzlichen Glasscheibe.

Anmerkung: Es muß als fraglich angesehen werden, ob die von Nicolic et al. in /N02/ erhobene Forderung bzgl. Fensterdimensionierung und -verglasung als gegenwärtig sinnvoll gelten kann. In diesem Zusammenhang müßte untersucht werden, ob geeignete Maßnahmen (vgl. Titel und Ergebnis dieser Untersuchung) zur verbesserten sekundären bzw. tertiären Nutzung des solaren Wärmepotentials (s. 1.4) nicht dazu führen könnten,

daß sich die Transmissionswärmegewinne durch die Fenster gegenüber den auftretenden -verlusten in der Energiebilanz positiv auswirkten.

Mögliche Transmissionswärmegewinne durch Sonneneinstrahlung auf übrige (nicht transparente) Bauteile bleiben in vernachlässigbar geringen Bereichen, so daß dies nicht als sachliches Argument gegen die Wärmeschutzoptimierung von Außenbauteilen gelten kann. S. dazu auch 1.4.

1.3.4 Einfluß der Wärmespeicherfähigkeit

Unabhängig von den Wärmedurchlaßwiderständen beeinflusst auch die Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile, insbesondere der Innenbauteile, wie Hauser in /H13/ darstellt, den Heizenergieverbrauch.

Während im Sommer die wärmespeichernde Wirkung der massiven Bauteile zu angenehmen Raumtemperaturen führt, sind im Winter die wärmespeicherfähigen Bauteile von nachteiligem Einfluß auf den Heizwärmebedarf von Gebäuden, sobald durch intermittierenden Heizbetrieb, z.B. Nachtabsenkung, Heizenergie eingespart werden soll /H07/ (S.125).

Leichte (Innen-) Konstruktionen besitzen den Vorteil, während der Heizunterbrechung schneller auszukühlen und sich beim Wiederanheizen schneller wiedererwärmen zu können; dieses führt zu einem geringeren Temperaturgefälle zwischen Innen- und Außenluft und somit zu relativ geringeren Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten /G11/(S.1413). Je geringer die speicherfähige Masse (besonders der Innenbauteile) ist, umso direkter wird eingestrahelte Solarenergie an die Raumluft abgegeben. Dieses führt bei großen Sonneneinstrahlungsangeboten dazu, daß eine Übererwärmung im Raum stattfindet, obwohl die Heizleistung den Wert Null erreicht hat /H07/(S.127).

In /H13/(S.5) kommt Hauser zu dem Ergebnis, daß in den Monaten November bis April bei Leichtbauweise und in den Monaten September, Oktober und Mai bei Schwerbauweise geringere Wärmeverbräuche auftreten; in den Übergangsmonaten überwiegt der "Überheizungseffekt", in den Wintermonaten der "Nachtabsenkungseffekt". Für die von Hauser untersuchten Einfamilienhäuser ergab sich ein geringer Mehrverbrauch (3,6%) bei der Schwer- gegenüber der Leichtbauweise, bezogen auf die gesamte Heizperiode.

Zur Untersuchung bzw. zum Vergleich von nach Norden und nach Süden orientierten Räumen liegen folgende Ergebnisse vor: bei dem Nordraum spielte der "Überheizungseffekt" keine Rolle, die Leichtbauweise verbraucht in allen Monaten weniger Heizwärme als die Schwerbauweise. Bei dem Südraum traten durch die großen Fensterflächen Überheizungen auf, die in diesem Fall dazu führten, daß der Raum in Leichtbauweise um 2% mehr Energie verbrauchte als der Raum in Schwerbauweise.

Bei Gebäuden mit größeren Fenstern nach Süden ergeben sich Verschiebungen zugunsten der Schwerbauweise und bei Gebäuden mit kleineren Fenstern oder bei Verschattung durch Nachbargebäude oder Pflanzen zugunsten der Leichtbauweise." /H13/(S.5) Für nicht optimal zur Sonneneinstrahlungsrichtung orientierte Gebäude und Gebäudeteile ist die Schwerbauweise unter der Voraussetzung des intermittierenden Heizbetriebes von Nachteil und verursacht einen höheren Wärmebedarf.

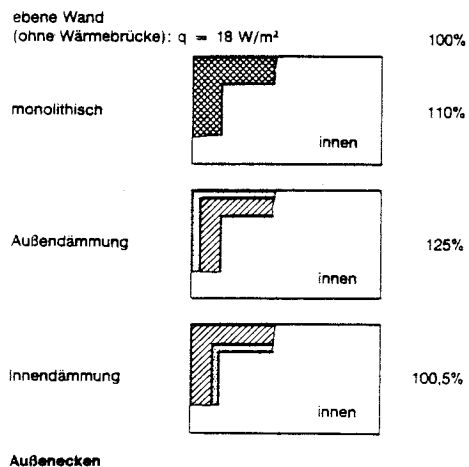
1.3.5 Einfluß von Wärmebrücken

Der k-Wert ist nur definierbar für den Wärmestrom senkrecht zum Bauteil /G11/(S.1415). Es gibt jedoch Sonderfälle, die sogenannten Wärmebrücken, wie sie z.B. Ecken, Wand- und Deckenanschlüsse, Fensterlaibungen etc. darstellen, bei denen eine senkrechte Wärme flußrichtung nicht gegeben ist.

Bei früheren Konstruktionen mit relativ geringem Wärmeschutz verschlechterten die Wärmebrücken die thermische Qualität der Gebäudehülle in relativ begrenztem Maß. Die heute verwendeten, hochgedämmten Konstruktionen erhöhen jedoch die Bedeutung der Wärmebrücken als thermische Schwachstellen der Gebäudehülle. Durch den Wärmebrückeneinfluß kann der k-Wert der gesamten Gebäudehülle erheblich verschlechtert werden, wie Gertis in /G11/(S.1420) für den folgenden Fassadenausschnitt nachweist:

Zur Wärmebrückenwirkung von Außenecken und Deckenanschlüssen bei monolithischer, außen- und innengedämmter Ausführung mit Angabe der prozentualen Wärmestromdichten. Die Prozentwerte sind auf eine ebene Wand ohne Wärmebrücke bezogen; sie geben den Wärmeverlust, der über die Wärmebrücke einschließlich eines 1 m breiten Streifens zu beiden Seiten der Wärmebrücke abfließt und auf die Innenoberfläche der Außenwand bezogen ist, wieder.

Alle drei Bauarten besitzen den gleichen k-Wert von $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ und bei einem Temperaturgefälle von 30 K im ungestörten Bereich somit eine Wärmestromdichte von $0,6 \cdot 30 = 18 \text{ W/m}^2$



Man erkennt, daß der effektive k-Wert ($0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$) erheblich schlechter ist als der rechnerisch ermittelte k-Wert von $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ für die Konstruktion mit 10 cm starker Innendämmung.

Abhängigkeit des Wärmedurchgangskoeffizienten einer innerseitig gedämmten Wand von der Dicke der Dämmschicht ohne und mit Berücksichtigung der Wärmebrücken...

Gestrichelte Kurve: k-Wert, wie üblich berechnet
Ausgezogene Kurve: Effektiver k-Wert des abgebildeten Fassadenausschnittes unter Berücksichtigung der Wärmebrückenwirkung der eingebundenen Decken, Seitenwände, sowie des Wanddurchbruches entlang der Fensterlaibung.

(Text zu Abb. nächste Seite, n. /G11/S.1415.)

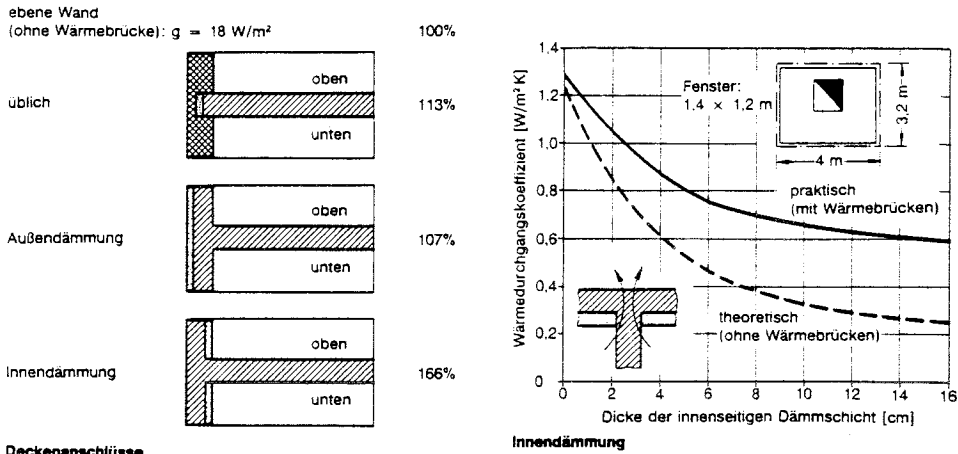


Abb. n. /G11/(S.1415)

1.3.6 Derzeitige Grenzen des wirtschaftlich sinnvollen Wärmeschutzes

Auch bei mittel- und langfristig zu erwartenden steigenden Energiepreisen wird es Grenzen für den wirtschaftlich sinnvollen Wärmeschutz geben: bei einem k-Wert für Außenwände von $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, für Kellerdecken von $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ und für Dächer von $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ macht der Lüftungswärmeverlust annähernd den gesamten Wärmeverlust eines Gebäudes aus, da wegen der hohen Wärmedämmung die Transmissionswärmeverluste minimiert sind, während der Anteil der Lüftungswärmeverluste gleich bleibt /G11/(S.1418).

Spezifischer, volumenbezogener Gesamtwärmeverlust (Transmissions- und Lüftungswärmeverlust) eines Gebäudes, dessen Außenbauteile in verschiedenen Dämmstufen ausgeführt sind, in Abhängigkeit von der Luftwechselzahl.

Die schraffierte Fläche entspricht den Lüftungswärmeverlusten. Die gestrichelte Linie berücksichtigt Wärmerückgewinnungsanlagen

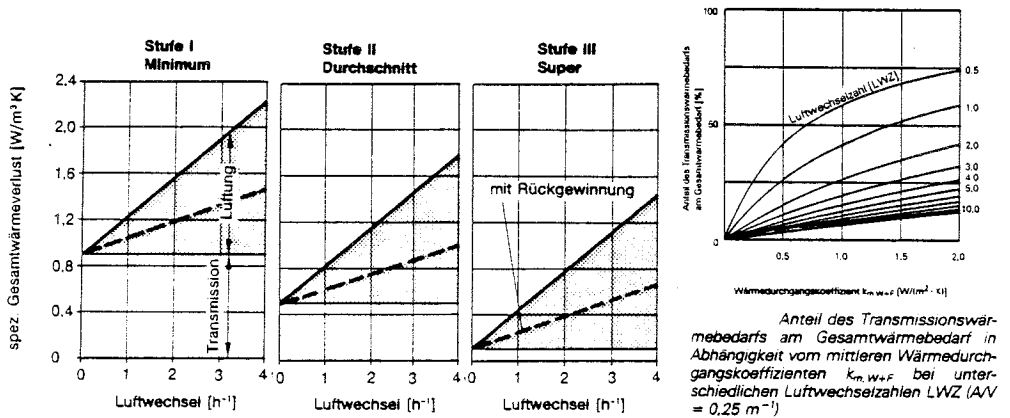


Abb.: Spezifischer, volumenbezogener Gesamtwärmeverlust (Transmissions- und Lüftungswärmeverlust) eines Gebäudes, dessen Außenbauteile in verschiedenen Dämmstufen ausgeführt sind, in Abhängigkeit von der Luftwechselzahl. Die schraffierte Fläche entspricht den Lüftungswärmeverlusten. Die gestrichelte Linie berücksichtigt Wärmerückgewinnungsanlagen (n. /G11/S.1421).

Daraus folgt die Forderung zur Reduktion der Lüftungswärmeverluste; diese kann auf zwei Arten erfolgen: eine Möglichkeit besteht darin, weniger zu lüften; zum anderen ist es

möglich, die notwendige Lüftung kontrolliert, durch den Einsatz von mechanischen Lüftungs- und Wärmerückgewinnungseinrichtungen (vgl. 1.5) vorzunehmen.

Die Reduktion der Lüftung kann nur insoweit zumutbar sein, als die hygienisch erforderliche Mindestluftwechselrate nicht unterschritten wird. Die "dichten" Konstruktionen der Gebäudehülle neuerer Gebäude, besonders die Fensterkonstruktionen, führen dazu, daß ein natürlicher Luftaustausch durch Fugenlüftung nicht mehr gewährleistet ist. Es kann daher vorkommen, daß viele Räume ungenügend belüftet werden, was außer einer Beeinträchtigung der Behaglichkeit der Bewohner durch zu hohe Schadstoffkonzentrationen der Raumluft auch Feuchteschäden und Schimmelpilzbildung zur Folge haben kann. Je besser der bauliche Wärmeschutz ist, desto seltener treten Bauschäden dieser Art auf.

Diese Erkenntnisse lassen es sinnvoll erscheinen, im Wohnungsbau mechanische Lüftungseinrichtungen mit der Möglichkeit zur Rückgewinnung der in der Abluft enthaltenen Wärme vorzusehen. "Eine mechanische (Bedarfs-) Lüftung könnte bei Sicherstellung des hygienisch erforderlichen Mindestluftbedarfs über die Rückgewinnungsanlagen Energieanteile aus der Fortluft zurückholen. Zum hochgedämmten Haus werden deshalb eine Rückgewinnungsanlage und ein darauf abgestimmtes Heizsystem gehören." /G11/(S.1421)

1.4 - Passive und hybride Nutzung von Sonnenenergie und gebäudeinternen Wärmequellen

Die energetische/physikalische Beurteilung eines Wohngebäudes erfolgt nach:

- den in 1.3 aufgezeigten Parametern (Wärmeverluste);
- dem Heizbeitrag durch passive und hybride Sonnenenergienutzung;
- der Nutzungsmöglichkeit von im Gebäude vorhandenen ("internen") Wärmequellen.

1.4.1 Wärmegewinne aus Sonneneinstrahlung

Alle Sonnenenergiesysteme basieren darauf, Sonnenenergie aufzunehmen, zu speichern und zu verteilen. - Sonnenenergiesysteme werden dabei nach zwei unterschiedlichen Nutzungsprinzipien unterschieden: aktive und passive Nutzungssysteme.

Passive Sonnenenergiesysteme verwenden bauliche Mittel (Direkteinstrahlung auf Wände, Böden; Wintergärten, Fenster, Sonnenwände zur Strahlungssammlung etc.) zur Solarenergienutzung /S08/(S.1248). Kennzeichen der passiven Sonnenenergienutzung:

- Strahlungssammlung durch transparente/transluzente Fassadenteile, Dächer und Wände bzw. durch entsprechende Applikationen (Glashäuser, Luftkollektoren);
- Speicherung der gesammelten Energie durch die zeitweise Ausnutzung der Gebäudemasse als Wärmespeicher;
- Verteilung von Strahlung und Wärmeflüssen, d.h. Verschiebung der Wärme von Räumen oder Baukonstruktionen mit hohem Energieangebot zu Defizitbereichen, ggf. durch den Einbau von Schächten, Kanälen usw.;
- Regulierung von Einstrahlung und Wärmeflüssen (Gewährleistung des Innenraumklimas innerhalb der Behaglichkeitsgrenzen, vgl. 1.2; Minimierung von Wärmeverlusten, vgl. 1.3) /H19/(S.18); /S08/(S.1248).

Kennzeichen hybrider Systeme ist die Kombination bzw. Unterstützung baulicher Maßnahmen zur Sonnenenergienutzung mit mechanischen Einrichtungen zum Transport des Wärmeträgermediums /B24/(S.43).

"Nach dem derzeitigen Kenntnisstand steht eindeutig fest, daß in unserem hiesigen Klima passive Systeme aus wirtschaftlichen und technischen Gründen Vorrang vor den aktiven Solarenergie-Systemen haben. Hybrid-Systeme können bei uns ebenfalls vorteilhaft sein, wobei solche Systeme auch zur Einsparung der Energie beitragen, die im Sommer zur Klimatisierung von Großraumgebäuden aufgewendet wird." Gertis in /G11/(S.1414).

Voraussetzung für den Einsatz passiver bzw. hybrider Sonnensystems ist die bauliche Umsetzung der Energiesparmaßnahmen nach 1.3.

Wärmegewinne durch Wände sind vernachlässigbar gering, nur 10% von der von einer Wand absorbierten Sonnenenergie gelangt tatsächlich in die Innenräume /N02/(S.41); /H10/(S.259ff). Die Transmissionswärmeverluste von Wänden können durch Solarwärmegewinne nicht kompensiert werden.

Fenster und transparente/transluzente Fassadenteile bieten günstigere Voraussetzungen für die Ausnutzung eingestrahelter Energie: ca. 70% der Einstrahlung gelangen in den Raum und werden dort von kurzwelliger Strahlung in langwellige Wärmestrahlung umgewandelt; die so entstandene Wärme kann nicht durch das Glas entweichen, da dieses die langwellige Strahlung größtenteils reflektiert ("Treibhauseffekt"). Das Fenster trägt so zur Deckung von Wärmeverlusten bei /N02/(S.40); /B23/(S.5); /G09/(S.188).

Ein Fenster mit dahinterliegendem Raum stellt einen einfachen Sonnenkollektor dar.

1.4.2 Nutzbare Sonnenenergiemengen und beeinflussende Faktoren

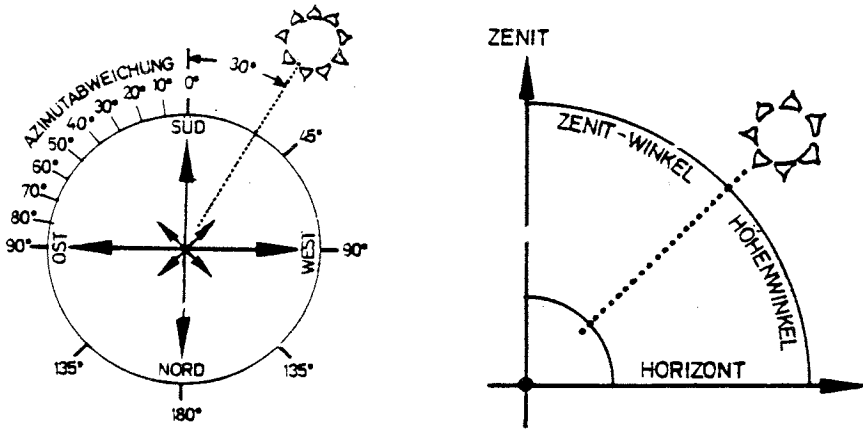
Die Abschätzung oder Berechnung der eingestrahelten Energiemengen wird von vielen, sich gegenseitig beeinflussenden Variablen bestimmt.

1.4.2.1 Strahlungsangebot

Die Globalstrahlung setzt sich aus direkter und diffuser Sonneneinstrahlung zusammen. (Differenzierte Darstellung s. in /N02/(S.46-47.) Hinsichtlich der Strahlungsintensität der direkten Strahlung ist der Sonneneinstrahlungswinkel von besonderer Bedeutung; die Größe der diffusen Strahlung wird durch örtliche Wetterverhältnisse und Trübung (z.B. aus Luftverunreinigung) und Reflexionsstrahlung (von der Umgebung reflektierte Strahlungen) bestimmt. Daraus ergibt sich ein unterschiedliches Strahlungsangebot für verschiedene Standorte und Jahreszeiten.

Der Einstrahlungswinkel der Sonne und die von ihm abhängige Intensität der Sonnenstrahlung wird durch die Abweichung des Sonnenstandes von der Südrichtung (Azimutwinkel) und der Höhe des Sonnenstandes, dem Höhen- bzw. dem Zenitwinkel, bestimmt. (S. Abb. nächste Seite.)

Sonnenbahndiagramme für die Berechnung der Sonneneinstrahlung enthalten die Sonnenbahnlinien für den 21. jeden Monats, aus denen der Sonnenstand für jede Tageszeit (Sonnenhöhe und Azimutabweichung) und die Dauer zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang abgelesen werden können. Methoden zur Berechnung passiver Sonnenenergiegewinne s. bei /B23/ u. /G17/.



Azimetwinkel und Zenitwinkel

Abb. n. /B23/(S.13): Azimet- und Zenitwinkel

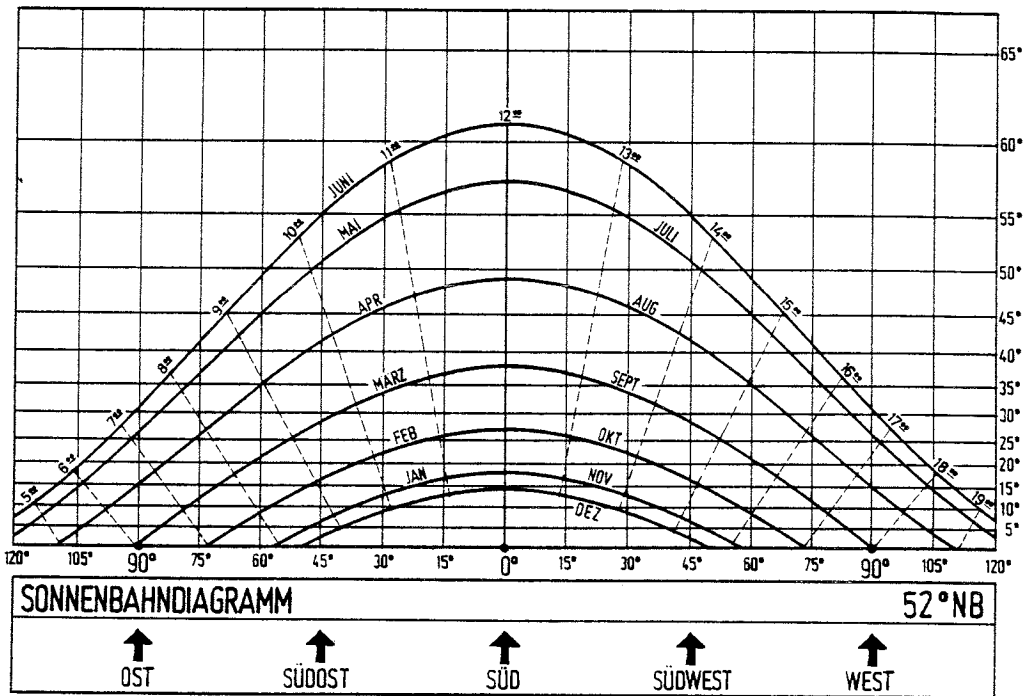


Abb. n. /029/(S.79): Sonnenbahndiagramm 52°NB (= Hannover)

1.4.2.2 - Richtung und Neigung von Kollektorflächen

Die größten Einstrahlungsgewinne erzielen Flächen die zu jeder Zeit im rechten Winkel zur Einstrahlungsrichtung stehen (sog. Normalflächen). Bei nicht rechtwinklig zur Einstrahlungsrichtung stehenden Flächen wird die Sonneneinstrahlung reduziert durch:

- Erhöhten Reflexionsgrad bei flacher Einstrahlung (2-Scheiben-Isolierverglasung = Reflexionsgrad von ca. 15%, gleichbleibend für Einstrahlungswinkel von 90° bis 45°, bei flacherer Einstrahlung Anstieg);
- geometrische Verringerung des Strahlungsanteils bei flacher Einstrahlung.

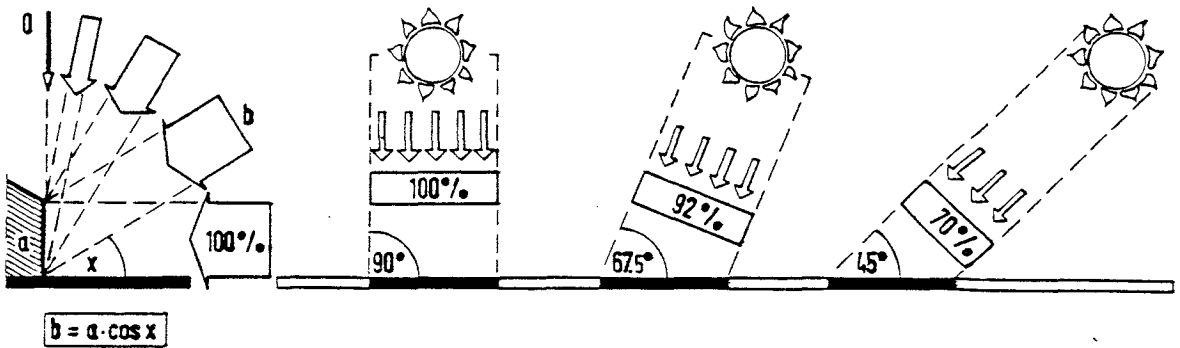


Abb. n. /B23/(S.49): Abhängigkeit der Einstrahlungsmenge auf eine Fläche vom Einstrahlungswinkel

Beide Einflüsse wirken zweidimensional: sowohl auf Höhen- als auch auf Azimutwinkeländerung /B23/(S.49).

Bei Standorten mit hohem Anteil an direkter Strahlung kann die optimale Ausrichtung von Kollektorflächen vom Sonnenbahnverlauf abgeleitet werden (s.o. "Sonnenbahndiagramm"). Der Anteil der Diffus- an der Gesamtstrahlung (ca. 6% in unserem Klima während der Heizperiode, Zunahme durch Trübung etc.) wirkt sich auf den optimalen Neigungswinkel aus.

Horizontale Flächen ohne Verschattung erhalten ein Maximum an diffuser Strahlung. Zum Sammeln der Diffusstrahlung sind flache, flachgeneigte oder schrägstehende Flächen besser geeignet als z.B. senkrechte Fenster /B23/(S.50).

Für die Orientierung/Ausrichtung der transparenten Bauteile zur optimalen Gesamtstrahlungssammlung ist die vorwiegend wirkende Strahlungsart während des Nutzungszeitraumes von Bedeutung.

JAHRESVERLAUF DER EINSTRALUNG AUF FLÄCHEN UNTERSCHIEDLICHER RICHTUNG UND NEIGUNG
(Mittlere monatliche Tagessumme der Sonnenstrahlung, Durchschnitt aus 16 Stationen, Korrekturfaktor (R48) für den St. *NB).

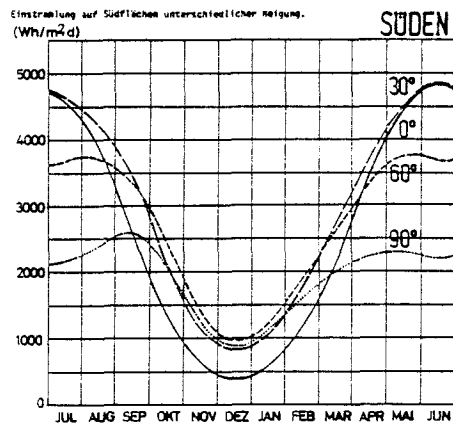
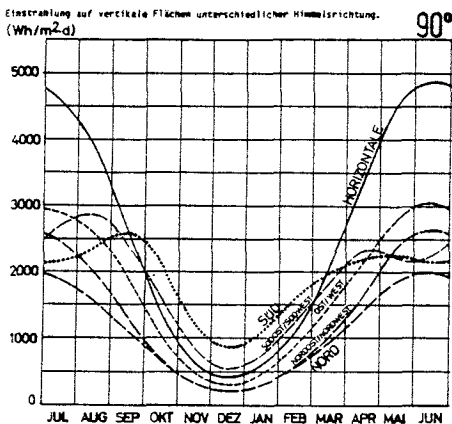


Abb. n. /B23/(S.52)

1.4.2.3 Verschattung

"Verschattung bedeutet Verringerung der Wärmegewinne bei

gleichbleibenden Wärmeverlusten." /B23/(S.66)

Der Sonneneinfall auf einen Standort kann durch eine enge Bebauung oder Bepflanzung so behindert werden, daß trotz optimaler Südorientierung die Sonne nicht oder nur in geringem Maße genutzt werden kann: ggf. ist eine von der Südrichtung abweichende Orientierung der Kollektorflächen sinnvoll.

Die Größenordnung der Verschattung aus der Umgebung kann nur auf dem Bauplatz festgestellt werden; eine Methode wird in /B23/(S.66ff) dargestellt.

Auskragende Bauteile, ungünstige Ausbildung des Fensterbereiches, wie Fenstersturz, Laibungen, Brüstungen, Rahmen- und Sprossenanteile können zusätzlich verschattend wirken. Verschattende Vorrichtungen für den sommerlichen Wärmeschutz müssen so abgestimmt sein, daß die im Winter/in der Übergangszeit flach stehende Sonne ungehindert in das Gebäude einstrahlen kann. Ggf. sind temporäre/mobile Einrichtungen vorzusehen. - Laubabwerfende Pflanzen spenden Schatten im Sommer und lassen im Winter die Sonneneinstrahlung hindurch.

1.4.2.4 Strahlungsreflexion in der Umgebung

Ein Kollektor empfängt zusätzlich zur Globalstrahlung die reflektierte Strahlung aus der Umgebung.

Landschaftstyp	Reflexionskoeffizient	Oberfläche	Reflexionskoeffizient
LÄNDLICHE GEBIETE			
o Felder mit Schneebedeckung		Schnee (frisch gefallen oder mit Eisfilm)	0.75
oo Felder mit bewaldeten Flächen im Hintergrund	0.66 - 0.73	Wasseroberfläche (bei großem Einfallswinkel)	0.07
oo offene Feldlandschaft (Erde und trockenes Gras)	0.61 - 0.70	Erde (Mergel, Lehm etc.)	0.14
oo Felder mit verstreuten Bäumen	0.62	Feldwege	0.04
		Nadelwald (Winter)	0.07
o Waldgebiete		Laubwald im Frühling, Gärten	0.26
oo Nadelwald mit starker Schneedecke	0.61	Beton (verwittert)	0.22
oo Laubwald mit starker Schneedecke	0.72	Verwitterte dunkle Dacheindeckung	0.10
		Laub	0.30
o Wasser		Trockenes Gras	0.20
oo weite offene Wasserflächen	0.16	Grünes Gras	0.26
oo Wasserflächen mit Eis- bzw. Schnee-Bedeckung	0.68	Teerplatte	0.13
oo Wasserlauf mit Bäumen und Häusern im Hintergrund	0.53 - 0.66	Schotter	0.20
		Dunkle Gebäudeoberflächen (rote Ziegel, dunkle Fassaden)	0.27
		Helle Gebäudeoberflächen (helle Ziegel, helle Fassaden)	0.60
VERBAUTES GEBIET			
o dicht verbautes Stadtgebiet	0.16 - 0.38		
o Wohngebiete (mit Straßen und Grünanlagen)	0.21 - 0.45		
o Erholungsgebiete (Parks etc.)	0.49		

Tab. n. /W05/(S.23): Reflexionskoeffizienten verschiedener Oberflächen

In besonderen Situationen, z.B. an Standorten mit schneereichen Wintern, wird die starke Reflexion der Umgebung in die Berechnung der monatlichen Einstrahlung einbezogen. Das Verfahren zur Berechnung des Reflexionsfaktors wird in /B23/(S.83 u. 196) dargestellt.






1.4.2.5 Einfluß von Fenster und Verglasung

Die Energiedurchlässigkeit von Fenstern wird von der Glasart bestimmt (Gesamtenergiedurchlaßgrad g). Der g-Wert bezeichnet

die Summe der durchgelassenen Strahlung zuzüglich der Wärmeabgabe von der inneren Scheibe aufgrund der absorbierten Strahlungswärme. g-Werte von Verglasungen werden in DIN 4108, Teil 2 Tab. 4 angegeben.

Für die energetische Beurteilung von Gläsern ist neben dem Gesamtenergiedurchlaßgrad als Parameter für Energiegewinne der Wärmedurchgangskoeffizient als Parameter für Transmissionswärmeverluste von Bedeutung, um eine Bilanz von Energiegewinnen und -verlusten aufstellen zu können.

Der Glasflächenanteil z.B. der Fenster beeinflusst ebenfalls die Sonneneinstrahlung in den Raum/das Gebäude. Je nach Fensterbauart vermindert der Flächenanteil für Rahmen und Sprossen die Menge der eingestrahlteten Sonnenenergie.

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

Tab. n. /B23/(S.85): Glasflächenanteil verschiedener Fensterbauarten

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

+ = Wärmegewinne
- = Wärmeverluste




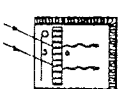
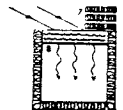
oD = ohne Nachtdämmung
mD = mit Nachtdämmung (10 Std. geschlossen)
a = Rollladenqualität
b = Klappladenqualität

Tab. n. /B29/(S.86)

Zur Optimierung des Fensterflächenanteils s. 1.3.3. - Für ein Gebäude mit Außenwand k-Wert von $0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ kann unabhängig vom Flächenanteil nur mit 3-fach-verglasten, südorientierten Fenstern eine Verbesserung der Energiebilanz des Raumes erzielt werden. Im Norden ist die Energiebilanz bei allen Fenstergrößen und thermischen Qualitäten schlechter als bei Räumen ohne Fenster. Für Außenwandkonstruktionen mit k-Werten um $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ gilt, daß jede Fenstergröße und angenommene thermische Qualität, unabhängig von der Orientierung etc. zu einer Verschlechterung der Energiebilanz führt /N02/(S.96/97).

Der Grund dafür liegt in der mangelhaften Ausnutzung eingestrahelter Sonnenenergie. Sie sinkt mit geringerem Wärmebedarf, da die eher auftretenden Raumübererwärmungen nur über verstärkte Lüftung beseitigt werden können. Die Energiebilanz eines Fensters wird verbessert, wenn die Überschusswärme einer sekundären/tertiären Nutzung zugeführt werden kann (Verbesserung des Ausnutzungsgrades des solaren Wärmepotentials). Die vollständige Ausnutzung der zeitweise überschüssigen Wärme erfordert spezielle bauliche oder technische Maßnahmen der sekundären Wärmenutzung im Haus.

1.4.3 Bauliche Konzepte passiver/hybrider Solar-Heizsysteme

		Grundkonzepte „passiver“ Sonnen-Heizsysteme*			
1	a	1 Südfenster als Sonnenkollektor 2 zusätzlich bewegliche Dämmung 11 Speichermasse 	Über nach Süden orientierte Verglasungsflächen dringen die Sonnenstrahlen tief in den Raum ein. Die Wärme wird in den raumumschließenden, massiven Bauteilen gespeichert und mit einer Zeitverschiebung an den Raum zurückgegeben. Außendämmung gegen Außentemperaturschwankungen und temporärer Wärmeschutz der Südfenster sollten in Betracht gezogen werden.	a	zu beachten: Wärmeverlust durch große Glasflächen, Sonnenschutz im Sommer, evtl. Überhitzung
	b			3 zusätzlich temporärer Wärmeschutz 11 Speichermasse 	Konflikte: a Aussicht b Möblierung Speicherung
2	a	3 zusätzlich temporärer Wärmeschutz 4 dicke, dunkelfarbige Speicherwand 	Eine nach Süden orientierte, massive Wand mit dunkel gestrichener Oberfläche (bessere Wärmeaufnahme). Sie ist auf der Außenseite mit einer Verglasung abgedeckt. Der Wohnraum liegt hinter der Wand. Tagsüber speichert die Wand Sonnenwärme und gibt sie zeitlich verschoben durch Strahlung wieder an den Raum ab. Für sofortigen Wärmegewinn wird die zwischen Wand und Glasabdeckung entstehende Warmluft über Öffnungen in den Raum geleitet.	a	zu beachten: Überhitzung Konflikte: Aussicht, Zugang, Systemdimensionierung
	b	5 zusätzlich beweglicher Wärmeschutz 6 Wasserbehälter 	Im Prinzip das gleiche System wie die Masse-Speicherwand (Trombe-Wand, 2a). Das Speichermedium ist Wasser, das bei gleichem Volumen die doppelte Wärmespeicherkapazität von Beton besitzt und die Wärme gleichmäßiger über die Fläche verteilt. Die Wärmeaufnahmefähigkeit ist durch die niedrigeren Oberflächentemperaturen höher.	b	Probleme entstehen bei den Behältern
	c	7 bewegliche Dämmung (nachts zu) 8 Metalldecke 	Im Prinzip das gleiche System wie die Wasser-Speicherwand. Das Wasser befindet sich bei diesem Typ auf dem Dach. Eine bewegliche Wärmedämmung ist unerlässlich, um unerwünschte Wärmeverluste im Winter zu vermeiden und an Sommertagen die Aufheizung des Wassers zu verhindern.	c	Probleme: zusätzliche Dachlasten Konflikte: die flacheinfallende Sonne

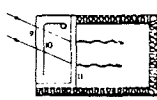
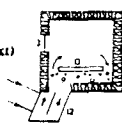
gestauter Wärmegewinn	a	9 zusätzliche Dämmung 10 Sonnenschutz 11 Speichermasse		Diese Raumform entspricht dem Wintergarten, Atrium oder Gewächshaus. Ein nach Süden orientierter, voll verglaster Raum, der gegen den Wohnraum abgeschirmt ist. Es entsteht saisonbedingter zusätzlicher Wohnraum. Als Speicher kann eine Masse- oder Wasserwand dienen. Die Wärme kann aber auch in Fußboden oder Decke des Wohnraumes gespeichert werden und mittels Ventilator an den Raum abgegeben werden. (Hybrid-System).	zu beachten: Sonnenschutz und Durchlüftung im Sommer
	b	3 temporärer Wärmeschutz 12 Warmluftkollektor (im Sommer abgedeckt) 13 Steinspeicher		Dieses System nutzt den Temperaturunterschied innerhalb des Wärmetransportmediums aus (in diesem Fall Luft), um einen Kreislauf zwischen Kollektor und Speichermasse in Gang zu bringen. Ein kleiner Ventilator zur Unterstützung der Zirkulation kann erforderlich werden. Die Speichermasse kann im Fußboden oder in der Decke des Wohnraumes untergebracht werden.	zu beachten: der Kollektor muß sich unterhalb der Speichermasse befinden
					* Ralph Lebens

Abb. n. /S08/(S.1249): Grundkonzepte passiver Sonnenheizsysteme

Anmerkung: Werden diese passiven Systeme durch apparative Einrichtungen unterstützt, liegen hybride Systeme vor.

Die Umsetzung der Prinzipien der passiven/hybriden Solarheizsysteme erfolgt am konkreten Gebäudeentwurf und seiner Konstruktion.

Zum Überblick über die vielen existierenden und möglichen Systeme dient ein "morphologischer Kasten". Das System 'passive Solarheizung' kann unter Auftrennung in Strahlungs- und Wärmeflüsse in sechs Teilsysteme aufgegliedert werden (n. /131/(S.18):

1. Strahlungssammlung
2. Strahlungsverteilung
3. Regulation der Einstrahlung
4. Wärmespeicherung
5. Wärmeverteilung
6. Regulation d. Wärmeflüsse

Teilsysteme	Realisationsmöglichkeiten				
	Strahlungssammlung	Fenster	Wand	Dach	Zusatzraum
Strahlungsverteilung	Direkter Strahlengang		Reflektierte Strahlen		
Regulation der Einstrahlung	Außen-Reflexion	Beschattung durch Fläche	Blenzmechanismen	Schlitze	Jalousie
Wärmespeicherung	Sensibel		Latent		
	Übliche Bauteile		Zusätzliche therm. Massen innen	Zusätzliche therm. Massen außen	
Wärmeverteilung	Strahlung	Natürliche Konvektion	Wärmeleitung	Zwangs-konvektion	
Regulation der Wärmeflüsse	Variable Isolation	Strahlungsschid	Thermische Diode	Wärmerohr	

Abb. n. /H19/(S.19): "Klassifikation passiver Solarheizsysteme mit Hilfe eines morphologischen Kastens"

1.4.3.1 Strahlungssammlung

Zur Strahlungssammlung eignen sich transparente Bauteile der Gebäudehülle. Das Fenster ist in seiner Funktion als "Sonnensammler" klassisches Beispiel für die passive Sonnenenergienutzung. Fenster, in jedem Hochbau vorhanden, wirken, richtig dimensioniert, als ausgezeichnete Kollektoren.

Energielieferung über Fenster und transparente Außenbauteile:

- a) Außen auftretende Sonneneinstrahlung tritt entsprechend der Transmissionsfähigkeit des Glases sofort in den Innenraum ein (primärer Energietransport).
- b) Durch das Glas wird ein Teil der Strahlungsenergie absorbiert, der die Scheibe erwärmt und auf sekundäre Weise zur Energielieferung beiträgt /G11/(S.1414).

Primäre und sekundäre Energielieferung bilden den Gesamtergiedurchlaßgrad g , s. 1.4.2.5.

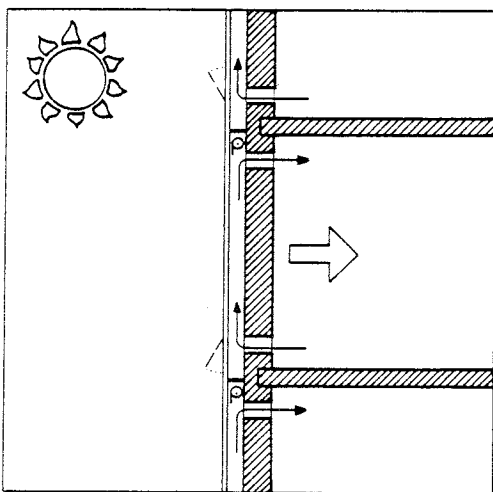
Die Strahlungssammlung von Wänden ist nur dann wirkungsvoll möglich, wenn diese speziell für die zusätzliche Funktion ausgebildet sind. Prinzipieller Aufbau:

- Schwere, gut wärmespeichernde und wärmeleitende Baustoffe als Innenschale;
- Außenseite: dunkle, stark absorbierende Oberfläche;
- im Abstand von 10-15cm vor dieser Wand ist eine transparente Abdeckung angeordnet: Isolierglas oder transparenter/transluzenter Kunststoff.

Die bei Sonneneinstrahlung in der Wand gespeicherte Wärme wird phasenverschoben (8 - 12 Std.) dem Raum zugeführt.

Wärmebedarf kann von den sofortigen Wärmegewinnen abgedeckt werden. Dazu wird über Luftklappen am oberen und unteren Abschluß der Speicherwand eine Luftzirkulation durch den natürlichen Auftrieb zwischen dem Luftspalt und dem hinter der Wand liegenden Raum in Gang gesetzt. Bei hybriden Systemen werden für den "Wärmetransport" elektrische Gebläse eingesetzt. Die unmittelbare Wärmezufuhr ist je nach Strahlungsangebot einfach regelbar.

Die Grundform der Sonnenwand ist die Trombe-Wand; sie wirkt in der beschriebenen Weise.



Die Arten der Wärmeübertragung (Strahlung +/- Konvektion) erfordern ein Temperaturniveau der Wand von deutlich über 20°C (Innenraumtemperatur!). Unter mitteleuropäischen Klimabedingungen wären dazu große Sonnenwandflächen erforderlich; aus den Dimensionierungsrichtlinien für Sonnenwände geht der überproportionale Flächenbedarf dieser Systeme hervor, vgl. /B23/(S.136).

Weiterentwicklungen des Sonnenwandprinzips, z.B. das beim Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) in Stuttgart in der Erprobung befindliche Sonnenwandssystem mit

Abb.: Trombewand

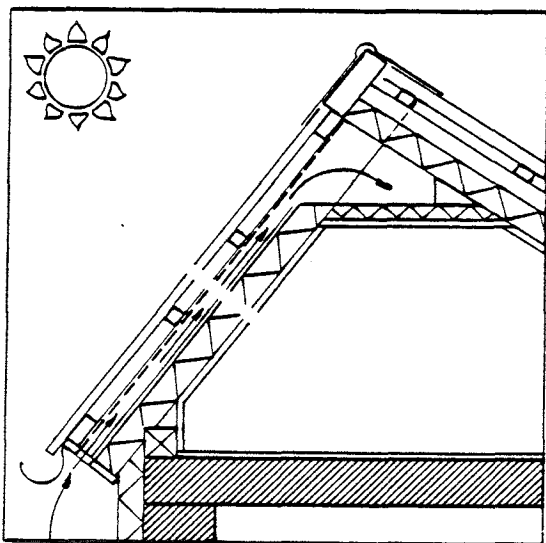
transparenter/transluzenter Wärmedämmung, lassen jedoch auch unter hiesigen klimatischen Verhältnissen einen nennenswerten solaren Heizbeitrag erwarten. Bereits bei ersten Messungen durch das IBP ergaben sich "negative k-Werte" (solarer Wärmebeitrag > Transmissionswärmeverluste) für dieses spezielle Sonnenwandsystem /B34/ (vgl. auch II.1.16).

Die einzig wirkungsvolle Art der Strahlungssammlung auf dem Dach ist nur durch den Einsatz von Luftkollektoren gegeben. Verglaste Dachflächen können sich als vorteilhaft für die Strahlungssammlung erweisen aufgrund ihrer oftmals günstigen Neigung, Richtung und gering anzunehmenden Verschattung.

Luftkollektoren sind Einrichtungen zur Strahlungsabsorption; die einfallende kurzwellige Strahlung wird an der Absorberfläche in langwellige Wärmestrahlung gewandelt und an die durch den Kollektor strömende Luft übertragen.

Der Einsatz von Luftkollektoren bietet sich an, wenn durch Standortnachteile die zu erwärmenden Räume keine Einstrahlung erhalten. Wegen ihres geringen Gewichtes, ihrer Wartungsarmut und der optimierten Ausrichtungsmöglichkeit eignen sich Luftkollektoren besonders für den Einsatz auf Dächern.

Aufbau der Luftkollektoren lt. nachfolgender Skizze:



Bei Anordnung der Luftkollektoren auf dem Dach muß der konstante Kreislauf der Luft durch mechanische Antriebseinrichtungen sichergestellt werden.

Die Wärmeverluste eines Luftkollektors sind relativ hoch (ca. 50%); ein gutes Absorptionsvermögen des Kollektors ist, neben den bei 1.4.2.2 bis 1.4.2.5 genannten Parametern, wichtige Voraussetzung für einen hohen Kollektor-Wirkungsgrad.

Eine Kollektorabdeckung, bestehend aus einer transparenten Wärmedämmung, könnte den Wirkungsgrad eines Luftkollektors erheblich erhöhen. (s.o. "Sonnenwand mit transparenter Wärmedämmung").

Strahlungssammlung in Zusatzräumen: Glasvorbauten können als "bewohnbare Kollektoren" bezeichnet werden. Ihre transparente Hülle ermöglicht den schon beschriebenen "Treibhauseffekt", d.h. der Glasvorbau wird durch die Sonnenstrahlung erwärmt. Ggf. anfallende Wärmeüberschüsse können als Beitrag zur Raumheizung in die zu beheizenden Räume geleitet werden. Gleichzeitig tragen Wintergärten zur Verminderung von Wärmeverlusten bei (s. auch Kap. 1.3). Sie bilden eine Zwischenzone

zwischen Raum und Außenklima, die sog. Pufferzone.

Der "wirtschaftliche Betrieb" eines Wintergartens oder Gewächshauses ist durch energetische Aspekte nicht gegeben. Andere als Energieeinsparungsgründe (vergrößerte Wohnfläche, Nutzungsqualität etc.) können das Errichten von Glasvorbauten gleichwohl rechtfertigen /S26/.

1.4.3.2 Strahlungsverteilung

Die Strahlungsverteilung geschieht entweder durch den direkten Strahlengang oder sie wird durch den Einsatz reflektierender Bauelemente bewirkt. Eine Umlenkung und Verteilung der Sonneneinstrahlung kann mittels innenliegender Reflektorflächen oder bzgl. ihrer Geometrie bzw. Oberflächenbeschaffenheit speziell ausgebildeter Bauteile erfolgen; auf diese Weise wird ein größerer Teil der Raumbefassungsflächen als Primärspeicher aktiviert.

1.4.3.3 Regulation der Einstrahlung

Die unterschiedlichen Methoden zu Regulation der Sonneneinstrahlung führen in den meisten Fällen zu einer Verminderung der Einstrahlung (wichtig z.B. im Sommer). Für eine ortsspezifisch richtige Lösung müssen die Erkenntnisse der Sonnengeometrie, der Mechanik, Thermodynamik und Optik berücksichtigt werden. Der aus energetischer Sicht anzustrebende Idealfall wäre eine Gebäudekonzeption bzw. -konstruktion, die die Gesamteinstrahlung durch Speicherung der überschüssigen Wärmemengen bis zu ihrer Verwendung nutzt.

In nebenstehender Tabelle ist der Wirkungsgrad unterschiedlicher Sonnenschutzmaßnahmen dargestellt, ausgedrückt durch den Gesamtenergiedurchlaßgrad bei unterschiedlichen Verglasungsarten.

Feststehende Sonnenschutzmaßnahmen bewirken auf der Südseite einen guten Sonnenschutz. - Die hochstehende Sommersonne wird abgeschirmt, während die tiefstehende Wintersonne in den Raum strahlt. Auf der Ost- bzw. Westseite des Gebäudes sind diese Sonnenschutzvorrichtungen wegen der tieferstehenden Sonne in ihrer Wirkung beschränkt.

Bewegliche Sonnenschutzeinrichtungen bringen in erster Linie eine verbesserte Regulierungsmöglichkeit der Einstrahlung.

Außenliegende Sonnenschutzvorrichtungen sind besonders wirkungsvoll, da die Sonnenstrahlen bereits vor ihrem Eintritt in die Gebäudehülle zurückgehalten werden und dadurch den Treibhauseffekt reduzieren. Mit außenseitig angebrachten Vorrichtungen sind g-Werte von 0,1 erreichbar.

Sonnenschutzanlagen	Abänderungsfaktoren (z) nach DIN 4108	Verbleibender Gesamtenergiedurchlaßgrad bei:			
		1-Scheiben Verglasung (g = 0,9)	2-Scheiben Verglasung (g = 0,8)	3-Scheiben Verglasung (g = 0,7)	
Innenliegend	-Folien, Gänge	0,4 - 0,7	0,50	0,44	0,38
	-Jalousien	0,50	0,45	0,40	0,35
Außenliegend	-Jalousien, Lamellen, hinterlüftet	0,25	0,23	0,20	0,18
	-Rolläden	0,30	0,27	0,24	0,21
	-Vorächer	0,30	0,27	0,24	0,21
	-Satteldächer	0,30	0,27	0,24	0,21
	-Markisen, oben und seitlich belüftet	0,40	0,36	0,32	0,28
	-Sonstige Markisen	0,50	0,45	0,40	0,35

Tab. n. /B23/(S.197): Gesamtenergiedurchlaßgrad

Ein innenliegender Sonnenschutz vermindert die Sonneneinstrahlung (und damit die Aufheizung des Raumes), nachdem diese bereits in den Raum bzw. den Kollektor gelangt ist, nur in eingeschränktem Maße. Deshalb muß ein innenliegender Sonnenschutz in der Lage sein, die eingedrungene Strahlung möglichst gut nach außen zu reflektieren.

Neben baulichen Sonnenschutzmaßnahmen kann auch durch Pflanzen ein Sonnenschutz erreicht werden: laubwerfende Pflanzen lassen im Winter die Sonnenstrahlen weitgehend passieren und können im Sommer gleichzeitig verschattend wirken.

Eine Verstärkung der Direkteinstrahlung können außenliegende Reflektorflächen bewirken. Diese Reflektoren sind z.T. einfach herstellbar, z.B. durch die reflektierende Ausführung einer vorhandenen Bauteiloberfläche oder durch eine entsprechende Änderung der Gebäudegeometrie (s. /M07/S.241). Zusätzliche Einrichtungen zur Reflexion von Sonnenstrahlen (Spiegel, Reflektoren) sind wirkungsvoll und technisch machbar; der Aufwand für derartige Einrichtungen steht jedoch in keinem Verhältnis zum zu erzielenden Ergebnis. Natürliche Reflektoren (Gewässer, Schnee etc.) können ausgenutzt werden.

1.4.3.4 Einrichtungen zur Wärmespeicherung

Bedingt durch das zeitliche Auseinanderliegen zwischen Wärmeangebot und Bedarf (saisonal, Tagesverlauf) erfordert die passive und hybride Sonnenenergienutzung Einrichtungen zur Speicherung der Wärme. Eine Differenzierung der wärmespeicherfähigen Baumassen erfolgt durch die unterschiedlichen Möglichkeiten ihrer Nutzbarmachung:

- Primärspeicher: Beladung durch direkte Sonnenbestrahlung; effektivste Art der Wärmeaufnahme, aber i.d.R. direkt bestrahlte Speicheroberfläche nicht in ausreichendem Maß im Gebäude verfügbar; keine Möglichkeiten zur Regulierung der Wärmeabgabe (vorwiegend Strahlung).
- Sekundärspeicher: Wärmeaustausch zwischen solar im Raum erwärmter Luft und Speicherbauteil durch konvektive Übertragung; Begrenzung der Wärmeübertragung durch kleine Wärmeübergangskoeffizienten, geringe max. zulässige Temperaturdifferenzen und Anströmgeschwindigkeiten (Behaglichkeit, s. 1.2); keine Möglichkeit zur Regulierung der Speicherentladung (vorwiegend Strahlung).
- Tertiärspeicher: ebenfalls konvektive Beladung; Transport der solar erwärmten Luft (auch in Luftkollektoren) zum/in das Speicherbauteil; Speicherentladung ebenfalls konvektiv (Strahlung anteilig), dadurch verbesserte Regulierung der Speicherentladung.

Wärmespeicherung ist danach im einzelnen abhängig von:

- der Sonnenbestrahlung der Strahlungssammler und Flächen;
- dem zeitlichen Verlauf der Sonneneinstrahlung;
- dem Wärmeeindringkoeffizienten (baustoffspezifisch);
- dem Wärmeübergang von erwärmter Luft zu Speicheroberfläche;

- der Speicherdimension;
- der Wärmespeicherkapazität (Stoffwert).

Untersuchungen zeigen, daß der Engpaß beim Speicherprozeß nicht die thermische Masse des Gebäudes ist, vielmehr begrenzen die im Wärmetausch stehenden Oberflächen dieser Masse und die den Bewohnern zumutbaren Raumtemperaturschwankungen die speicherbare Energie /M13/(S.7).

Ein Vorteil der Wärmespeicherung in Bauteilen besteht darin, daß keine zusätzlichen Speicherbehälter benötigt werden. Der Temperaturbereich des Speichers bestimmt seine Lage im Gebäude. Wand- und Deckenspeicher mit Temperaturbereichen $> 20^{\circ}\text{C}$ (Tertiärspeicher mit Luftzirkulation) haben den Vorteil, daß alle Wärmeabflüsse der Raumbeheizung dienen, es gibt keinen Wärmeverlust des Speichers.

Die (Tertiär-) Speicherung zeichnet sich durch größere Wärmetauschoberflächen und durch höhere max. zulässige Temperaturdifferenzen und Luftgeschwindigkeiten (im Bauteil) aus, mit der Folge eines verbesserten Wärmeübergangs und somit einer wirkungsvolleren Wärmespeicherung.

Berücksichtigt man alle Parameter, die die Wärmespeicherung in Gebäuden beeinflussen, erscheint "eine wesentlich weitere Erhöhung des Ausnutzungsgrades der angebotenen Solarenergie möglich, wenn die passiven Maßnahmen durch einfache aktive Maßnahmen (gesteuerter Ventilator) und durch Einsatz eines unabhängig ladbaren und entladbaren Speichers unterstützt werden." /M13/(S.9) (= hybride Sonnenenergienutzung)

Die Kombination von warmluftdurchströmten, wärmespeichernden Bauteilen mit Kollektoren, die relativ rasch Temperaturen von über 20°C erzeugen (z.B. Luftkollektoren), erscheint sinnvoller als z.B. die Kombination mit jenen Kollektorsystemen (Glashäusern), die durch ihren hohen Eigenwärmeverbrauch nur langsam das Temperaturniveau von über 20°C erreichen. "Für die richtige Dimensionierung von solchen Speichern für die verschiedenen Kollektorsysteme in Abhängigkeit von den Einstrahlungssummen und dem Temperaturniveau der gespeicherten Wärme gibt es bisher keine zuverlässigen Regeln." /B23/(S.165)

Neben den traditionellen Anforderungen an Wände und Decken, (Tragfähig-, Formbeständig-, Biegesteifig-, Feuerbeständigkeit, Luft-, Trittschall-, Wärmedämmung etc.) müssen künftig wärmespeichernde Bauteile zusätzlichen thermischen Anforderungen genügen (Spez. Baustoffeigenschaften und Oberflächen-ausbildung) /H18/(S.94). Daraus folgen wichtige konstruktive Überlegungen/Konsequenzen:

- Bauteilausbildung unter Beachtung der thermischen Längenänderungskoeffizienten;
- Integration der Bauteile mit warmluftführenden Hohlräumen in das Heizungssystem.

1.4.3.5 Wärmeverteilung

Wärmeübertragung vollzieht sich über Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung.

- Wärmeleitung: stoffliche Wärmeübertragung von Teilchen zu Teilchen in festen, flüssigen und gasförmigen Körpern
 - Konvektion (Wärmemitführung); Wärmeübertragung durch Umwälzung von Flüssigkeits- oder Gasteilchen, differenziert in:
 - Wärmestrahlung: Wärmeübertragung durch Strahlung (elektromagnetische Wellen)
- a) Freie Konvektion: Bewegung von flüssigen oder gasförmigen Medien durch Dichteunterschiede (temperaturbedingt);
 - b) Erzwungene Konvektion: Bewegung flüssiger oder gasförmiger Körperteilchen durch äußere Einwirkungen (Ventilatoren, Pumpen etc.)
 - c) Mischkonvektion: Zusammenwirken von freier und erzwungener Konvektion.

Sonneneinstrahlung wird nach Mehrfachreflexion in Wärmeströme umgewandelt. Sie dringt z.T. in die Speicherbauteile ein und wird dort durch Wärmeleitung verteilt. Ein anderer Teil der Energie verläßt das Bauteil auf dem Weg des langwelligen Strahlungsaustausches mit der Umgebung bzw. durch konvektiven Wärmeübergang an die Raumluft. Der Strahlungsaustausch ist die effektivste Art des Wärmeübergangs (je nach Neigung der bestrahlten Fläche zwischen 55% und 70% des Gesamtwärmeübergangs) /H19/(S.73).

Im Gegensatz zur effektiven, räumlich jedoch begrenzten Wärmeverteilung durch Strahlung kann die auf konvektivem Wege erwärmte Luft auch gezielt in andere Räume transportiert werden. Aufgrund der geringen Wärmespeicherfähigkeit der Luft sind dazu große Luftvolumina (Dimensionierung der Transportwege!) notwendig.

1.4.3.6 Regulation von Wärmeflüssen

Die Regulation von Wärmeflüssen ist durch bewegliche und damit veränderbare Dämmungen möglich. Temporäre Wärmeschutzmaßnahmen vermindern bzw. regulieren den Wärmeabfluß nach außen bzw. in angrenzende Räume. Besonders hinsichtlich des Wärmeabflusses durch Fenster während der (Tages-) Zeiten ohne (nennenswerte) Sonneneinstrahlung ist der Einsatz temporärer Wärmeschutzmaßnahmen von besonderer Bedeutung: er verbessert die Wärmebilanz eines Fensters (tagsüber erzielte Gewinne > nächtliche Verluste).

Mit Ausnahme des bekannten, wärmetechnisch verbesserungswürdigen Rolladens werden brauchbare Lösungen für temporäre Wärmeschutzmaßnahmen auf dem Markt jedoch noch wenig angeboten.

Besondere Bedeutung gewinnen die Möglichkeiten der Speicherbe- und -entladung bei der hybriden Nutzung der Sonnenener-

gie. Zwei Varianten werden dabei unterschieden:

- Die kontrollierte Be- und Entladung, die sich auf dem Wege der Zwangskonvektion vollzieht. Dabei wird die Wärme mit dem Transportmedium Luft zum/vom Wärmespeicher geführt (Tertiärspeicherung, s.o.1.4.3.4).
- Die unkontrollierte Be- und Entladung über Wärmestrahlung und ggf. freie Konvektion an den Speicherbauteil-Oberflächen.

Zu den besonderen Bedingungen und Möglichkeiten der kontrollierten/unkontrollierten Speicherbe- und -entladung im Zusammenhang mit Systemen mit warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen s. 3.2.2.

1.4.4 Wärmebeiträge aus internen Wärmequellen

Als internen Wärmebeitrag bezeichnet man die Wärmeabgabe von Personen, von Beleuchtung, von Maschinen und Geräten sowie die Wärmeabgabe beim Stoffdurchsatz durch den Raum /B23/ (S.210); /V02/(S.2ff).

Die Wärmeabgabe von Personen ist abhängig von ihrer Tätigkeit; gemäß der Richtlinie VDI 2078 werden als stündliche Wärmeabgabe folgende Werte angenommen (bei $T_i = 20^\circ\text{C}$):

- | | |
|----------------------------|----------|
| - nichttätig: | 116 Watt |
| - leichte Tätigkeit: | 192 Watt |
| - mittelschwere Tätigkeit: | 267 Watt |

Die Wärmeabgabe der Beleuchtung ist von deren Betriebsdauer und diese durch die Tageslichtausleuchtung bestimmt. Fenstergröße, Standort, Verschattung etc. sind dabei maßgebend. Zwei Arten der Beleuchtung sind zu unterscheiden:

- Grundbeleuchtung, unabhängig vom Tageslicht dauernd geschaltet;
- Bedarfsbeleuchtung, abhängig vom Tageslicht und den Verkehrszeiten.

Die Berechnung der Beleuchtungswärme Q_B ist mit Hilfe der lichttechnischen Planungsdaten oder der tatsächlich installierten Anschlußleistung möglich (Berechnung, auch überschlägig, gemäß VDI 2078 S.3).

Die Abwärme von Maschinen und Geräten, die je nach Art der Einrichtung (z.B. Kühlung) einen erheblichen Beitrag zur Raumerwärmung leisten kann, wird gemäß VDI 2078 nach der Nennleistung der Geräte in Abhängigkeit von einem Belastungsfaktor berechnet.

Materialientransport in bzw. durch den Raum - Stoffdurchsatz durch den Raum - kann ebenfalls dem Raum Wärme zuführen (s. dazu /V02/S.6ff).

Der Wärmeeintrag in den Raum erfolgt vorwiegend durch Wärmestrahlung und Konvektion.

Interne Wärmequellen sind nicht in der Lage, den Wärmebedarf eines Wohngebäudes vollständig zu decken. Bei Gebäuden mit anderen Nutzungsarten (Bürogebäude, Fertigungsstätten, Großküchen etc.) kann es jedoch infolge hohen internen Wärmeaufkommens zeitweise zu Erwärmungen über den vorhandenen Bedarf hinaus kommen.

In diesen Fällen stellt sich das Problem des "Wärme-handlings" (Wärmetransport, Wärmespeicherung, zeitverzögerte Wärmeabgabe bei wieder ansteigendem Wärmebedarf etc.) wie bei der passiven/hybriden Nutzung der Sonnenenergie, s. dazu die vorausgegangenen Erörterungen bei 1.4.3.

1.5 - Energiesparpotentiale in den Bereichen Heizung und Raumluft-Konditionierung

Voraussetzungen für den sinn- und wirkungsvollen Einsatz von Systemen mit warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen als integrativem Bestandteil des baulichen Gesamtenergiekonzeptes sind optimierte Planung, Auslegung und Betrieb der haustechnischen Einrichtungen für Zusatzheizung, Lüftung und ggf. Klimatisierung.

"Wichtigste Voraussetzung für einen geringen Heizenergieverbrauch ist neben einem guten Wärmeschutz eine an den Energiebedarf angepasste und gut regelbare Heizungsanlage." /A06/ (S.9)

1.5.1 Gebäudeheizung (Wärmezuführungssystem)

Anforderungen und Aufgaben, die an Zusatz- wie passive bzw. hybride Raumheizungen gleichermaßen gestellt werden, lassen sich nach /R03/(S.295/96) zusammenfassen:

1. Die *Empfindungstemperatur* in dem beheizten Raum (Mittelwert aus Luft- und mittlerer Wandtemperatur) soll in vertikaler und horizontaler Richtung sowie zeitlich möglichst *gleichmäßig* sein, etwa 20°C bis 22°C, mit einer Abweichung von etwa ± 1 K. Dabei stellt sich ein dauerndes Gleichgewicht ein zwischen der durch Verbrennung der Nahrung und durch Muskeltätigkeit entstehenden körperlichen Wärme und der Wärmeabgabe an die Umgebung.
2. Die Heizung soll *regelbar* sein, d.h., die Empfindungstemperatur soll sich entsprechend dem Wunsch des einzelnen in gewissen Grenzen ändern lassen können. Die Regelung soll dabei möglichst *trägheitsarm*, d.h. schnell erfolgen; insbesondere soll sich der Raum schnell aufheizen lassen.
3. Die Raumluft soll durch die Heizung *nicht verschlechtert* werden; insbesondere soll keine merkliche Erzeugung von Staub, schädlichen Gasen und Dämpfen möglich sein; auch dürfen keine störenden Geräusche und Zugerscheinungen auftreten. Die Heizkörper sollen leicht zu reinigen sein.
4. Die Heizung soll *kostengünstig* in Anschaffung und Betrieb sein.

Eine Heizung, die alle genannten Forderungen in gleicher Weise erfüllt, gibt es noch nicht. Alle heutigen Heizungen, angefangen vom uralten Kaminfeuer bis zur modernen Strahlungs- oder Fußbodenheizung, haben Vor- und Nachteile. Welche Heizungsart in einem Einzelfall zu wählen ist, hängt von vielen Faktoren ab, die zu berücksichtigen sind, z.B. Gebäudeart, Dauer der Benutzung, Zahl der Personen und ihrer Kleidung, Art der Brennstoffe, Anlage- und Betriebskosten usw.

(qualitativ und quantitativ) kontrollierte Energieumwandlung und Wärmeverteilung/-abgabe.

1.5.1.1 Stand der Heizungstechnik - konventionelle Heizungen

Nikolic identifiziert in /N02/(S.33) (Forschungs-) Lücken bei der Entwicklung adäquater Heizungs- und Lüftungssysteme. Verbesserungsansätze betreffen alle Komponenten einer Heizungsanlage: Energiewandler, Wärmeverteilungssystem, Wärmeabgabe im Raum und Steuer- und Regeleinrichtungen. Dabei spielt die Weiterentwicklung der Heizungstechnik in Richtung Niedertemperaturbetrieb auch in Zukunft die bedeutendste Rolle. Dütz /D10/ fordert die: "verstärkte Weiterentwicklung von Niedertemperaturheizungssystemen als Voraussetzung für den Einsatz von neuartigen Wärmeversorgungssystemen wie Wärmepumpen, kalter Fernwärme und Solarenergie".

'Niedertemperatur' (NT) bedeutet den Betrieb des Wärmeträgermediums der Heizungsanlage auf niedrigstmöglichem Temperaturniveau (ca. 40°C). Durch den Niedertemperatur-Betrieb ergeben sich geringe Delta t mit minimierten Leitungs-, Stillstands-, Übergangs- und Transportverlusten. Der Energiewandler muß angepaßt und die Wärmeabgabeflächen im Raum müssen dazu vergrößert werden.

Zusammenfassung Niedertemperaturheiztechnik

- In einer Niedertemperaturheizungsanlage ist im Gegensatz zu einem 90/70°C-Heizsystem die Betriebstemperatur in der gesamten Heizungsanlage deutlich niedriger.
- Die niedrige Betriebstemperatur hat vielfältige Auswirkungen auf die Gestaltung und Auslegung von Anlagenteilen. Hauptsächlich sind Heizkessel, Abgasanlage und Heizflächen betroffen.
- Auch wenn derzeit noch mit einer konventionellen Heizquelle gearbeitet wird, kann eine Niedertemperaturheizungsanlage später auf additive Energiequellen/ Systeme umgestellt werden.
- Niedertemperatur-Heizkessel werden i.d.R. mit einer gleitenden Kesseltemperaturregelung ausgestattet. Gegen Korrosionsprobleme bei Taupunktunterschreitung sind NT-Kessel durch besondere Materialien oder Konstruktionsweisen geschützt.
- Zur bedarfsangepaßten Wärmeerzeugung trägt auch die stufenlos gleitende oder menstufige Regelung der Brenner in Abhängigkeit von der Außentemperatur bei. Dadurch verlängern sich die Brennerlaufzeiten wesentlich.
- Im kleinen Leistungsbereich ist die Abstimmung von Anlagenteilen von höchster Bedeutung, daher sind immer mehr Hersteller dazu übergegangen, Kleinheizzentralen („Units“) anzubieten, die neben Kessel und Brenner auch die witterungsgeführte Regelung, das Ausdehnungsgefäß und die Umwälzpumpe enthalten.
- Kessel, Brenner und Schornstein müssen ebenfalls aufeinander abgestimmt sein. Sinkt die Abgastemperatur unter den Taupunkt, besteht Durchfeuchtungs- bzw. Versottungsgefahr. Entsprechende Gegenmaßnahmen sind erforderlich.
- Durch niedrige Betriebstemperaturen werden die Verluste im Wärmeverteilungssystem erheblich vermindert. Zusammen mit einer ausreichenden Wärmedämmung der Rohrleitungen betragen die Leitungsverluste dann nur noch 4–6% statt bisher 6–10%.
- Eine Brauchwasserbereitung kann auch mit einem Niedertemperatur-System erfolgen. Allerdings wird eine Vorrangschaltung mit Anhebung der Heizwassertemperatur für die Dauer der Aufladung des Speicher-Wassers warmers erforderlich.
- Die Mehrkosten einer NT-Heizungsanlage gegenüber einer 90/70°C-Anlage betragen 20–30 DM/m², die Einsparung von etwa 3 DM/m² rentiert sich in 7–10 Jahren.

n. /H24/(S.16)

a) Wandler/Kessel

Die Entwicklung bei Heizkesseln und Brennern hat inzwischen spezielle NT-Kessel mit hohen Wirkungsgraden im Teil- und Vollastbereich hervorgebracht. Brennwert-Kessel nutzen auch die in den Abgasen enthaltene Wärme und die im Wasserdampf des Abgases enthaltene Verdampfungswärme.

Voraussetzung für einen effektiven Betrieb ist eine genau dem Heizungssystem angepaßte Auslegung des Wandlers, um Überdimensionierungen zu vermeiden: "Es ist sicher richtig, einen Heizkessel oder einen anderen Energiewandler entsprechend der Empfehlungen in der neuen Heizungsanlagenverordnung eine Nummer kleiner zu wählen, als es sich rechnerisch aus der DIN 4701 ergibt." /M01/(S.54)

b) Wärmepumpen ("WP")

Wärmepumpen sollen hier nur der Vollständigkeit halber kurz am Rande betrachtet werden. - Anmerkung: Mit dem Begriff Wärmepumpe seien hier nur diejenigen Anlagen angesprochen, die im Kaltdampf-Kompressionsverfahren arbeiten (= die auf dem Markt befindlichen WP-Systeme). Absorptionswärmepumpen spielen in der Heizungstechnik von kleineren und mittleren (Wohn-) Gebäuden gegenwärtig keine Rolle; es zeichnet sich auf diesem Gebiet jedoch eine vielversprechende Entwicklung ab, die für die Zukunft einsatzfähige Systeme in der Dimension für Einfamilienhäuser erwarten lassen /B24/(S.103).

Kennzeichnend für den WP-Betrieb sind derzeit die folgenden Kriterien:

- Voraussetzung ist der Betrieb im NT-Bereich.
- Monovalenter (= ausschließlicher, ohne Zusatzheizung vollzogener) Betrieb ist anzustreben (ganzjährig verfügbare Wärmeentzugsquelle. Selten erreichbar. Zu Beurteilungskriterien für Wärmequellen s. /B24/S.107).
- Bei bi- oder multivalentem Betrieb (WP plus Zusatzheizung) steigen die Anlagekosten erheblich; wirtschaftl. Amortisationszeiträume (< 10 Jahre) sind so nicht einzuhalten.
- Die Anschlußwerte der marktüblichen WP's sind für den Ein-

- satz in privaten Haushalten zu hoch (sinkender Wärmebedarf durch energetisch optimierte Bauweisen u. Konstruktionen).
- Durch die am Markt befindlichen, vorwiegend elektrisch angetriebenen Wärmepumpen ist Primärenergieeinsparung nicht möglich (vgl. /M15/S.48).
 - WP-Heizungen reagieren betriebsbedingt thermisch extrem träge, wodurch die Einsatzmöglichkeiten entscheidend beschränkt werden /M01/.

Ein WP-Einsatz anders als zu Heizzwecken in kleineren Gebäuden (für Warmwasserbereitung, Abwärmerückgewinnung größeren Stils oder als öl- bzw. gasbetriebene WP in Blockheizkraftwerken etc.) kann hingegen sinnvoll und wirtschaftlich sein.

c) Wärmeabgabe im Raum

Die Entwicklung der Niedertemperatur-Heiztechnologie hat sich nahezu ausschließlich auf den Anwendungsbereich der Warmwasserheizungssysteme beschränkt. Die Alternative zur Warmwasserheizung, die Warmluftheizung (s.u.), blieb von dieser Entwicklung weitgehend ausgenommen.

Aufgrund der Vielzahl der Veröffentlichungen zu NT-Raumheizungen (vgl. /C07// /H24// /R03// /R08// /B38/ u.v.a.m.) soll hier nur kurz auf die derzeit populäre WW-FB-Heizung und in einem längeren Exkurs auf die in der Bundesrepublik minderrepräsentierte (NT-) Warmluftheizung eingegangen werden.

d) NT-Warmwasser-Fußbodenheizung (NT-WW-FB-Heizung)

Die Tendenz bei den Niedertemperaturwarmwasserheizungen entwickelte sich hin zur Fußbodenheizung, die den aktuellen Stand der Technik hinsichtlich der Energieökonomie und des Komforts darstellt. Dabei sind die im Zusammenhang mit der Fußbodenheizung genannten (energetischen, technischen, physiologischen etc.) Vorteile längst nicht mehr unumstritten (/B23/S.108 u. /M01/S.59). Als Hauptnachteile werden genannt:

- das thermisch träge Reaktionsvermögen;
- ungünstige Vorwärmung von Primärspeicherflächen bzw. -massen bei der passiven Sonnenenergienutzung;
- Korrosions- bzw. Diffusionsverhalten der Rohrleitungen;
- physiologische Auswirkungen für die Bewohner (Behaglichkeitsempfinden, Wärmeleitung, "idealer" Temperaturprofilverlauf, Lösungsmitteldiffusion aus Bodenbelägen).

e) Niedertemperatur-Warmluftheizung (NT-WL-Heizung)

Vorbemerkung: Bei den Warmluftheizungen werden offene und geschlossene Systeme unterschieden. Dabei kommen im Wohnungsbau vorwiegend die sog. offenen Systeme zum Einsatz, also diejenigen Warmluftheizungen, bei denen das Wärmeträgermedium frei in die zu beheizenden Räume gelangt. Der Begriff der offenen und geschlossenen Warmluftsysteme wird in Kap.3 vertieft.

Die Merkmale für den Betrieb von WL-Heizungen:

- Nutzung des Wärmeträgermediums Luft, das im Vergleich zu Wasser thermisch nahezu trägheitslos reagiert, wodurch Einschwing- und Übergangsvorgänge mit kürzestmöglicher zeitlicher Verzögerung ablaufen. Stillstands- und Trägheitsverluste sind minimiert: "Der systembedingte Verbrauch wird bedeutend geprägt von dem dynamischen Verhalten des Systems." /N02/(S.188)
- Moderne Luftheizungen arbeiten im Mischluftbetrieb (Umluft und kontrollierter Bedarfs-Frischluftanteil).
- Die energetischen Merkmale der Luftheizung bieten günstigste Voraussetzungen für die Kombination mit Einrichtungen zur kontrollierten Lüftung und Wärmerückgewinnung (s.u.). Die gesamte Peripherie (s. Kap.3) kann dazu eingesetzt werden.
- Weitergehende Raumluftkonditionierung bis hin zur Ausbaustufe einer vollständigen Klimaanlage ist ohne großen Mehraufwand möglich (auch im Nachrüstverfahren). Auch hier steht die gesamte Peripherie der WL-Heizungsanlage bereits zur Verfügung.
- Bei solarem Strahlungsangebot (vgl. 1.5) kann die WL-Heizeinrichtung zur "Wärmeverschiebung" (Süd-/Nordzone) oder für den Transport der Wärme in warmluftdurchströmte Speicherbauteile verwendet werden.
- Nachteile der Luftheizung sind bei den heute eingesetzten modernen Anlagen und professioneller Ausführung/Installation größtenteils behoben (/J02/S.63): Wahrnehmbare Zugscheinungen treten durch entsprechend dimensionierte Leitungsquerschnitte und Ausblasöffnungen nicht mehr auf (Raumluftgeschwindigkeiten von weit unter den maximal zulässigen 0,2 m/s, die damit auch den Erkenntnissen neuester Forschungsergebnisse entsprechen, vgl. /K09/. Im Nieder-temperatur-Betrieb ist eine Staubverschmelzung durch das Luftheizungssystem ausgeschlossen. Heizungsbedingte Geräuschübertragungen können vermieden werden (Dämpfung des mechanischen Luftstromantriebs, niedrige Luftstromgeschwindigkeiten). Gerüche, die im Alltagsbetrieb vorwiegend in Küche, Bad und WC entstehen, können durch die modernen Luftheizungssysteme während des Mischluftbetriebes nicht auf andere Räume übertragen werden (vgl. 4.5 u. 5.4). Auf dem Gebiet der Schadstoffübertragung durch - bzw. der Bildung gesundheitsgefährdender Stoffe in - WL-Heizungen scheinen jedoch wichtige hygienische Aspekte noch ungelöst (vgl. 5.4 und 5.5).

<Angaben der Hersteller (bzw. "herstellernaher" Fachveröffentlichungen, vgl. /B15/; /B18/; /B35/; /F05/) von Luftheizungen, Filtereinrichtungen etc. zufolge können alle i.V.m. WL-Heizungen in der Vergangenheit aufgetretenen Probleme als gelöst gelten. In einer Studie des Fraunhofer Instituts für Bauphysik über Luftheizungen /B34/ heißt es als Ergebnis einer Umfrageaktion: "Die überwiegende Mehrheit der Besitzer moderner Luftheizungssysteme ist mit ihrem Heizsystem jedoch sehr zufrieden." S. dazu auch II.1.16.>

WL-Heizungen sind in der Bundesrepublik unterrepräsentiert. Mit dem Thema WL-Heizungen sind stets die bekannten Assoziationen verbunden an Zugluft, Staubverschmelzung, trockene Luft, Geräuschübertragung etc.. Urbanek /U01/ spricht in diesem Zusammenhang von einer psychologischen Barriere in der Bundesrepublik, die überwunden werden müsse. Grün /G25/ sieht die Gründe für den geringen Verbreitungsgrad von Warmluftheizungen in dem komplexen Zusammenhang Heizung/Baukonstruktionen (thermische Wechselbeziehung zwischen beheizten Räumen und Wärmezuführungssystem): "Das hierzulande herrschende Vorurteil gegen Luftheizungen ist insofern verständlich, als ein unangenehmes Raumklima herrscht, wenn gegen kalte Außenwandflächen geheizt werden muß durch entsprechend überwarme Raumluft." (tRaumluft : tWandoberfläche)

In einschlägigen Fachveröffentlichungen werden die Forderungen nach verstärktem Einsatz von Luftheizungen im Wohnungsbau laut: Der Übergang auf Luftheizungen ist erforderlich, wenn über Maßnahmen zur Wärmedämmung hinaus substantiell Energiebedarf eingespart werden soll /J02/(S.64).

Gertis sieht in seinem Grundsatzartikel über die Möglichkeiten zur zukünftigen Heizenergieeinsparung im Wohnungsbau /G08/(S.473) für die Luftheizung eine "breitere Anwendbarkeit". Im Zusammenhang mit der Wärmerückgewinnung schreibt er an gleicher Stelle: "Im Hinblick auf die naheliegende Einbindung von Rückgewinnungsanlagen in Luftheizungen werden Luftheizungssysteme künftig einen deutlichen Aufwärtstrend erfahren."

f) Einzelfeuerstätten für Festbrennstoffe

Öfen für Festbrennstoffe erleben als Zusatzheizung zur bestehenden Zentralheizung in Privathaushalten in jüngster Zeit eine Renaissance. Abgesehen von den Bestrebungen zum "gesunden Heizen" (vgl. auch die Anmerkungen zum gesunden Heizen in 5.6) mit Kachelöfen hat der Einsatz von Einzelöfen, unter bestimmten Voraussetzungen auch nach energetischen Gesichtspunkten, seine Berechtigung; im Vordergrund steht dabei die Frage nach Art, Verfügbarkeit und ökologischer Unbedenklichkeit der verwendeten Brennstoffe. Weiterhin setzt der effektive Betrieb von Einzelöfen den kenntnisreichen Umgang der Bewohner/Nutzer mit denselben voraus (s. 1.1). Sinnvoll ist dabei der Einsatz, wenn

- Lastspitzen durch den Einzelofenbetrieb gebrochen werden können;
- die Zentralheizung durch den zusätzlichen Betrieb von Einzelöfen geringer dimensioniert werden kann;
- der Betrieb der Zentralheizung in der Übergangszeit durch die Einzelofenfeuerung substituiert werden kann;
- Überschußwärme des Einzelofens in warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen gespeichert werden kann.

Mehrere Bauordnungen der Länder schreiben ohnehin für jede Wohnung die Anschlußmöglichkeit für mindestens einen Einzel-

ofen vor, so daß diese Bestimmung dem sich entwickelnden Trend entgegenkommt.

g) Steuerung + Regelung

Der sparsame Heizbetrieb hängt von der regelungstechnischen Ausstattung ab. Der Nutzen einer verbesserten Wärmedämmung und moderner Kessel bleibt in seiner Wirkung eingeschränkt, solange die Wärmeerzeugung nicht möglichst genau dem jeweiligen Wärmebedarf der zu beheizenden Räume angepaßt werden kann. Solche Energiesparmaßnahmen kommen nur durch geregelte und gesteuerte Wärmezufuhr voll zum Tragen /H24/(S.25).

"Die primäre Aufgabe der Heizungsregelung besteht darin, die Raumtemperatur auf einem vom Nutzer gewünschten Niveau möglichst konstant zu halten. Eine bestimmte Maximaltemperatur sollte dabei auf keinen Fall überschritten werden. Die Regelung muß also die Wärmeabgabe der für einen Extremfall (Normwärmebedarf des Raumes) bemessenen Heizflächen der meist wesentlich niedrigeren und ständig wechselnden sog. Heizlast des Raumes anpassen. Dabei sollte der Gesamtenergieeinsatz so niedrig wie möglich gehalten werden.

Voraussetzung dafür ist sowohl eine unter den Gesichtspunkten der rationellen Energieverwendung und der Regelbarkeit konzipierte und dimensionierte Heizanlage als auch eine Regelung, die möglichst individuell auf diese Heizanlage abgestimmt ist, und die außerdem bestimmten Anforderungen hinsichtlich der Regelgüte und der Wirtschaftlichkeit genügt.

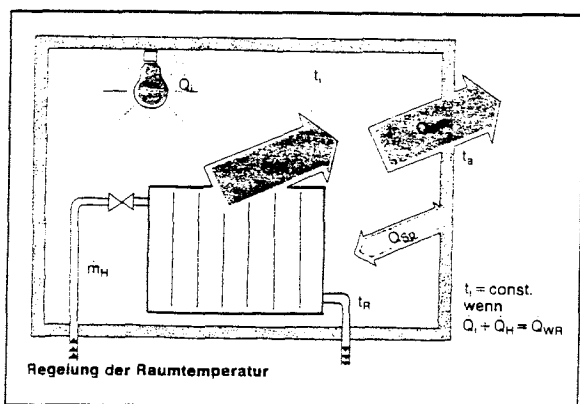


Abb. n. /B24/

Um die Wärmeabgabe der Heizflächen genau der jeweils erforderlichen Heizlast anpassen zu können, müssen alle Parameter erfaßt werden, die die Heizlast beeinflussen. Abb.1 zeigt einen zu beheizenden Raum, in dem die Temperatur t_i möglichst konstant gehalten werden soll. Der Raum gibt Wärme Q_{WR} nach außen bzw. an kühlere Räume ab. Die Wärmezufuhr erfolgt über einen Heizkörper Q_H und evtl. zeitweise durch andere Wärmequellen wie z.B. elektrische Geräte, Personen oder Sonneneinstrahlung Q_i . Bei Änderung der Raumtemperatur wird außerdem in die Umgebungswände und in die Einrichtungsgegenstände des Raumes Wärme Q_{sp} ein- bzw. ausgespeichert.

Aufgabe der Regelung ist es nun, die Wärmeabgabe des Heizkörpers so einzustellen, daß die Summe der Wärmezufuhr durch Heizkörper und andere Wärmequellen gleich ist der Wärmeabgabe des Raumes nach außen. Die Wärmeabgabe des Heizkörpers entspricht dann der Heizlast des Raumes." /B24/(S.113)

Nach /M01/(S.59) besitzt die Regelung von Heizungsanlagen heute noch einen primitiven Standard im Vergleich zu den hochentwickelten Regeleinrichtungen zeitgemäßer Klimaanlage. Den Stellenwert der Heizungsregelung beschreibt Meyringer in /M13/ (S.9): "Die Regelbarkeit des Heizungssystems hat eher noch größeren Einfluß auf den Solarenergiegewinn als die Speicherfähigkeit. Zeitkonstanten im Minutenbereich sind für die Wärmeabgabekomponenten anzustreben."

Zusammenfassend zur Heizungsregelung (n. /H24/S.30):

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ● Von der regelungstechnischen Ausstattung hängt es entscheidend ab, wie sparsam die Heizung arbeitet. Verbesserte Wärmedämmung und moderne Kessel nützen nichts, wenn die Wärmeerzeugung nicht möglichst genau dem jeweiligen Wärmebedarf der zu beheizenden Räume angepaßt wird. Solche Energiesparmaßnahmen kommen durch geregelte und gesteuerte Wärmezufuhr erst richtig zum Tragen. ● Eine verbesserte regelungstechnische Ausstattung ergibt weniger Vollbenutzungsstunden und einen besseren Verteilungsnutzungsgrad und führt zu beachtlichen Energieeinsparungen (bis zu 30%) gegenüber den früher ungeregelten Heizsystemen. ● Durch eine zentrale oder nach Heizkreisen aufgeteilte Vorlauftemperatur-Regelung wird das Temperaturniveau des Heizungswassers dem der Außentemperatur entsprechenden Wärmebedarf angepaßt. Gegenüber einer konstanten Fahrweise werden die Verluste deutlich verringert. Die größte Wirkung wird erreicht, wenn bereits die Wärmeerzeugung der notwendigen Vorlauftemperatur angepaßt wird. Am besten dafür ist die gleitende Kesseltemperatur-Regelung geeignet. | <ul style="list-style-type: none"> ● Auf diese zentralen Regeleinrichtungen können bestimmte Zusatzfunktionen aufgeschaltet werden. Dadurch läßt sich entweder das Regelverhalten verfeinern oder die Behaglichkeit in den Räumen wird gesteigert. ● Beachtliche Brennstoffeinsparungen können sich durch eingeschränkten Heizbetrieb ergeben. Als Absenkenprogramme kommen heute in Betracht: <ul style="list-style-type: none"> - Absenkung der Vorlauftemperatur - Abschaltung der Energiezufuhr mit Raumtemperaturüberwachung oder - Außentemperaturüberwachung - Optimierung der Abschaltung/Absenkung. ● Um den Fremdwärmeanfall, innere Fremdwärme (Personen-, Geräte- und Beleuchtungswärme) und äußere Fremdwärme (Sonneneinstrahlung) in einen Fremdwärmegewinn umzuwandeln, bedarf es einer entsprechenden regelungstechnischen Ausstattung, hauptsächlich in Form einer guten Einzelraumregelung, mit <ul style="list-style-type: none"> - thermostatischen Heizkörperventilen oder - elektrischer/elektronischer Regelung. |
|--|--|

1.5.2 Lüftung

Die Forderung nach mechanischer, kontrollierter Lüftung im Wohnungsbau wurde bereits in 1.2 (Taufwasserbildung b. hohen Raumluftheuchten infolge dampfdichter Konstruktionen; Mindestluftwechselrate zur Schadstoffbegrenzung der Raumlufte) und 1.3 (Reduzierung von Lüftungswärmeverlusten) diskutiert und erhoben. Vertiefend zum Thema Wohnungslüftung: /E05/; /F02/; /G10/; /G11/; /H08/; /H17/; /K12/; /M22/ u.a.

Lüftungseinrichtungen im Wohnungsbau befinden sich in der Bundesrepublik, anders als im benachbarten Ausland (Frankreich, Skandinavien), in vergleichsweise geringem Einsatz.

Die kontrollierte, mechanische Wohnungslüftung ist, insbesondere bei Neubauten und modernisierten Altbauten, sowohl aus bauhygienischen und bauphysikalischen als auch aus energetischen Gründen erforderlich. Dazu müssen die Gebäude mit entsprechenden raumlufthechnischen (mechanischen) Anlagen ausgestattet werden, die eine Luftvolumenstromsteuerung nach Bedarf vornehmen. "Eine spürbare Senkung der Lüftungswärmeverluste läßt sich nur mit Anlagensystemen erreichen, die neben der Wärmerückgewinnung die Möglichkeit bieten, den Zu- und Abluftvolumenstrom der zeitlich und räumlich unterschiedlichen Nutzung einer Wohnung anzupassen." /H17/(S.139)

1.5.3 Wärmerückgewinnung

Zur substantiellen Verringerung der Lüftungswärmeverluste bedarf es neben der kontrollierten Lüftung der Wärmerückgewinnung, d.h. der Übertragung der in der Fortluft enthaltenen Wärmeenergie auf die Zuluft: "Wärmerückgewinnung ist eine Maßnahme zur Mehrfachnutzung der Enthalpie der ein Gebäude bzw. einen Prozeß verlassenden Massenströme." /L13/(S.43) - Zum Begriff "Wärmerückgewinnung" s. VDI 2071 "Wärmerückgewinnung in raumlufttechnischen Anlagen", Blatt 1 "Begriffe und Beschreibungen".

"Nach dem Schritt zur kontrollierten Wohnungslüftung durch mechanische Anlagen bedarf es meist nur geringfügiger Mehrinvestitionen und minimalen technischen Aufwands, weitere Energieeinsparungen durch Wärmerückgewinnungsaggregate zu ermöglichen." /E05/(S.750)

Es gibt unterschiedliche Wärmerückgewinnungsverfahren, die gemäß ihres Wirkungsprinzips verschiedenen Gruppen zugeordnet werden: Regeneratoren, Rekuperatoren, Wärmepumpen.

Dabei kommen im Wohnungs- und insbesondere im Ein- und Zweifamilienhausbau für die Abluftwärmerückgewinnung fast ausschließlich die sog. Rekuperatoren zum Einsatz /G08/(S.473), also Wärmetauscher, bei denen sensible Wärme indirekt, ohne physikalischen Kontakt, zwischen zwei Luftströmen ausgetauscht wird. (Bei den Regeneratoren kann auch der in der Fortluft enthaltene latente Wärmeenergieanteil zurückgewonnen werden, vgl. dazu /J06/u./K08/.)

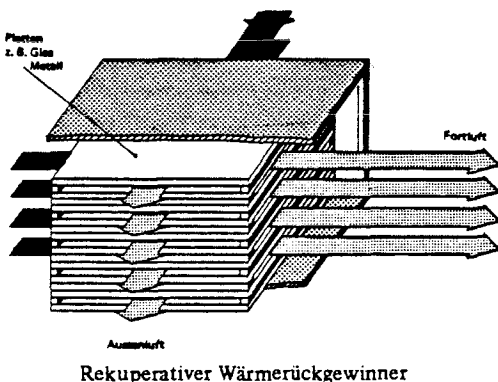


Abb. n. /L13/(S.44)

Bei den rekuperativen Wärmerückgewinnern sind die sogenannten Plattenwärmetauscher gegenwärtig die gebräuchlichsten; ihr Wirkungsgrad liegt bei 60% bis 70%, d.h. 60% bis 70% der in der Fortluft enthaltenen Wärmeenergie können auf die Zuluft übertragen werden.

Bei diesen Wärmetauschern werden die beiden Luftströme durch Platten getrennt aneinander vorbei geführt; aufgrund des Temperaturunterschiedes wird die

Wärme von dem einen auf den anderen Luftstrom übertragen.

Für den Betrieb dieses Wärmerückgewinnungssystems ist keine zusätzliche Antriebsenergie erforderlich, da die Luftströme über den ohnehin vorhandenen Antrieb der raumlufttechnischen Anlage gesteuert werden. Der Druckabfall innerhalb des Wärmerückgewinners ist minimal, so daß eine erhöhte Umluftleistung nicht notwendig ist.

Anmerkung: Da bei den Rekuperatoren nur die Energie, nicht aber Materie ausgetauscht wird, bleibt der Einsatz der kontrollierten Lüftung zur Vermeidung von Feuchteschäden uneinträchtig.

Nach /B25/ u. /W07/ ist "eine Wirtschaftlichkeit durch Heizkosteneinsparung bei Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung aufgrund der derzeitigen Preise noch kaum gegeben."

Diese Untersuchungen betreffen Systeme, bei denen Heizungs- und Lüftungssysteme voneinander getrennt betrieben werden. Bei der Kombination WL-Heizung - Wärmerückgewinner dürfte sich das Ergebnis entsprechend relativieren.

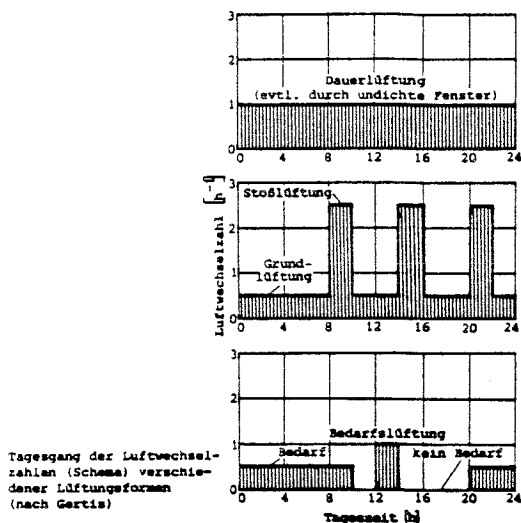


Abb. n. /B16/(S.11)

Abschließend bleibt festzuhalten, daß nahezu alle Verfasser von Fachveröffentlichungen, die sich des Themas annehmen, übereinstimmend zu der Auffassung kommen, nach der nur mit Einrichtungen zur kontrollierten Lüftung und Wärmerückgewinnung der wirtschaftlich sinnvolle Ansatz zur weiteren Reduzierung des Wärmebedarfs von Gebäuden durch die Verringerung der Lüftungswärmeverluste gegeben ist.

1.5.4 Kühlung von Räumen und Gebäuden

Besitzen diejenigen bislang in diesem Kapitel erörterten haus- und heiztechnischen Einrichtungen überdies noch die Möglichkeit, Gebäuden bei Bedarf auch Wärmeenergie zu entziehen, sie also zu kühlen, sind alle Voraussetzungen für die vollständige Raumluftkonditionierung (Klimatisierung) erfüllt. (Klimaanlagen = Einrichtungen, die eine Beeinflussung der klimatischen Umgebungszustände durch Änderung von Temperatur, Druck, Feuchtigkeit, Geschwindigkeit und Zusammensetzung der Raumlufte und durch Änderung der Temperatur der Raumumgrenzungsflächen ermöglichen. /L13/S.V)

Im Rahmen dieser Untersuchung soll der Bereich der (Wohn-)Raumkühlung nur am Rande betrachtet werden. - In hiesigen klimatischen/geographischen Breiten ist eine vollständige Klimatisierung von Wohngebäuden i.d.R nicht erforderlich. Sommerlicher Wärmeschutz kann sinn- und wirkungsvollerweise mittels geeigneter baulicher Maßnahmen erfolgen. Der Einsatz von Systemen mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen eröffnet indessen Möglichkeit, durch geringen materiellen Mehraufwand auch eine sommerliche Kühlung von Wohngebäuden herbeizuführen. Zu den spez. Bedingungen s. Ausführungen in 3.4, 4.3.3 und 5.4.2.

1.5.5 Das 'ideale' Heizsystem

Das 'ideale' Heizsystem wird weitgehend über die Regelung definiert:

"Die Bedeutung der Regelung

Das Idealmodell eines energieökonomisch beheizten Gebäudes würde etwa so aussehen:

1. Alle wärmeabgebenden Anlagen, Apparate und Geräte liefern die Grundheizung.
2. Die Sonne heizt mit, wenn sie scheint und wenn die Energiezufuhr durch Sonneneinstrahlung erwünscht ist.
3. Eine äußerst flexibel reagierende Heizung deckt kurzfristig vorhandene Wärmedefizite und stellt ohne nennenswertes Verbleiben von Restwärme die Wärmezufuhr ein, wenn das Wärmedefizit ausgeglichen ist.
4. Die Gebäudekonstruktion unterstützt die Nutzung aller Wärmequellen und stabilisiert gleichzeitig ein behagliches Raumklima." /M01/(S.59)

Borbely definiert in /N02/(S.184) das ideale Heizungssystem über Regelung und Verbrauch: "Der jährliche Wärmeverbrauch eines Systems wird dann als 'ideal' bezeichnet, wenn die Temperaturverteilung im Raum (Raumlufttemperaturen und Oberflächentemperaturen der Raumumschließungsflächen) die Behaglichkeit gewährleistende Werte annimmt, und das System jederzeit in der Lage ist, dem Raum nur die Wärme zuzuführen, die momentan erforderlich ist."

Wärmesparpotential verschiedener Raumheizungssysteme.			
Heizkörper an der Außenwand			1,23
Heizkörper an der Innenwand			1,29
Berührungsheizung Ofen			1,63
Sockelheizung			1,22
Fußbodenheizung Einkreis mit WW			1,40
Fußbodenheizung mehrere Kreise mit WW			1,45
Raumhoher Konvektor im Innenwanden.			1,26
Ventilatorkonvektor an der Außenwand			1,23
Umluftheizung, Lufttritt am Fenster			1,21
Umluftheizung, Lufttritt im Kernber			1,24
Mischluftheizung mit WRG, Fenster			1,15
Mischluftheizung mit WRG, Kernbereich			1,19
Außenluftheizung mit WRG, Fenster			1,11
Außenluftheizung mit WRG, Kernbereich			1,12
Mehrkomp.-Hzg. Fußboden- + Luftheizung			1,05
Konstruktion			1,0 ideal

Gemessen an diesen Anforderungen stellt die (offene) Luftheizung dasjenige System dar, das dem 'idealen' Heizungsmodell am nächsten kommt.

Anmerkung: der Wert "1,0 ideal" bezieht sich auf das (hypothetische) ideale Raumheizungssystem, das dem zu beheizenden Raum nur eben so viel Energie zuführt, wie für den Ausgleich des konstruktionsbedingten Wärmeverlustes benötigt wird.

Abb. n. /N02/(S.188)

Die dargestellten Werte sind rein rechnerisch und noch nicht praktisch verifiziert.

<Die in obigem Balkendiagramm aufgeführte und dem idealen Heizungssystem erstaunlich nahekommende "Mehrkomponentenheizung" wird von der Schmidt Reuter Ingenieurgesellschaft entwickelt und befindet sich derzeit in der Erprobungsphase. Dieses Heizungssystem, auch genannt "2K-Heizung", versucht

die Vorteile von thermisch trägen und flinken Heizungssystemen dadurch zu vereinen, daß eine Heizgrundlast von einer Luft-Fußbodenheizung und der verbleibende Wärmebedarf durch eine offene Luftheizung gedeckt wird. Bereits 1976 hat Trümper /T05/(S.796) ein ähnlich konzipiertes Heizungssystem vorgeschlagen.>

Insgesamt nehmen die Bemühungen um Konzeptionen und Planungen zum 'idealen' Heizungssystem in letzter Zeit verstärkt zu. Aufgrund der aufgezeigten Bedingungen ist davon auszugehen, daß Systeme mit dem Wärmeträgermedium Luft in einem offenen Kreislauf (vgl. Kap.3 und 4) in dieser Richtung erfolgreich um- und eingesetzt werden können.

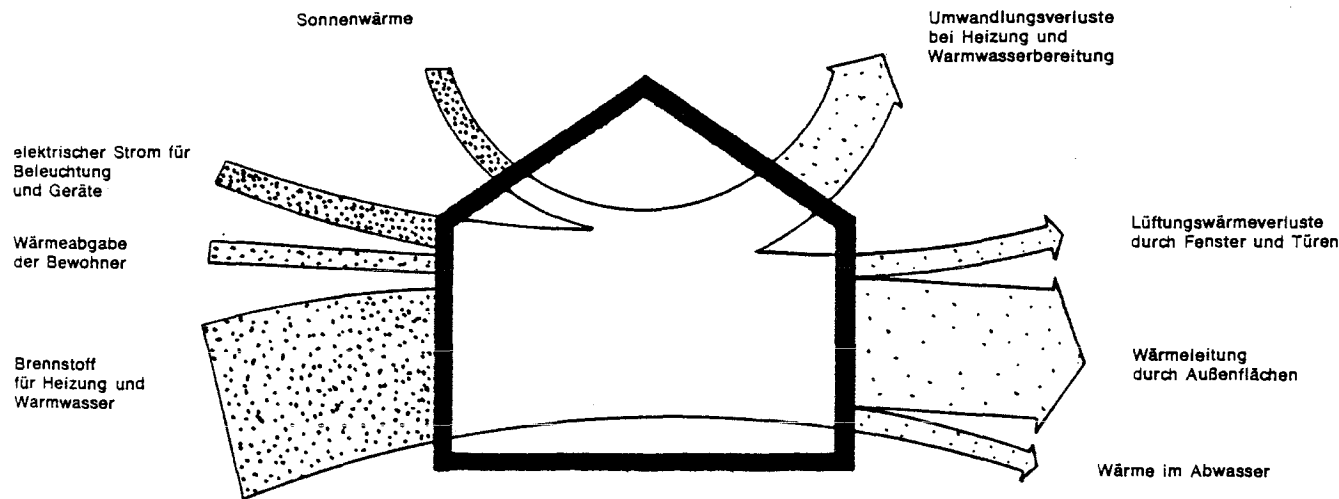
1.6 - Energiebilanzen von Gebäuden

1.6.1 Begriffsbestimmung

Jedes bewohnte oder anderweitig von Menschen genutzte Gebäude hat in der kalten Jahreszeit einen durch Wärmedefizite verursachten Heizenergiebedarf.

Der Heizenergiebedarf wird gedeckt durch den aktiven Energieumsatz (= Umwandlung der in Kohle, Gas oder Öl enthaltenen fossilen Primärenergie in Wärmeenergie) einerseits sowie den passiven Energieumsatz (= Nutzung von zur Verfügung stehenden Wärmequellen mit baulichen, bzw. im Falle der hybriden Nutzung, z.T. auch mit apparativen Einrichtungen, 1.4) andererseits.

In einer sog. "qualitativen Energiebilanz" werden alle Energielieferanten und die das Gebäude wieder verlassende Energie (dargestellt in (Wärme-) Verlustgruppen) zusammengefaßt.



Qualitative Energiebilanz eines Einfamilienhauses /6/

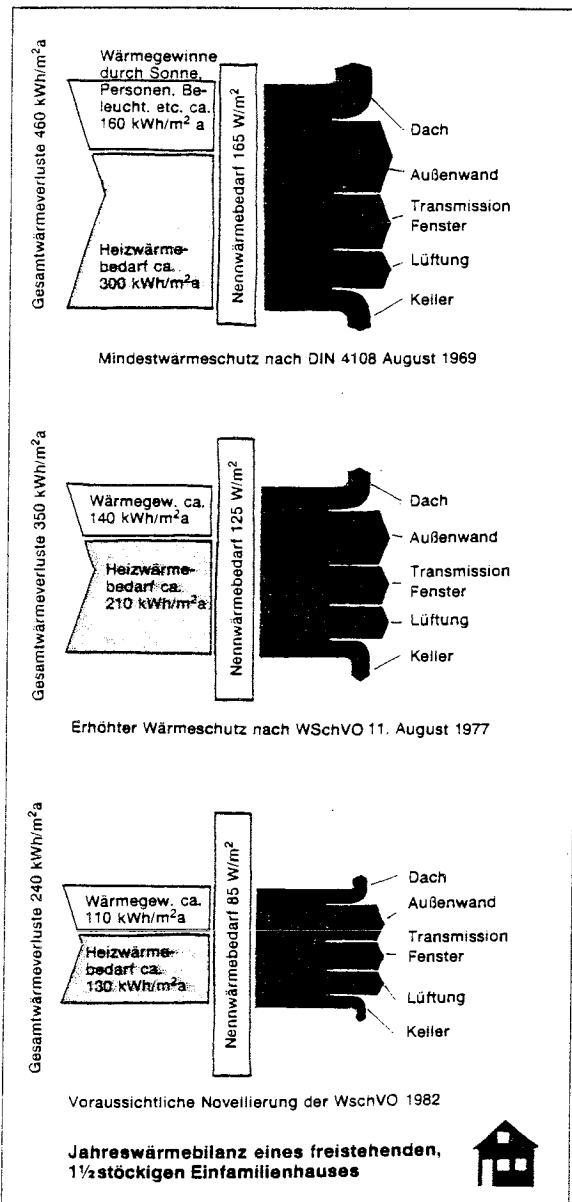
Abb. n. /B21/(S.9)

Die Wärmebilanz erfaßt die für das Gebäude erforderliche Heizenergiemenge. Die Raumheizung ist mit durchschnittlich 73% am Gesamtenergiebedarf der privaten Haushalte beteiligt (vgl. auch Einleitung).

Der Bilanzzeitraum erstreckt sich üblicherweise über eine Heizperiode bzw. über "eine Saison" = ein Jahr. (Wird der Bilanzierungszeitraum nicht nur über die Nutzungsphase hinweg betrachtet, sind sämtliche das Gebäude betreffenden Energieverbräuche, also auch diejenigen für Herstellung und Abbruch, einzubeziehen.)

Bilanzelemente während der Nutzungsphase sind auf der einen Seite die eingesetzten Energien wie Brennstoffe für Heizung

und Warmwasserbereitung, elektrischer Strom für Beleuchtung und Geräte, die Sonnenwärme und die Wärmeabgabe der Bewohner/ Nutzer und auf der anderen Seite Verluste aus Energiewandlung für Heizung und Warmwasserbereitung, Transmissions- und Lüftungswärmeverluste sowie Wärmeverluste über Abwasser.



Energie- oder Wärmebilanzen bilden die Grundlage für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen eines Gebäudes; je genauer diese ausfallen, desto exakter kann die Wirtschaftlichkeit eines Gebäudes prognostiziert werden.

Für die Quantifizierung der Bilanzen stehen eine Reihe von rechnerischen Ermittlungsmethoden zur Verfügung, die jedoch in der Mehrzahl von einem statischen Heizbetrieb ausgehen; demzufolge sind Aussagen über Energiebedarf und -umsatz nur näherungsweise möglich. Erst in jüngster Zeit beginnen sich dynamische Computersimulationen durchzusetzen, mit deren Hilfe präzisere Prognosen vorgenommen werden können. (Zur Quantifizierung der Wärmebilanz von beheizten Gebäuden vgl. /C07/S.226ff.)

Das Interesse konzentriert sich vorwiegend auf den Anteil der aktiven Heizenergienutzung, da dieser das Ausmaß der Heizkosten bestimmt. Die Höhe des aktiven Anteils ist jedoch abhängig vom Grad des passiven - kostenlosen - Energienutzungsbeitrags, so daß sich hier eine Wechselbeziehung ergibt.

Abb. n. /B24/(S.33)

1.6.2 Erfassung des aktiv genutzten Energieanteils

Die Erfassung der aktiv im Gebäude genutzten Energien (aktive Energielieferanten) fällt relativ leicht, da die fossilen Energieträger wie auch der elektrische Strom quantitativ gut zu ermitteln sind. Über die mengenmäßige Erfassung der eingesetzten Energien läßt sich der aktive Anteil des Energieverbrauchs spezifisch bestimmen.

Die einzelnen Energieverlustarten eines Gebäudes sind nur näherungsweise über die bereits erwähnten Rechenmodelle (äquivalente Wärmedurchgangskoeffizienten - k_{aq}) zu erfassen. Zudem ist bezüglich der Verlustarten eine Differenzierung nach der (passiv/hybrid/aktiv) genutzten Energie nicht möglich, so daß nur die Gesamtenergieverluste in Betracht gezogen werden können.

Die Energieverluste eines Gebäudes können präzise nur im nachhinein über die eingesetzte aktive Energie erfaßt werden; der Anteil von passiv oder hybrid genutzten Energielieferanten muß in diesem Zusammenhang unberücksichtigt bleiben. Mit welchem tatsächlichen Anteil am Gesamtenergieverlust die einzelnen Verbrauchsgruppen bzw. Energieverlustarten beteiligt sind, ist gleichfalls detailliert nicht zu ermitteln. Rechnergestützte Simulationen lassen jedoch näherungsweise Abschätzungen bereits im Planungsstadium (bei Vorliegen aller theoretischen bilanzrelevanten Daten) zu (vgl. 1.6.5).

- 1 Transmission durch Dach
- 2 Lüftung
- 3 Transmission durch Fenster
- 4 Transmission durch Außenwände
- 5 Transmission durch Keller
- 6 Aufspeichern der Bauteile
- 7 Entspeichern der Bauteile

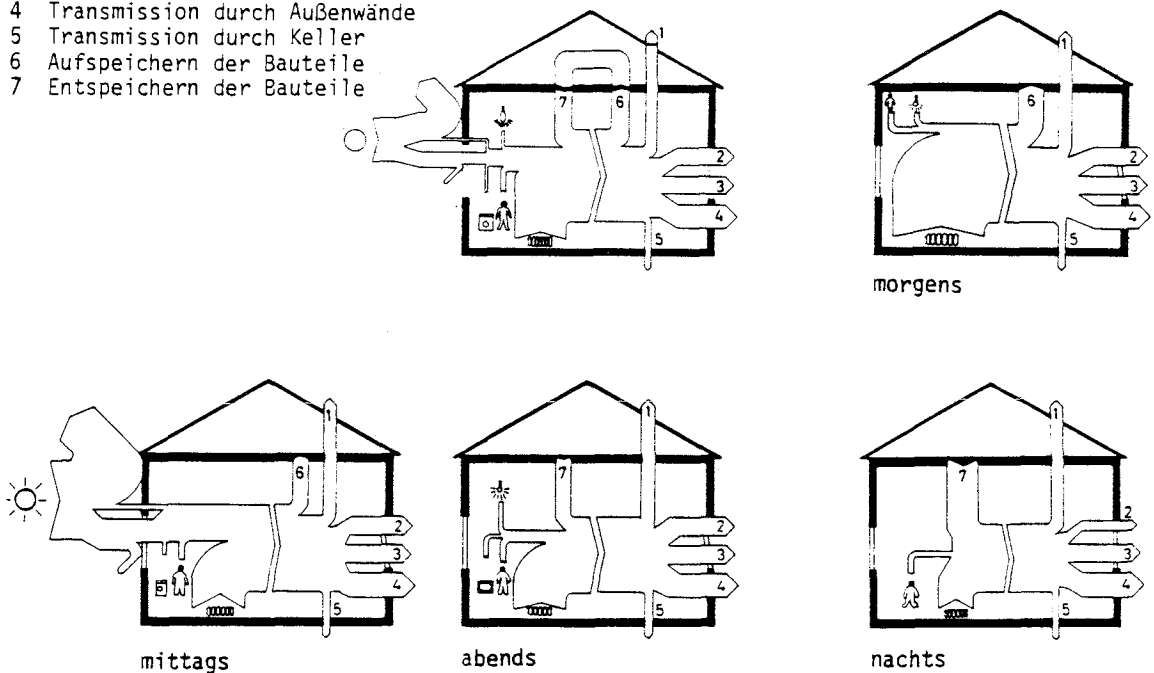


Abb. n. /N02/(S.41) - "Energiebilanz eines Wohngebäudes mit statischer Heizung"

1.6.3 Die Erfassung des passiv/hybrid genutzten Energieanteils

Die mengenmäßige Erfassung der im Gebäude passiv oder hybrid genutzten Wärme ist ebenfalls nur mittelbar möglich. Fällt es noch relativ leicht, die internen Wärmemengen (Glühlampen, Hausgeräte, Bewohner), die einen Beitrag zur Deckung des Wär-

mebedarfs leisten können, zu erfassen, ist der solare Wärme- deckungsanteil nur schwer abschätzbar. Zwar ist es möglich, die eingestrahelten Energiemengen festzustellen; es ist jedoch nicht möglich, den Anteil der tatsächlich im Gebäude zu Heiz- zwecken nutzbaren solaren Energie genau zu determinieren. Für die Energiebilanz interessiert lediglich der tatsächlich nutzbare bzw. genutzte Anteil der zur Verfügung stehenden Sonnenwärme, da dieser den kostenrelevanten aktiven Heizenergiebeitrag anteilig substituiert.

Ein Großteil der eingestrahelten Energie verläßt das Gebäude ungenutzt und ist daher für die Energiebilanzbetrachtung un- interessant. - Es wäre jedoch sinnvoll, auch diesen Anteil am Gesamtenergieanteil mit zu berücksichtigen, um somit ein Kri- terium für den Ausnutzungsgrad von passiver Energie eines Ge- bäudes zu bekommen (Relation nutzbare Energie : tatsächlich genutzter Energie).

Die quantitative Erfassung des passiv/hybrid genutzten Ener- gieanteils erfolgt ebenfalls über theoretische Rechenermitt- lung.

1.6.4 Energiebilanzspezifische Erfassung von energiesparenden Einzelmaßnahmen; Möglichkeiten und Grenzen

Aufgrund der in den vorausgegangenen Punkten erläuterten Pro- blematik bei der Aufstellung von Energiebilanzen als Grund- lage für Wirtschaftlichkeitsermittlung von Bauvorhaben wird deutlich, daß für die Quantifizierung und Bewertung von Ein- zelmaßnahmen in bezug auf ihre Energiewirksamkeit eine Ener- gie- bzw. Wärmebilanz ein nur eingeschränkt taugliches In- strument darstellt.

Daher ist es erforderlich, andere Wege zu finden, um energie- sparende, bau- und gebäudetechnische Lösungsmöglichkeiten auf ihren energiebilanzspezifischen Einfluß hin zu untersuchen. Dies scheint nur möglich durch die Schaffung geeigneter Mu- ster- und Demonstrationsprojekte, anhand derer verschiedene Einflüsse auf den Jahresenergieverbrauch meßtechnisch erfaßt und ausgewertet werden können. Solange derartige Maßnahmen nicht getroffen werden können, gilt nach /N02/(S.189):

"Die gegensätzliche Beeinflussung zwischen Wärmezuführungssy- stem, baulichen Maßnahmen und Nutzer sind derart komplex, daß aufgrund der Variation eines Parameters noch keine genauen Angaben gemacht werden können."

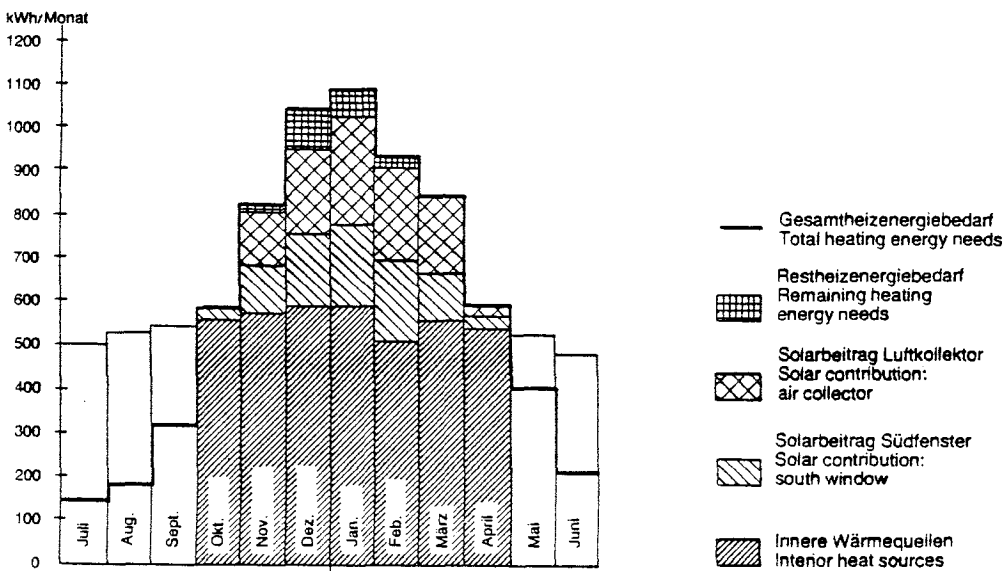
Ein weiteres Mal findet sich die die gesamte Thematik 'Bau + Energie' durchziehende These, wonach eine Einzelbetrachtung von Maßnahmen nur relativ bedeutsam ist und keine übergrei- fende Aussagekraft besitzt, bestätigt. - Zudem läßt diese Er- kenntnis den Schluß zu, daß es sich bei einer Energiebilanz um ein wenig geeignetes Instrument zum Aufspüren von eventu- ell vorhandenen Schwachstellen im Energiekonzept bzw. der energetischen Auslegung eines Gebäudes handelt. Systemberei-

nigte Bilanzen scheinen aufgrund der herkömmlichen Ermittlungsmethoden nicht möglich.

1.6.5 Energiebilanz + EDV

Möglichkeiten für eine breitere Anwendbarkeit von Energiebilanzen (bereits während der Planungsphase) bietet die elektronische Datenverarbeitung. Mit Hilfe rechnergestützter Ermittlungsmethoden können Bilanzierungselemente sehr viel differenzierter berücksichtigt werden. Tagesgänge, Monatsgänge und Jahresgänge können simuliert, es kann ein dynamischer Heizbetrieb angenommen werden, das Nutzerverhalten, Wärmeverluste etc. können variiert und entsprechend ihrer Auswirkung auf den Gesamtenergieumsatz quantifiziert werden. Ebenso ist es möglich, den gesamten Bereich der passiven Energienutzung durch Simulationsmodelle nachzuvollziehen.

Die mit der EDV zur Verfügung stehenden Möglichkeiten erlauben eine weitaus komplexere Betrachtungsweise der variablen Einflußparameter. Abhängig vom Rechnerprogramm und den zugrundeliegenden Daten sind Ergebnisse mit Abweichungen von weniger als 1% möglich. Diese Ermittlungsmethoden sind jedoch für die Bereiche des privaten Bauens derzeit nicht üblich und nicht lohnend. - Eine weitere Einschränkung ergibt sich daraus, daß Daten der Einzelparameter aufgrund praktisch untersuchter Anhaltswerte ermittelt werden müssen. Computer-Simulationsmodelle können von daher nicht als vollständiger Ersatz für die praktischen Untersuchungen an konkreten Demonstrationsprojekten verstanden werden. (Vgl. auch Systemuntersuchungen in II., insbesondere II.1.1, II.1.2, II.1.6, II.1.16, II.1.17)



Energiebilanz des Reihenhauses während der Heizperiode.
Wetterdaten: Stuttgart-Mitte.

Abb. n. /K13/(S.141): Qualitative/quantitative Energiebilanz, Ergebnis einer rechnergestützten Simulation (vgl. auch II.1.6)

Computer-Simulationen i.V.m. Messungen am konkreten Objekt (vgl. /H06/, /H02/, /S06/) stellen die günstigste Voraussetzung dar für aussagefähige Bilanzergebnisse.

1.7 - Allgemeine ökonomische Aspekte - Kostenreduzierung durch energiesparende Maßnahmen

Ziel jeglicher wirtschaftlichen Aspekte ist die kostenminimale Lösung für ein Produkt oder eine Dienstleistung.

Die Frage nach der Wirtschaftlichkeit von energiesparenden baulichen Maßnahmen soll/kann im Rahmen dieser Untersuchung nur mit Vorsicht behandelt werden. Die Zusammenhänge in diesem Themenbereich sind derart komplex, daß konkrete Aussagen zu Einzelmaßnahmen schwerfallen. Handelt es sich zudem dabei um z. T. noch unerprobte und unerforschte Komponenten ("warmluftdurchströmte und wärmespeichernde Bauteile", Sonnenenergienutzung), werden Aussagen mit Bezug auf die Ökonomie der Maßnahmen nahezu unmöglich. Einzig tendenzielle Prognosen können als "Trendmeldungen" gegeben werden, wie durch folgende Aussage belegt werden kann:

"Allgemeingültige Aussagen zur Wirtschaftlichkeit solarer Heizungsanlagen sind aus zwei Gründen außergewöhnlich schwierig: erstens hängt das thermische Verhalten einer solaren Heizungsanlage in sehr starkem Maße vom spezifischen Energiebedarf ab, i.d.R. steigt zwar die solare Deckungsrate mit zunehmender Wärmedämmung, gleichzeitig sinkt jedoch der Ausnutzungsgrad und damit auch die Wirtschaftlichkeit; zweitens existieren heute noch keinerlei Richtlinien darüber, welche solare Deckungsrate für unterschiedliche Wärmeschutzstufen anzustreben ist, um so weit wie möglich an die Wirtschaftlichkeitsgrenze heranzurücken, und wie die Anlagekomponenten dann im Einzelfall zu dimensionieren sind." /W05/(S.1)

Das mit baulichen Energiesparmaßnahmen angestrebte wirtschaftliche Ziel kann je nach subjektiver Interessenlage wesentliche Unterschiede aufweisen:

"Ein privater Hausbesitzer, der in eine Solaranlage investiert, wird beispielsweise bei einer ihm zur Verfügung stehenden festen Investitionssumme ein Maximum an Einsparungen mit seiner Anlage erzielen wollen. Bei einem kommerziellen Investor könnte primäres Ziel die Maximierung des internen Zinsfußes sein. Das vorrangige Bestreben einer Regierung könnte z.B. darin liegen, mit Hilfe eines begrenzten Budgets ein Maximum an fossiler Primärenergie einzusparen." /W05/(S.6)

Somit muß stets die Frage gestellt werden: "Wirtschaftlich für wen?", da der Versuch, ein einziges Wirtschaftlichkeitskriterium zu definieren, an der unterschiedlichen Motivation der verschiedenen Investoren scheitert.

1.7.1 Versuch der Definition von 'Wirtschaftlichkeit' für den Untersuchungsbereich

Mit dem Einsatz von Systemen mit warmluftdurchströmten und

wärmespeichernden Bauteilen soll eine Senkung des Energieverbrauchs erreicht werden. Nach Christensen /C06/(S.14) sind solche energiesparenden Maßnahmen mit energieverbrauchssenkender Wirkung dann wirtschaftlich, wenn sie die folgenden drei, mindestens aber die letzten beiden Kriterien erfüllen:

- a) Die Finanzierung muß durch die Einsparung gesichert sein.
- b) Die Summe aller Kosten - Herstellungskosten (Erstinvestitionskosten nach DIN 276) und Betriebskosten (Raumnutzungskosten nach DIN 18060), die während der Nutzungszeit anfallen - muß kleiner sein als die entsprechende einer Mindestlösung.
- c) Das mehr (zusätzlich) eingesetzte Kapital muß zurückgeflossen sein, bevor die Investition (für eine Konstruktion oder Anlage) erneut getätigt werden muß.

Die Erfassung aller relevanten Einflußgrößen ist jedoch für den Sektor des privaten Bauens nahezu unmöglich. Die wenigsten privaten Bauherren rechnen zudem im eigentlichen Sinne betriebswirtschaftlich mit der Folge, daß dies auf dem Bausektor zu erheblichen Fehleinschätzungen und zur Ergreifung von "vermeintlich wirtschaftlichen" Maßnahmen geführt hat. (überproportionale und unwirtschaftliche Investitionen in Maßnahmen zur Reduzierung der Transmissionswärmeverluste, vgl. Meier in /M08/.)

1.7.2 Wirtschaftlichkeitsberechnungen im Bereich gewerblicher und privater Bauvorhaben

Einzelmaßnahmen werden nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten betrachtet; aufgrund der unterschiedlichen Möglichkeiten (statisches Kalkül, dynamisches Kalkül, Annuitätsrechnungen, Amortisationsrechnungen, Bauwertmethode) der ökonomischen Betrachtungsweisen zeigt es sich jedoch, daß die Ergebnisse entsprechender Erhebungen z.T. erhebliche Differenzen aufweisen. - Diesbezügliche Informationen können an den in diesem Kapitel angegebenen Stellen nachgelesen werden. Es sollen jedoch einige Zusammenhänge und Einflußgrößen mit Bezug auf die Wirtschaftlichkeit aufgezeigt werden, um zu einer relativierten Beurteilungs- und Einschätzungsfähigkeit zu gelangen.

1.7.3 Einflußfaktoren

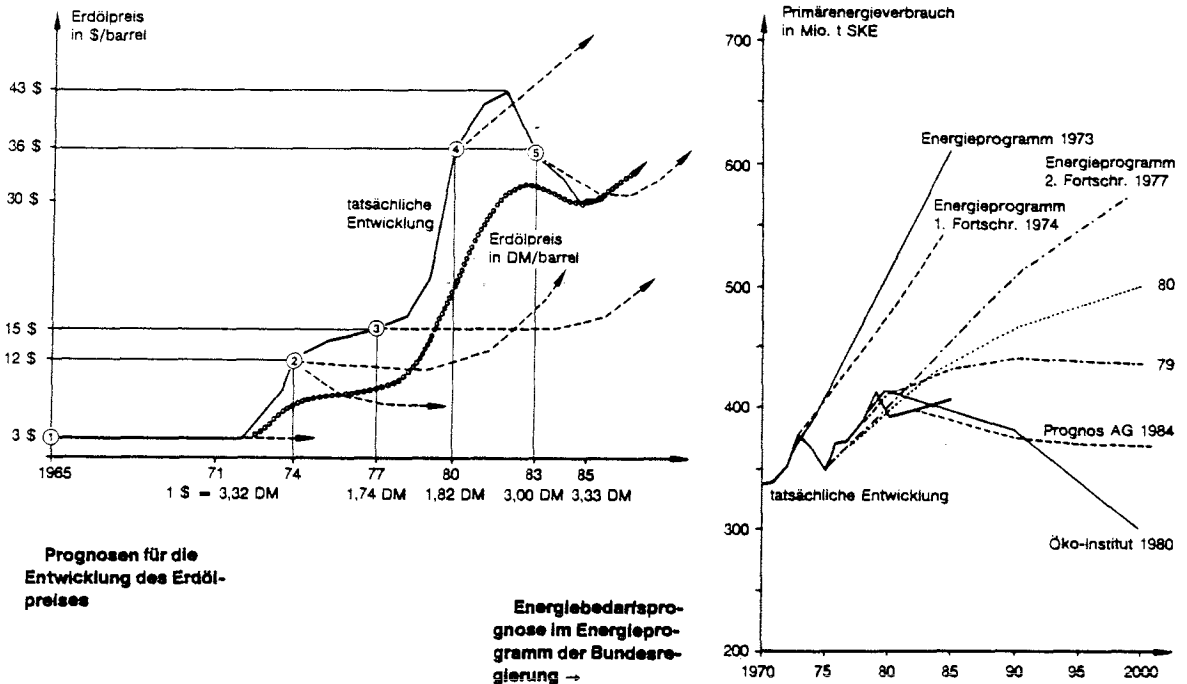
Verständlich wird die zitierte Komplexität der Materie, wenn man sich die Vielzahl und Art der relevanten Einflußfaktoren vergegenwärtigt. Die Einzelfaktoren können für bauliche Maßnahmen in sechs Obergruppen aufgeteilt werden (o. Anspruch auf Vollständigkeit):

- meteorologische Daten
- geometrische Daten
- thermisch-konstruktive Daten
- haustechnische Daten
- sonstige Daten (Nutzermerkmale etc.)
- ökonomische Daten

Mit Ausnahme des an letzter Stelle aufgeführten Punktes wurden die übrigen in den vorausgegangenen Kapiteln behandelt und die entsprechenden Einzelfaktoren untersucht.

a) Energiepreis, Energienachfrage

Die Entwicklung des Energiepreises kann als weiteres Indiz für die Schwierigkeit von Wirtschaftlichkeitsprognosen gewertet werden: "Die Abschätzung der zu erwartenden Energiepreissteigerung durch Experten in den vergangenen Jahren ist von vielen Irrtümern gekennzeichnet." /A03/(S.796) - Die jüngste Preisentwicklung auf dem Energiemarkt unterstreicht diese Tendenz eindrucksvoll.



Energiepreisentwicklung

Die Abschätzung der zu erwartenden Energiepreissteigerung durch Experten in den vergangenen Jahren ist von vielen Irrtümern gekennzeichnet. In Bild 1 ist für den zurückliegenden Zeitraum der letzten 20 Jahre die tatsächliche Entwicklung stellvertretend der Ölpreise in \$/Barrel und unter Berücksichtigung des schwankenden Wechselkurses auch in DM/Barrel, jeweils zu bestimmten Zeitpunkten allgemein akzeptierten Prognosen gegenübergestellt.

Es werden fünf verschiedene Zeitphasen unterschieden, die in Bild 1 mit 1-5 gekennzeichnet sind.

Phase 1, etwa bis 1971, ist dadurch gekennzeichnet, daß von einer langfristig konstanten Entwicklung in realen Preisen ausgegangen wurde.

Jedoch bereits 1972 wurde von einigen amerikanischen Experten ein Preisanstieg aufgrund angespannter Angebotsituation prognostiziert.

Phase 2, Ende 1973, der erste Öl-Schock, die Preise werden vervierfacht,

sie steigen von etwa 3 \$ auf 12 \$ pro Barrel. Alle Prognostiker sind überrascht. Es werden zwei Szenarien entwickelt. Zum einen geht man in Amerika davon aus, daß die OPEC wieder auseinanderfällt, und daß die Preise sich im Laufe des Jahrzehnts wieder konstant bei 6-7 \$ stabilisieren werden. Zum anderen geht man in Europa eher davon aus, daß die OPEC ihre Machtposition behält und ein weiterer Preisanstieg, wenn auch nach einer Stabilitätsphase, zu erwarten ist.

Phase 3 führt zu einem neuen gemeinsamen Modell, das auf dem europäischen Modell in Phase 2 basiert. Nach einer längeren, relativ konstanten Periode wird ein starker Anstieg für das Ende des Jahrhunderts prognostiziert.

Dieses Modell wurde kurz danach durch die Auswirkungen der iranischen Revolution ad-absurdum geführt.

Phase 4, 1980-1982, geht von einer Machtsituation der OPEC aus und prognostiziert eine schnelle und stetige reale Steigerung von 2-3% pro Jahr bis 1990.

Wiederum überrascht, diesmal durch die Reaktion der Abnehmer auf die gestiegenen Preise, dem Abnehmen der Nachfrage, werden die Modelle wieder obsolet.

Phase 5 entspricht der heutigen überwiegend vorherrschenden Meinung, erwartet wird eine reelle Preisreduktion für die nächsten Jahre, gefolgt von einem weiteren Anstieg reell 1-3% pro Jahr bis zum Ende dieses Jahrhunderts.

Zur Ergänzung sei auf Bild 2 hingewiesen. Dort zeigen sich im Vergleich der Energiebedarfsprognosen für die Bundesrepublik Deutschland mit der tatsächlichen Entwicklung ähnliche Abweichungen.

Wie aus den Diagrammen ersichtlich, ist die Relation zwischen Bedarf und Preis sowie zwischen den jeweiligen Prognosen auch deshalb für die langfristige Abschätzung von Bedeutung, weil sie sich gegenseitig beeinflussen.

Abb. n. /A03/(S.795)

Da der Energiepreis/die zukünftige Energiepreisentwicklung der zentrale (wirtschaftliche) Ansatzpunkt für das Ergreifen

von energiewirksamen Maßnahmen ist, wird deutlich, auf welcher unsicherer Grundlage Aussagen zur Wirtschaftlichkeit heutzutage basieren.

b) Kapital: Kosten, Zinsen, Laufzeiten

Ähnlichen Schwankungen, wenngleich nicht ganz so drastisch und spekulativ, sind die Entwicklungen auf dem Kapitalmarkt unterworfen. Als Variable sind Zinsen und die Laufzeiten des Kapitals zu nennen, das für eine Energiesparmaßnahme aufgebracht oder vorgehalten werden muß. Eine Vielzahl von unterschiedlichen Ansatz-, Zins- und Tilgungsvarianten (Darlehensarten) gestaltet den Überblick für den Einzelnen (Bauherr, Investor) problematisch und führt im Zweifelsfall eher zu Fehlentscheidungen (-investitionen).

Hinzukommen können noch staatliche Anreize in Form von steuerlichen Erleichterungen, direkten Zuschüssen, vergünstigten Darlehen etc.. Diese müssen in die Berechnung einbezogen werden.

Eingesetztes Eigenkapital und ebenso die Eigenleistungen müssen (betriebs-) wirtschaftlich betrachtet werden: so muß für das Eigenkapital eine bankübliche Verzinsung zugrundegelegt werden.

c) Nutzungszeiträume

Die Nutzungszeit spielt eine wesentliche Rolle bei der Entscheidung pro oder contra energiesparende Maßnahme. Dies mag im privaten Sektor zwar nicht ganz so wichtig erscheinen, da die meisten energiesparenden Maßnahmen gleichzeitig eine Wertverbesserung bedeuten, die beim Kauf oder Verkauf ggf. kompensiert werden.

d) Geldentwertung, allgemeine Preissteigerung, saisonale Abhängigkeiten, "Tagespolitik"

Diese Fragen sind von Bedeutung für die Entscheidung, wann eine Investition für eine energiesparende Maßnahme getätigt werden soll. So kann es möglicherweise sinnvoll sein, eine energiesparende Maßnahme im Frühjahr zu ergreifen (selbst wenn im Sommer keine Einsparungen erzielt werden können, für das aufgenommene Kapital aber bereits Zinsen und Tilgung entrichtet werden müssen), wenn abzusehen ist, daß die gleiche Maßnahme im Herbst nur mit (sehr viel) höheren Investitionen getätigt werden muß. Oder es lohnt sich umgekehrt, einen für die Investition günstigeren Zeitpunkt abzuwarten.

Hinzu kommen politische Einflüsse, kurzfristige Verordnungen etc. (s.o.), die von großer Wichtigkeit sind für den Investitionszeitpunkt.

1.7.4 Kostenreduzierung

Dazu muß festgestellt werden, daß grundsätzlich zwei Arten von Kosten berücksichtigt werden müssen: die einmaligen Kosten = Baukosten und die laufenden Kosten = Betriebskosten. Die Relation der beiden Kostenarten zueinander während eines bestimmten Zeitraumes gibt Aufschluß über den Grad der Wirtschaftlichkeit (zu Bau- und Betriebskosten s. Kap.6).

Durch diese Relation wird gleichzeitig ein Rahmen gesteckt, innerhalb dessen sich eine zu ergreifende Maßnahme bei vorgegebenem, angestrebtem Nutzen bewegen kann, d.h., wieviel Geld für diese Maßnahme zu investieren ist.

Von Bedeutung ist dabei, ob die Maßnahme bereits im Planungsstadium oder erst nachträglich, also nach Fertigstellung eines Gebäudes, ergriffen werden kann.

In der Planungsphase kann eine Maßnahme sehr wohl wirtschaftlich sein, weil diese in der Regel umso preisgünstiger ist, desto früher sie getroffen wird. Eine Nachrüstung (mit gleichem Nutzen) ist meistens aufwendiger.

Dafür können viele kleine Maßnahmen, selbst wenn früh ergriffen, ein Bauvorhaben für den Bauherren derart verteuern, daß das Projekt trotz eines günstig eingestuften Kosten-Nutzen-Verhältnisses aufgrund der hohen Erstinvestition unrealisierbar wird.

Kostenreduzierung bedeutet, mit vertretbarem (individuell unterschiedlich zu bewertendem) Aufwand eine Maßnahme einzurichten, die bewirkt, daß die Betriebskosten entsprechend sinken - und zwar in dem Umfang, daß sich die Maßnahme unter Berücksichtigung aller Einflußparameter innerhalb eines bestimmten, im voraus festgelegten Zeitraums (etwa 5, 7 oder 10 Jahre) "bezahlt" macht.

Entscheidend dafür ist es, den Zusammenhang der beiden Kostenarten "einmalige und laufende Kosten" zu erkennen und in Relation zu setzen (S. auch Kap.6).

1.7.5. Private Bauherren und Wirtschaftlichkeit

Bauliche Maßnahmen mit energiesparendem Effekt werden im privaten Sektor nur in Ausnahmefällen aufgrund kaufmännischer Überlegungen getätigt.

Für den privaten Bauherren ist vielmehr von Bedeutung: 1. wieviel Kapital steht zur Verfügung; 2. für welche Maßnahme kann das Kapital eingesetzt werden; 3. kann die Maßnahme in Eigenleistung erbracht werden. Fragen nach Amortisationszeiten, Zinsen, Kapitalrückfluß etc. werden seltener gestellt. Im einzelnen Fall ist es auch oft nicht möglich zu überprüfen, ob eine Maßnahme den gewünschten Effekt zeitigt, da genaue Messungen nicht oder nur empirisch etwa "über die Heizöl-

bzw. Stadtwerkerechnung" vorgenommen werden.

Beispiel:

Ein Bauherr hatte vor 10 Jahren saisonale Heizkosten von DM 1000,-. Trotz inzwischen ergriffener Wärmedämm-Maßnahmen lagen die Heizkosten in der letzten Saison bei DM 1500,-; dennoch aber hat er "gespart", weil ohne die getroffenen Wärmeschutzmaßnahmen DM 2000,- oder 2500,- zur Deckung der Heizkosten hätten bezahlt werden müssen. - Oftmals fehlt privaten Bauherren die Einsicht in diese Zusammenhänge.

1.7.6 Die Barwertmethode zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Ist eine Maßnahme so weit fortgeschritten, daß hinreichend wirtschaftliche Vergleichsposten vorliegen, bietet sich die sog. "Barwertmethode" als die wohl übersichtlichste Methode der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung an. Diese soll der Vollständigkeit halber kurz betrachtet werden:

Bei der Barwertmethode wird der jährlichen Energiepreiseinsparung innerhalb der Lebensdauer der Anlage ein Barwert zugeordnet. Eine Anlage wird dann als wirtschaftlich angesehen, wenn dieser Barwert die Investitionskosten, also die eventuellen Mehrkosten einer Alternativlösung gegenüber der Standardlösung, übersteigt. Für die Energieeinsparungskosten werden die Einsparungen im ersten Jahr der Maßnahme eingesetzt. Dieser Wert wird mit dem Barwertfaktor multipliziert:

$$BFE = \frac{\left(\frac{FE}{Q}\right)^N - 1}{\frac{FE}{Q} - 1}$$

Dabei bedeuten:

$$FE = 1 + \frac{f}{100} \text{ (Energiepreisfaktor);}$$

f = Prozentsatz, um den der Energiepreis jährlich stärker steigt als die übrigen Preise;

$$Q = 1 + \frac{p}{100} \text{ (Zinsfaktor);}$$

p = Nettoverzinsung, das heißt durchschnittlicher Nominalzins abzüglich der jährlichen Inflationsrate;

N = Lebensdauer der Anlage.

"Bei der Barwertmethode wird also danach gefragt, ob die Anlage innerhalb ihrer Lebensdauer mit den jährlichen Betriebskosteneinsparungen ihre Mehrinvestition wieder 'einspielt'. Berücksichtigt werden dabei Kapitalverzinsung, Geldentwertung, allgemeine Preissteigerung und die überproportionale Energiepreissteigerung." /004/(S.10)

1.7.7 Besonderheiten in Bezug auf den Untersuchungsgegenstand

Der Untersuchungsgegenstand dieser Forschungsarbeit befindet sich im Experimentalstadium. - Es liegen überdies keine gesicherten Erkenntnisse vor im Hinblick auf Leistungsfähigkeit, Vergleichbarkeit mit konventionellen ("Minimal-") Lösungen, Kosten, Energiebilanzen etc.; zudem zeichnet sich eine unvermutete Bandbreite möglicher Lösungsansätze ab, was wiederum ein ebenso breit gefächertes Leistungsspektrum reflektiert.

Von daher gesehen ist die wirtschaftliche Betrachtung von "Systemen mit warmluftdurchströmten und wärmespeichernden

Bauteilen in Verbindung mit passiver Solarenergienutzung" zu relativieren.

Nach bisher vorliegenden Erkenntnissen kann folgendes "ökonomisches Betrachtungsschema" für den Untersuchungsgegenstand vereinbart werden:

Ist eine Maßnahme oder Bau-/Konstruktions-/Anlagenentscheidung von ihren Erstinvestitionskosten her gesehen nicht teurer als eine konkurrierende Minimal- oder Standardlösung, bei mindestens vergleichbaren Folge- und Betriebskosten, so ist der Punkt der Wirtschaftlichkeit bereits erreicht. Mit jeder weiteren Reduzierung der laufenden Kosten durch die Alternativmaßnahme steigt der Grad ihrer Wirtschaftlichkeit.

Mit der Adoption dieser Vereinbarung (Vereinfachung) für die weitere Betrachtung der einzelnen Systeme ist dem Umstand des Experimentierstadiums des Forschungsgegenstandes Rechnung getragen und ausreichend (Versuchs-) Spielraum eingeräumt.

Kap. I. 2 - Das Hypokausten-Prinzip

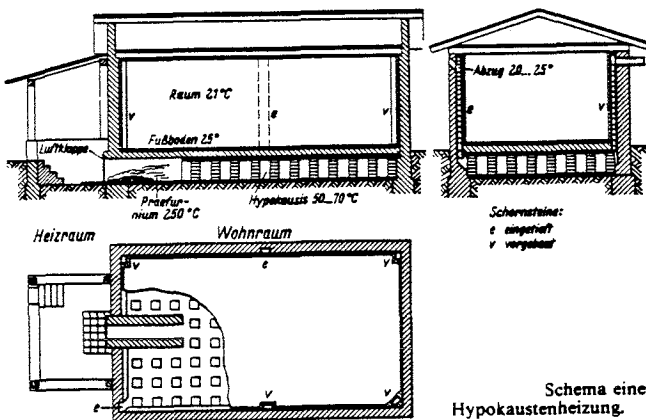
Das Prinzip der antiken Hypokaustenheizung stellt das klassische und vermutlich älteste Heizungssystem mit warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen dar.

Der kurze Überblick über dieses System, sein Aufbau und das Wirkungsprinzip dienen als Einstieg in die Thematik der Heizungssysteme mit dem Wärmeträgermedium 'Luft'.

In /R03/(S.293) wird die römische Hypokaustenheizung als "erste Zentralheizung" bezeichnet. - In letzter Zeit erleben "moderne Varianten" der Hypokaustenheizung eine gewisse Renaissance.

2.1 Hypokaustenheizungen: Geschichtlicher Rückblick

2.1.1 Entstehung der Hypokaustenheizung



Ungefähr ein Jahrhundert v. Chr. wurde das Hypokaustum (hypo = von unten, kaustein = brennen) von S. Sergius Orata erfunden. In den ersten Jahrhunderten unserer Zeitrechnung wurden in Rom und im römischen Reich (auch nördlich der Alpen, z.B. in den Thermen im heutigen Trier) viele große Hypokaustenheizungen gebaut.

Abb. n. /R03/(S.294)

2.1.2 Systemaufbau und Wirkungsweise

Die klassischen Hypokausten funktionieren dadurch, daß Rauchgase aus einer Feuerstätte unterhalb des Hauses in ebenfalls unter dem Haus gelegene Hohlräume strömt. Als Brennstoff finden Holz oder Holzkohle Verwendung. Die Rauchgase übertragen ihre Wärme konvektiv an die gesamte Fußbodenfläche. Über innenliegende Rohre oder Kanäle (z.T. integriert in die Wände), die gleichfalls als Heizflächen/-körper wirken, ziehen die Rauchgase ab und treten waagrecht seitlich kurz unterhalb der Dachtraufe aus. Erfolgt die Wärmeabgabe (vorwiegend Strahlungswärme, teilweise Konvektion; im Bereich des Fußboden bei Kontakt auch Wärmeleitung) ausschließlich über den erwärmten Fußboden bzw. die übrigen innenliegenden vertikalen Heizflächen, handelt es sich bei diesem System um einen zum Raum hin geschlossenen Kreislauf (Energie- aber kein Mas-

seaustausch, s.u. Kap.3). Es besteht jedoch weiterhin die Möglichkeit, nach dem Anheizen Frischluft in einem gesonderten Luftzuführungskanal durch das Hypokaustum zu leiten, wobei sich die Frischluft an dem erhitzten Gestein erwärmt und durch zuvor abgedeckte Öffnungen in den Raum strömt. Mit dieser Maßnahme kann der Wirkungsgrad des Systems verbessert werden. - Die Wärmeübertragung erfolgt dann nicht mehr hauptsächlich durch Strahlung und Leitung, sondern zusätzlich mit dem Wärmeträgermedium Luft über Konvektion. Das System ist dann "offen". Durch die konvektive Wärmeübertragung wird der Wirkungsgrad des Systems wesentlich verbessert.

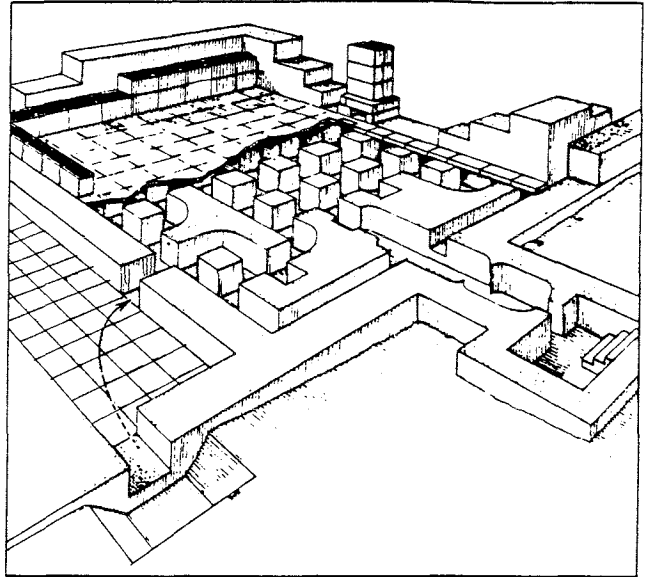


Abb. n. /H20/(S.159)

2.1.3 Systembetrieb

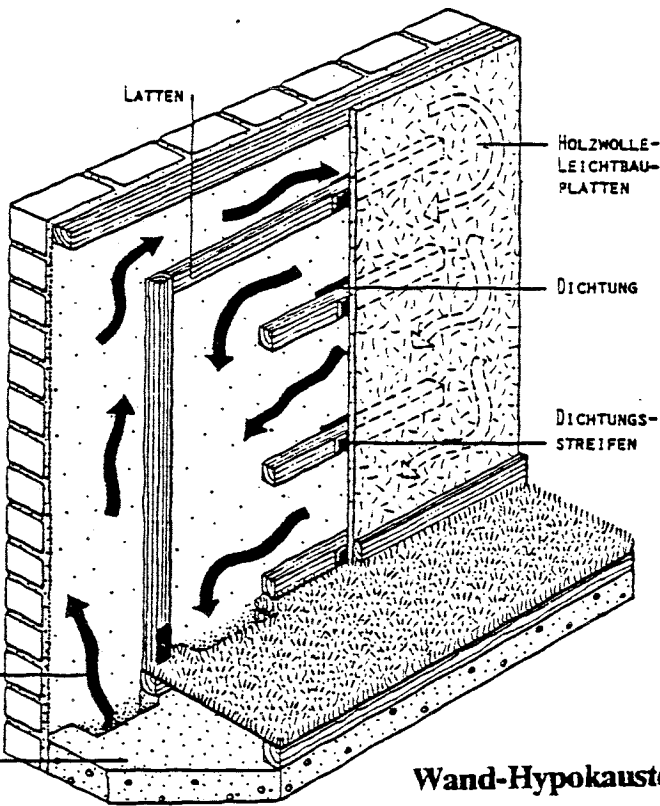
"Das erste Aufheizen der voluminösen Stein- und Estrichmassen braucht viel Zeit und große Mengen fossilen Brennstoffs. Diese Tatsache mag vielleicht aus heutiger Sicht als Nachteil empfunden werden. Sobald das Aufheizen jedoch beendet ist, folgt eine langanhaltene, gleichmäßige und angenehme Abgabe von Strahlungswärme. Die Bedienung ist bequem, das Feuer wird dreimal täglich mit Holzkohle (im Altertum wird Holz gefeuert) beschickt und brennt so bei geschlossener Luftklappe Tag und Nacht durch, ohne zu erlöschen. Das Feuer selbst liegt flach auf dem Ziegelboden des Praefurniums, es handelt sich also um ein reines Oberluftfeuer, das wenig Zugluft und deshalb auch nur relativ niedrige Schornsteine zur Rauchgasabfuhr benötigt." /H20/(S.160)

2.2 "Moderne" Varianten der Hypokaustenheizung

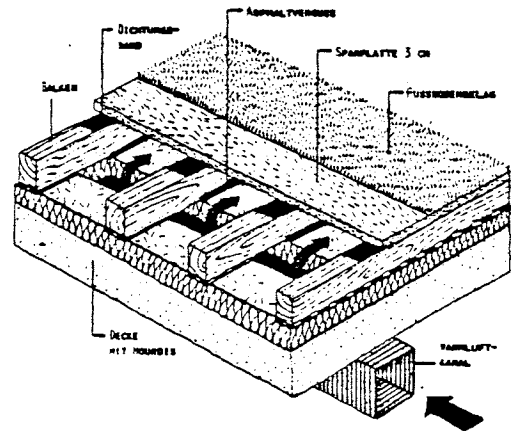
Im Zusammenhang mit dem mensch- und umweltgerechten Planen und Bauen hat das Prinzip Hypokaustenheizung als großflächige Strahlungsheizung eine Renaissance erfahren. (Zur "baubiologischen" Diskussion s. 5.6: Anmerkungen zum "gesunden Heizen".)

Mit den antiken Hypokaustenheizungen haben die heutigen Systeme, abgesehen vom Wirkungsprinzip, wenig Gemeinsamkeiten hinsichtlich Aufbau und Systemkomponenten. Ein wichtiger Unterschied besteht in der Verwendung von Luft als Wärmeträgermedium im Gegensatz zum Übertragungsmedium Rauchgase in den

antiken Systemen. Auch begrifflich handelt es sich bei den heutigen Varianten vielfach nicht mehr um Hypokausten im eigentlichen Sinne ("Wärme von unten"). Vielmehr steht der Begriff Hypokauste als Synonym für großflächige, im Niedertemperaturbereich betriebene Strahlungsheizsysteme mit dem Wärmeträgermedium Luft. Ebenso stehen Baumaterialien und Konstruktionen zur Auswahl, die eine unbegrenzte Variationsvielfalt ermöglichen. Durch veränderte Methoden und Möglichkeiten der Energiewandlung (auch Sonnenenergienutzung) müssen moderne Hypokausten zudem nicht mehr notwendigerweise wärmespeichernd ausgeführt werden. Durch gleichmäßige Warmluftzufuhr kann auch mit leichten und wenig speichernden Baustoffen oder Bauteilen eine konstante Wärmeabgabe durch Strahlung sichergestellt werden.



Wand-Hypokauste



Boden-Hypokauste

Kap. I.3 - Offene und geschlossene Warmluft-Heizkreisläufe
mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen

Systemabhängigkeiten: Auswirkungen auf Wärmeabgabe im Raum,
Wärmespeicherung und integrierten Systembetrieb

Die Thermodynamik als die Lehre von den Energie- und Stoffwandlungsprozessen unterscheidet unterschiedliche thermodynamische Systeme (wozu auch Heizungssysteme zählen) nach ihren thermophysikalischen Merkmalen:

- a) Abgeschlossene Systeme; es findet kein Masse- und kein Energieaustausch statt.
- b) Geschlossene Systeme; kein Masseaustausch mit der Umgebung, aber Energieaustausch.
- c) Offene Systeme; Masse- und Energieaustausch mit der Umgebung /J04/.

Heizungssysteme funktionieren als offene oder geschlossene Systeme; ein "abgeschlossenes Heizungssystem" kann es nach dieser Definition nicht geben.

Im praktischen Systembetrieb überträgt das geschlossene Heizungssystem nur Energie (Wärme) auf den zu beheizenden Raum, während bei offenen Systemen neben der Wärme auch Masse - das in einen Raum gelangende Wärmeträgermedium Luft - ausgetauscht wird.

Beispiele: Warmwasserheizungen oder die in Kap.2 behandelte Hypokaustenheizung sind typische geschlossene Systeme. Ein offenes Heizungssystem ist die sogenannte "offene Warmluftheizung", vgl. 1.5.1.1.

Für das Verständnis der unterschiedlichen Betriebsweisen ist es wichtig zu erkennen, daß sich die offenen und geschlossenen Systeme mit warmluftdurchströmten Bauteilen in ihrem Aufbau (Luftführungs-, Luftstromantriebs-, Speicherelemente etc.) weitgehend gleichen.

Aus der jeweiligen Betriebsweise - offen oder geschlossen - ergibt sich gleichwohl eine Reihe von Bedingungen, die sich grundlegend auf alle weiteren Systemeigenschaften (Wirkungs-, Wärmeübertragungs-Prinzip) auswirken. In der Konsequenz beeinflusst die Betriebsweise entscheidend die das System umgebende Peripherie, sie wirkt sich aus auf das menschliche Behaglichkeitsempfinden und nicht zuletzt auch auf die Wirtschaftlichkeitskriterien des jeweiligen Systembetriebs.

In 1.5.1.1 wurden bereits offene Luftheizungssysteme angesprochen und die wichtigsten Betriebsmerkmale aufgezeigt.

In diesem Kapitel werden die energetischen Aspekte der beiden unterschiedlichen Systemkonzeptionen sowie ihre Wärmezuführungseigenschaften untersucht. Ebenso werden die beiden Va-

rianten bezüglich ihrer Möglichkeiten zur Integration in das gebäudetechnische Gesamtkonzept analysiert.

Im Anschluß an dieses Kapitel werden die unterschiedlichen Systemmerkmale in Bezug auf die erforderliche System-Peripherie ("die apparative Umgebung", Kap.4) und die sich stellenden Fragen nach thermischer Behaglichkeit und möglicher hygienischer Beeinträchtigungen durch den Systembetrieb, Kap.5, vertieft. In Kapitel 6 werden die speziellen ökonomischen Aspekte der jeweiligen Systeme aufgezeigt.

Aus methodischen Gründen ist es erforderlich, innerhalb der folgenden Erörterung Zusammenhänge in einzelne Aspekte (Unterpunkte) aufzugliedern. Da sich die Auswirkungen des jeweiligen Systembetriebs auf die energetischen Systemeigenschaften, die Sonnenenergie-Nutzung etc. z.T. gleichen, da die offenen und geschlossenen Systeme zudem den gleichen konzeptionellen Aufbau aufweisen, mag an manchen Stellen der Eindruck der (scheinbaren) Wiederholung entstehen.

Um jedoch alle wesentlichen Unterscheidungsmerkmale detailliert erfassen zu können, wird dieser Umstand bewußt in Kauf genommen.

Die tabellarische Zusammenfassung, die Gegenüberstellung und die Diskussion der Ergebnisse im Gesamtzusammenhang erfolgt in Kapitel 8 "Ergebnisse und Diskussion", auf das an dieser Stelle bereits verwiesen wird.

3.1 Das Wärmeträgermedium Luft in offenen und geschlossenen Systemen

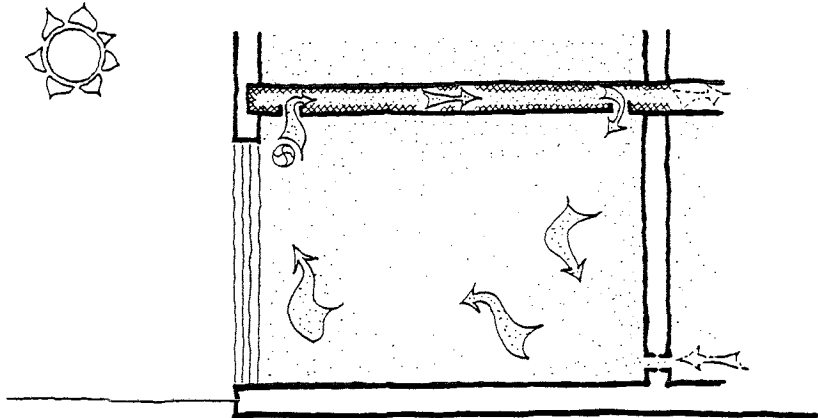
Kennzeichnend für das Wärmeträgermedium Luft sind die folgenden drei (sich gegenseitig bedingenden) thermophysikalischen Eigenschaften:

- a) Luft kann sehr schnell erwärmt werden;
- b) Luft kann nur wenig Wärme speichern;
- c) zum Wärmetransport werden, insbesondere im NT-Luftheizbetrieb, große Luftmengen benötigt /S25/.

Die Wärmespeicherfähigkeit der Luft beträgt $0,34 \text{ Wh/m}^3\text{K}$ gegenüber $1160 \text{ Wh/m}^3\text{K}$ bei Wasser. Das thermische Reaktionsvermögen der Luft kann daher als außerordentlich flink bezeichnet werden. Über die Bedeutung des thermischen Reaktionsvermögens s. 1.5. Nach 1.5.5 sind die thermophysikalischen Merkmale der Luft in energetischer Hinsicht als nahezu ideale Voraussetzungen für deren Nutzbarmachung als Wärmeträgermedium in Heizungssystemen zu werten.

Aus diesen Eigenschaften leiten sich eine Reihe von Bedingungen für den Betrieb der jeweiligen Systeme ab:

3.1.1 Offene Warmluft-Heizkreisläufe



Der Betrieb offener Warmluftheizungen ist dadurch gekennzeichnet, daß das Wärmeträgermedium Luft direkt in die zu beheizenden Räume tritt (in einem nicht oder nur teilweise durch Bauteile bzw. die lufttechnische Anlage vorgegebenen Kreislauf) und einen bestehenden Wärmebedarf auf dem Wege der Konvektion (Partikelmitnahme, s. 1.4.3.5) deckt, die Wärmeübertragung demnach gleichfalls direkt über das Trägermedium erfolgt.

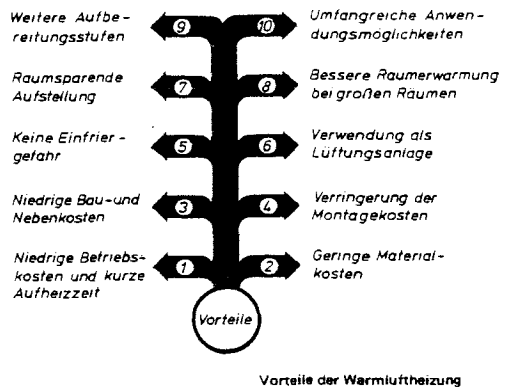


Abb. n. /I02/S.66

Wichtigstes Kennzeichen der offen Systembetriebsweise ist die vollständige Ausnutzung der thermophysikalischen Eigenschaften des Wärmeträgermediums, das durch die konvektive Wärmeübertragung gleichzeitig die Funktion des Wärmeübertragungsmediums übernimmt.

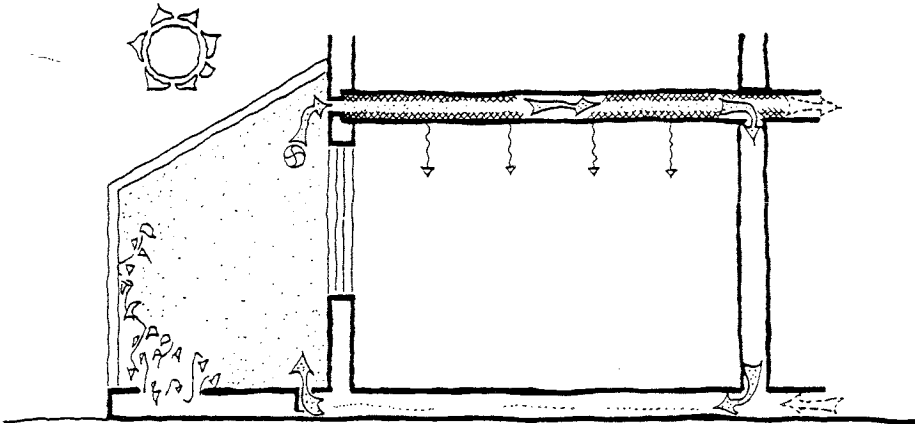
Die ausschlaggebenden, durch das flinke thermische Reaktionsvermögen offener Warmluft-Heizungen bestimmten Kriterien sind danach:

- Reduzierte Stillstands- und Trägheitsverluste: Durch die Möglichkeit, die konvektive Wärmezufuhr bei Bedarf ohne zeitliche Verzögerung aufzunehmen oder zu unterbrechen, werden Stillstands- und Trägheitsverluste weitgehend reduziert. Ein energetisch wie physiologisch unerwünschter "Auf- bzw. Nachheizeffekt", wie etwa bei Heizungen mit dem Wärmeträgermedium Wasser, ist physikalisch nicht möglich.
- Daraus ergeben sich für offene Systeme rasche Anpassungsmöglichkeiten an sich ändernde Heizbedingungen. Dieser Umstand ist von besonderer Bedeutung für die Nutzbarmachung interner und solarer Wärmequellen (vgl. 1.4 u. 1.5) zu Raumbeheizungszwecken.
- Eine Übertragung von in der Luft oder auf den Oberflächen der luftführenden Bauteile enthaltenen Schadstoffen durch

das System kann nicht ausgeschlossen werden (s. Kap.5).

Typische offene Warmluftheizungssysteme sind z.B. die in II.1.1, II.1.2 und II.1.16 beschriebenen Systeme.

3.1.2 Geschlossene Warmluft-Heizkreisläufe



Im geschlossenen Warmluft-Heizkreislauf zirkuliert, ebenso wie beim offenen System, das Wärmeträgermedium Luft. Der Kreislauf ist jedoch durch Bauteile und Einrichtungen zur Luftführung genau vorgegeben, der direkte Eintritt des Wärmetransportmediums in die zu beheizenden Räume ist nicht vorgesehen.

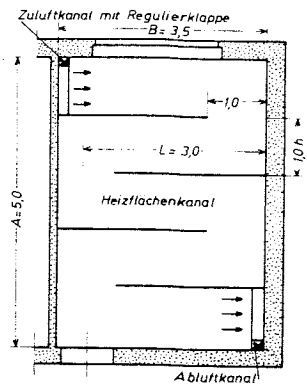
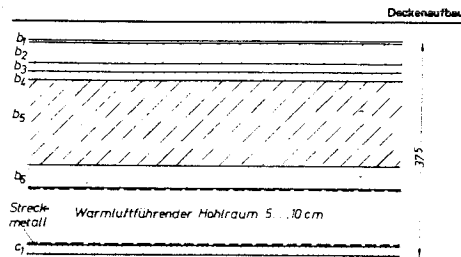
Bei geschlossenen Warmluft-Heizsystemen erfolgt die Wärmeübertragung zunächst vom Transport- auf das für den Wärmetausch mit dem Raum vorgesehene Medium, üblicherweise ein raumbegrenzendes Bauteil (Wand, Boden oder Decke). Die eigentliche Wärmezufuhr an den Raum erfolgt hauptsächlich auf dem Wege der Wärmeabstrahlung, wobei an den Bauteiloberflächen ebenfalls ein Wärmeübertragungsbeitrag durch freie Konvektion stattfindet. Im Falle der Nutzung von Fußböden als Wärmeübertragungsfläche kann die Wärme auch durch Leitung an die Bewohner übertragen werden. Da die Wärme nicht direkt von seinem Transportmedium an den Ort des Bedarfs übertragen wird, kann diese Art als indirekte Übertragung und als das wesentliche Merkmal von geschlossenen Systemen bezeichnet werden.

Die thermophysikalischen Eigenschaften des Wärmeträgermediums Luft bleiben in Bezug auf die Wärmeübertragung an Raum und Bewohner in geschlossenen System nicht erhalten. - Charakteristika für den Betrieb geschlossener Systeme ergeben sich aus der indirekten Wärmeübertragung:

- Die Anhebung oder Drosselung der Wärmezufuhr ist nur mit zeitlicher Verzögerung möglich.
- Auf- und Nachheizzeiten treten demzufolge auf. Spontanes (thermisches) Reagieren des Systems auf sich ändernde Heizbedingungen ist damit nur eingeschränkt möglich.

	d'	λ	d'/λ
b_1 PVC	0,5 cm	0,16	0,031
b_2 Estrich	3,5	0,80	0,058
b_3 Glasfasermatte	1,5	0,035	0,429
b_4 Ausgleichbeton	1,5	1,30	0,012
b_5 Starkbeton	15,0	0,90	0,167
b_6 Glasfasermatte	1,5	0,035	1,143
c_1 Putz	1,5	0,175	0,020

Deckenaufbau einer Deckenstrahlungsheizung mit Warmluft



	d'	λ	d'/λ
b_1 Putz	1,5 cm	0,75	0,020
b_2 Hohlbackstein	24,0	0,90	0,267
b_3 Glasfasermatte	4,0	0,035	1,143
c_1 Naturbims-Wandauplatte	5,0	0,25	0,020
c_2 Putz	1,5	0,75	0,020

Brüstungs- bzw. Wandaufbau einer Strahlungsheizung mit Warmluft

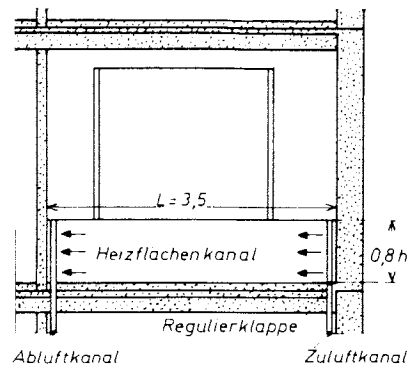
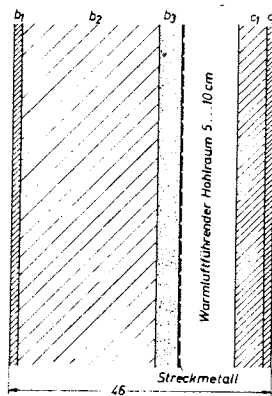


Abb. n. /W03/(S.65-71): Beispiele geschlossenen Systemaufbau

- Stillstands- und Trägheitsverluste des Systems können auftreten.
- In den durch geschlossene Systeme beheizten Räumen herrschen relativ konstante Raumtemperaturen, thermische Schwankungen verursacht durch äußere Einflüsse werden gedämpft. (Die o.a. Bedingungen werden beeinflusst durch Aufbau und Material der Wärmetauschfläche. Leichte Baustoffe/Bauteile (leichte Vorsatzschalen oder abgehängte Decken) erlauben flinkere thermische Reaktionen als schwere, gut wärmespeichernde Materialien wie Estrich, massive Wände oder Decken etc.).
- Dadurch, daß das Wärmetauschmedium nicht in die Räume gelangen kann, ist ein Schadstoffübertragung ausgeschlossen.

Typische Beispiele geschlossener Warmluft-Heizkreisläufe mit warmluftdurchströmten Bauteilen sind z.B. die in II.1.6 und II.1.17 dargestellten Systeme.

Anmerkung: Zwar herrscht bei offenen und geschlossenen Systemen jeweils eine bestimmte Art der Wärmeübertragung vor, dennoch erfolgt die Wärmeübertragung nicht nur monovalent:

Bei den geschlossenen Systemen findet, wie bereits erwähnt, durch thermische Raumluftbewegungen gleichfalls eine freie

konvektive Übertragung der Wärme von der warmen ("Strahlungs-") Oberfläche der Speicher auf die Raumluft statt.

Bei den offenen Systemen wiederum geben zumindest bei raumseitig exponierter Anordnung der luftführenden Bauteile mit entsprechender Wärmespeicherkapazität (Speicherwände, -decken) diese einen Teil ihrer Wärmeenergie über Strahlung oder, z.B. bei speichernden Böden, zusätzlich über Wärmeleitung ab. Prinzipiell ist es möglich, bei den offenen Systemen die mechanisch-konvektive Wärmeübertragung vollständig durch Unterbrechung des Luftstroms zurückzunehmen und die Wärme wie bei geschlossenen Systemen zu übertragen, die entsprechende Speicheranordnung vorausgesetzt.

3.1.3 Wechselbetriebsweise der Systeme

Konstruktiv und technisch ist es ohne weiteres möglich, ein System abwechselnd offen und geschlossen zu betreiben. Im Zusammenhang mit den systemabhängigen Möglichkeiten zur Sonnenenergienutzung und zur Wärmespeicherung (Nutzbarmachung der luftführenden Bauteile zur Wärmespeicherung), s. 3.3, kann einer entsprechenden Konzeption eine wichtige Bedeutung zukommen.

Als Voraussetzung dafür müßten Möglichkeiten geschaffen werden, den Luftstrom durch die Systemkomponenten sowohl im geschlossenen wie im offenen Betrieb sicherzustellen.

Die alleinige Unterbrechung des Luftstroms in einem offenen System mit der Folge der Wärmeübertragung durch Abstrahlung (bei Vorliegen der Voraussetzungen) macht aus einem offenen System noch kein geschlossenes, s.o.. - Es ist beispielsweise möglich, ein warmluftdruckströmtes Speicherbauteil konvektiv (z.B. durch die in der solaren Einstrahlzone eines Gebäudes erwärmten Raumluft) zu beladen und die Entladung über Wärmeabstrahlung vorzunehmen. In diesem Falle wäre der Systemkreislauf in der Phase der Beladung offen. Bei der Entladung ohne Luftaustausch mit den Räumen ruht der Systemkreislauf dagegen. (Vgl. Systeme II.1.10 und II.1.11.)

3.2 Energetische Aspekte des Betriebs offener und geschlossener Warmluft-Heizkreisläufe mit integrierten Speicherbauteilen

Die wichtigsten energetischen Aspekte, die sich aus dem jeweiligen Systembetrieb ergeben, wurden bereits in 1.5 und in dem vorausgegangenen Unterpunkt 3.1 behandelt.

Gemessen an den in 1.5.5 formulierten Kriterien für das 'ideale' Heizungssystem und der damit verbundenen Forderung nach einem möglichst trägheitslosen Wärmeträgermedium ergibt sich zusammengefaßt folgendes Bild:

3.2.1 Wärmeabgabe im Raum

- Offene Systeme: Übertragung vorwiegend (erzwungen) konvektiv, Wärmeträger- = Wärmeübertragungsmedium.
- Geschlossene Systeme: Übertragung durch Strahlung, indirekt über die erwärmten Abstrahlflächen.

Durch die als indirekt definierte Wärmeabgabe beim geschlossenen System kommt es in der Konsequenz zu einer zeitlichen Verzögerung der Wärmeabgabe, da das Wärmetransportmedium seine Wärme zunächst an die Wärmetauschflächen übertragen muß. Die günstigen thermophysikalischen Eigenschaften der Luft können im geschlossenen System nicht (bzw. im Falle der Verwendung leichter Konstruktionen zur Wärmeabstrahlung nicht voll) genutzt werden.

3.2.2 Regelung der Wärmeflüsse; Speicherbe- und -entladung

- Offene Systeme: Drosselung bzw. Anheben der Wärmezufuhr zum Raum durch Unterbrechung bzw. Verstärken des Luftstromes. Diese Regelungsmaßnahme stoppt bzw. verstärkt die Wärmeabgabe nahezu ohne jegliche zeitliche Verzögerung.
- Die rasche Regelung der Wärmeabgabe bei geschlossenen Systemen ist aus den in 3.1 und 3.2.1 angeführten Gründen nicht möglich. Zwar kann auch hier der Strom des Wärmeträgermediums unterbrochen oder verstärkt werden, unbeschadet dessen bleiben jedoch die Auf- und Nachheizeffekte durch das Auskühlen bzw. Erwärmen der Masse der Wärmetauschfläche erhalten. Zeitliche Verzögerungen müssen einkalkuliert werden, in der Folge treten die bereits erwähnten Stillstands- und Trägheitsverluste auf.

Die Art der Regelmöglichkeit der Wärmeflüsse ist gleichzeitig das wichtigste Merkmal für die energetische Zuordnung des Be- und Entladevorgangs der Speicherbauteile.

Sowohl in offenen als auch in geschlossenen Systemen erfolgt die Speicherbeladung auf den Wege der Zwangskonvektion (Kennzeichen der Tertiärspeicherung, vgl. 1.4.3.4 und 3.3): Das im Systemkreislauf zirkulierende Wärmeträgermedium überträgt die in ihm enthaltene Wärme (Voraussetzung: $t_{wrm} > t_{speicher}$) auf das durchströmte Bauteil.)

Die Speicherentladung hingegen ist abhängig von der jeweiligen Betriebsweise:

- a) im offenen Betrieb sind zwei Varianten der Speicherentladung möglich:
 - Entladung über Zwangskonvektion als sog. "kontrollierte" Entladung; der durch das Bauteil zirkulierende Luftstrom nimmt die gespeicherte Wärme auf (Voraussetzung: $t_{wrm} < t_{speicher}$) und führt sie direkt dem Raum bzw. ggf. zur Nachwärmung der zentralen Luftaufbereitung

(vgl. Kap.4) zu. - Der Speicher-Entladevorgang ist also ebenfalls von den thermophysikalischen Merkmalen der Luft gekennzeichnet.

- "Unkontrollierte" Entladung: Die Wärmeübertragung vom Speicher an den Raum und an die Raumluft erfolgt auf dem Wege der Wärmestrahlung und der freien Konvektion an den Speicherbauteil-Oberflächen (Voraussetzung: $t_{\text{Speicher}} > t_{\text{Raum/Luft}}$; raumseitig exponierte, also ungedämmte Speicherbauteile).

b) Der geschlossene Systemkreislauf bietet nur die Möglichkeit zur unkontrollierten Speicherentladung.

Der kontrollierte, (zwang-) konvektive Entladevorgang beim offenen Systembetrieb setzt den Einsatz von energiekonsumierenden mechanischen Einrichtungen zur Luftstrombewegung voraus. Der Vorteil der unkontrollierten Entladung liegt darin, daß für die Entladung kein weiterer Energieeinsatz erforderlich ist.

Bei entsprechendem Systemaufbau (innenliegende, zu den Räumen orientierte Speicherbauteile, By-Pässe zur Speicheran- und abkoppelung) bietet der offene Systembetrieb die Möglichkeit, die Speicherentladung bedarfsweise kontrolliert oder unkontrolliert vorzunehmen.

Um beide Optionen voll ausschöpfen zu können, kann für die Planung von offenen Systemen von daher die Empfehlung ergehen, die Speicherbauteile an den Rauminnenseiten nicht mit Wärmedämmschichten zu versehen.

3.2.3 Luftumsatz in offenen und geschlossenen Systemkreisläufen, Abhängigkeiten

Die zu Beginn dieses Unterpunktes aufgeführten Merkmale des Wärmeträgermediums Luft ("Zum Wärmestrom werden große Luftmengen benötigt") führen zu einem bestimmten Luftumsatz innerhalb der Heizkreisläufe, der unter Berücksichtigung bestimmter Vorgaben bemessen werden muß.

Auch wenn z.T. hohe Luftdurchsätze für den Systembetrieb erforderlich sind, kann dieser nicht innerhalb beliebiger Grenzen vorgenommen werden.

3.2.3.1 Technische Bestimmungsgrößen

Seine Begrenzung erhält der systeminterne Luftstromumsatz durch die maximal (wirtschaftlich) zulässigen Aufnahmeleistungen der Einrichtungen für den Antrieb des Luftstroms. (S. dazu auch 1.5.) Dies gilt für offene wie für geschlossene Systeme gleichermaßen. Abhängig ist die Antriebsleistung von:

- dem Querschnitt der luftführenden Elemente;
- den druckverlustbedingende Eigenschaften der luftführenden

- Bauteile (Abzweige, Knicke, Rauigkeit der Oberflächen, Leitungslängen etc.);
- sonstigen Strömungsbeeinflussungen durch die System-Peripherie (Filter, Diffusoren etc.).

Verschiedene Untersuchungen zeigen jedoch, daß die für den Luftstromantrieb benötigte Energiemenge in Bezug auf die Gesamtenergiebilanz eines Gebäudes von zweitrangiger Bedeutung ist, vgl. /A05/, /H06/ u. /S06/. Von daher gesehen bietet sich für die einzelnen Systemaufbauten und -anordnungen ein relativ breiter "konstruktiver Spielraum" an.

Die für den Einsatz der Systeme im Nutzungsbereich Wohnen (Einfamilienhäuser) erforderlichen Aufnahmeleistungen der Ventilatoren für den Antrieb des Luftstroms variieren (Angaben der LuftheizungsHersteller) zwischen 0,05 - 0,5 kW (möglichst stufenlos regelbar). Im Jahresmittel wird die Antriebsleistung für die Luftstrombewegung für Heizung und Lüftung zwischen 0,08 und 0,15 kW/h liegen. Diese Werte sollen als grobe Richtlinie für die jeweiligen Größenordnungen dienen.

3.2.3.2 Physikalische Bestimmungsgrößen

Die Geschwindigkeit des Luftstroms begrenzt als wesentliche physikalische Bestimmungsgröße den Luftmengenumsatz. Die optimale konvektive Wärmeübertragung von der Luft auf das (Speicher-) Bauteil und umgekehrt erfolgt im Bereich der turbulenten Strömung des Luftstroms, d.h., daß abhängig von der Dimension der jeweiligen Luftführung sowie deren spezifischen Materialeigenschaften die Geschwindigkeit des Luftstroms eine bestimmte Grenzgeschwindigkeit nicht überschreiten darf (je nach Querschnitt und Oberfläche ca. 10 m/s; bei zu hohen Geschwindigkeiten besteht die Gefahr der Bildung einer laminaren Strömung, so daß eine optimale konvektive Wärmeübertragung nicht mehr stattfinden kann. - S. auch 4.4.7 und 5.3.). Diese Fragen treten ebenfalls unabhängig vom jeweiligen Systembetrieb auf.

3.3 Passive und hybride Sonnenenergie-Nutzung in Abhängigkeit vom Systembetrieb

Zu den allgemeinen Aspekten der passiven und hybriden Sonnenenergienutzung s. 1.4.

Danach handelt es sich bei den warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen der offenen wie der geschlossenen Systeme um Einrichtungen zur tertiären Nutzung und Speicherung von Sonnenenergie ("Transport des solar erwärmten Wärmeträgermediums zum Speichermedium außerhalb der Kollektorzone").

<Anmerkung: Die Speicherbauteile können bei entsprechender Exposition auch zur Primär- und Sekundärspeicherung dienen, vgl. 1.5; doch soll hier nur der - allerdings überwiegende - Teil der tertiären Speicherung betrachtet werden.>

3.3.1 Offene Systemkreisläufe

Da der Eintritt des Wärmeträgermediums in die Aufenthaltsräume von Gebäuden vorgesehen ist, ergeben sich bezüglich der passiven und hybriden Sonnenenergie-Nutzung keine Beschränkungen:

- Kombinationsmöglichkeiten mit allen Einrichtungen zur passiven/hybriden Strahlungssammlung, auch gebäudeintern (Einstrahlzone in Südräumen).
- Transport der erwärmten Luft (Raumluft) zu den (Tertiär-) Speichermassen, auch auf direktem Weg durch die Wohnräume.
- Kein Wärmebedarf in den Räumen: die solar erwärmte Luft kann sofort (aus den Räumen) zum Speicher transportiert werden.
- Bestehender Wärmebedarf: bis zur Deckung des Wärmedefizits bleiben die Speichermassen vom Luftkreislauf abgekoppelt (Speicher-By-Pass, s. 4.4.4.4 u. 4.5); die warme Luft wird direkt zur Beheizung, auch der nicht in der Südzone liegenden Räume (Verteilung der Warmluft durch die lufttechnische Anlage = Wärmeverschiebung), genutzt.
- Wegen des raschen thermischen Reaktionsvermögens des Systems kann der Betrieb auch auf relativ niedrigem Temperaturniveau (ca. 20°C) erfolgen.
- Auch kurzfristige Einstrahlungsgewinne können daher durch das System genutzt werden.
- Speicherentladung direkt über die zirkulierende Raumluft.
- Die Nutzung und Speicherung interner Überschusswärme kann im offenen Luftkreislauf gleichfalls über das Wärmeträgermedium Raumluft erfolgen.

3.3.2 Geschlossene Systemkreisläufe

Der Eintritt des Wärmetransportmediums in die Aufenthaltsräume ist nicht vorgesehen. Für die Sonnenenergie-Nutzung und die Wärmespeicherung ergeben sich daraus weitreichende Konsequenzen bezüglich Aufbau und Betrieb der geschlossenen Systeme:

- Für die tertiäre Sonnenenergie-Nutzung mit dem Wärmeträgermedium Luft bedarf es außerhalb des eigentlichen Gebäudes befindlicher Kollektoren (Wintergärten, Sonnenkollektoren, ggf. Sonnenwände etc.).
- Aufgrund der trägen thermischen Reaktionsfähigkeit geschlossener Systeme und der damit verbundenen zeitlichen Verzögerungen von Wärmeaufnahme und -abgabe an den Raum (Temperatur-Amplitudendämpfung, Phasenverschiebung) ist ein möglichst hohes Betriebstemperaturniveau wünschenswert.
- Daher bietet sich für geschlossene Systeme eine Kombination mit solaren Luftkollektoren mit relativ hohem Betriebstemperaturniveau (max. ca. 60 - 70°C) an.
- Nutzung kurzfristiger Einstrahlungsgewinne ist ebenfalls nur eingeschränkt möglich.
- In der Südzone der Gebäude kann nur primäre und sekundäre

- Nutzung erfolgen (zu den Einschränkungen s. 1.4.3).
- Wärmeverschiebung von der Kollektorzone in nicht beschriebene Räume nur indirekt und zeitverzögert möglich.
 - Tertiäre Nutzung gebäudeintern erwärmter Luft und Speicherung in den vorhandenen Speichermassen ist nicht möglich.
 - Speicherentladung nicht über das Wärmeträgermedium.

3.3.3 Anordnung der Wärmespeicher

Nach 1.3 ist die Anordnung der Speichermassen aus energetischen Gründen als Innenbauteile (Wände, Decken) vorzunehmen. Dies gilt für offene wie geschlossene Systeme gleichermaßen.

Aus energetischer Sicht kann die Möglichkeit der Abkoppelung der Speichermassen vom Systemkreislauf von Bedeutung sein (Nutzung des Wärmeträgermediums ohne zeitliche Verzögerung in den Räumen. Anlagebedingt ist dies nur bei offenen Systemen möglich:

Für Phasen mit weder solarem noch internem Wärmeangebot kann eine "By-Pass-Luftführung" (s. 4.4.4.4 und 4.5) für den Zusatzheizluftstrom vorgesehen werden. Bei Bedarf läßt sich die Speichermasse so vom Luftstrom abkoppeln. Die ggf. gewünschte schnelle Erwärmung der Raumluft wird somit nicht durch die Verzögerung der thermisch trägeren Speichermassen behindert. Die Vorteile eines flinken (Zusatz-) Heizsystems bleiben voll erhalten.

Ebenso ist die By-Pass-Luftführung sinnvoll bei geladenem Speicher und gleichzeitig reduziertem Wärmebedarf (Nachmittag eines sonnigen Tages in der Übergangszeit). Bei steigendem Wärmebedarf (abends) wird der Speicher wieder angekoppelt.

3.3.3.1 Speicheranordnung in offenen Systemen

Bei offenen Systemen besteht zudem die Möglichkeit der unterschiedlichen/variablen Anordnung der zur Verfügung stehenden Speichermassen innerhalb des zirkulierenden Luftstroms:

- Speichermassen im Rückluftstrom
- Speichermassen im Zuluftstrom
- Alternierende Speicheranordnung (bedarfsweise abwechselnd im Zu- oder Rückluftstrom)

Energetisch betrachtet ist es gleichgültig, ob der Speicher im Zu- oder Rückluftstrom angeordnet wird. Aus der jeweiligen Art der Anordnung ergeben sich jedoch unterschiedliche Heizungs- und Nutzungsbedingungen:

a) Speicher im Rückluftstrom:

Die warme Luft aus der Kollektorzone (Südräume) wird in die/durch die wärmespeichernden Bauteile geleitet. Von dort gelangt sie zur bedarfsweisen weiteren Aufbereitung bzw. Erwärmung in den Kreislauf der konventionellen Zusatzheizung und/

oder von dort zurück in die Räume (vgl. z.B. System II.1.1, beispielhaft erwähnt bei /H06/).

Betriebsmerkmale:

- Überschußwärme gelangt sofort in die Speichermassen;
- das System kann auf sich kurzfristig ändernden Heizbedarf rasch reagieren;
- Betrieb vorübergehend auch bei einem Speichertemperaturniveau von $< 20^{\circ}\text{C}$ möglich;
- Luftfilterung vor Eintritt in die Speichermassen ist problematisch;
- größere Zuluft- und Raumlufitemperaturschwankungen sind, insbesondere beim Betrieb ohne Zusatzheizung (Übergangszeit), möglich.

b) Speicher im Zuluftstrom:

Die warme Luft aus den Räumen gelangt zur weiteren bedarfsweisen Aufbereitung in die zentrale Luftaufbereitung, strömt durch die wärmespeichernden Bauteile und wird zurück in die Räume eingeblasen; entsprechende Speicheranordnungen werden erwähnt in /A05/, /B05/ und /I09/.

Betriebsmerkmale:

- weitgehend gleichmäßige Zulufttemperatur, auch bei kontrolliertem Frischluftanteil;
- Luftfilterung und ggf. weitere Luftaufbereitung vor Eintritt in die Speichermassen möglich;
- Übererwärmungen, insbesondere bei Sonnenenergie-Nutzung, können leichter auftreten, vornehmlich dann, wenn von seiten des Nutzers keine Vorkehrungen (temporäre Sonnenschutz-einrichtungen, rechtzeitige Drosselung der Zusatz-Heizwärmefuhr) getroffen werden;
- Speichertemperaturniveau mind. 20°C . Nach vollständiger Entladung (kalte Außentemperaturen, volle Sonneneinstrahlung, relativ starke Auskühlung des Gebäudes, z.B. Vormittag eines kalten und klaren Wintertages) muß der Speicher ggf. von der Zusatzheizung vorgewärmt werden. Dies bedeutet einerseits den zusätzlichen Einsatz von aktiver Heizenergie, andererseits die energetisch ungünstige Vorwärmung der Speichermassen, wodurch bereits ein Teil der Speicherkapazität erschöpft wird.
- Die Vorwärmung der für die aktive Heizung bestimmten Luft ist nur indirekt über die Raumlufitemperatur möglich;
- eine zusätzliche/nachträgliche Integration von solaren Luftkollektoren in den Systembetrieb ist mit höherem Aufwand verbunden.
- Auf kurzfristige Änderung des Heizbedarfs kann diese Systemanordnung aufgrund der zeitlichen Verzögerung durch die thermisch träge reagierenden Speichermassen weniger schnell eingehen.

c) Alternierende Speicheranordnung:

Ein Luftstromkreislauf, der wechsel- und bedarfsweise die Speicherbauteile von der Zuluft- oder der Rückluftseite her durchströmt, könnte die vorgenannten Nachteile der jeweiligen Speicheranordnung vermeiden, unter Beibehaltung der Vorteile.

Einzig die Frage der Luftfilterung scheint bei einem alternierenden Strömungskreislauf Probleme aufzuwerfen: Luftfilter, insbesondere mechanische Filtereinrichtungen (s. 3.4.5), können nicht je nach Belieben aus wechselnden Richtungen durchströmt werden. - Nebeneinander angeordnete Filter mit Rückschlagklappen an den Fortluftseiten könnten dafür jedoch eine zufriedenstellende Lösung ergeben. Zu prüfen wäre die wirtschaftliche Einrichtung derartiger Vorrichtungen an einem konkreten Objekt.

Anmerkung: ein alternierender Luftstromkreislauf ist bislang in keiner bekannten Systemkonzeption realisiert oder vorgesehen.

3.4 Bauliche und gebäudetechnische Integrationsfähigkeit der Systeme

Als Ergebnis der Erörterung der Energiesparpotentiale haustechnischer Einrichtungen (Kap. 1.5) ergibt sich die Forderung nach einer möglichst weitgehenden Einbindung passiver/hybrid warmer Luft-Heizungssysteme mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen in die übrige gebäudetechnische Konzeption.

Wirtschaftlichkeitsüberlegungen (vgl. 1.7 und Kap.6) führen zu der Erkenntnis, daß in der Mehrfunktionalität der Systemkomponenten der eigentliche Schlüssel für einen Gesamtkostenreduzierenden Systembetrieb liegt.

Danach ist anzustreben, die für den Luftstromantrieb und die Speicherbe- und -entladung erforderliche lufttechnische Einrichtung möglichst auch für die Wärmeverteilung und -verschiebung, die kontrollierte Lüftung, Luftaufbereitung und Wärmerückgewinnung einzusetzen.

Voraussetzung für die Integrationsfähigkeit ist die "Offenheit" der Systeme und ihrer Komponenten für den weiteren Ausbau und den Anschluß zusätzlicher Peripherie.

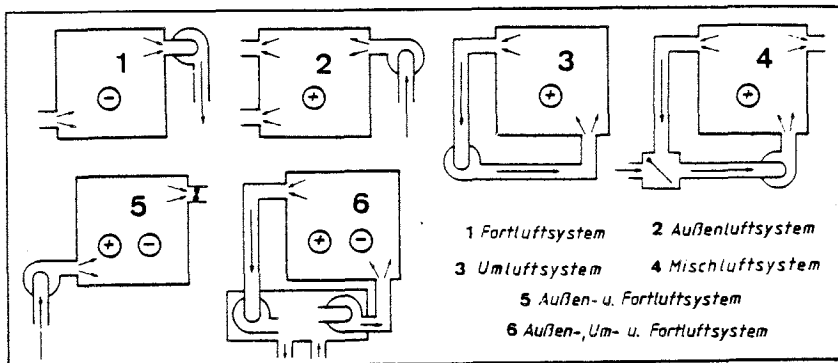
3.4.1 Die Integrationsfähigkeit offener Systeme

Der offene Luftstromkreislauf bietet günstige Voraussetzungen für die Ergänzung und den Ausbau des Systemaufbaus bis hin zur möglichen Endausbaustufe einer vollständigen und vollautomatisierten Gebäudeheizungs-, Lüftungs- (und ggf. Klimatisierungs-) Anlage. Bei entsprechendem Ausbau offener Systeme mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen gelten die in 1.5 und 3.1.1 aufgezeigten Betriebsmerkmale von Warmluft-Heizungen.

In die Systemkonzeption integrierbare Zusatzeinrichtungen für den mehrfunktionalen Betrieb offener Systeme sind:

- Warmluft-Zusatzheizung (vgl. 1.5).
- Einrichtungen für die kontrollierte Zufuhr von Außenluft; für offene Systeme bietet sich die Option der kontrollierten Außenluftzufuhr förmlich an: nahezu die gesamte erforderliche raumlufthechnische Einrichtung ist beim offenen Systembetrieb bereits vorhanden.
- Einrichtungen zur Rückgewinnung der Wärme aus der Abluft.
- Option der Gebäudekühlung: konvektiver Wärmeentzug im Raum; die Raumluft strömt durch die entladenen Speicher und gibt Wärme ab. Als kostengünstige Alternative bietet sich die Möglichkeit der "Nachtluftkühlung" im Sommer an (s.o.). Dabei strömt während der kühleren Nachtstunden Außenluft durch die Speicherbauteile, so daß diese die tagsüber aufgenommene Wärme aus dem Gebäude wieder abgeben können. - Zur Nachtluftkühlung s. auch die Ausführungen in 4.3.3 und 5.4.2 sowie Literaturstellen /F09/, /G07/ u. /W10/. Beispiele für offene Luftkühlungssysteme: s. II.1.4 u. II.1.5.

Nach der jeweiligen Ausbaustufe und Betriebscharakteristik werden offene Systeme weiter differenziert (n. /I02/S.19):



Einteilung nach dem Luftsystem (Luftförderung)

Abb. n. /I02/(S.19)

Für den Einsatz in und die Kombination mit Luftheizungs- und raumlufthechnischen Anlagen für den Wohnungsbau kommen in erster Linie die dargestellten Luftfördersysteme 2, 3 und 4 in Betracht.

- Außenluft- (Frischluf-) System: Die gesamte im Raum vorhandene Luftmenge wird ständig gegen Frischluft ausgetauscht. "Verbrauchte" Luft zirkuliert nicht innerhalb des Gebäudes. Für raumlufthechnische Anlagen im Wohnungsbau hat der Frischluftbetrieb als Sommerschaltung eine Bedeutung. Bei gleichzeitigem Heizbetrieb ist das Frischluftsystem aus energetischen Gründen nicht geeignet, bietet sich jedoch für den sog. Sommerbetrieb (kein Wärmebedarf in den Räumen) an.

- Umluftsystem: Kein Frischluftanteil, nur die im Gebäude vorhandene Raumluft zirkuliert innerhalb des Systemkreislaufs. Wenn Frischluft nicht benötigt wird (Abwesenheit der Bewohner), ist der bedarfsweise Umluftheizbetrieb sinnvoll und zweckmäßig, da auf diese Weise die Lüftungswärmeverluste weiter reduziert werden.
- Mischluftsystem: Der Mischluftbetrieb ist der Standardbetriebsmodus moderner Warmluft-Heizsysteme. Dem in der Heizzentrale aufzubereitenden Umluftstrom wird ständig ein bestimmter (mengenmäßig variabel regulierbarer) Außenluftanteil beigemischt (Standardwert: ca. 10 - 15 % des Gesamtluftvolumens, angestrebt und als ausreichend angesehen wird ein Luftwechselrate von ca. 0,5/h). Ein Teil der Umluft verläßt das Gebäude als Abluft, möglichst nach vorherigem Passieren eines Abluftwärmetauschers zur Übertragung der in ihr enthaltenen Wärme auf die Frischluft.

3.4.2 Die Integrationsfähigkeit geschlossener Systeme

Der geschlossene Luftstromkreislauf schränkt die Möglichkeiten des Systemausbaus auf ein Minimum ein. Der Anschluß einer Zusatz-Warmluftheizung ist möglich, bietet sich jedoch nicht notwendigerweise an (thermische Trägheit, eingeschränkte Regelbarkeit, Vorwärmung und damit Erschöpfung der Wärmespeicherkapazität der Speicherbauteile).

Ggf. ist darüber nachzudenken, ob geschlossene Systeme auch für eine Gebäudekühlung infragekommen können (Auskühlung der Speichermassen, z.B. durch das Durchströmen kühler Nachtluft, Wärmeentzug der Räume über Abstrahlung der wärmeren Raumumfassungsflächen an die kältere Speicheroberfläche); da jedoch in jedem Fall mit Oberflächenkondensat und Dampfdiffusion in das Speicherinnere gerechnet werden muß, ist diese Option nicht unproblematisch, vgl. 5.4.2.

Weitere Möglichkeiten zum Systemausbau bestehen für geschlossene Luft-Heizkreisläufe nicht.

Die tabellarische Gegenüberstellung und die Diskussion der in diesem Kapitel erörterten energetischen und konzeptionellen Aspekte offener und geschlossener Warmluft-Heizkreisläufe mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen erfolgen in Kapitel 8 (8.2 und 8.3).

Kap. I.4 - System-Peripherie

4.1 Technische Einrichtungen für den Systembetrieb

Der Betrieb von Systemen mit warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen zur verbesserten passiven/hybriden Sonnenenergienutzung setzt eine Reihe von technischen Einrichtungen voraus, vgl. auch 1.5.

Peripherie bedeutet die "apparative, gebäudetechnische Umgebung", in die die warmluftdurchströmten Speicherbauteile eingebunden sind.

Grundsätzlich kann nach 1.5 festgestellt werden:

Sämtliche technischen Einrichtungen, die für den Systembetrieb benötigt werden, werden auf dem Markt angeboten. Auf dem Gebiet der Heizungs- und Lüftungstechnik finden diese Geräte z.T. jahrelange und breite Anwendung, so daß hier zu nahezu 100% auf vorhandene Technologie zurückgegriffen werden kann. Es ist daher nicht erforderlich, neue gebäudetechnische Lösungen für den Systembetrieb zu finden; die Hauptaufgabe muß vielmehr darin bestehen, die vorhandenen Komponenten bezüglich ihrer Eignung für den Einsatz in Systemen mit warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen zu untersuchen und aufeinander abzustimmen.

Ziel dieses Kapitels ist es, die wesentlichen Funktionskombinationen der Systeme (4.3) und die wichtigsten Einzelkomponenten der System-Peripherie (4.4) aufzuzeigen. Dabei werden diejenigen Komponenten vertieft behandelt, denen im Hinblick auf einen energetisch optimierten (z.B. Ventilatoren, By-Pässe) und wohnphysiologisch unbedenklichen Systembetrieb (z.B. Filter, Schalldämmeinrichtungen) eine besondere Bedeutung zukommt. Gleichzeitig wird auf apparative Lösungsmöglichkeiten für ggf. anstehende system- oder betriebsbedingte Problemfälle hingewiesen. In 4.5 wird die ganzheitliche Anordnung der apparativen Umgebung eines Systems am Beispiel eines offenen Systemkreislaufs schematisch dargestellt.

4.2 Offene und geschlossene Systeme - Anforderungen an die Peripherie

Aus der jeweiligen Betriebsweise der Systeme ergeben sich Konsequenzen hinsichtlich der zu verwendenden System-Peripherie.

Aus 3.4 ergibt sich, als Erkenntnis von Kapitel 1, die Forderung nach einer möglichst vollständigen Einbindung der Systeme in die vorhandene gebäudetechnische und bauliche Konzeption. Wie a.a.O. nachgewiesen wurde, sind die Möglichkeiten der Integration von geschlossenen Systemen betriebsbedingt

außerordentlich beschränkt, gleichzeitig sind aber auch Anforderungen und technische Voraussetzungen, die sich aus einer offenen Betriebsweise ergeben (z.B. Filterung der Luft, s.u.), für den geschlossenen Betrieb nicht relevant.

Bei der zu verwendenden Peripherie muß also ebenfalls nach der Betriebsweise differenziert werden.

Aus der Abhandlung der energetischen Aspekte der einzelnen Systemvarianten in Kapitel 3 zeichnet sich die Erkenntnis ab, daß sich ein vielfältigerer und flexiblerer sowie in den meisten Fällen energetisch sinnvollerer Einsatz aus der offenen Systembetriebsweise ergibt.

Dieser Umstand bringt erwartungsgemäß eine erheblich breitere Palette der zu betrachtenden apparativen Betriebseinrichtungen mit sich. Während sich bei den geschlossenen Systemen die mechanischen Einrichtungen im wesentlichen auf Ventilatoren zum Antrieb des Wärmeträgermediums und Vorrichtungen zur Steuerung und Regelung des Luftstroms beziehen, sind für die offene Betriebsweise eine Reihe weiterer Einrichtungen, je nach Integrationsgrad des betreffenden Systems, zu beachten. Offene Systeme nehmen, unter Berücksichtigung der erforderlichen System-Peripherie (s.u. 4.3), erheblich an Komplexität zu.

4.2.1 Anforderungen an die System-Peripherie in Abhängigkeit von der Betriebsweise

Die Anforderung an die System-Peripherie ergeben sich aus der jeweiligen Betriebsweise 'offen oder geschlossen'.

Die Anforderungen der Betriebsbedingungen der geschlossenen Systemkreisläufe an die erforderliche Peripherie beziehen sich auf:

- ggf. Zusatzheizung;
- Antrieb des Luftstroms;
- Steuerung und Regelung des Luftstroms;
- ggf. Einrichtungen zur Schalldämmung.

Bei offenen Systemkreisläufen beziehen sich die Anforderungen an die apparativen Einrichtungen auf ein Vielzahl weiterer Funktionen, die in erster Linie durch die geforderte Einbindung der offenen Systemkreisläufe in die raum- und heizlufttechnische Anlage entstehen. Nach 1.5 und 3.4 ergibt sich die notwendige Systemkombination mit Warmluft-Zusatzheizung und kontrollierter mechanischer Lüftung mit Wärmerückgewinnung. Die Anforderungen offener Systemanordnungen an die Peripherie beziehen sich auf:

- WL-Zusatzheizung
- kontrollierte, mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Antrieb des Luftstroms
- Steuerung und Regelung des Luftstroms

- Luftauslässe etc.
- By-Pass-Luftführungen
- (Um-, Zu- und Ab-) Luftfilterung
- ggf. Luftbefeuchtung
- Maßnahmen zur Schalldämmung
- ggf. Gebäudekühlung

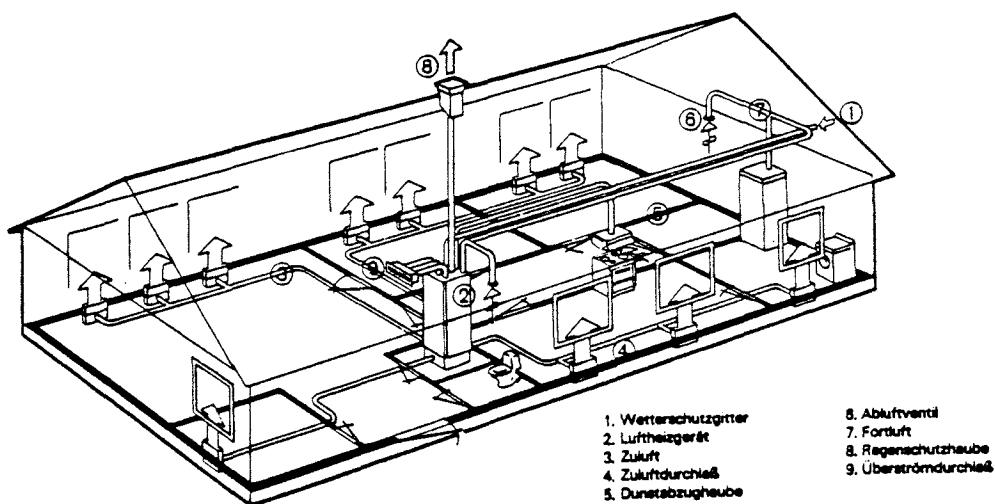
Auf die systemabhängigen Unterschiede in Bezug auf Einsatz, Integration und Ausbildung einzelner Peripherie-Komponenten sowie deren spezifische Einsatzfähigkeit in den jeweiligen Systembetrieb wird in den Unterpunkten an den betreffenden Stellen hingewiesen.

4.3 Funktions-Kombinationen

4.3.1 Zusatzheizung

Offene Systeme: nach 1.5 und 3.4 bietet sich, nach Würdigung der energetischen und funktionalen Gesichtspunkte, die Kombination mit Warmluftheizungen "exklusiv" an. Wird darüber hinaus auch der wirtschaftliche Aspekt (vgl. Kap.6) berücksichtigt, stehen konsequenterweise Kombinationsmöglichkeiten mit anderen Zusatz-Heizsystemen (Warmwasser-Heizungen) nicht mehr zur Disposition; Ausnahme: Einzelfeuerstätten, vgl. 1.5.1.

Bezüglich der erforderlichen Peripherie liegt der entscheidende (finanzielle) Vorteil darin, daß sämtliche technischen/mechanischen Einrichtungen der Warmluftheizung wie Gebläse, Klappen, Schächte, Luftauslässe, Außenluftanschlüsse, Filtervorrichtungen etc. unmittelbar für den Luftstrom durch die Speicherbauteile eingesetzt werden können (s. 4.4). Durch die Systemkombination mit einer Warmluftheizung steht die gesamte technische Betriebseinrichtung bereits zur Verfügung; lediglich der Anschluß der durchströmten Bauteile bedarf der zusätzlichen Konzipierung.



1. Wetterschutzgitter
2. Luftheizgerät
3. Zuluft
4. Zuluftdurchlaß
5. Dunstabszughaube

6. Abluftventil
7. Fortluft
8. Regenschutzhaube
9. Überströmdurchlaß

Abb. nach /F05/

Umgekehrt ist es möglich, bei der Planung einen Großteil der Luftführungen und -verteilungseinrichtungen durch die durchströmten und speichernden Bauteile zu ersetzen; diese Art der Integration bietet den größten Nutzen bei vergleichsweise geringem Zusatzaufwand.

Am Beispiel der in der o.a. Abbildung dargestellten Warmluftheizanlage könnten also, bei Ausbildung der EG-Decke (Sohlplatte) als Speicherdecke, alle Luftzuführungen vom Luftheizgerät (2) zu den Zuluftdurchlaßöffnungen eingespart werden. Voraussetzung dafür wäre eine dem Luftheizgerät nachgeordnete zentrale Verteilungseinrichtung, mit deren Hilfe jeder Raum individuell versorgt ("angeströmt") wird. Solche Verteiler sind üblicherweise Bestandteil der meisten modernen Luftheizungsanlagen (s.u. Steuer- u. Regeleinrichtungen, 4.4.3).

Bei geschlossenen Luftkreisläufen muß die Frage nach der Systemkombination mit Zusatzheizungen anders gestellt werden; zwar ist auch hier die Kombination mit Luftheizungen möglich, es stellen sich jedoch, neben der bereits erläuterten energetischen Problematik (Kombination eines flinken Wärmeträgermediums mit einer trägen Wärmeabgabe im Raum mit den daraus folgenden Verzögerungen bei der Regelung) zusätzliche Fragen bezüglich der Verfügbarkeit von gleichmäßig in den Räumen angeordneten Abstrahlflächen und der sich ebenfalls als energetisch ungünstig erweisenden Vorwärmung der Speicherbauteile, vgl. 3.4. Die unmittelbare Zusammenfassung eines geschlossenen Systems mit einer aktiven Zusatzheizung zu einem korrespondierenden integrierten Heizungskonzept muß daher als problematisch angesehen werden.

Für geschlossene Systeme ist der vom Systembetrieb vollkommen unabhängig operierende, konventionelle Zusatzheizbetrieb zu erwägen.

Anmerkung: Für offene wie für geschlossene Systeme bietet sich für den Bereich der Bäder die Einrichtung einer elektrischen Nachheizung (Leistungsaufnahme max. 500 W) an (in die Zuluftleitung bei offenen Systemen), um den dortigen Mehrbedarf an Wärme punktuell decken zu können ohne die Gesamtauslegung der Gebäudeheizung zu erhöhen. Besondere Bedeutung haben diese Nachheizeinrichtungen bei der passiven Energiequellennutzung in der Übergangszeit.

4.3.2 Kontrollierte mechanische Lüftungseinrichtungen mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft

Systemintegrierte Lüftung und Wärmerückgewinnung aus der Abluft sind, vgl. 3.4, nur möglich bei offener Systembetriebsweise.

4.3.2.1 Lüftung

Prinzipiell besteht kein Unterschied zwischen den lufttechnischen Einrichtungen einer Lüftungs- und einer Luftheizungsanlage (s.o. 4.3.1), so daß hier die gleichen Systemkomponenten

zum Einsatz kommen. Die Entscheidung für die Kombination offener Systeme mit mechanischen Lüftungseinrichtungen bedeutet daher nichts weiter als die energetisch wie wirtschaftlich konsequente Fortsetzung der mit der Integration der WL-Heizung begonnenen Entwicklung (bzw. Systemausbau).

Die für die kontrollierte Außenluftzufuhr benötigte Peripherie (Gebläse, Steuerung, Zuluft-, Abluftführungen etc.) sind zum Teil bereits in der Warmluftheizung enthalten, s.o. Die Mehrfunktionalität der eingesetzten Peripherie-Komponenten (für Lüftung, aktiven und hybriden Heizbetrieb) ergibt sich analog wie bei 4.3.1.

4.3.2.2 Wärmerückgewinnung

Die Übertragung der in der Fortluft enthaltenen Wärme auf die Zuluft mittels rekuperativer Wärmetauscher (Plattenwärmetauscher) wurde in 1.5 mit Blick auf die energetischen und thermischen Aspekte diskutiert; der sinnvolle Einsatz entsprechender Einrichtungen steht somit nicht mehr infrage.

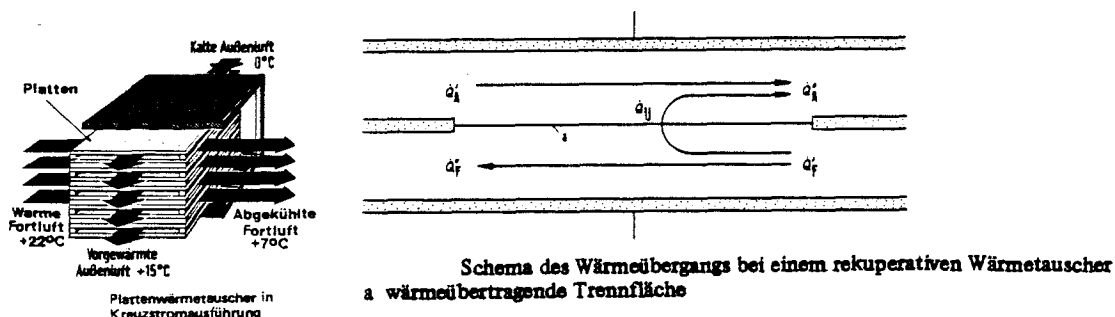


Abb. nach /J06/(S.101) u. /I02/(S.284)

Die Integration von rekuperativen Plattenwärmetauschern in die Gesamtkonzeption "Lüftung - Warmluftheizung - Wärmespei- (Fortsetzung nächste Seite —>)

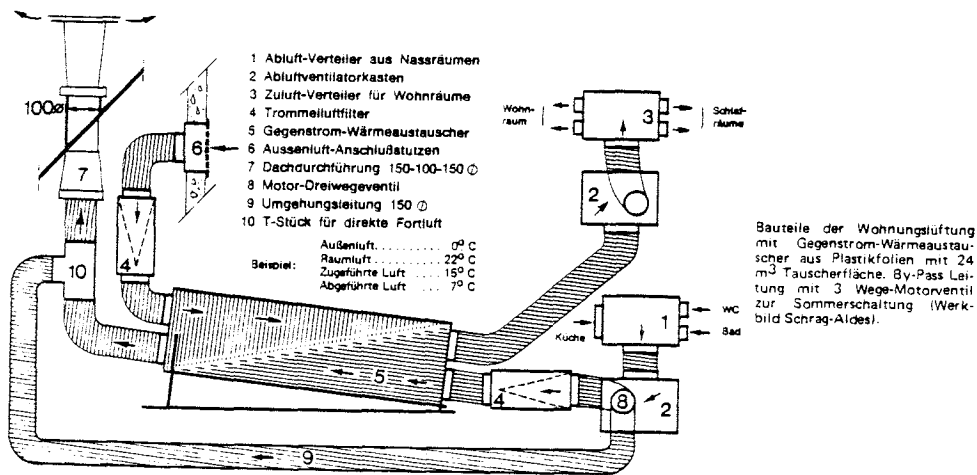


Abb. n. /B15/(S.A278)

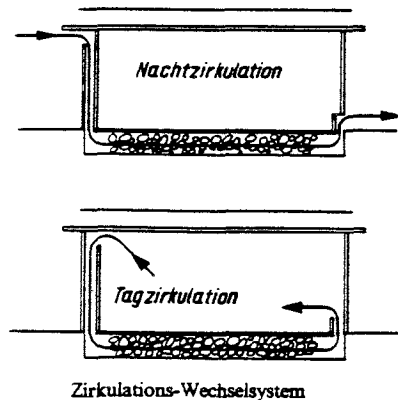
cherung mit warmluftdurchströmten Bauteilen" bietet sich insofern an, als der "Wirkungsgrad" der Anlage durch die weitere Reduzierung der Wärmeverluste und dem damit verbundenen graduellen Anstieg der hybriden Wärmebedarfs-Deckungsrate zusätzlich verbessert wird.

Die technische Einbindung eines rekuperativen Wärmetauschers erfolgt problemlos; entsprechende Lösungen sind Stand der Technik.

4.3.3 Option der Gebäudekühlung mit Systemen mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen in Abhängigkeit von der Betriebsweise

Zu den allgeinen Aspekten der Gebäudekühlung s. 1.5.4 und 3.4.

Sonderfall: "Nachtluftkühlung"



Bei der Nachtluftkühlung ist es das Ziel, nachts die Speichermassen des Gebäudes von der kühlen Außenluft durchströmen zu lassen und diesen damit die Wärme zu entziehen, sie zu entladen.

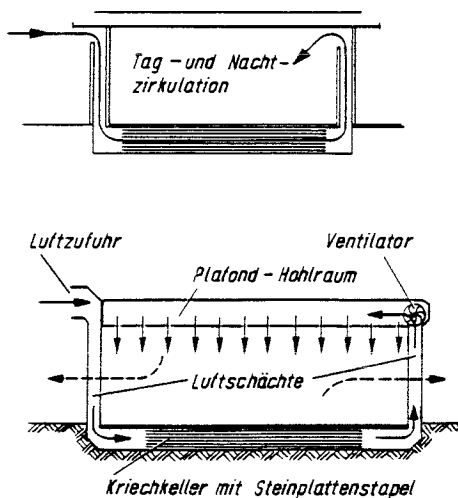
Tagsüber sind die Speichermassen dadurch in der Lage, Überschusswärme aus den Räumen aufzunehmen und somit zur Stabilisierung des Innenraumklimas beizutragen.

Abb. /W10/(S.39)

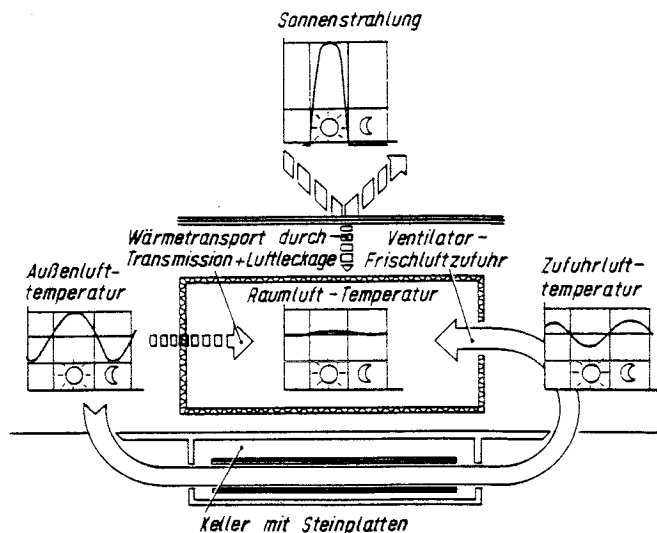
Theoretisch wäre ein derartiger Kühlbetrieb in offenen wie in geschlossenen Systemkreisläufen möglich. Sinnvoll indessen erscheint nur die offene Betriebsweise mit der Möglichkeit, die Umluft tagsüber direkt durch die ausgekühlten Speichermassen strömen zu lassen; eine konstante Zufuhr von Frischluft ist beim offenen System auch bei der Option der Nachtluftkühlung möglich.

Erforderlich ist, bei offener Betriebsweise, mindestens ein Ventilator (s. 4.4.2), möglicherweise kommen auch zwei Ventilatoren zum Einsatz, je nach Konzept des Systems. - Eine Luftfilterung erfolgt analog zu den Erörterungen in 4.4.5.

Da Ventilatoren und Filter ohnehin in der RLT-Anlage vorhanden sind, steht die Frage nach dem Außenluftanschluß der Speichermassen, der zusätzlich geschaffen werden muß, im Vordergrund. Zwar könnte dieser auch, durch verschiedene By-Pass-Führungen (vgl. 4.4.4), mit der vorhandenen Außenluftöffnung verbunden werden, es bietet sich indessen an, auch über einen direkten Anschluß der Speichermassen nachzudenken. Im Falle des Vorhandenseins eines Luftkollektors kann dieser für die Zufuhr kühler Nachtluft eingesetzt werden, vgl. 7.4.



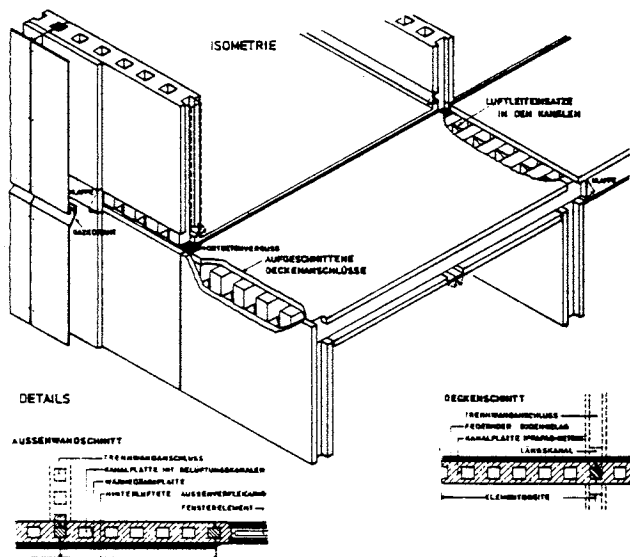
Schema Ventilations-Kreislauf



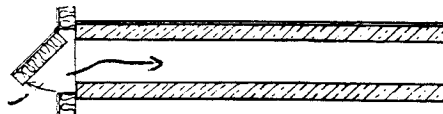
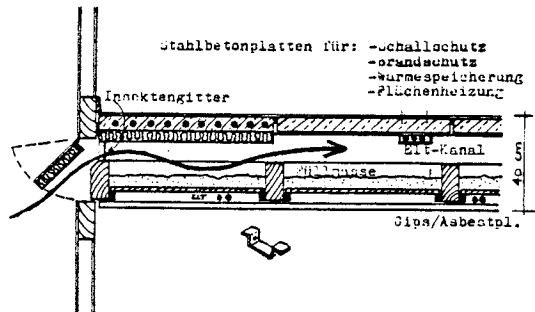
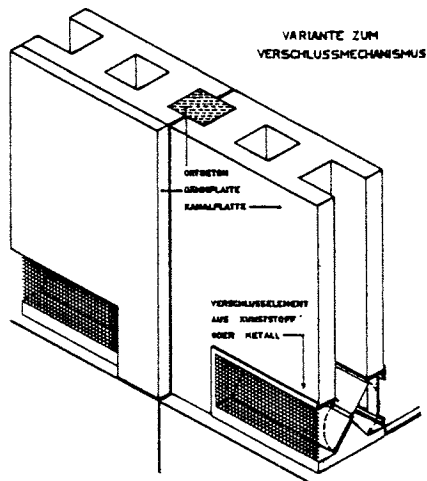
Schema Wärmebalance

Abb. n. /W10/(S.40)

In den folgenden Abbildungen sind einige Lösungen zu dieser Frage beispielhaft dargestellt:



Gebäudequerschnitt mit Belüftungssystem



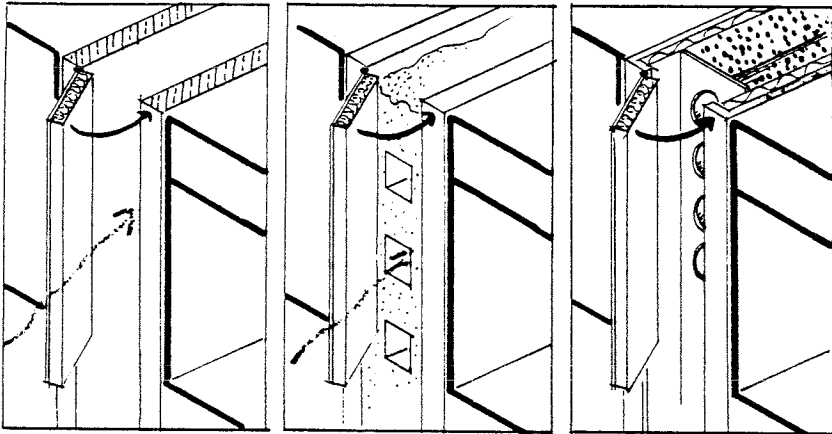


Abb. n. /K06/(S.64) u. /H03/(S.84)

Im einzelnen jedoch sind diese Anschlüsse abhängig von der konkreten Baukonstruktion, von der Lage des Speichers im Gebäude, vom Klima etc., so daß eine Lösung vom Einzelobjekt abhängt bzw. für dieses geschaffen werden muß. - Denkbar ist auch die Verwendung des vorhandenen Außenluftanschlusses durch entsprechende Luftführungen (By-Pass). Vgl. in diesem Zusammenhang auch die Ausführung in III.3.

4.4 Einzelkomponenten der System-Peripherie

In den folgenden Unterpunkten werden die Einzelkomponenten der System-Peripherie, die für den Systembetrieb und für die angestrebten Funktionskombinationen der einzelnen Systeme erforderlich sind, dargestellt. Von der Betrachtung ausgenommen sind Einrichtungen zur Strahlungssammlung für die hybride Sonnenenergienutzung, s. dazu 1.4.

Einige der nachfolgend aufgeführten technischen Einrichtungen werden nur oberflächlich angesprochen, da ihr vorgesehener Einsatz und systemspezifischer Verwendungsbereich keine weiteren Schwierigkeiten erkennen läßt, die Integration dieser Komponenten sozusagen also standardmäßig vollzogen werden kann (z.B. Lufterhitzer, 4.4.1; Luftauslässe, einige der Bauelemente zur Luftverteilung in RLT-Anlagen, 4.4.4). Auch tragen diese Komponenten nicht zur Lösungen systemimmanenter Probleme (s.u.) bei, so daß es auch von daher keiner speziellen Vertiefung bedarf. - Für weiterführende Informationen wird auf entsprechende Quellen verwiesen.

Andere Einzelkomponenten werden systematisch vertieft (z.B. Ventilatoren, 4.4.2, Luftfilter, 4.4.5, By-Pässe, 4.4.4.4). Den in diesem Zusammenhang betrachteten Einrichtungen kommt im Hinblick auf den optimierten Systembetrieb eine besondere Bedeutung zu, da sie zur speziellen Problemlösung eingesetzt werden bzw. den reibungslosen Systembetrieb überhaupt erst ermöglichen.

4.4.1 Luftherhitzer

Als Luftherhitzer werden Oberflächenwärmetauscher bezeichnet, die zum Erwärmen der Luft in raumlufttechnischen (RLT-) Anlagen dienen. Bezüglich des Wirkungsprinzips wird unterschieden nach direkter und indirekter Lufterwärmung:

- direkt: Rauchgase strömen direkt durch den Wärmetauscher;
- indirekt: als Heizmedium dient zuvor erwärmtes, im Wärmetauscher zirkulierendes Wasser.

Die Luftherhitzer sind in die Heizzentralen der jeweiligen Hersteller und Anbieter integriert. - Weitere Informationen sind erhältlich bei Herstellern (/B35/, /F05/, /S07/) sowie in der Fachliteratur (/I02/, /L03/).

Einen Überblick über im Wohnungsbau gebräuchliche Luftherhitzer gibt die folgende Abbildung:

Luftherhitzer für Dampf und Wasser	
Abbildung	
Aufbau	nebeneinander angeordnete berippte Röhren, die an beiden Seiten in gemeinsame Sammelröhre eingeschweißt sind, Rippenform rund, quadratisch, rechteckig, meist feuerverzinkter Stahl für Röhre und Rippen, Rippenstärke ca. 0,5 mm, Rippenabstand 3-5 mm
Wirkungsweise	Heizmedium, heißes Wasser oder Dampf, tritt über oberes Verteilerröhre in Rippenröhre ein und verdrängt dieses als kaltes Wasser bzw. Kondensat über unterliegendes Austrittssammelröhre, zu erwärmende Luft strömt quer zu den berippten Röhren
Anwendung	für Normalfall, falls keine Sonderforderungen, keine Einschränkung in Heizleistung

	Elektrische Luftherhitzer	Gasluftherhitzer
Abbildung		
Aufbau	Stahlblechgehäuse mit eingebauten Heizelementen aus Widerstandsdrähten bzw. -bändern aus Nickel- und Chromlegierungen, Heizstäbe aus Kupfer oder Stahl (mit Isoliermasse wie z. B. Quarzsand gefüllte Röhre, in die die Heizdrähte wandelförmig eingebettet sind)	Brennkammer mit Brenner, Wärmeaustauscher als Röhren-, Rippenrohr- oder Taschenwärmeaustauscher, Sicherheitsvorrichtungen gemäß DIN 4758 und 4759
Wirkungsweise	die zu erwärmende Luft strömt quer an Heizdrähten bzw. Heizstäben vorbei	in Brennkammer erzeugte Rauchgase durchströmen das Innere des Wärmeaustauschers und erwärmen die auf seiner Außenseite quer vorbeiströmende Luft
Anwendung	für kleine Heizleistungen oder Spezialfälle	einfache Anlagen, kaum verwendet, da zusätzliche Sicherheitsbestimmungen und aufwendiger Aufbau

Obersicht verschiedener Luftherhitzer

Abb. n. /L03/(S.65)

4.4.2 Ventilatoren

4.4.2.1 Allgemeines

Einige grundsätzliche Bemerkungen sind zu verlieren über die für den Luftstromantrieb erforderlichen Gebläseeinrichtungen (Ventilatoren). - Die im Bereich des Wohnungsbaus verwendeten Ventilatoren werden ausnahmslos elektrisch betrieben.

Nach der Bauart werden unterschieden:

	Radialventilatoren			Axialventilatoren			
	rückwärts gekrümmte Schaufeln	gerade endende Schaufeln	vorwärts gekrümmte Schaufeln	Wandventilator	ohne Leitrad	mit Leitrad	Gegenläufer
Abbildung							
Wirkungsweise	axial angesaugte Luft wird in radiale Richtung umgelenkt und beschleunigt, im spiralförmig ausgebildeten Ventilatorgehäuse wird Geschwindigkeitsenergie zu einem großen Teil in Druckenergie umgesetzt			Luft wird axial angesaugt, im Laufrad beschleunigt und axial wieder ausgeblasen, Umsetzung der Geschwindigkeitsenergie in Druckenergie geschieht entweder durch mit Schaufeln besetztes feststehendes Leitrad, einen Diffusor oder einer Kombination von beiden			
Antriebsart	Laufradantrieb entweder direkt von Motorwelle oder Rotor oder aber über Kupplung oder Keilriemen			Laufradantrieb meist direkt von Motorwelle			
Druckbereich							
Niederdruck	0- 100 mm WS			0- 30 mm WS			
Mitteldruck	100- 300 mm WS			30-100 mm WS			
Hochdruck	300-1000 mm WS			> 100 mm WS			
Anwendung	für geringe Drücke und Wirkungsgrade	für mittlere Drücke und Wirkungsgrade	für hohe Drücke und Wirkungsgrade	für Fenster- und Wandeinbau	für geringe Drücke	für höhere Drücke	für sehr hohe Drücke

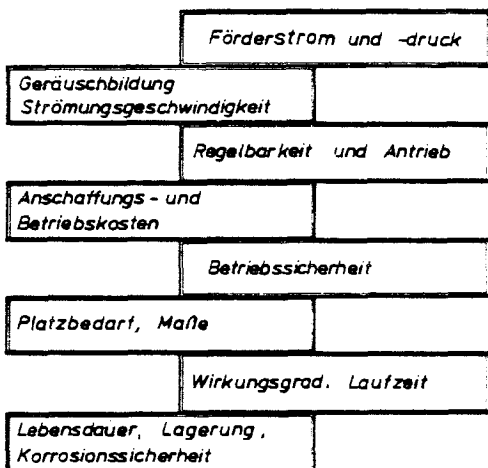
Querstromventilatoren	
Abbildung	
Wirkungsweise	bei Querstromventilatoren tritt Luft über einen Teil des Umfanges des Laufrades ein und über einen anderen wieder aus, d. h. der Luftstrom wird quer zur Radachse geführt, Laufräder haben meist eine vielfache Breite vom Durchmesser
Antriebsart	Laufradantrieb entweder direkt von Motorwelle oder über Kupplung oder Keilriemen
Druckbereich	0-70 mm WS
Anwendung	für geringe Drücke bei kleinem Platzbedarf, für kleine Luftmengen

Übersicht der Ventilatoren

Abb. n. /L03/(S.73)

Für den Einsatz in RLT-Anlagen finden übereinstimmend nach /E01/, /I02/, /L03/ und /R03/ hauptsächlich Radialventilatoren Verwendung. Zunehmend gewinnen jedoch auch Querstromventilatoren in kleinen Lüftungs- und Klimaanlage an Bedeutung.

Die Bandbreite der erhältlichen Ventilatorvarianten ist erheblich. Die Ausgangsgrößen für die Ventilatorauswahl können der folgenden Übersicht (n. /I02/S.235) entnommen werden:



Ausgangsgrößen für die Ventilatorauswahl

Diese Merkmale zusammengenommen werden auch als Ventilatorcharakteristik bezeichnet; die physikalisch-technischen Merkmale bilden die Grundlage für die "Ventilator Kennlinie", die Aufschluß über den Leistungsbereich des Ventilators und seiner Verwendungsmöglichkeit gibt. Die Ventilator Kennlinie ist in den technischen Herstellerinformationen enthalten.

Wichtig für den Ventilatorbetrieb ist die Möglichkeit der Regelung des Förderstromes und -druckes:

Da Temperaturveränderungen bei Warmluft-Heizungen entweder über eine Erhöhung bzw. Reduzierung der Zulufttemperatur oder über die Anhebung bzw. Drosselung der Luftfördermenge erreicht werden kann, kommt dem Ventilator bzgl. der Regelung die wichtigste Rolle zu: bei Bedarf soll viel oder wenig Luft gefördert werden können. Die Möglichkeiten der Beeinflussung sind:

- Regelung über Schaufelverstellung
- Drosselregelung
- Drehzahlregelung

Bei den Dimensionen der untersuchten RLT-Anlagen (Einsatz im Wohnungsbau) kommen nur die beiden letztgenannten Regelungsmöglichkeiten in Betracht. - Die Drosselregelung erfolgt über entsprechende (verstellbare) Drosseleinsätze in den Luftführungen, wodurch sich der Druckverlust jedoch auf die gesamte Anlage auswirkt.

Die wichtigste Regelung ist daher die Änderung der Ventilator-drehzahl, die in den betrachteten Fällen entweder über polumschaltbare Motoren (zwei- oder dreistufige Drehzahländerung) oder stufenlos über elektronische Bauteile erfolgen kann (vgl. auch 4.4.3.). Auf diese Weise kann der optimale, system- und betriebsangepaßte Luftvolumenstrom mittels des Ventilators angepaßt werden.

Die Leistungsaufnahme der Ventilatoren für den WL-Heizbetrieb in Ein-/Zweifamilienhäusern liegt in der Regel zwischen 50 W und 500 W, je nach Dimension, Auslegung und mitversorgter Peripherie. - Die Kosten für den Antrieb werden im allgemeinen durch die Einsparungen auf Seite der Lüftungswärmeverluste mehr als kompensiert, vgl. 1.5.2, 1.5.3 und 4.3.2.

4.4.2.2 Ventilatoren in Systemen mit warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen

Grundsätzlich sind die in RLT-Anlagen eingesetzten Ventilatoren auch für den Antrieb des Luftstroms in - offenen oder geschlossenen - Systemen mit durchströmten Speicherbauteilen geeignet. - Der Einsatz bzw. die Anordnung der Ventilatoren muß an folgenden Stellen erfolgen:

- Zentraler Ventilator für den permanenten Luftstromantrieb des jeweiligen Systembetriebes. Durch diesen Ventilator wird der gesamte Förderdruck für den Systemkreislauf aufrecht erhalten. Die Regelbarkeit sollte in drei Stufen oder stufenlos zur Anpassung des erforderlichen Luftumsatzes erfolgen. Bei offenen Systemen dient dieser Ventilator gleichzeitig für die Umwälzung der im Gebäude befindlichen Umluft.
- Bei in offene Systemkreisläufe integrierter mechanischer Frischluftzufuhr sind für die Regelung von Zu- und Abluftmengen ebenfalls Ventilatoren vorzusehen. Die Anordnung kann in der Wärmerückgewinnungseinrichtung erfolgen. - Um

bei Bedarf (Kochen in der Küche, WC- oder Badbenutzung) die Volumenströme verändern zu können, müssen diese Ventilatoren ebenfalls in Stufen oder stufenlos regulierbar sein.

Werden diese Ventilatoren ausgeschaltet, stellt sich ein reiner Umluftbetrieb ein, der im Bedarfsfalle wünschenswert sein kann (s. 3.4.1).

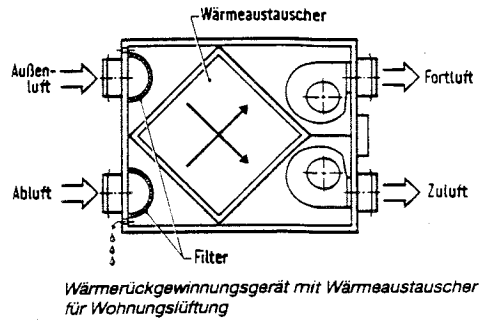


Abb. nach /R08/(S.625)

Ggf. ist es erforderlich, den Wrasenabzug in der Küche mit einem eigenen Ventilator auszustatten, um dem an dieser Stelle möglichen hohen Druckabfall entgegenwirken zu können (Lastspitzenbrechung).

Sollen Systeme im Wechsel offen/geschlossen betrieben werden (Beispiel: Speicherbeladen mit Luftkollektor = geschlossen, Speicherentladen über Umluft = offen, vgl. 7.4), ist der Einsatz eines zusätzlichen Ventilators für die Luftzirkulation in der geschlossenen Systembetriebsweise erforderlich.

Intermittierender Ventilatorbetrieb:

Im Zusammenhang mit der Minimierung der für den Ventilator erforderlichen elektrischen Antriebsleistung müßte in einer praktischen Untersuchung an einem realisierten Objekt festgestellt werden, ob der Systembetrieb die permanente Luftzirkulation tatsächlich erfordert. Neben der bereits mehrfach erwähnten Reduzierung des Luftumwälzvolumens (in /S01/ wird nachgewiesen, daß eine Reduzierung des Luftvolumenstroms um die Hälfte einer Verringerung der elektrischen Leistungsaufnahme auf ein Fünftel entspricht), kann die Luftstrombewegung in zeitlichen Intervallen vorgenommen werden (intermittierender Luftstromkreislauf). Bei dem ebenfalls in /S01/ (s. auch II.1.15) beschriebenen System wird dargestellt, daß für den Systembetrieb nur eine gelegentliche Luftumwälzung vorgenommen wird.

4.4.3 Steuer- und Regeleinrichtungen

Die wichtigste Aufgabe in Bezug auf die Temperatur-Regelung in Warmluft-Heizungen hat der Ventilator, s.o. 4.4.2.1.

Weiterhin muß unterschieden werden nach Grundregelung und Einzelraumregelung.

- Grundregelung: Vorregelung in Abhängigkeit von der Umlufttemperatur, Regelung der Raumtemperatur durch Klappen, s.u..
- Einzelraumregelung: Luftklappen zur Regelung des Warmluftstroms in Abhängigkeit vom individuellen und lokalen Bedarfs.

Während die Grundregelung thermostatgesteuert erfolgen soll-

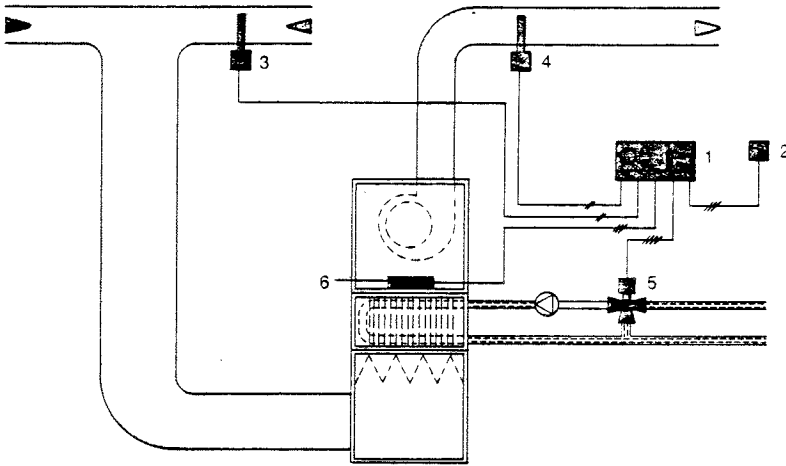
te, reicht für die Einzelraumregelung zunächst der Handbetrieb ("an/aus"). Die Nachrüstung von Thermostaten ist problemlos möglich. Diese Regelprinzipien gelten für offene und geschlossene Warmluft-Heizkreisläufe.

Gemäß der in Kapitel 3 aufgezeigten Betriebsbedingungen läßt sich die Wärmeabgabe in offenen Systemkreisläufen aufgrund der Ausnutzung der thermophysikalischen Eigenschaften der Luft bedeutet besser (= flinker) regeln. Daher können für Wärmespeichersysteme in offenen Warmluftkreisläufen zusätzliche Regelungsvorrichtungen für folgende Funktionen erwogen werden:

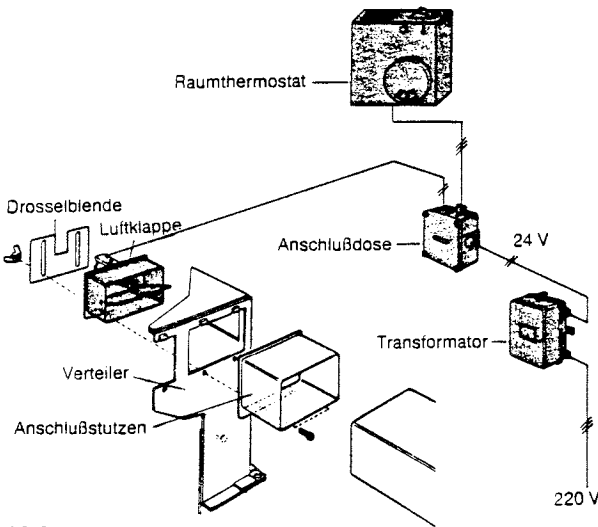
- Speicherbeladung: thermostatisch gesteuert; nach der direkten Deckung von Wärmedefiziten in den Defizitbereichen im Gebäude durch die hybrid erwärmte Luft erfolgt automatisch das Öffnen von Luftklappen zur Einbeziehung der Speicherbauteile in den Warmluftkreislauf.
- Beladung von Speicherabschnitten: Beladung eines Speicherabschnittes bis zum Erreichen der optimalen Speichertemperatur. Danach Öffnen von Klappen zur Beladung weiterer Abschnitte. Mit Hilfe dieser Regelung können auch geringe Mengen eingestrahelter oder intern auftretender Wärmemengen gespeichert werden.
- Speicherentladung: Umkehrung des Prinzips der Speicherbeladung. Bei Wärmebedarf öffnen sich die Luftklappen zu den Räumen, die durch die Speicherbauteile zirkulierende Luft nimmt Wärme auf und transportiert sie zu den Räumen, bis der Bedarf gedeckt ist oder sich Speicher- und Raumlufttemperatur auf gleichem Niveau befinden (kontrollierte Entladung, s. 3.2.2). Danach Deckung der Wärmedefizite über Zusatzheizung.
- Alternativ zur kontrollierten Entladung kann die Speicherentladung bei Vorliegen der entsprechenden Voraussetzungen (vgl. 3.2.2) auch unkontrolliert über Strahlung und freie Konvektion an der Speicherbauteil-Oberfläche vorgenommen werden. Der Entladevorgang gleicht in diesem Fall demjenigen der geschlossenen Systeme.

Die weiteren für die Regelung erforderlichen Regeleinrichtung (Thermostate, Klappen, Zeitschalter etc.) können den Angeboten der Hersteller von RLT-Anlagen entnommen werden, vgl. auch Abbildung auf der nächsten Seite.

Es wäre weiterhin die unmittelbare Einbeziehung der beladenen Speicherbauteile in den Rückluftstrom des aktiven WL-Heizkreislaufts zu überlegen. Die in den Speichermassen vorgewärmte Luft gelangt zur zentralen Luftaufbereitung und wird dort bei Bedarf zusätzlich erwärmt und über die Grund- und Einzelraumregelung weiter an die Wärmedefizit-Bereiche im Gebäude verteilt. Durch eine By-Pass-Luftführung werden entladene Speichermassen vom Luftkreislauf abgekoppelt, um unnötige Verzögerungen durch die thermisch träge reagierenden Massen zu verhindern. Aus den gleichen und den in 3.3.3.1 beschriebenen Gründen erscheint die Einbeziehung der Speichermassen in den Zuluftstrom (für den Systemeinsatz im Wohnungsbau) weniger sinnvoll.



Die Grundregelung besteht aus einem Regelgerät (1) einem Sollwertgeber (2) einem Umluftfühler (3) einem Zuluftfühler (4) zur Rückmeldung oder als Minimalbegrenzer sowie einem motorgesteuerten Dreiwegeventil (5) Ventilatorsteuerung (6)



Dies ist die übliche Ausführung zur Raumtemperaturregelung. Die Hälfte bis zwei Drittel der Luftleitungen, welche zur Beheizung eines Raumes vorgesehen sind, werden mit Luftklappen versehen. Ein Raumthermostat öffnet oder schließt die im Verteiler installierten Luftklappen. Der Verteiler wird mit einer Revisionsöffnung versehen, so daß die Luftklappen zur Funktionsprüfung zugänglich bleiben.

Abb. n. /S07/

4.4.4 Bauelemente zur Luftverteilung in RLT-Anlagen

4.4.4.1 Kanalwerkstoffe

Die gebräuchlichsten Kanalwerkstoffe sind in der folgenden Übersicht zusammengefaßt (n. /L03/S.79):

	Kanalwerkstoffe			
	Stahlblech	Mauwerk und Beton	Steinzeug	Kunststoff
Aufbau	starre und flexible Ausführung, Längsnaht geschweißt oder gefügt, Krümmen bei kleinem Querschnitts gepreßt, bei größeren gerollt und gebildet, spiralförmige Wickelrohre	starre Ausführung, Bogen und Abzweige mit Ventillösen, innerflächen verputzt, verputzt, gewalnet oder gefügt	starre Ausführung, Rohre, Kanäle und Formstücke	starre und flexible Ausführung, überwiegend PVC (Vinidur und Trovidur), PE und PP möglich, Rohre, Kanäle und Formstücke
Querschnittsform	rund, flachoval, rechteckig oder quadratisch	rechteckig oder quadratisch	rund, rechteckig oder quadratisch	rund, bei PVC rechteckig und quadratisch möglich
Korrosionsbeständigkeit	relativ gut bei verzinkter Ausführung, Schwarzbleche mit Spezialanstrichen	gut bei innerflächen mit säurebeständigen Fliesen oder Anstrich	sehr gut	sehr gut gegen fast alle aggressiven Gase und Dämpfe
Raumgehalt	starre Kanäle 0,15 mm flexible Kanäle 0,5-2,0 mm	0,5-5,0 mm	0,1-0,15 mm	0,10 mm 0,5-2,0 mm
Wärmeleitfähigkeit	32-48 kcal/m x grad	0,80-1,75 kcal/m x grad	0,90-1,35 kcal/m x grad	0,14-0,16 kcal/m x grad
Befestigungsmöglichkeit	Aufhängung mittels Rohrschellen oder Flansch- und Winkelankerschlösschen	feste Verbindung mit dem Gebäude	Aufhängung mittels Rohrschellen, Rohrschellen oder Ruggeln; punktuelle Unterstützung durch Halbochsen	lose aufliegend auf Hängkonstruktion (Wärmeausdehnung)
Verbindung	gebördelt, lose Flansche, Nippelverbindung, Sickenstreifen, Schieber	gemauert oder gegossen	Muffen- oder Nut- und Falzverbindungen	PVC: heißluftschweißen und Kleben PE: Spiegelschweißen PP: Kleben
Vor- und Nachteile	geringes Gewicht, leichte Montage, sehr stabil, geringe Feuerbeständigkeit, individuelle Anfertigung möglich	gute Stabilität, feuerbeständig, vorteilhaft für große Querschnitte und sehr steile Böden	sehr hohes Gewicht, aufwendige Montage, leicht zerbrüchlich, feuerbeständig, verschweißbare Größen und Formstücke erhältlich, hauptsächlich Verwendung bei aggressiven Gasen und Dämpfen	geringes Gewicht, leichte Montage, bei Klebe-Bruchgefahr von PVC keine Feuerbeständigkeit, sehr viele Größen und Formstücke lieferbar

Übersicht der wichtigsten Kanalwerkstoffe

4.4.4.2 Luftdurchlässe

	Lochgitter und Drehgitter	Steggitter mit waagrechter Luftlenkung	Steggitter mit senkrechter Luftlenkung	Steggitter, doppelte Luftlenkung, waagrecht und senkrecht	Steggitter, einfache Luftlenkung und Mengeneinstellung	Steggitter, doppelte Luftlenkung und Mengeneinstellung	Schlitzgitter	Düsen
Abbildung								
Aufbau	mit und ohne Mengeneinstellung durch Jalousien oder Schlitzschieber	Steg fest oder drehbar	Steg fest oder drehbar	Steg einzeln oder insgesamt drehbar	Mengeneinstellung durch V-Jalousie oder Lamellen-Jalousie oder Einstellzunge	Mengeneinstellung durch V-Jalousie oder Lamellen-Jalousie oder Einstellzunge	mit senkrechten feststehenden Stäben, rund oder viereckig	rund und rechteckig
Wirkungsweise	Luftstrom senkrecht zum Gitter	Luftlenkung durch waagrechte Stege, Luftstrom gerade, divergierend, konvergierend	Luftlenkung durch senkrechte Stege, Luftstrom gerade, divergierend, konvergierend	Luftlenkung durch waagere. und senkre. Stege, hintere Stege auch zur Luftmengeneinstellung	Luftlenkung durch waagrechte Stege	Luftlenkung durch waagrechte und senkrechte Stege	Luftstrom senkrecht zum Gitter, gute Mischwirkung	Luftstrom in Querschnitte, große Wurfweite
Verwendung	Zuluft, bei Abluft ohne Mengeneinstellung	Zuluft	Zuluft	Zuluft	Zuluft	Zuluft	Zuluft besonders für Kaltluft, Abluft	Zuluft für tiefe Räume
Einbau	Wand und Decke	Wand und Decke	Wand und Decke	Wand und Decke	Wand und Decke	Wand und Decke	Wand, Decke und Fußboden	Wand

	Quadratische Luftverteiler (Anemostate)	Rechteckige Luftverteiler (Anemostate)	Halbkreisförmige Luftverteiler (Anemostate)	Lochplattenluftdurchlässe	Lochdecke	Plattenluftverteiler	Runde konische Luftverteiler (Anemostate)
Abbildung							
Aufbau	in Decke oder unter Decke mit Abluftöffnung, verstellbar oder fest	einseitig, zweiseitig, Sonderform des quadratischen Luftverters	Sonderform des runden konischen Luftverters	Platte aus Blech, Gips usw.	abgehängte Decke, Lochplatten aus Gips, Stahlblech, Alu-Blech, Hartfaserstoffe usw.	eine oder mehrere Platten, fest oder verstellbar	a fest o. verstellbar b fest o. verstellbar c mit Abluftansaugung
Wirkungsweise	Luftstrom pyramidenförmig gefächert nach unten gerichtet	Luftstrom pyramidenförmig gefächert	Luftstrom halbkugelförmig nach unten gerichtet	Luftstrom senkrecht zur Platte	Luftstrom senkrecht zur Decke, gleichmäßige Luftverteilung im Raum	Luftlenkung waagrecht oder schräg je nach Plattenstellung	Luftstrom kegelförmig gefächert nach unten gerichtet
Verwendung	Zuluft, Zu- und Abluft kombiniert	Zuluft	Zuluft	Zu- und Abluft	Zu- und Abluft	Zuluft Abluft	a Zuluft b Zuluft c Zu- und Abluft kombiniert
Einbau	Decke	einseitig für Wand und Decke, zweiseitig für Decke	Wand und Decke	Decke	Decke	Decke	Decke

Abb. n. /L03/(S.88) Übersicht verschiedener Luftdurchlässe

4.4.4.3 Anordnung von Luftdurchlässen

S. Übersicht nächste Seite.

4.4.4.4 By-Pass-Luftführungen

Sogenannte By-Pass-Luftführungen dienen in erster Linie dazu, die Speichermassen oder bestimmte Peripherie je nach Bedarf vom Luftstrom an- oder wieder abzukoppeln. In offenen Systemkreisläufen sind sie daher von besonderer Bedeutung.

In geschlossenen Systemen können sie dazu benutzt werden, den Verbund der Speicherbauteile in einzelne Speicherabschnitte zu unterteilen.

Abhängig von Ausbaustufe und Ausstattung eines offenen Systems können sich folgende By-Pass-Luftführungen ergeben:

- Speicher-By-Pass: Dieser By-Pass ist der wichtigste für den Systembetrieb. Die thermisch träge reagierenden Speichermassen können vom Luftstrom abgekoppelt werden, wodurch alle Eigenschaften des flinken Wärmeträgermediums Luft erhalten bleiben.
- By-Pass zur Beladung von Speicherabschnitten: Luftführung zur abschnittweisen Be- und Entladung der Speicherbauteile vgl. 4.4.3; vgl. Abb. bei 7.4.

(Fortsetzung übernächste Seite —————>)

Luftdurchlässe und ihre Anordnung

	Zuluft		Bemerkungen
	warm	kalt	
Luftführung von unten nach oben: Idealfall			Warmluft steigt von selbst, da spezifisch leichter als Raumluft, Strahlenbildung oberhalb der Aufenthaltszone, keine Zugbelastigung Kaltluft will sich am Boden ablagern, wird durch nachströmende Luft nach oben gedrückt, gute Raumdurchspülung, keine Zugerscheinung
von einer Seite			Warmluft steigt direkt nach oben, Kurzschlußgefahr, begrenzte Wurfweite, Gefahr von Totzone auf Luftdurchlaß abgewandter Seite Kaltluft bleibt am Boden, wird durch nachströmende Luft in den Raum geschoben, gute Raumdurchspülung, Zuggefahr in Nähe Zuluftgitter
Querlüftung			Warmluft steigt direkt nach oben, bewegt sich unter Decke in Richtung Abluftgitter, begrenzte Wurfweite, Totzonengröße unterhalb Abluftgitter abhängig von Raumtiefe Kaltluft durchströmt gesamte Raumtiefe, Totzone über Aufenthaltsbereich nahe Zuluftgitter, Zuggefahr
Deckenlüftung			bei Warmluft Kurzschlußgefahr, schlechte Raumdurchspülung, große Totzonen Kaltluft durchströmt gesamte Raumtiefe, Zuggefahr
Luftführung von oben nach unten: Idealfall			Warmluft möchte sich unter der Decke anlagern, wird durch nachströmende Luft nach unten gedrückt, gleichmäßige Durchspülung, keine Zugerscheinung Kaltluft fällt nach unten, Strahlenbildung, örtliche Obergeschwindigkeiten werden als Zug empfunden
von einer Seite			Warmluft wird unter Decke in den Raum gedrückt, fällt durch Abkühlung nach unten, gute Raumdurchspülung bei Kaltluft Kurzschlußgefahr, Zuggefahr, schlechte Durchspülung, stark begrenzte Wurfweite, Totzone auf Durchlaß abgewandter Seite
Querlüftung			Warmluft wird unter Decke in den Raum gedrückt, fällt durch Abkühlung nach unten, Totzone unterhalb Zuluftöffnung Kaltluft fällt direkt nach unten, Zugerscheinung, Totzone auf Zuluft abgewandter Seite, schlechte Durchspülung
Lochdecke			ausgezeichnete Luftverteilung bei Warmluft, sehr gute Raumdurchspülung besonders bei niedrigen Räumen, keine Zugerscheinung bei Kaltluft gleiche Luftverteilung wie bei Warmluft, jedoch Zuggefahr bei niedrigen Räumen
Anemostat			Warmluft wird kegelförmig gefächert nach unten gedrückt, gute Raumdurchspülung, keine Zugerscheinung Kaltluft fällt direkt nach unten, schlechtere Luftverteilung als bei Warmluft, Totzonen im Deckenbereich, Zuggefahr
Luftführung von oben nach unten: von einer Seite			Warmluft wird unter Decke in den Raum gedrückt, große Wurfweite, schlechte Raumdurchspülung, Kurzschlußgefahr Kaltluft fällt direkt nach unten, Zuggefahr, Totzone auf Zuluft abgewandter Seite, Kurzschlußgefahr, schlechte Raumdurchspülung
Querlüftung			Warmluft wird unter Decke durch den Raum gedrückt, Raumdurchspülung nur durch Induktionswirkung, Totzonen, schlechte Raumdurchspülung Kaltluft fällt nach unten und erwärmt sich, Zuggefahr, Totzonen, schlechte Raumdurchspülung
Deckenlüftung (Anemostat)			Warmluft wird kegelförmig gefächert nach unten gedrückt, Kurzschlußgefahr, da Abluft über Anemostatenmitte, gute Raumdurchspülung bei Kaltluft gleiche Luftverteilung wie bei Warmluft, jedoch Totzonen im Deckenbereich, Zuggefahr

Möglichkeiten der Luftführung

Übersicht n. /L03/(S.87)

- Wärmeverschiebungs-By-Pass: Transport des solar erwärmten Wärmeträgermediums in angrenzende Räume zur direkten Deckung des Wärmebedarfs ohne Umweg über die Speicherbauteile (Verteilung durch zentrale Luftaufbereitung).
- Umluft-By-Pass: Umschaltung von Misch- auf Umluftbetrieb.
- Sommer-By-Pass am Rekuperativ-Wärmerückgewinner.
- By-Pass-Luftherhitzer: Abkoppelung des Luftherhitzers für reinen Lüftungs- bzw. hybriden Heizbetrieb.

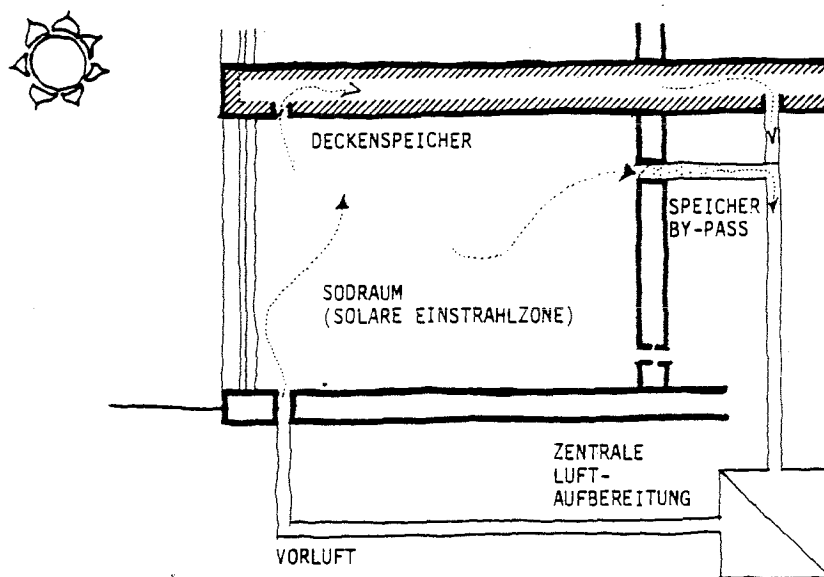


Abb.: Speicher-By-Pass in offenem Systemkreislauf

Soll das System im Wechsel offen/geschlossen betrieben werden können, bedarf es noch weiterer By-Pass Luftführungen (z.B. in Kombination mit einem solaren Luftkollektor der "Direkt-einspeisungs-By-Pass" und der "Kollektor-Kombinations-By-Pass", s. Abb. b. 7.4). - Welche By-Pass-Luftführungen für den Systembetrieb letztlich erforderlich sind, richtet sich nach dem Grad der Bereitschaft des Nutzers zum aktiven Eingreifen in den Systembetrieb. Einige der beschriebenen und in den schematisierten Darstellungen bei 7.4 gezeigten By-Pass-Führungen sind aufwendig in Einrichtung und Regelung (sofern thermostatgesteuert).

Ein simples Beispiel für die Möglichkeit der Bewohner zum Eingreifen besteht darin, die Wohnungstüren zur Wärmeverschiebung geöffnet zu lassen. Diese Maßnahme kann eine By-Pass-Luftführung zur Wärmeverschiebung überflüssig werden lassen.

4.4.5 Luftfilterung in offenen Warmluft-Heizkreisläufen

4.4.5.1 Allgemeines zur Luftfilterung

Zur Vermeidung von Schadstoffübertragungen in/durch offene Luftkreisläufe muß die zirkulierende Luft permanent durch geeignete Filter von diesen Schadstoffen befreit werden.

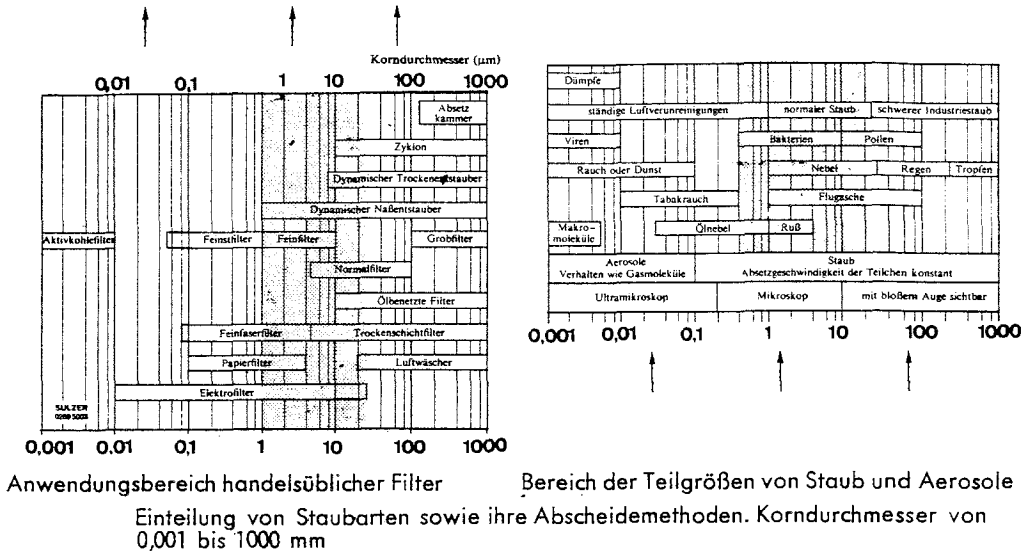


Abb. nach /I01/(S.13)

Mit Blick auf den in Kap.5 erörterten Problemschwerpunkt "Hygiene" soll die Thematik "Luftfilterung" an dieser Stelle eingehend behandelt werden. Darüber hinaus kann zusätzliche Information den angegebenen Quellen entnommen werden.

Filter dienen zur Abscheidung von Feststoffpartikeln (Staub, Pollen, mikrobielle Verunreinigungen etc.) der Luft. Anforderungen an Filter sind der Entstaubungsgrad, die Staubspeicherfähigkeit, eine leichtgängige Wartung und Reinigung (auch Standzeit = Betriebskosten) sowie der Luftwiderstand.

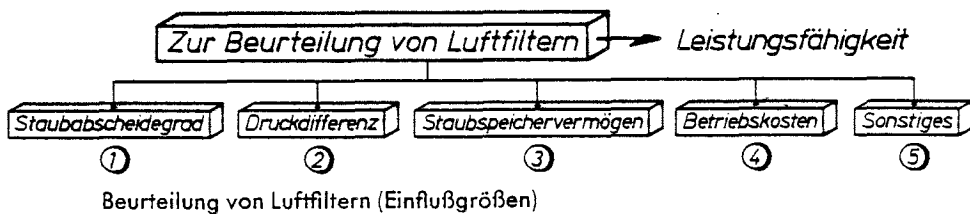


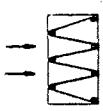
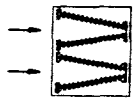
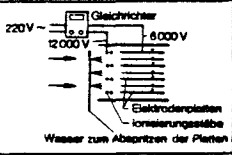

Abb. nach /L03/(S.16)

Filter haben zwei Aufgaben zu erfüllen: Vermeidung von Staub- und Schadstoffablagerungen in den Luftkanälen zur Verhinderung von daraus entstehenden Fäulnisherden sowie Gewährleistung von schadstoffarmer Luft aus hygienischen Gründen. Filter werden unterschieden nach Bauart und Filtermedium.

Die Einteilung der Filter erfolgt in 9 verschiedene Klassen gemäß ihres effektiven Abscheide- und Wirkungsgrades. nach DIN 24 185 ("Prüfung von Luftfiltern", Teil 1 und 2; DIN 24 185 entspricht der europäischen Norm Eurovent 4/5 und der amerikanischen Richtlinie ASHRAE 52-76).

Da sich die verschiedenen Staub- und Aerosolarten nicht mit

einer Filterart gleich gut und wirtschaftlich abscheiden lassen, müssen zur wirkungsvollen (Raum-) Luftfilterung in den meisten Fällen mehrere Filter (mechanische und elektrische) kombiniert werden.

	Tuchfilter	Trockenfilter	Elektrofilter	Aktivkohlefilter
Abbildung				
Aufbau	zickzackförmige, in einen Rahmen eingespannte Gewebe	Zellen in labyrinthiger oder zickzackförmiger Struktur bzw. Sack- oder Taschenfilter aus Papier, Glasfasern, Textilien, Kunstfasern, Asbest usw.	Ionisierungsteil mit Wolframdrähten und nachgeschaltetem Staubabscheidungssteil in Form eines Plattenkondensators mit positiv und negativ aufgeladenen Platten	Platten oder Patronen mit pulverisierter Aktivkohle gefüllt
Beuformen	meistens Schrägstromfilter, aber auch Vertikalfilter	Vertikalfilter, Schrägstromfilter, Kanalfilter	Zellenfilter, automatisches Umlauffilter	Zellen- oder Kanalfilter, Vertikal- oder Schrägstromfilter
Abmessungen	beliebig	Zellengröße meist 50 x 50 cm	handelsüblich sind Zellen 60 x 60 cm	beliebig
Wirkungsweise	Staubteile durch gespanntes Gewebe zurückgehalten	Tiefenfiltration durch den Schichtenaufbau	positive Aufladung der abzuscheidenden Partikel im Ionisierungsteil, dann Abscheidung an negativ aufgeladenen Platten des nachgeschalteten Feldes, Reinigung mittels Wasser	sehr gute Adsorption von Geruchsstoffen auf Grund großer wirksamer Oberfläche (1 g Aktivkohle = 2 cm ² besitzt ca. 1200 m ² Oberfläche)
Entstaubungsgrad	95-99 %	sehr hoch, bei hochwertigen Faserstofffiltern (sog. Schwebstofffiltern), teilweise über 99 % auch bei Partikeln < 0,5 µ, daher unbedingt Vorfilter erforderlich	gut auch bei Teilchen bis 0,1 µ, obere Abscheidungsgrenze 40 µ, auch Abscheidung von Rauch und Bakterien	
Belaubarkeit	0,05-0,2 m/s	bis 2,5 m/s	1-3 m/s, je nach gewünschtem Entstaubungsgrad, z. B. 90 % bei 1,7 m/s	1-1,3 m/s
Luftwiderstand	10-80 mm WS, je nach dem Verschmutzungsgrad	bei Schwebstofffiltern 20-100 mm WS, je nach Verschmutzungsgrad	sehr niedrig	5-10 mm WS
Lebensdauer	gering	Dauerfilter (Kunststofffilter) und Einwegfilter	praktisch unbegrenzt	Benutzungsdauer der Aktivkohle 3-12 Monate je nach Geruchsintensität der Luft
Vorteile		bei Kunststofffiltern leichte Reinigungsmöglichkeit, z. B. mit Wasser, geringe Wartung, geringe Einbaumaße, hohe Staubspeicherfähigkeit	geringe Bedienungskosten, geringer Luftwiderstand, geringe Betriebskosten (50-100 W als installierte Leistung für 10 000 m ³ /h Luftdurchsatz)	schädliche Gas- bzw. Dampfanteile sowie Geruchsstoffe, Ausdünstungen, radioaktive Dämpfe der Luft können zurückgehalten werden
Nachteile	großer Platzbedarf, leicht entflammbar, feuchtigkeitsempfindlich, geringe Lebensdauer	meist nur Einwegfilter, hohe Betriebskosten	teuer, Hochspannungsanlage für ca. 12 000 V erforderlich, nicht überall verwendbar, z. B. bei nassen Gasen und zur Explosion neigenden Staubarten	max. zulässige Lufttemperatur 35-40 °C, Vorfilter als Schutz erforderlich
Einsatz	selten noch verwendet	vorwiegend als Feinstfilter, Schwebstofffilter als Keimfilter	meist als Fein- oder Feinstfilter, Partikel > 40 µ nicht erfassbar	nur als Zusatzfilter für Außen-, Fort- und Umluft, falls Geruchsbeeinträchtigungen oder schädliche Gase in der Luft

Obersicht der gebräuchlichsten Luftfilter

Abb. n. /L03/(S.63)

Grundsätzlich bleibt festzuhalten: das Herausfiltern von mechanischen Verunreinigungen (Staub) wie auch von Aerosolen und Rauch aus der Luft ist für den Anforderungsbereich "Wohnen" mit der vorhandenen Filtertechnologie nahezu vollständig möglich. Problematischer und aufwendiger ist das Filtern gasförmiger Komponenten (Teilchen im Größenbereich bis 0,01 µm), die in erster Linie als Gerüche wahrgenommen werden. Jedoch stehen auch dazu eine Reihe von Möglichkeiten zur Verfügung, wovon die Aktivkohlefilterung (Adsorptionsfilter) eine der gebräuchlichsten Methoden darstellt. Da jedoch in Wohngebäu-

den nur in seltenen Fällen entsprechende Spezialfilter zu diesem Zweck eingesetzt werden (zumal eine gewisse Geruchsabscheidung bereits durch Elektrofilter (s.u.) erreicht werden kann), sei hier nur auf die einschlägigen Quellen verwiesen (/I01/, /R03/).

Luftfilter-Klasseneinteilung nach DIN 24185, Teil 2 - 10.80 (entspricht Eurovent-Klasseneinteilung)

Filterklassen nach DIN 24185 Teil 2 ¹⁾			Filterklassen nach DIN 24185 Teil 100, Entwurf Februar 1978			Einteilung der Güteklassen nach StF ²⁾	
Filterklasse	Mittlerer Abscheidegrad gegenüber synthetischem Staub in %	Mittlerer Wirkungsgrad gegenüber atmosphärischem Staub in %	Filterklasse	Mittlerer Abscheidegrad gegenüber synthetischem Staub in %	Mittlerer Wirkungsgrad gegenüber atmosphärischem Staub in %	Güteklasse	Bezeichnung
EU 1	$A_m < 65$	-	A	$A_m < 65$	-	A	Grobstaub- oder Vorfilter
EU 2	$65 \leq A_m < 80$	-	B ₁	$65 \leq A_m < 80$	-	B	Feinstaubfilter
EU 3	$80 \leq A_m < 90$	-	B ₂	$80 \leq A_m < 95$	$30 \leq E_m < 45$		
EU 4	$90 \leq A_m$	-					
EU 5	-	$40 \leq E_m < 60$	C ₁	-	$45 \leq E_m < 75$	C	Hochwertige Feinstaubfilter
EU 6	-	$60 \leq E_m < 80$					
EU 7	-	$80 \leq E_m < 90$	C ₂	-	$75 \leq E_m < 90$		
EU 8	-	$90 \leq E_m < 95$	C ₃	-	$90 \leq E_m$		
EU 9 ³⁾	-	$95 \leq E_m$	-	-	-		

¹⁾ Die Luftfilter-Klasseneinteilung nach DIN 24185 Teil 2 entspricht der vom EUROVENT beschlossenen europäischen Klasseneinteilung, die zur weiteren Beratung an die ISO weitergeleitet wird (EUROVENT - Europäisches Komitee der Hersteller von Lüfttechnischen und Trocknungsanlagen, Lyoner Straße 18, 6000 Frankfurt/Main 71).

²⁾ Die Einteilung der Güteklassen nach den „Richtlinien zur Prüfung von Filtern für die Lüftungs- und Klimatechnik“, herausgegeben vom Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., Bonn (StF), wurde durch die Luftfilter-Klasseneinteilung nach DIN 24185 Teil 100, Entwurf Februar 1978, ersetzt.

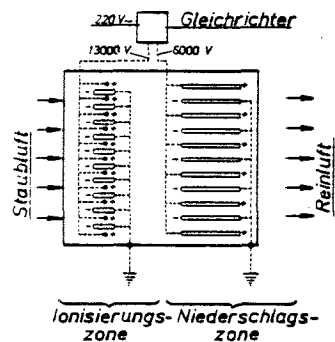
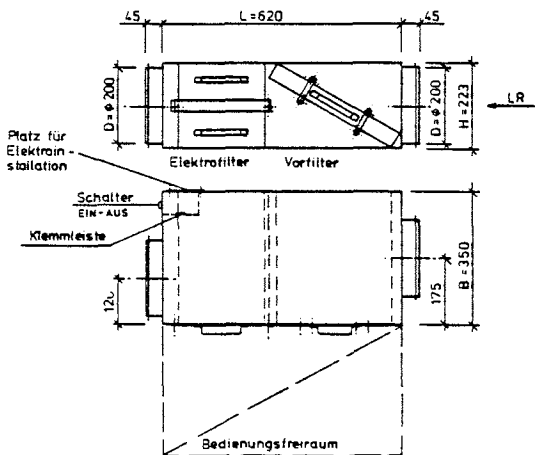
³⁾ Luftfilter mit einem hohen mittleren Wirkungsgrad können bereits einer Schwebstofffilter-Klasse nach DIN 24184 „Typprüfung von Schwebstofffiltern“ entsprechen.

Abb. n. /R03/(S.939)

4.4.5.2 Luftfilterung in offen betriebenen Systemen mit warm-luftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen

Die Filterwahl und die Filteranordnung erfolgt in Anlehnung an konventionelle Luftheizungssysteme; danach empfiehlt sich die Luftfilterung an folgenden Stellen im System:

- Zentrale Umluftfilterung in der Warmluftheizungs-/Lüftungseinrichtung. Diese besteht üblicherweise aus mechanischem Vorfilter mit nachgeordnetem elektrostatischem Filter. - Durch diese Filterung wird die Umluft ständig von Staubpartikeln, Rauch und Aerosolen gereinigt. Zum Einsatz kommen dabei mechanische Filter der Klassen EU 5 bis EU 7, in besonderen Fällen auch bis EU9 (Vorschaltung eines zusätzlichen mechanischen Grobfilters möglich).



Wirkungsweise

Abb. n. /F06/ und /I01/(S.31)

Wirkungsweise des Elektrofilters (zur Abbildung auf der vorausgegangenen Seite:

In der Ionisierungszone des Elektrofilters werden die vorhandenen Schwebeteilchen wie Viren, Pollen, Bakterien, Pilzsporen und Tabakrauch in der Luft elektrostatisch (positiv) aufgeladen. Danach strömt die Luft mit den geladenen Staubteilchen durch das Kraftfeld eines sog. Kollektors, der kondensatorartig aufgebaut ist (Niederschlagszone). Von den negativen Platten werden die Staubteilchen abgelenkt und angezogen: der Staub scheidet sich ab. Bei Feinstäuben schlägt sich z.B. Rauch infolge Gasentladung an einer Gegenelektrode wieder.

Durch die durch den Ionisationseffekt bedingte Freisetzung von Ozon werden Geruchsstoffe in der Luft chemisch gebunden (absorbiert) und damit zerstört. Eine Geruchsreduzierung wird damit praktisch als Nebenwirkung erreicht.

- Die Zu- und Abluft wird direkt an den Entnahme- bzw. Ausblasstellen gefiltert. Bei Abluftwärmerückgewinnung erfolgt die Filterung zweckmäßigerweise direkt im Gerät. - Dazu werden mechanische Filter entsprechender Filterklassen eingesetzt (EU 7). Der Zuluftfilter dient der Abscheidung von Partikeln in der Außenluft, um diese vom Eindringen in den Plattenwärmetauscher und in den Systemkreislauf auszuschließen. Der Abluftfilter hat in erster Linie die Aufgabe, die Platten des Wärmetauschers vor Verunreinigungen, die zu einem drastischen Abfall des Wärmerückgewinnungs-Wirkungsgrades führen können, zu schützen.
- Zusätzlich empfiehlt sich eine Filterung an den Entnahmestellen der Abluft im Gebäude, also in Küche, Bad und WC. Dabei ist insbesondere ein wirksamer Filter am Wrasenabzug (Fettfilter) in der Küche für die Reinhaltung der RLT-Anlage von Bedeutung.

Standzeiten, Reinigung und Wartung der Filter sind abhängig von der Beanspruchung. In der Regel können die mechanischen Filtereinsätze 6 - 10 mal gereinigt werden, bevor sie gegen neue Elemente ausgetauscht werden müssen. Die Elektrofilter haben funktionsbedingt unbegrenzte Standzeiten, ihre Reinigung erfolgt durch Auswaschen der Niederschlagszone. Die Reinigungsarbeiten sind leicht zu bewerkstelligen, ebenso das Austauschen der Elemente. Diese Arbeiten können von den Nutzern bzw. Bewohnern selbst durchgeführt werden. Zeitlicher und finanzieller Aufwand sind gering.

4.4.6 Raumluf-Befeuchtung

Zu den allgemeinen Aspekten der Raumluf-Befeuchtung siehe Kapitel 5.2.3.

Bei der Planung der offener Systeme kann der Anschluß für eine Befeuchtungseinrichtung vorgesehen werden. Unterschiedliche Systeme sind in den Angebotspaletten aller Lufthei-

zungs-Hersteller und -Vertreiber enthalten. Die Anordnung im System erfolgt zentral und wird über Meßfühler automatisch gesteuert. Systemintegration und Einbau sind problemlos.

Üblich für lufttechnische Anlagen sind die sog. "elektrischen Dampfluftbefeuchter". Dazu ist ein elektrischer Anschluß vorzusehen (3 - 6 kW Anschlußleistung).

4.4.7 Maßnahmen zum Schallschutz in RLT-Anlagen

Wie in 5.3 aufgezeigt, muß bei RLT-Anlagen besonderes Augenmerk auf mögliche akustische Probleme gerichtet werden.

Die wichtigsten Schallschutz-Vorschriften:

- DIN 4109 "Schallschutz im Hochbau";
- VDI Richtlinie 1081 "Lärminderung bei raumlufttechnischen Anlagen";
- DIN 52 221 "Körperschallmessungen für haustechnische Anlagen"; VDI 2567 "Schallschutz durch Schalldämpfer".

Es gibt mehrere Möglichkeiten, eine Geräuschreduzierung von RLT-Anlagen zu erreichen:

- Geeignete akustische Auslegung bereits bei der Projektierung; natürliche Schalldämpfung: Eigendämpfung in der Anlage. Diese ist bedeutend für offene wie für geschlossene Systeme, da in beiden Strömungsgeräusche auftreten können. Die Dämpfung in den Hohlräumen ist abhängig von:
 - Kanalmaterial,
 - Durchmesser bzw. Verhältnis Umfang : freiem Querschnitt,
 - Blechdicke und Befestigungsart sowie
 - Luftgeschwindigkeit.

Die Dämpfung von schweren Baustoffen und Bauteilen ist im allgemeinen vernachlässigbar gering, bedingt durch ihre hohe Masse besitzen sie jedoch eine hohe Schalldämmung.

Bei offenen Systemen, die über direkte Anschlüsse an die Räume verfügen und dementsprechend den Schall unmittelbar in die Luft übertragen, ist die Eigendämpfung besonders wichtig. Speziell für offene Systeme besteht die Möglichkeit der Dämpfung durch die Luftauslässe ("Mündungsreflexion"), wobei bei jeder Kanal- oder Hohlraumöffnung ein Teil des Schalls wieder in den Kanal reflektiert wird. Bei geschlossenen Systemen findet konstruktionsbedingt zusätzlich eine mehr oder weniger wirkungsvolle Schalldämmung statt.

- Behebung der Ursache unerwünschter Geräuschenstehung oder -ausbreitung (Wahl geräuschärmerer Ventilatoren, Drosselung der Drehzahlen und Luftgeschwindigkeiten)
- Schalldämmung und -dämpfung mittels geeigneter Bauteile oder spezieller Dämmungs- und Dämpfungseinrichtungen (künstliche Schalldämpfer). Bei offenen Systemen (bei geschlossenen in besonderen Fällen auch möglich) können zu-

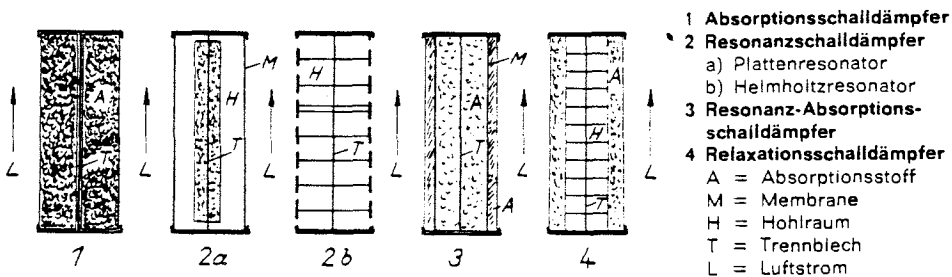
sätzliche Schalldämpfmaßnahmen ergriffen werden. Für die verschiedenen Einsatzarten und -zwecke stehen dazu unterschiedliche Schalldämpfer zur Verfügung und werden von den bekannten Luftheizungsherstellern angeboten und eingesetzt (technische Merkblätter).

Kanalstrecke	Umlenkung	Abzweigung	Querschnittsprung	Luftdurchlass
Dämpfung durch Mitschwingen der Kanalwände, abhängig von Querschnitt, Material und Resonanzfrequenz; bei Blech, Hartgips, Gipskarton gute Dämpfung, bei Beton und Mauerwerk kaum Dämpfung; rechteckige Querschnitte günstiger als quadratische und runde	Dämpfung durch Reflexion: eckige Umlenkung günstiger als ausgerundete; Leitbleche vermindern Dämpfung, Dämmstoffauskleidung hinter der Umlenkung erhöht die Dämpfung	Dämpfung durch Reflexion und Mitschwingen, abhängig vom Querschnittsverhältnis des Abzweiges zum Kanal vor dem Abzweig; Dämpfung frequenzunabhängig	Dämpfung durch Reflexion, gleiche Wirkung bei Erweiterung oder Verengung; einfacher Querschnittsprung frequenzunabhängig, doppelter frequenzabhängig	Dämpfung durch Mündungsreflexion, abhängig von Frequenz und Kanalquerschnitt

Wirkungsweise verschiedener Bauelemente bei natürlicher Schalldämpfung

Abb. n. /180/(S.83)

Schalldämpfer werden unmittelbar hinter einer Geräuschquelle an den Verteilerkästen oder direkt vor oder in den Luftauslässen angeordnet.



Verschiedene Schalldämpferkulisen

Abb. n. /I02/(S.276)

Da warmluftdurchströmte und wärmespeichernde Bauteile vorzugsweise aus schweren Baustoffen hergestellt werden, besitzen sie zwar ein nur geringes Schalldämpfvermögen, bedingt durch die hohe Masse jedoch sind ihre Schalldämmeigenschaften hervorzuheben, die sich bei der Verwendung in oder Koppelung mit RLT-Anlagen als vorteilhaft erweisen.

Nach derzeitigem Erkenntnisstand ist eine schalltechnische Beeinträchtigung, die Schallschutzmaßnahmen über den bei konventionellen RLT-Anlagen erforderlichen Rahmen hinaus notwendig machen könnte, durch den Einsatz von warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen nicht zu erwarten.

4.5 Graphische Zusammenfassung, schematischer Überblick:

Die Erörterung der vorausgegangenen Unterpunkte macht deutlich, daß die apparative Umgebung für offene Systeme wesentlich

komplexer ist als für geschlossene Kreisläufe.

Daher wird der auf der nächsten Seite der graphische Überblick über die Peripherie-Anordnung am Beispiel eines offenen Systems dargestellt.

Daß der größte Teil der für den Betrieb von Systemen mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen erforderlichen Peripherie-Einrichtungen von den Warmluftheizungs-Herstellern modularartig auf engstem Raum zusammengefaßt werden kann, zeigt die folgende Abbildung:

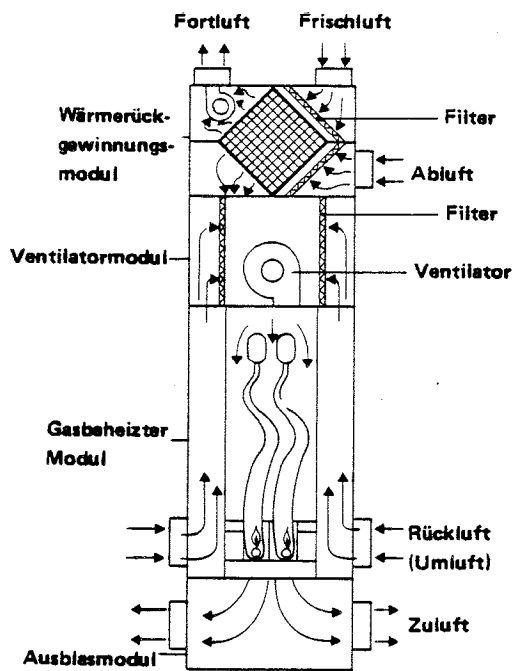
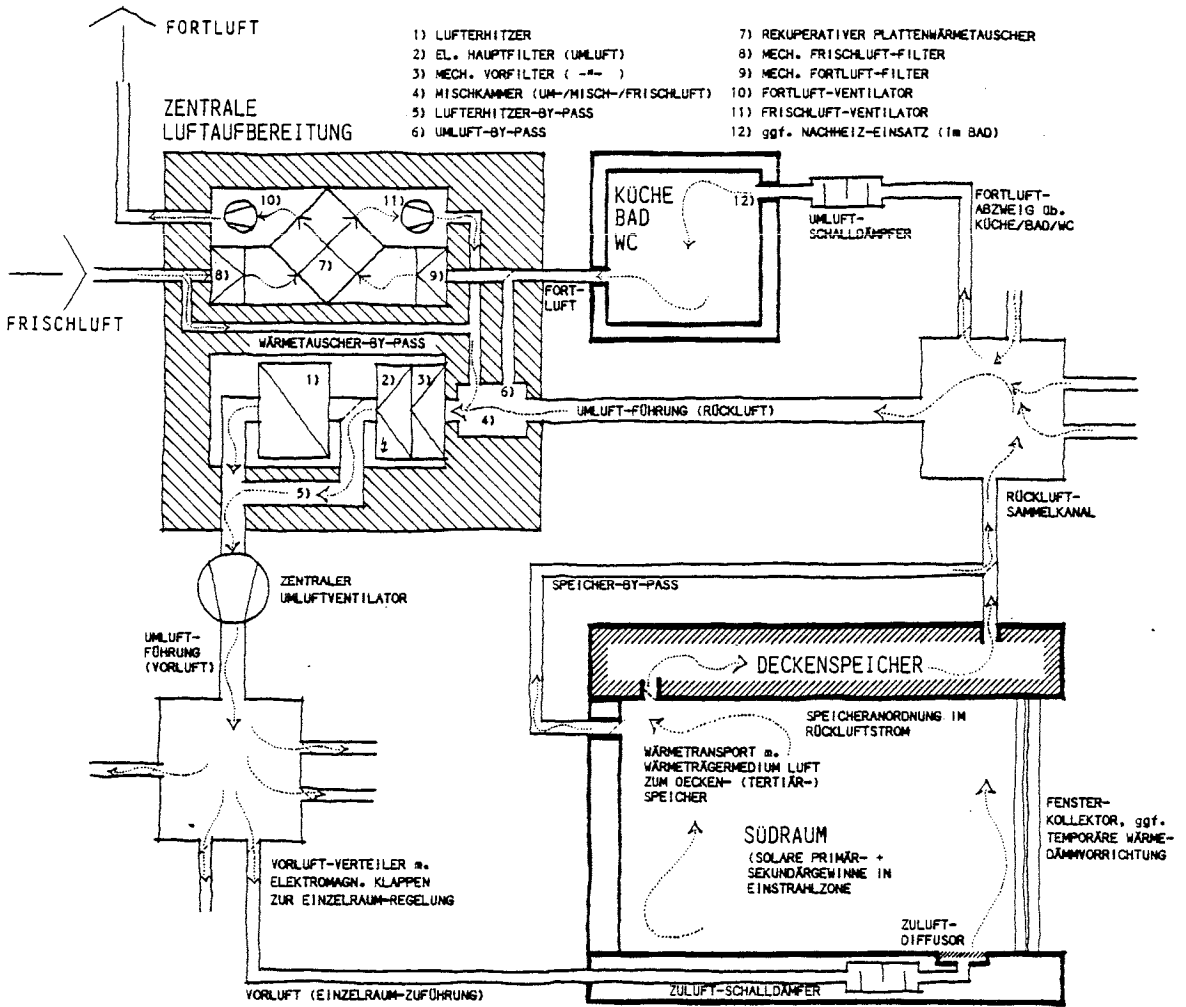


Abb. n. /B35/

(Graphische Peripherie-Übersicht s. nächste Seite —————>)

KAP. I.4 - SYSTEM-PERIPHERIE



ÜBERSICHT SYSTEM - PERIPHERIE

EINZELKOMPONENTEN, PERIPHERIE-ANORDNUNG
IN EINEM OFFENEN SYSTEM-KREISLAUF MIT
DECKENSPEICHER IM RÜCKLUFTSTROM

- SCHEMATISIERTE DARSTELLUNG -

Kap. I.5 - Aspekte der Behaglichkeit und Hygiene beim Betrieb von Luft-Heizkreisläufen mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen

5.1 Allgemeine Behaglichkeits- und Hygiene-Problematik bei dem/durch den Betrieb offener und geschlossener Systeme

Beim Betrieb von Luftheizsystemen mit warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen treten spezifische Probleme auf bezüglich möglicher Beeinträchtigungen der Behaglichkeit und der Gewährleistung eines hygienisch einwandfreien Raumklimas.

Erfahrungen über Art und Umfang möglicher, vom Systembetrieb ausgehender Störeinflüsse, die bis hin zu einer ernsthaften Gefährdung von Gesundheit und Wohlbefinden der Bewohner reichen können, liegen nur in sehr beschränktem Umfang vor. Aus dem Betrieb von (insbesondere offenen) Luftheizungssystemen sind eine Reihe von Störfaktoren bekannt, die aber nur zum Teil auf den Betrieb von Systemen mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen übertragen werden können.

Zwar wird, wie die Untersuchung in Abschnitt II zeigt, bereits eine Reihe derartiger Systeme praktisch erprobt und teilweise schon über Jahre betrieben; es finden sich - erstaunlicherweise - in den jeweiligen Systembeschreibungen und Forschungsberichten jedoch keinerlei Hinweise auf die Möglichkeit einer Beeinträchtigung von Behaglichkeit und Hygiene. - Es wäre gleichwohl unzulässig, aus diesem Umstand zu folgern, daß solche Probleme möglicherweise gar nicht oder lediglich in unbedenklichem Ausmaß auftreten.

Insbesondere in offen betriebenen Warmluft-Heizkreisläufen kann die Möglichkeit der Gefährdung von Wohlbefinden und Gesundheit durch ungünstige System-Betriebsweisen oder planerische Fehlkonzeptionen zur zentralen Problematik werden.

Als systembedingte Störfaktoren können auftreten:

- Beeinträchtigung der thermischen Behaglichkeit;
- akustische Beeinträchtigungen.
- Schadstoffentstehung und -übertragung durch den Systembetrieb;

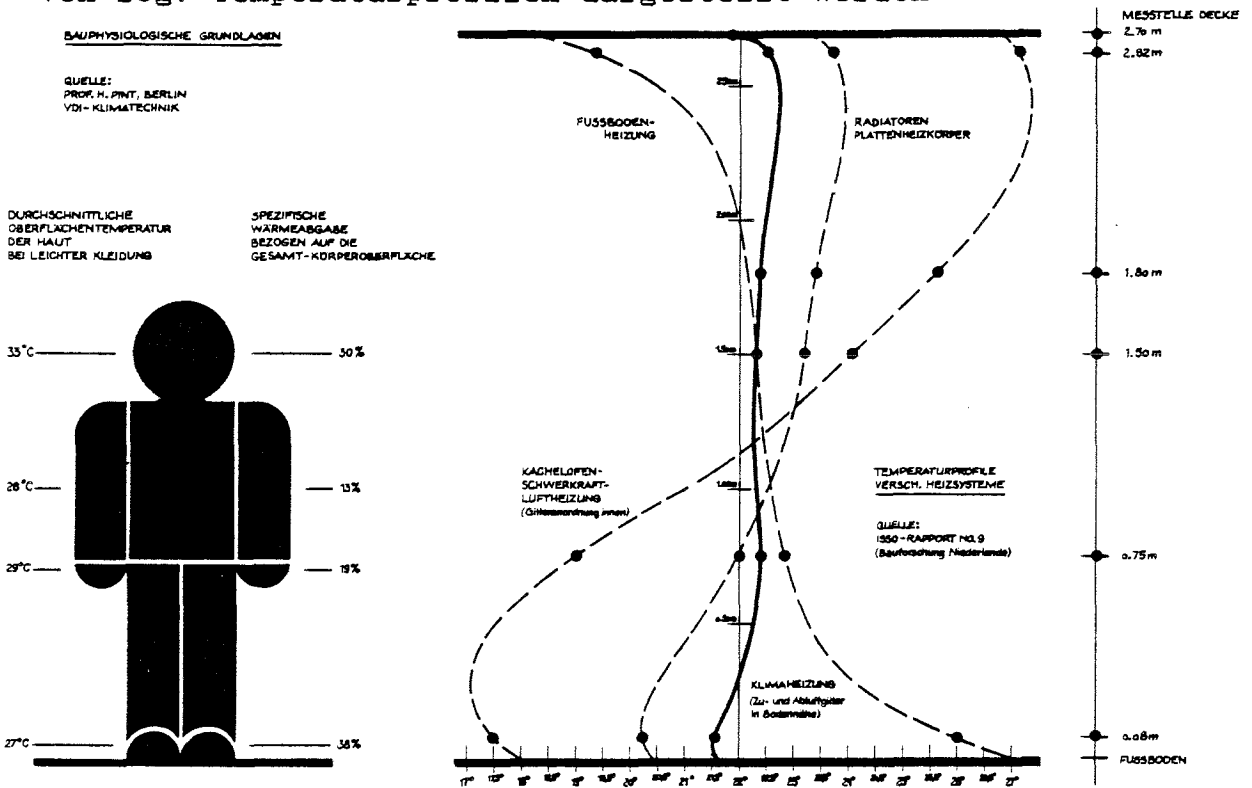
Offene Systemkreisläufe müssen in diesem Zusammenhang wegen ihres Betriebsmerkmals "Materieaustausch" (vgl. Kap. 2) als von vornherein problematischer beurteilt werden als geschlossene Systeme. Die offene Betriebsweise gibt weitaus mehr Anhaltspunkte für das Auftreten möglicher Störeinflüsse als der Betrieb geschlossener Systeme, wie bei der Erörterung der folgenden Punkte aufgezeigt werden wird.

5.2 Beeinflussung der thermischen Behaglichkeit durch den Systembetrieb

In 1.2 wurden als wesentliche Einflußfaktoren für das thermische Behaglichkeitsempfinden die Raumtemperatur, die Luftbewegung und die Luftfeuchte sowie die jeweiligen physikalischen Grenzwerte aufgezeigt. Während offene Systeme betriebsbedingt alle drei Faktoren beeinflussen, wird von den geschlossenen Systemen nur die Raumtemperatur beeinflusst.

5.2.1 Raumtemperatur

Von besonderer Bedeutung ist die Schichtung der Lufttemperatur in den beheizten Aufenthaltsräumen. Diese kann in Form von sog. Temperaturprofilen dargestellt werden:



Temperaturprofil in Bezug auf das gesundheitliche Wohlbefinden und Behaglichkeitsgefühl des Menschen

Abb.: Temperaturprofile verschiedener Heizsysteme n. /B35/

Der Darstellung ist zu entnehmen, daß das Temperaturprofil eines offenen Systemkreislaufs mit Zu- und Abluftgitteranordnung in Bodennähe in Bezug auf das Behaglichkeitsempfinden einen günstigeren Verlauf nimmt als das der (geschlossenen) Warmluft-Fußbodenheizung. Der für das offene Luftheizsystem gezeigte Verlauf des Temperaturprofils bewegt sich in fast allen Bereichen in der Nähe der als ideal betrachteten Temperatur von 22°C.

5.2.2 Raumluftgeschwindigkeit

Bei den offenen Systemen erfolgt der direkte und ständige

Austausch der aufbereiteten Luft mit der Raumluft, wodurch permanente Raumluftbewegungen zu verzeichnen sind. Nach Grün in /L13/ gilt: laminare Luftströme von $> 0,2$ m/s und einer Temperaturdifferenz von > 2 K werden als Zugerscheinungen empfunden. Bei Temperaturgleichheit und einer Raumtemperatur von 22°C sollte die Luftgeschwindigkeit $< 0,18$ m/s betragen und kann bis auf $0,3$ m/s bei 27°C ansteigen.

Zur Reduzierung der Luftstromgeschwindigkeiten ist daher der Luftstrom beim Eintritt in den Raum "abzubremsen". Dies kann geschehen mittels in die Auslaßöffnungen eingesetzter Diffusoren, die die Luftstromgeschwindigkeit direkt über oder vor den Auslaßöffnungen auf unter 1 m/s verringern, wodurch der o.a. Raummittelwert deutlich unterschritten werden kann. Technische Lösungen, die relativ hohe Strömungsgeschwindigkeiten (5 m/s) in den Kanälen erlauben und durch Querschnittsvergrößerungen und Diffusoren den Luftstrom an den Ausblasöffnungen bremsen, sind bei modernen Warmluftheizsystemen inzwischen Standard.

Darüberhinaus ist sind konstante und gleichmäßige, innerhalb der aufgezeigten Grenzen verlaufende Raumluftbewegungen als positives Behaglichkeitskriterium zu bewerten.

5.2.3 Raumluftfeuchte

Das Austrocknen von Raumluft (relative Luftfeuchte $< 30\%$) ist das gegenwärtige Problem nahezu sämtlicher zentraler Raumheizungssysteme und -methoden. (Vgl. n. Kap. 1 den direkten Zusammenhang zwischen Raumluftfeuchte und den physikalischen Eigenschaften der Baukonstruktion.)

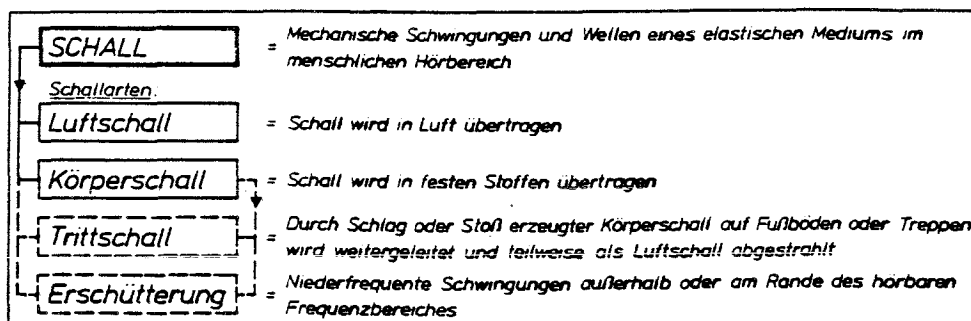
Von Seiten der Heizungshersteller wird angegeben, daß die zusätzliche Befeuchtung der Raumluft in Wohngebäuden während der Heizperiode unter "normalen" Bedingungen nicht erforderlich sei: "Deshalb wird geraten, die Luftbefeuchtung erst nach einem Winter einzubauen, wenn sich herausgestellt hat, daß sie wirklich nötig ist." /B18/(S.456) - Diesem Votum muß mit gewisser Skepsis begegnet werden, zumal beim vorzugsweisen Mischluftbetrieb offener Luftheizkreisläufe; der ständig zugemischte Frischluftanteil besitzt im Winter eine sehr geringe absolute Feuchte, so daß die Raumluft hierdurch weiter ausgetrocknet werden kann.

Um zu präzisen Angaben zu kommen, müßten die Zusammenhänge zwischen Raumluftfeuchte, Baukonstruktion und Heizungssystem unter besonderer Berücksichtigung des Wohnverhaltens der Nutzer (Feuchtigkeitsabgabe an die Raumluft durch Kochen, Waschen, Pflanzen etc.) praktisch untersucht und gemessen werden.

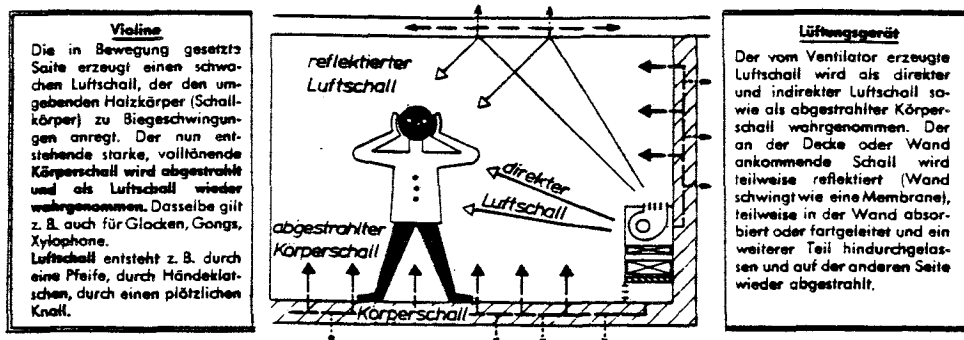
Offene Luftheizkreisläufe bieten als einziges Heizsystem die Möglichkeit der Systemintegration von Befeuchtungseinrichtungen, vgl. 4.4.6. - Anmerkung: Es wäre weiterhin zu untersuchen, inwiefern die Bewohner durch gezieltes Verhalten selbst auf den Feuchtegehalt der Raumluft einwirken und dadurch ggf.

den Einsatz technischer Einrichtungen überflüssig werden lassen könnten (Wäschetrocknen, Pflanzen-Anordnung etc.).

5.3 Geräuschbildung und Geräuschübertragung in Luftheizkreisläufen mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen



Schallarten



Gegendarstellung: Violine und Lüftungsgerät

Abb. n. /I02/(S.263)

Bedingt durch die Hohlräume in Luftheizsystemen (Kanäle etc., untereinander verbunden) kann es zu Geräuschbildungen bzw. -übertragungen kommen, die in den Räumen akustisch wahrnehmbar sein und auf diese Weise zu einer ernsthaften Beeinträchtigung des Behaglichkeitsempfindens führen können. - Dieses Problem trat insbesondere bei Luftheizungen älterer Bauart auf, die deshalb den Beinamen "Haustelefon" (Geräuschübertragung von Raum zu Raum) erhielten.

- Geräuschbildung: durch hohe Luftgeschwindigkeit in den Kanälen und Rohren können sog. Wind- oder Strömungsgeräusche entstehen;
- Geräuschübertragung: durch das Kanalnetz werden vorhandene Geräusche (aus der Heizzentrale oder aus anderen Räumen) per Luftschall übertragen.

5.3.1 Geräuschbildung

Dieser kann durch entsprechende Ausbildung der Anlage (Querschnitte, Abrundungsradien bei Umlenkungen, Luftstromgeschwindigkeit etc.) weitgehend entgegengewirkt werden. Ziel dabei ist es, eine möglichst große Eigendämpfung der Anlage zu erreichen.

In geschlossenen Systemen, in denen die Luft mit relativ hohen Geschwindigkeiten zirkulieren kann, tritt dieses Problem eher auf als in offenen. - Abhilfe kann in der Reduzierung der Luftstromgeschwindigkeit (etwa durch vergrößerte Leitungsquerschnitte) bestehen.

5.3.2 Geräuschübertragung

Durch das Kanalnetz raumluftechnischer Anlagen können Geräusche aus Nachbarräumen oder aus der Heizzentrale (Ventilator, Klappen-, Brennergeräusche) übertragen werden. Diese Problematik tritt insbesondere bei offenen Systemen auf. Zur Vorbeugung gegen diese Erscheinung muß die natürliche Schalldämpfung der Anlage möglichst groß sein, und es müssen künstliche Schalldämpfer, wie in 4.4.7 beschrieben, vorgesehen werden.

Unter Berücksichtigung der in 4.4.7 erörterten Schallschutzmaßnahmen kann eine Störung des Behaglichkeitsempfindens durch ungewünschte Geräuschübertragungen und -entstehungen beim Systembetrieb sowohl für geschlossene wie für offene Kreisläufe weitgehend ausgeschlossen werden.

5.4 Schadstoffübertragungen durch den offenen Luftkreislauf; Schadstoffbildung im System

5.4.1 Schadstoffübertragung

Durch den ständigen Austausch von Materie (das zirkulierende Wärmeträgermedium Luft) kann es in offenen Luftkreisläufen neben der gewünschten Übertragung von Wärme auch zu einer unerwünschten Übertragung von in der Luft enthaltenen Schadstoffen kommen, die durch den Systembetrieb permanent über den gesamten zu beheizenden Raum verteilt werden.

Die wichtigsten in der Raumluf enthaltenen Schadstoffe sind Staub, Pollen, Keime, Zigarettenrauch, Gerüche aus Küchen- und Sanitärbereichen etc..

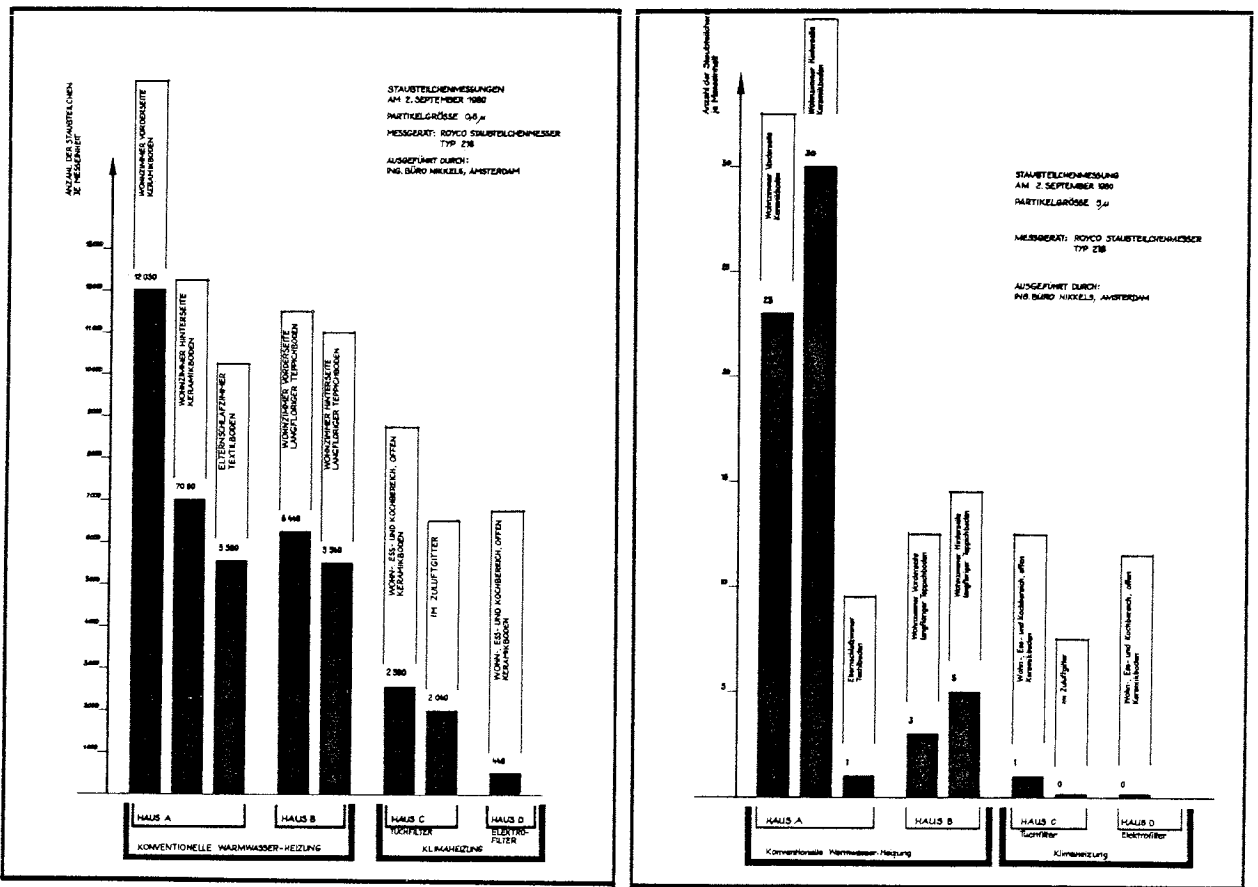
Ein Kubikmeter Luft enthält 40×10^6 Staubpartikel $> 0,3 \mu\text{m}$.
Partikeldurchmesser einzelner Schadstoffe:

Pollen:	10	-	100 μm
Keime:	0,35	-	10 μm
Zigarettenrauch:	0,01	-	1 μm

In den Wintermonaten liegt die Staubkonzentration durch die Vielzahl der in Betrieb befindlichen Heizungsanlagen um ca. 30% höher als im Sommer. - Um das Wärmeträgermedium nicht gleichzeitig zu einem Schadstoffträgermedium werden zu lassen, ist die ständige und wirkungsvolle Filterung der Umluft und, im Falle der kontrollierten mechanischen Außenluftzufuhr, der Zuluft erforderlich. Zu den Filterarten und -eigenschaften s. 4.4.5.

Die Möglichkeiten der modernen Filtertechnologie erlauben, bei entsprechender Anordnung und Beachtung der Filterstandzeiten, die nahezu vollständige Abscheidung aller in der Raumluft und der zugeführten Außenluft vorhandenen partikulären Verunreinigungen, so daß in der Konsequenz die Luft in mit offenen Warmluftheizsystemen beheizten Gebäuden weit weniger staub- und schadstoffhaltig ist als in Gebäuden mit konventioneller Warmwasserheizung (Fußboden- oder Radiatorenheizungen). Durch diese Maßnahme könnte es auf längere Sicht gesehen gelingen, Luftheizungsanlagen endgültig vom Stigma einer "Staubschleuder" zu befreien.

Staubteilchenmessungen in vier verschiedenen privaten Wohnhäusern, jeweils für 0,5 µ Partikelgröße (Feinstaub) und 5 µ Partikelgröße



(Die Häuser A + B sind mit konventionellen Warmwasser-Heizungen ausgestattet, die Häuser C + D mit Brink-Systemen. Das Haus D besitzt statt des serienmäßigen Tuchfilters einen Elektrofilter).

Abb. n. /B35/

Weitaus problematischer gestaltet sich nach /B13/ das Herausfiltern von Gasen, wozu auch Wasserdampf und Gerüche zählen, aus der Raumluft, s. dazu Anhang 1. (Im Rahmen dieses Forschungsauftrags wurde das spezielle hygienische Problemfeld von Herrn Prof. Dr. med. J. Beckert, Direktor des Instituts für Hygiene der Medizinischen Hochschule Lübeck, in Form einer gutachterlichen Stellungnahme zu dem Forschungsthema erläutert. In Anhang 1 wird das Gutachten im Wortlaut wiedergegeben.)

Aus diesem Grunde wird bei modernen, im Mischluftbetrieb arbeitenden Luftheizungssystemen dazu übergegangen, den Abluftanteil aus Küchen, Bädern und WC's zu entnehmen, so daß keine Geruchsübertragung auf andere Wohn- und Aufenthaltsräume mehr stattfinden kann, vgl. Abbildung bei 4.5. Durch diese Maßnahme kann das bisherige Problem der Geruchsübertragung in offenen Luftheizkreisläufen als zufriedenstellend gelöst angesehen werden.

5.4.2 Schadstoffbildung und -entstehung in Systemen mit warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen

Schadstoffentstehung durch den Systembetrieb ist auf zweierlei Arten möglich:

- Schadstoffemissionen aus den warmluftdurchströmten Bauteilen (materialabhängig);
- Schadstoffbildung durch den Systembetrieb selbst: Ablagerungen von Verunreinigungen auf den Oberflächen der durchströmten Bauteile, Bildung von Nährböden für mikrobielles Wachstum, insbesondere in Verbindung mit betriebsbedingter Unterschreitung der Taupunkttemperatur und damit verbundener Feuchtigkeitsniederschlag (Kondensation) im Systemkreislauf.

5.4.2.1 Schadstoffemission aus den Bauteilen

Über die in bestimmten Baustoffen enthaltenen bzw. in diesen vermuteten schädlichen bzw. schädigenden Bestandteile liegen derzeit noch keine ausreichenden wissenschaftlichen Erkenntnisse vor. Zudem herrscht in Fachkreisen Unsicherheit über die gesundheitsgefährdende Relevanz einiger in bestimmten Baustoffen nachgewiesenen und im Verdacht der Schädlichkeit stehenden Substanzen.

Zweifellos aber würde das mögliche Ausströmen schädlicher Stoffe aus Bauteilen durch einen konstanten (Warm-) Luftstrom begünstigt. - Zu den als gefährdend einzustufenden und in manchen Baustoffen vorkommenden Substanzen zählen:

- Formaldehyd (in industriell hergestellten Holzwerkstoffen);
- Asbest (zementgebundene Asbestwerkstoffe, früher oft in raumlufttechnischen Anlagen verwendet);
- sog. "lungengängige" Mineralfasern (in Dämmmaterialien);
- das radioaktive Gas Radon (das Zerfallsprodukt von Uran und anderen radioaktiven Elementen, enthalten in Naturgestein, Lehm und anderen Stoffen mit natürlichem Spurenanteil an radioaktiven Elementen, daher möglicherweise auch in Ziegeln und anderen Mauersteinen).

Für die Verwendung in den entsprechenden Systemen bietet es sich nach hygienischen Erfordernissen daher an, für die luftführenden Systemkomponenten nur auf solche Baustoffe zurückzugreifen, die bislang als unbedenklich gelten und frei von

der Emission toxischer Stoffe sind. - Einer bedenklichen Radon-Konzentration in der Raumluft kann durch ausreichenden Luftwechsel (Undichtigkeiten in der Gebäudehülle, Fensterlüftung oder vorzugsweise kontrollierte mechanische Lüftung) wirkungsvoll begegnet werden.

5.4.2.2 Schadstoffbildung durch den Systembetrieb

Während des längerfristigen Systembetriebs kann es, unter entsprechenden Betriebsbedingungen, auf den in dauerndem und direktem Kontakt mit dem Warmluftstrom befindlichen Bauteiloberflächen zu mikrobiellem Wachstum kommen. Durch die zirkulierende Luft würden damit die sich bildenden Schadstoffe (Schimmel etc.) im gesamten Gebäude verteilt. Die Gefahr mikrobiellen Wachstums ist insbesondere dann nicht auszuschließen, wenn durch Kondensation, also Feuchtigkeitsniederschlag im System, in Verbindung mit in der Luft enthaltenen Schadstoffen (Sporen, Bakterien etc.) oder ungeeigneten (organischen oder synthetischen) Baustoffen (s.u.) ein dieses Wachstum begünstigendes Milieu entstehen kann.

Dazu muß festgestellt werden, daß die luftdurchströmten Bauteile nach dem Einbau in der Regel nicht mehr zugänglich sein werden, eine Revision und Wartung der exponierten Kontaktflächen im Normalfall also nicht vorgesehen ist.

Einem Feuchtigkeitsniederschlag in den Bauteilen durch Unterschreitung der Taupunkttemperatur kann durch bestimmte Maßnahmen vorgebeugt werden, vollständig auszuschließen ist dieser jedoch nicht.

Zunächst ist es erforderlich, den Schadstoffgehalt der zirkulierenden Luft durch die bereits o.a. Umluftfilterung so gering wie möglich zu halten. Weiterhin ist die "Tiefentladung", also weitgehende Auskühlung der Speicherbauteile, zu vermeiden, da Kondensation fast immer die Folge des Kontaktes von feuchtwarmer Luft mit kühlen Bauteilflächen ist. Wenn Kondensation auftritt, ist nach /W10/ der Zeitraum bis zur vollständigen Wiederabtrocknung entscheidend dafür, ob sich mikrobielles Wachstum bilden kann oder nicht.

In diesem Zusammenhang ist auch die Möglichkeit der Kühlung (vgl. "Nachtluftkühlung" in 4.3.3) mit luftdurchströmten Speicherbauteilen unter den klimatischen Bedingungen mitteleuropäischer Sommermonate kritisch zu betrachten. In ariden (trocken warmen) Gebieten mit niedrigen relativen und absoluten Luftfeuchten kann diese Option dagegen durchaus sinnvoll sein.

5.5 Zusammenfassung der "Gutachterlichen Stellungnahme" über die Beurteilung offener Luftheizkreisläufe mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen aus hygienischer Sicht (Prof. Beckert, s. /B13/ in Anhang 1)

- Aus hygienischer Sicht betrachtet werden müssen grundsätzlich offene Warmluftheizungssysteme, bei denen sowohl ein Austausch von Energie als auch von Materie (Wärmeträger Luft) stattfindet.
- Mit Belastungen durch Schadstoffübertragungen durch das System muß gerechnet werden, wenngleich die zu erwartenden Lastfälle in den Haushalten von Ein- und Zweifamilienhäusern geringer sind als etwa in Industriebetrieben, Krankenhäusern o.ä..
- Durch die zirkulierende Luft kann es zur Übertragung und Verteilung von partikulären Verunreinigungen mikrobieller und nichtmikrobieller Herkunft kommen.
- Partikuläre Verunreinigungen können herausgefiltert werden (mechanische + elektrostatische Filter).
- Gase (auch Wasserdampf) können aus der Luft nicht herausgefiltert werden.
- Innerhalb der durchströmten Bauteile besteht die Gefahr von Feuchtigkeitsniederschlag aus der Raumluft mit daraus resultierender Begünstigung mikrobiellen Wachstums.
- Bei Kondensatanfall in den Bauteilen ist die Dauer bis zur Austrocknung entscheidend hinsichtlich der zu erwartenden hygienischen Probleme.
- Aus den Bauteilen selbst können Schadstoffe emittieren und an die Raumluft übertragen werden.
- Aufgrund bereits vorliegender Erfahrungen hat sich der Baustoff Beton hinsichtlich mikrobiellen Wachstums auf der Bauteiloberfläche als weitgehend unbedenklich erwiesen. Kunststoffe verhalten sich diesbezüglich wesentlich problematischer.
- Ähnliches Verhalten wie von Beton ist von Glas und von mineralischen Baustoffen mit gesinterter Oberfläche zu erwarten.
- Verbindliche Aussagen zur vorgelegten Problemstellung können allein über Analogieschlüsse aus anderen, wenn auch verwandten, Bereichen der Raumluft- und Wohnhygiene, nicht getroffen werden. Um verbindliche Aussagen über die zu erwartenden Beeinträchtigungen der Bewohner in Gebäuden mit warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen zu ermöglichen, werden entsprechende Untersuchungen an einem Versuchsobjekt unabdingbar sein.

5.6 Anmerkungen zum "gesunden Heizen"

Nicht zuletzt durch die in jüngster Zeit zunehmenden Diskussionen und Dispute zum Themenbereich des gesunden Bauens und Wohnens haben Niedertemperatur-Strahlungsheizsysteme und mit ihnen das Hypokausten-Prinzip an Bedeutung und Aktualität gewonnen. Möglichst "natürliche" Wohn- und Aufenthaltsraumbeheizung wird, vorwiegend von "Baubiologen" und ökologisch orientierten Bauschaffenden, gefordert und propagiert /S27/.

Strahlungsheizungen mit dem Wärmeträgermedium Luft in einem geschlossenen System scheinen in besonderem Maße den Anforderungen an eine möglichst natürliche Raumheizung zu entsprechen /S28/. Über die physikalischen und physiologischen Wirkungszusammenhänge herrscht jedoch Uneinigkeit.

Durch die Art der Auseinandersetzungen zu diesem Thema bleibt unklar, worin sich die besondere Eignung begründet. Die Diskussionen werden z.T. recht emotionsgeladen geführt, sie entbehren oftmals einer sachlichen und wissenschaftlichen Grundlage. Darüber hinaus besteht auf dem Gebiet der Wohnphysiologie ein erhebliches Forschungsdefizit, so daß mit letzter Gewissheit ohnehin keine verbindlichen Aussagen für oder wider bestimmte Raumheizsysteme getroffen werden können. - Wohl ist es möglich, anhand einzelner Parameter und empirischer Erkenntnisse Angaben zu Auswirkung und Einfluß der Systeme auf Gesundheit und Wohlbefinden geben zu können (z.B. Gefahr der Schadstoffübertragung durch offene Luftheizsysteme, s.o., Staubverschmelzung bei Einzelofenheizung etc.).

Darüber hinaus wirkt, wie in Kap. 1 herausgestellt, das 'System Heizung' unmittelbar mit dem 'System Gebäude und räumliche Umgebung' zusammen, so daß sich noch eine Reihe von weiteren, nicht heizsystemimmanenten Einflußfaktoren für die Zusammenhänge des Wirkungssystems 'Haus-Mensch-Heizung' ergibt, die mit dem Hausheizungssystem nur mittelbar in Verbindung zu bringen sind.

Oft außer acht gelassen oder mißinterpretiert werden die energetischen Aspekte der Raumbeheizung. Diese zugegebenerweise extrem vielschichtigen Zusammenhänge (s. Kap. 1) erschweren die Beurteilung vollends.

Um nicht einen weiteren Beitrag zur ohnedies bereits großen allgemeinen wie speziellen (bei Laien und Fachleuten gleichermaßen vorherrschenden) Unsicherheit auf diesem Gebiet zu leisten, soll im Rahmen dieser Untersuchung der vertiefte Einstieg in diese Diskussion vermieden werden. Es werden daher nur diejenigen Zusammenhänge untersucht und wiedergegeben, die mit wissenschaftlichen Mitteln zu belegen sind.

Kap.I.6 - Spezielle ökonomische Aspekte

6.1 Wirtschaftlichkeitsüberlegungen zum Betrieb von Systemen mit warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen

In 1.7 wurden die allgemeine (1.7.1) und die spezielle (1.7.7) für den Forschungsbereich vereinbarte Definition des Wirtschaftlichkeitsbegriffs gegeben.

Nach 1.7.7 gilt, unter Berücksichtigung des theoretischen Erörterungs- und Experimentalstadiums des Untersuchungsgegenstandes, folgende Vereinbarung zur bzw. Vereinfachung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung:

Wenn ein System in seinen Herstellungskosten nicht teurer wird als eine konventionelle Vergleichslösung (herkömmliche Konstruktion, konventionelle Heizung) und wenn abzusehen ist, daß die System-/Heizbetriebskosten (Gebäudekühlung soll hier außerhalb der Betrachtung bleiben, vgl. 1.5) mindestens vergleichbar sein werden, soll die Schwelle zur Wirtschaftlichkeit eines Systems bereits als überschritten gelten. Jede weitere Einsparung durch den Systembetrieb trägt aktiv zur Kostenreduzierung bei.

Für eine Abschätzung bedarf es zunächst der Betrachtung der einzelnen Kostengruppen:

6.2 Herstellungskosten

Herstellungskosten sind die einmaligen Kosten für die Einrichtung und Herstellung einer baulichen Maßnahme, also

- Planungs- und Beratungskosten
- Materialkosten, Anlagekosten (Sachkosten)
- Herstellungskosten, Einrichtungskosten (Handwerk)
- Kosten für die Abnahme, Inbetriebnahme etc.

6.2.1 Allgemeine Herstellungskosten; Vergleich von Systemen mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen mit konventionellen Vergleichslösungen

Es muß näher untersucht werden, welche Positionen im Zusammenhang mit dem Einbau eines Systems mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen zu den Herstellungskosten (Sach- und Einrichtungskosten) zu zählen sind; dazu bedarf es der Erörterung, welcher Ausstattungs- und Aufwandsstandard für eine sogenannte "vergleichbare Mindestlösung" zugrundegelegt werden kann.

Beispiel: Wenn eine raumlufttechnische Anlage mit der Möglichkeit zur kontrollierten mechanischen Lüftung einschließlich Abluft-Wärmerückgewinnung bereits für ein Bauprojekt vorgesehen ist (Forderung nach 1.3; 1.5; 3; 4), so besteht

der Mehraufwand für die Integration eines Systems mit warm-luftdurchströmten Bauteilen (nur noch) in den Kosten für den Anschluß und die Verbindung dieses Systems mit der RLT-Anlage.

Fehlt die RLT-Anlage in dem Planungskonzept, so werden sich die Kosten für diese, bei einer Entscheidung für ein Warm-luft-/Wärmespeichersystem, zunächst auf die reinen System-Herstellungskosten niederschlagen.

Abziehen von evtl. Mehrkosten wären möglicherweise eingesparte Kosten für konventionelle Luftführungseinrichtungen (Rohre, Kanäle, Schächte).

Durch den wichtigsten Vorteil der untersuchten Systeme, der Wärmespeicherung in vorhandenen Bauteilen, könnte es sich ergeben, daß der konstruktive und damit materielle Aufwand für die Herstellung der durchströmbaren Konstruktionen geringer ausfällt als für herkömmliche Konstruktionen. Diese Vermutung basiert sich auf einer ersten Analyse der Angaben von Herstellern von Hohlkammer-Deckenplatten-Elementen. Die Untersuchung der Systeme in II. verdichtet diese Vermutung weiter, vgl. Angaben bei II.1.1, II.1.2, II.1.10.

Für die Erfassung/den Vergleich der Herstellungskosten eines Systems müssen die kostenwirksamen Einzelpositionen gegenübergestellt werden (gleiche äußere Bedingungen vorausgesetzt):

System zur passiven Energienutzung mit warm-luftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen	Vergleichslösung, konventionell
Kosten für:	Kosten für:
<ul style="list-style-type: none"> a) Bauteil (z.B. Geschoßdecke), fertiger Aufbau b) RLT-Anlage (KL, WRG nach Wunsch) c) Zusatzheizung ¹⁾, incl. Peripherie (bei Warm-luftheizung: Kosten von b) und c) fallen ggf. zusammen) d) Nutzungs-/Amortisationszeitraum ²⁾ e) Südfassade, Sonnenenergienutzungseinrichtungen f) Sonstiges: z.B. höherer Geschoßdeckenaufbau = größere Kubatur <g) ggf. Gebäudekühlung ³⁾; Einschränkungen s.o. 	<ul style="list-style-type: none"> a) konv. Geschoßdecke (z.B. Beton, schw. Estrich etc.) b) (RLT-Anlage, KL, WRG nach Wunsch) c) Heizung (z.B. Öl, NT-FB-Heizung, incl. Peripherie) d) Nutzungs-/Amortisationszeitraum ²⁾ e) konv. Hausfassade f) Sonstiges: z.B. Vorhalteflächen für Brennstofflagerung = größere Kubatur g) ggf. Gebäudekühlung ³⁾; Einschränkungen s.o.>

- 1) Die Zusatzheizung kann ggf. kleiner dimensioniert werden, da ein Teil des Wärmebedarfs durch den Systembetrieb gedeckt werden kann.
- 2) Zeitintervalle, nach denen die Investition, z.B. für die Heizung, erneut getätigt werden muß.
- 3) Die größte Verlagerung zugunsten des Alternativsystems ergäbe sich zweifelsohne durch einen ev. Gebäudekühlbedarf, da die Einrichtung einer herkömmlichen Klimaanlage eine beträchtliche Mehrinvestition voraussetzt.

Mit Hilfe einer derartigen Gegenüberstellung lassen sich die Herstellungskosten relativ genau vergleichen.

6.2.2 Herstellungskosten offener und geschlossener Systeme

Eine in wirtschaftlicher Hinsicht vorteilhafte Beeinflussung der Herstellungskosten von Systemen mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen kann, wie in 6.2.1 angedeutet und in Kap.3 und 4 erläutert, durch die "Kompensation der Initialkosten durch Mehrfunktionalität und Mehrfachnutzung der Systemkomponenten" erreicht werden.

Die weitgehende Integrationsfähigkeit offener Systeme (vgl. Kap. 3 u. 4) stellt auch in diesem Zusammenhang eine günstigere Voraussetzungen dar als die relative Einengung der geschlossen betriebenen Systeme.

Zusätzlich zur Nutzbarmachung der vorhandenen Baustruktur zur Wärmespeicherung lassen sich auch nahezu alle weiteren Komponenten der offenen Systeme bei entsprechender Anordnung mehrfach - und parallel zum Systembetrieb - einsetzen:

- Ventilator für Lüftung und Warmluft-Zusatzheizung;
- Filter ebenfalls für Lüftungs- und Zusatz-Heizbetrieb;
- Steuerung der Systembe- und -entladung über Zusatz-Heizzentrale;
- Wärmeverteilung, Luftführung etc. ebenfalls über die RLT-Zentrale.

6.2.3 Zusammenfassende Prognose bzgl. der Herstellungskosten

- Je höher der Ausstattungsstandard einer Vergleichslösung (s. KL, WRG), desto geringer wird ein evtl. Mehraufwand für die Herstellung einer Alternativlösung.
- Das aktive Heizsystem der Alternativlösung kann i.d.R. geringer dimensioniert werden, woraus sich auf diesem Gebiet zusätzliche Einsparungsmöglichkeiten ergeben.
- Wie sich aus Kap.3 u. 4 ergibt, erweist sich die Systemkombination mit einer Warmluftheizung auch als in wirtschaftlicher Hinsicht besonders vorteilhaft
- Aufgrund der variableren Kombinationsmöglichkeiten offener Systemkreisläufe kann für deren Herstellung und Einrichtung im Gebäude mit kürzeren wirtschaftlich relevanten Amortisationszeiträumen gerechnet werden als für geschlossene Systemkreisläufe.

Aus den aufgezeigten Zusammenhängen heraus wird deutlich, daß die Kosten für das warmluftdurchströmte Bauteil selbst in vielen Fällen den geringsten Anteil der Gesamtausgaben ausmachen und sich in gleichem Kostenrahmen - oder darunter - bewegen wie das Standardbauteil einer Vergleichslösung. Bei günstiger Systemkonzeption können eventuelle Mehrkosten einzelner Systemkomponenten durch Einsparungen an anderer Stelle kompensiert werden.

6.3 Betriebskosten

Die laufenden Kosten, die beim oder durch den System- bzw. Heizbetrieb auftreten, also diejenigen Ausgaben und Kosten, die in verschiedenen Intervallen immer wieder neu getätigt werden müssen, werden als Betriebskosten bezeichnet. Dazu zählen für den Betrieb von Heizungssystemen:

- Kosten für Energieträger (Öl, Gas, Kohle etc.) zur aktiven Energiewandlung (in Wärme);
- Kosten für den Antrieb der Systemperipherie (Pumpen, Ventilatoren, etc.);
- Kosten für Reinigung, Wartung, Reparatur etc.;
- sonstige Kosten (mittelbare Kosten).

Zusätzlich können auch die Kapitalkosten (Zins, Tilgung) zu den Betriebskosten gezählt werden, ebenso wie die erforderlichen finanziellen Rücklagen zur erneuten Investition nach Ablauf des Amortisations- oder Nutzungszeitraumes.

Die Kosten für Energie zur Wärmeerzeugung im aktiven Heizsystem nehmen den mit Abstand größten Anteil an den Gesamt-Betriebskosten eines Heizsystems ein. - Ganz allgemein gilt: Je höher die Kosten für den aktiven Energiewandlungsprozeß in einem Heizungssystem steigen, desto wirtschaftlich interessanter werden passiv/hybrid (und damit im Betrieb kostenlos bzw. kostenarm) nutzbare solare und, falls vorhanden, interne Heizbeiträge.

Der Untersuchungsgegenstand hat als Maßnahme zur verbesserten passiven/hybriden Nutzung der Sonnenenergie die Verringerung des aktiven Heizanteils und damit der Betriebskosten zum Ziel.

6.3.1 Beeinflussung der Betriebskosten durch offene und geschlossene Systeme mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen

6.3.1.1 Senkung der Energiekosten durch den Systembetrieb

Der passive/hybride Heizbeitrag der untersuchten Systeme ist abhängig vom Anteil der nutzbaren Sonnenenergie.

Vergleichbare äußere Bedingungen vorausgesetzt (Einsatz in identischen Referenzgebäuden, gleiche Betriebsbedingungen etc.) lassen die in Kap.3 untersuchten energetischen Merkmale den Schluß zu, daß offen betriebene Systeme für die hybride

Sonnenwärmenutzung geeigneter sind und somit einen höheren Heizbeitrag erwarten lassen als geschlossene Systeme. Diese Aussage muß zunächst qualitativ erfolgen, da ein quantitativer Nachweis im theoretischen Untersuchungsstadium noch nicht erbracht werden kann.

Ein zusätzlicher Energiekosten-senkender Aspekt ergibt sich beim offenen Systembetrieb im Falle der Integration von Einrichtungen zur kontrollierten Lüftung. Die dadurch zu erreichende Verringerung des Wärmebedarfs trägt nicht unerheblich zur Senkung der Energiekosten bei.

6.3.1.2 Kosten für den Betrieb der Systemperipherie

Diese Kostengruppe bezieht sich auf die Antriebsenergie für Gebläse. Hinsichtlich der dafür aufzubringenden elektrischen Energie unterscheiden sich die beiden unterschiedlichen System-Betriebsweisen nicht.

In offenen Kreisläufen kann der Luftstrom gleichzeitig zum erforderlichen Luftumsatz in den Räumen (Lüftung) und ggf. für die Warmluft-Zusatzheizung dienen, so daß nur ein Teil der Antriebskosten dem "reinen" (sofern eine solche Differenzierung möglich ist) Systembetrieb zufällt.

6.3.1.3 Reinigungs-, Wartungs-, und Reparaturkosten

Erst die praktische Systemerprobung kann zeigen, mit welchen Kostenrahmen für die einzelnen Systeme gerechnet werden muß.

Geschlossene Systeme können, wegen des fehlenden Materieaustauschs, als weniger wartungs- und reinigungsbedürftig gelten als offene.

Für offene Systeme können Erfahrungswerte von den Warmluft-herstellern und -betreibern als erste Anhaltspunkte dienen. Diese bewegen sich bislang innerhalb vergleichbarer Grenzen, bezogen auf die Standard-Ölheizung /B15/, /B18/, /B35/, /F05/, /S07/.

Mehraufwand ergibt sich für offene Systemkreisläufe aus dem regelmäßig vorzunehmenden Austausch von Filterelementen.

6.3.1.4 Sonstige Kosten

In diese Rubrik fallen diejenigen Kosten, die nicht unmittelbar mit dem System oder dem Systembetrieb in Verbindung zu bringen sind.

Finanziell kann es sich jedoch durchaus bemerkbar machen, wenn sich durch den Einbau einer Luftheizungsanlage mit Luftfilterung die Renovierungsintervalle für die Innenräume im Schnitt verdoppeln. Reinigung und Wäsche von Textilien im Raum (Gardinen, Vorhänge etc.) müssen ebenfalls weniger häufig erfolgen.

Inwiefern sich für den Bewohner eines mit einer modernen Warmluftheizung ausgestatteten Hauses die stets gefilterte und mit Frischluft angereicherte Raumluft positiv auf Wohlbefinden und Gesundheit auswirkt, läßt sich allgemein nicht determinieren. Fraglich ist weiterhin, wie ein solcher Umstand in wirtschaftlicher Hinsicht zu würdigen wäre. Volkswirtschaftlich gesehen bedeutete eine Verringerung von Krankheitstagen sicherlich einen nicht zu vernachlässigender Aspekt.

6.4 Verhältnis von einmaligen zu laufenden Kosten

Dieser Quotient drückt, wie in 1.7 dargelegt, den Grad der Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme aus: je höher die Initialkosten für die Herstellung einer Maßnahme sind, desto geringer müssen in der Folge die Betriebskosten sein, damit diese Maßnahme gegenüber der Standardlösung die wirtschaftlich günstigere bleibt.

Zwar ist die Ermittlung der solaren Deckungsrate entsprechender Systeme, s. 1.7, mit Schwierigkeiten verbunden; auch kann der Energieumsatz zum gegenwärtigen Stadium noch nicht mit Energiebilanzen, vgl. 1.6, belegt werden. Unter Zugrundelegung der in 1.7 erörterten und eingangs (6.1) aufgegriffenen Prämisse ist durch den Betrieb der untersuchten Systeme zumindest eine positive Beeinflussung des Verhältnisses von einmaligen zu laufenden Kosten zu erwarten; die Voraussetzungen für den wirtschaftlichen Betrieb sind damit günstig.

6.5 Zusammenfassende Prognose

Obwohl die von ergänzenden und flankierenden Maßnahmen zur Energieeinsparung losgelöste quantitative Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Systemen zur Gebäudeheizung mit warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen zum derzeitigen Entwicklungsstand der Systeme kaum möglich erscheinen, zeichnet sich aufgrund der bislang gewonnenen Erkenntnisse folgende Tendenz ab:

- Warmluftdurchströme und wärmespeichernde Konstruktionen können möglicherweise ohne Mehrkosten gegenüber konventionellen Vergleichslösungen eingerichtet werden. Hersteller von Hohlkammer-Deckenplatten reklamieren eine Senkung der Herstellungs- und Einbaukosten ihrer Decken im Vergleich zu herkömmlichen, im Ortbetonverfahren hergestellten Stahlbetondecken.
- Durch entsprechend konzeptionierten Systemauf- und -ausbau (Luftheizung, RLT) ist auch für die übrigen Herstellungskosten (Einbindung, Anschluß an die RLT-Anlage) nicht mit drastisch erhöhtem Mehraufwand zu rechnen. Bei offenen Systemen ist es aufgrund ihrer flexiblen Integrationsfähigkeit möglich, einen Teil der Kosten für die Systemperipherie und den Anschluß über die Mehrfachfunktion der meisten

der Systemkomponenten zu kompensieren.

- Anhaltspunkte für eine Reduzierung der Betriebskosten, hier insbesondere des Kostenanteils des aktiven Energiebedarfs, sind gegeben. Dieser Kostenanteil wird umso weiter sinken, je höher die Rate der passiven/hybriden Energiebedarfsdeckung liegt. - Wegen ihrer energetischen Merkmale lassen offene Systemkreisläufe höhere Einsparungen der aktiven Heizenergie erwarten als geschlossene Systeme.
- Im Vergleich mit anderen passiven und hybriden Energienutzungseinrichtungen zeichnet sich ebenfalls ein wirtschaftliches Gesamtbild der untersuchten Systeme ab, da ein Teil der - wenn nicht, wie bei offenen Systemen möglich, alle - Systemkomponenten multifunktional in die übrige bauliche, baukonstruktive und haustechnische Struktur integriert sind. Entscheidendes Kriterium beider Systemvarianten ist der Umstand, daß für wärmespeichernde Baumassen kein zusätzlicher Platz- bzw. Raumbedarf entsteht.
- Unter der eingangs zu diesem Kapitel aufgeführten Prämisse bleibt genug Spielraum - in energetischer wie in wirtschaftlicher Hinsicht - zur praktischen Weiterentwicklung und Erprobung der Systeme mit dem Ziel einer Optimierung der sich abzeichnenden Leistungsfähigkeit insbesondere der offenen Systeme. Weitere Kostensenkungen können entstehen durch Anpassung und Verfeinerung von - zum größten Teil bereits bekannten - Baukonstruktionen, durch die Ausschöpfung der hybriden Sonnenenergienutzung sowie durch die Ausnutzung der im Bereich der Raumluftechnik vorhandenen Möglichkeiten.

Kap. I.7 - Möglichkeiten der Nachrüstung von Systemen mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen in vorhandene Bausubstanz

Das komplexe Zusammenwirken unterschiedlichster Parameter beim Betrieb hybrider Sonnenenergiesysteme in Verbindung mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen führt dazu, daß eine Nachrüstung dieser Systemen bzw. Bauteile in vorhandene Bausubstanz nur in sehr eingeschränktem Rahmen und unter ganz bestimmten Voraussetzungen möglich ist.

7.1 Allgemeine Voraussetzungen

Für eine Nachrüstung mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen kommen Gebäude in Betracht, die über Einrichtungen zur passiven Sonnenenergienutzung verfügen oder deren Gebäudekonzept mit geringem Aufwand dahingehend umänderbar ist. Die nachträgliche Realisierung der Prinzipien der passiven/hybriden Sonnenenergienutzung an bestehenden Gebäuden ist i.d.R. mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden, da das Gebäude selbst wichtigster Systembestandteil ist. Das nachträgliche "Aufpfropfen" eines Systems erscheint nicht möglich.

Weitere wesentliche Voraussetzungen für die nachträgliche Verwendung warmluftdurchströmter Speicherbauteile in bestehenden Gebäuden sind sowohl geeignete Standortbedingungen als auch Kollektoreinrichtungen, die entsprechende Wärmeüberschüsse erwarten lassen (gem. 1.4: Kollektortemperaturen $> 20^{\circ}\text{C}$). Es müßte im Einzelfall untersucht werden, ob ggf. vorhandene Kollektoreinrichtungen (Fenster) verwendbar sind bzw. ob die Nachrüstung weiterer Kollektorsystems (s. Kap. 1.4)) mit vertretbarem Aufwand möglich ist.

Nach derzeitigem Erkenntnisstand ist die effizienteste Ausnutzung passiv erzielter Sonnenenergiegewinne mit einem offenen Luftheizkreislauf möglich, gekoppelt mit Einrichtungen zur kontrollierten mechanischen Lüftung und Wärmerückgewinnung sowie der Speicherung von solaren Wärmeüberschüssen in warmluftdurchströmten Bauteilen. Voraussetzung dafür wiederum ist ein optimierter baulicher Wärmeschutz, vgl. 1.3.

Die größte Hürde für die Systemnachrüstung dürften die Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit von derartigen Maßnahmen darstellen.

7.2 Systemspezifische Voraussetzungen; Nachrüstungsmaßnahmen

Für eine Nachrüstung unter Beachtung der o.a. allgemeinen Voraussetzungen kann davon ausgegangen werden, daß das Angebot der Luftheizungshersteller die notwendigen Einrichtungen der Systemperipherie beinhaltet, vgl. Kap.4.

Die Integration der beiden folgenden Systemkomponenten stellt das Hauptproblem bei einer Systemnachrüstung in vorhandene Bausubstanz dar:

- Wärmespeicherung in warmluftdurchströmten Bauteilen
- Wärmeverteilung durch entsprechende Kanäle

7.2.1 Nachrüstung von warmluftdurchströmten Speicherbauteilen

Die nachträgliche Ausbildung warmluftdurchströmter und wärmespeichernder Bauteile in einem bestehenden Gebäude ist auf zwei Möglichkeiten beschränkt:

- im Gebäude bereits vorhandene massive Innenbauteile erhalten durch entsprechende bauliche Maßnahmen die zusätzliche Funktion zur Luftführung und Wärmespeicherung.
- Es werden zusätzliche Bauelemente zur Wärmespeicherung und Luftführung in ein Gebäude nachgerüstet.

Der Austausch der im Gebäude vorhandenen Bauteile gegen Bauteile mit der Möglichkeit der Luftführung und Wärmespeicherung erscheint aus technischen und wirtschaftlichen Gründen problematisch.

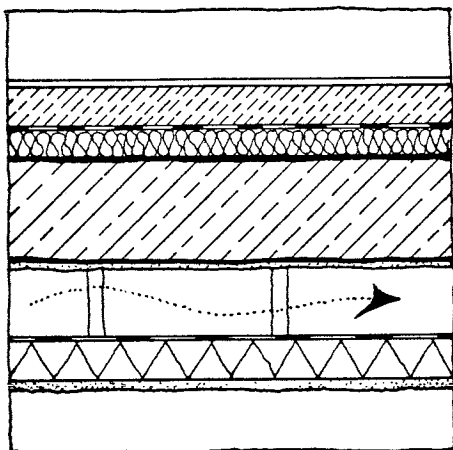
Eine Möglichkeit der nachträglichen Nutzbarmachung vorhandener Bauteile zur Führung des Warmluftstroms und zur Wärmespeicherung besteht darin, diese mit einer Vorsatzschale zu versehen. Die Vorsatzschale wird im Abstand von 5 - 15 cm vor dem bestehenden Bauteil angeordnet. Der so entstehende Hohlraum zwischen den Bauteil-Schalen ist durch Stege in einzelne Luftkanäle unterteilt, um die Luft in die gewünschte Richtung zu lenken bzw. um eine optimale turbulente Luftströmung zum verbesserten Wärmeübergang zwischen Luft und Speicheroberfläche zu erreichen.

Die Ausbildung der Vorsatzschale kann auf zwei Arten durchgeführt werden: entweder als leichte Konstruktion, die aufgrund ihrer geringen Massen kaum zur Wärmespeicherung herangezogen werden kann oder als massive Konstruktion, die auch wärmespeichernd wirkt.

Die Verwendung einer wärmespeichernden, massiven Vorsatzschale hat gegenüber einer leichten Vorsatzschale den Vorteil der zweiseitig Aktivierbarkeit der Speichermasse; somit verringern sich die erforderlichen Luftkanallängen. Der Nachteil massiver Vorsatzschalen besteht darin, daß durch die Wahl eines schweren Baustoffs auch Probleme im Auflagerbereich der Vorsatzschale entstehen; es muß geprüft werden, ob die vorhandene Konstruktion für Mehrbelastung durch eine massive Vorsatzschale ausreichend bemessen ist. - Die bauseitige Herstellung einer schweren Vorsatzschale ist zeit- und kostenintensiv.

Der Vorteil leichter Vorsatzschalen besteht in der einfacheren Konstruktion und Herstellbarkeit, einer geringeren statischen Belastung der vorhandenen Tragstruktur und dem insge-

samt geringeren Raumbedarf. In Herstellung und Einsatz sind leichte Vorsatzschalen vielseitiger (Wand und Decke).

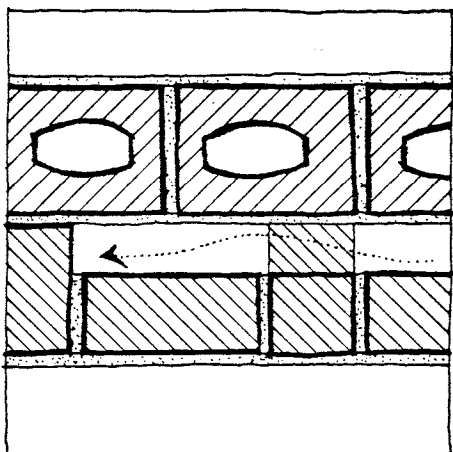


Beispiel: (Geschoß-) Deckenspeicher mit nachträglich angebrachter leichter Vorsatzschale:

Vorhandene STB-Decke einschließlich Fußbodenaufbau

Neu gebildeter Hohlraum mit Stegen zur Luftführung

Abgehängte Decke, Alu-kaschierte Dämmung, Gipskarton



Beispiel: (Innen-) Wandspeicher mit nachträglich angebrachter schwerer Vorsatzschale:

Vorhandene Innenwand, Mauerwerk, geputzt;

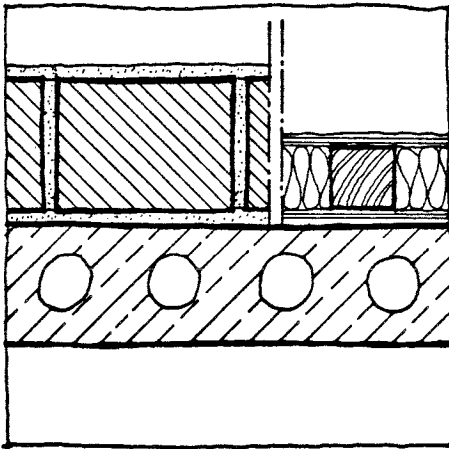
Vorsatzschale Mauerwerk

Weiterhin besteht die Möglichkeit, in die vorhandene Baustruktur vorgefertigte durchströmbare und wärmespeichernde Elemente einzubringen. Der Vorteil dieser Art der Bauteilausbildung liegt in der mehrseitigen Aktivierung der Speichermasse, einer unproblematischen Luftkanalausbildung und der Möglichkeit, auf einfache Art luftdurchströmte Speichermassen zu schaffen. Die in das Bauteil integrierten Luftkanäle führen zu einem relativ geringen Platzbedarf dieser Speichermassen. Der Nachteil liegt vor allem im Gewicht dieser Platten: die vorhandene Konstruktion muß die statischen Voraussetzungen für den nachträglichen Einbau dieser Speichermassen erfüllen. Zudem ist fraglich, ob diese Maßnahmen in wirtschaftlich vertretbarem Rahmen gelöst werden können. (S. Abb. nächste Seite.)

Bei der Betrachtung der Realisierungsmöglichkeiten für den nachträglichen Einbau warmluftdurchströmter, wärmespeichernder Bauteile fällt auf, daß die meisten Lösungen (Ausnahme: abgehängte Decken) mit z.T. erheblichem Flächenmehrbedarf verbunden sind. Vor Einbau der beschriebenen Luftheizungssystems muß in jedem Einzelfall geprüft werden, ob der zusätz-

lich benötigte Raum zu erübrigen ist und ob die dem Raum/Gebäude zugeordneten Funktionen beeinträchtigt werden. Außerdem müssen die konstruktiven Vorgaben berücksichtigt werden. In Altbauten mit ausreichenden lichten Raumhöhen könnte es sich anbieten, Vorsatzschalen/Speicherelemente unterhalb der vorhandenen Decke anzuordnen; da es sich bei diesen Decken jedoch meist um Holzbalkendecken mit geringer speicherfähiger Masse handelt, kommen sie für die Wärmespeicherung nicht in Betracht; die Anordnung eines massiven Speicherelements dürfte mit unverhältnismäßig hohem Aufwand verbunden sein.

Schließlich muß das thermische Verhalten der vorhandenen Konstruktion berücksichtigt werden, die auftretenden Temperaturschwankungen im Bauteil dürfen nicht zu Schäden führen. Dies erscheint jedoch recht problematisch, da eine nachträgliche Anordnung von Fugen in vorhandenen Bauteilen innerhalb eines vertretbaren Kostenrahmens kaum möglich ist.

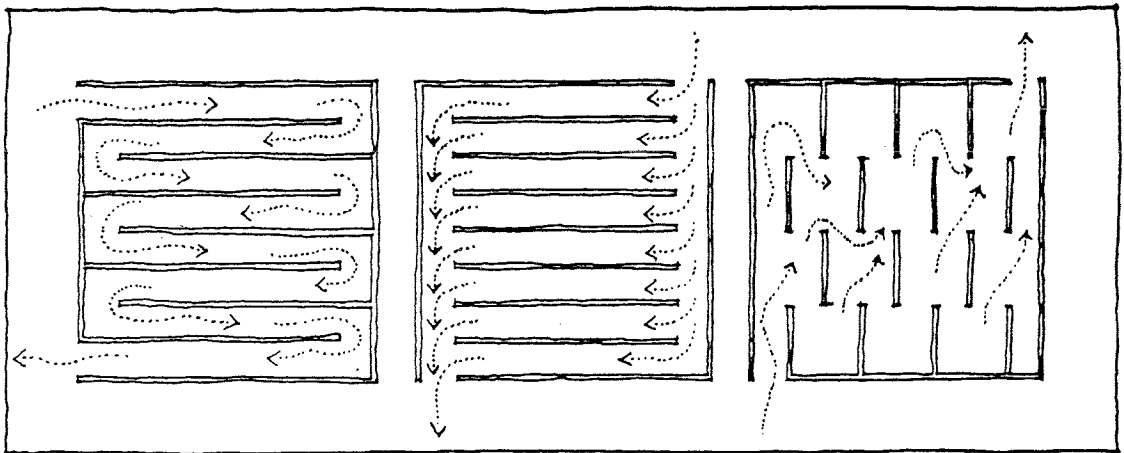


Beispiel: nachträglicher Einbau der Speichermassen - (Innen-) Speicherwand

Vorhandenes Bauteil;
schwere oder leichte Konstruktion

Vorgesetztes STB-Fertigteil mit integrierten Hohlräumen zur Luftführung

Für die Luftführungsmuster in den beschriebenen Bauteilen gibt es eine Reihe unterschiedlicher Varianten, die sich jedoch in ihrer Wirkung nicht wesentlich unterscheiden.



7.2.2 Nachrüstung von Kanälen zur Wärmeverteilung

Die erforderlichen, relativ großen Kanalquerschnitte bedeuten einerseits großen Platzbedarf und andererseits erhebliche bauliche Maßnahmen. (/D07/S.613) Bei Neuplanungen steht dieses Problem weit weniger im Vordergrund, da bereits im Frühstadium der Planung die entsprechenden Vorkehrungen getroffen werden können.

Die Verlegung der Kanäle erfolgt, wenn möglich, vorzugsweise unterhalb der Kellerdecke. Auch eine Montage des Kanalsystems oberhalb einer abgehängten Decke wäre denkbar. In beiden Fällen muß eine ausreichende Raumhöhe vorhanden sein. Unter Umständen kann die Montage des Kanalsystems in nicht genutzten Dachräumen erfolgen. Form und Größe des Kanalsystems müssen den baulichen Gegebenheiten unter dem Gesichtspunkt einer strömungsgünstigen Form angepaßt werden. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen sowie aus Gründen der Reinhaltung ist eine zentrale Luftverteilung anzustreben, deren Luftkanäle so kurz wie möglich gehalten werden.

7.3 Schlußfolgerung

Aus den vorausgegangenen Erläuterungen wird deutlich, daß bei Nachrüstungs Vorhaben von Systemen mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen in vorhandene Bausubstanz mit einer Reihe von Schwierigkeiten gerechnet werden muß, die derartige Intentionen als von vornherein fraglich erscheinen lassen. Allein beim - im Regelfall unwahrscheinlichen - Zusammentreffen aller günstigen Umstände wäre eine Nachrüstung angezeigt.

Die Erkenntnisse aus Kap. 1 und die Diskussion um die Komplexität des Themas Bau + Energie lassen Alternativmaßnahmen zur Energieeinsparung in vorhandener Bausubstanz als geeigneter erscheinen.

Sind die Umstände jedoch so, daß eine Nachrüstung von hybriden Sonnenenergienutzungs-Systemen mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen erwogen werden kann, scheint es sinnvoll, die Wärmespeicherung möglichst in vorhandener, zum Zweck der Wärmespeicherung aktivierbarer Baumasse anzustreben. Dazu bietet sich an:

- Die Einbeziehung einer (offenen) Warmluft-Heizung mit integrierter kontrollierter Außenluftzufuhr und Abluftwärmerrückgewinnung in das Gesamtkonzept.
- Die Herstellung geeigneter Einrichtungen zur hybriden Nutzung von Sonnenenergie.
- Die Anordnung von vorzugsweise leichten Vorsatzschalung zur Ausbildung warmluftführender Hohlräume; je nach vorhandener Substanz ist die Ausbildung von Speicherwänden und/oder -decken möglich.

Kap.I.8 - Ergebnisse und Diskussion; Zusammenfassung der Erkenntnisse

8.1 Hintergrund und Entwicklung eines Anforderungsprofils an Warmluft-Heizsysteme mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen

Als Ergebnis der in den vorausgegangenen Kapiteln durchgeführten theoretischen Untersuchungen und Erörterungen liegt eine Reihe von Erkenntnissen vor, aus denen heraus sich ein komplexer Anforderungskatalog ("Anforderungsprofil", s. 8.2.1) an Gebäude-Heizungssysteme allgemein und an Warmluft-Heizkreisläufe mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen im besonderen entwickeln läßt.

Die möglichen Einsatzbereiche und die Einsatzvoraussetzungen für den Betrieb passiver/hybrider Warmluft-Heizsysteme ergeben sich, unabhängig von einer Entscheidung für offenen oder geschlossenen Systembetrieb, aus der Berücksichtigung der in Eingangskapitel 1 vertieften Rahmenbedingungen des Themenbereichs 'Bauen + Energie'. Da diese Rahmenbedingungen in den einzelnen Unterpunkten von Kapitel 1 in zusammengefaßter Form dargestellt sind und zudem an den betreffenden Stellen in den übrigen Kapiteln auf die entsprechenden Referenzen in Kap.1 verwiesen wird, soll in diesem Kapitel auf eine weitere Wiederholung und Zusammenfassung verzichtet werden.

Die nutzungs- bzw. systemspezifischen Anforderungskriterien an Funktions- und Wirkungsweise sowie den konkreten Systembetrieb betreffen, vgl. die vorausgegangenen Kapitel, insbesondere die energetischen Aspekte und die Integrationsfähigkeit des Systems in die übrige gebäudetechnische Peripherie sowie Fragen der Solarenergienutzung, der Behaglichkeit, der Hygiene und des Problembereichs der Wirtschaftlichkeit.

Hintergrund der einzelnen Anforderungskriterien bildet das Streben nach der weitestmöglichen Ausschöpfung des sich bietenden (derzeit möglichen) Energiesparpotentials eines Einzel-Heizungssystems oder einer Systemfamilie und Beibehaltung bzw. Verbesserung der Nutzungs- und Behaglichkeitsstandards für die Bewohner, vgl. 1.5.1 und 1.5.5.

Zusammengenommen ergeben die Einzelkriterien das sogenannte Anforderungsprofil, dem die Betriebsmerkmale eines Systems oder einer Systemkonzeption gegenübergestellt werden und das damit als Grundlage für eine Bewertung des System nach den einzelnen Gesichtspunkten dient.

8.2 Zusammenfassung des Anforderungsprofils und Gegenüberstellung der Betriebsmerkmale der offenen und geschlossenen Systeme - tabellarische Übersicht

8.2.1 Anforderungsprofil an Warmluft-Heizkreisläufe mit integrierten warmluftdurchströmten Speicherbauteilen

Zusammengefaßt nach der Erörterungen der Kapitel 1 bis 6 ergibt sich das folgende

A N F O R D E R U N G S P R O F I L

a) Allgemeine Anforderung des Komplexes 'Bauen + Energie'

Forderung:	Maßnahme/Bemerkung:
<hr/>	<hr/>
Verringerung des Wärmebedarfs von Gebäuden durch:	<ul style="list-style-type: none"> - Reduzierung der Transmissionswärmeverluste - Reduzierung der Lüftungswärmeverluste - Substitution des aktiven Heizenergiebedarfs durch alternative Energiequellen (Sonnenenergie)

b) Anforderungen an konventionelle Gebäude-Heizungssysteme allgemein:

Forderung:	Maßnahme/Bemerkung:
<hr/>	<hr/>
Optimierung der aktiven Heizenergie-Wandlung und Wärmeübertragung	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz von Brennwertkesseln zur Nutzung der in den Abgasen enthaltenen Wärme - Niedertemperatur-Betrieb zur Minimierung von Leitungs-, Stillstands- und Übertragungsverlusten
Vermeidung von Trägheits- und Stillstandsverlusten	<ul style="list-style-type: none"> - Verwendung eines thermisch möglichst trägheitslos reagierenden Wärmeträgermediums (= Luft) - Thermisch trägheitslose Wärmeübertragung (ggf. Wärmeträger- = Wärmeübertragungsmedium)

Forderung:

Maßnahme/Bemerkung:

Systemintegrierte Möglichkeit zur Nutzung solarer und interner Wärmebeiträge

- bauliche Konzepte zur Sonnenwärme-Nutzung (passive/hybride Nutzung)

c) Anforderungen an Warmluftheizungssysteme mit integrierten (Solar-) Speicherbauteilen

Energetische Aspekte:

Forderung:

Maßnahme/Bemerkung:

Thermisch flinke Reaktionsfähigkeit des Systems

- Reduzierung von Stillstands- und Trägheitsverlusten (s.o.)
 - Vermeidung von Auf- und Nachheizzeiten
 - rasche Reaktionsmöglichkeit des Systems auf Änderung der äußeren Heizbedingungen
 - verzögerungsfreie Wärmever-schiebung

Integrationsfähigkeit der Systeme in das bauliche/gebäude-technische Gesamtkonzept

Forderung:

Maßnahme/Bemerkung:

Möglichst weitgehende Integration des Systems in das aktive Gebäudeheizungs- und Lüftungskonzept

Kombination des Systems mit:
 - aktiver Zusatz- (WL-) Heizung
 - kontrollierter mechanischer Lüftung
 - Wärmerückgewinnung aus der Abluft
 - ggf. (aktiven/hybriden) Einrichtungen zur Gebäudekühlung
 - By-Pass-Luftführungen zur An- + Abkoppelung von Peripherie und Speicherbauteilen

Systemintegrierte Sonnenenergienutzung

Forderung:

Maßnahme/Bemerkung:

Verbesserte hybride Nutzung solarer Einstrahlungsgewinne; Tertiärspeicherung von Solarwärme in den warmluftdurchströmten Bauteilen

- variable Kollektorauswahl zur Nutzung unterschiedlicher Temperaturniveaus
- Direktverschiebung von Solarwärme im Gebäude
- Nutzbarmachung kurzfristiger Insolarisation
- kontrollierte Speicherentladung

Thermische Behaglichkeit - Akustik - Hygiene

Forderung:

Maßnahme/Bemerkung:

Beibehaltung/Verbesserung bestehender thermischer Behaglichkeitsstandards konventioneller Heizungen:

Sicherstellung des Behaglichkeitsbereichs folgender Parameter:

- Konstante Raumtemperaturen
- Temperatur-Verlaufsprofil
- Raumluftgeschwindigkeit
- Luftfeuchte

Vermeidung akustischer Beeinträchtigungen durch das System:

Verhinderung von:

- Geräuschbildung im System
- Geräuschübertragung durch das System

Gewährleistung eines hygienisch einwandfreien Systembetriebs

Vermeidung von:

- Schadstoffübertragung
- Geruchsübertragung
- Schadstoffentstehung im System
- Schadstoffemission aus Speicherbauteilen

Wirtschaftliche Aspekte der Systemherstellung und des Systembetriebs

Forderung:	Maßnahme/Bemerkung:
<p>Konkurrenzfähigkeit der Systeme mit konventionellen Vergleichslösungen bezüglich der Herstellungs- und Betriebskosten</p>	<p>Anzustrebende Ziele bei der Planung, Herstellung und dem Betrieb der Systeme:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kompensation der Initialkosten durch Mehrfunktion und -nutzung der Systemkomponenten - Herstellung und Einbau der Speicherbauteile ohne Mehrkosten gegenüber konventionellen Bauteilen - Reduzierung der Betriebskosten durch: <ul style="list-style-type: none"> - solare Heizbeiträge - integrierte kontr. Lüftung - Ausnutzung der thermophysikalischen Eigenschaften des Wärmeträgermediums

8.2.2 Erläuterungen zur tabellarischen Übersicht der Ergebnisse; Bewertender Vergleich - Bewertungsschema

In der tabellarischen Übersicht (s. 8.2.3) sind die Ergebnisse der Untersuchung der System-Betriebsweisen und -Merkmale zusammengetragen.

Diesen Ergebnissen zugeordnet bzw. gegenübergestellt sind die Einzelmerkmale des o.a. Anforderungsprofils.

Der theoretische Ansatz der Untersuchung erschwert die exakte Anforderungsprofil-spezifische Erfassung einiger der oftmals komplexen Betriebskriterien. Zu manchen der aufgezeigten Betriebsmerkmale sind, aufgrund fehlender Erkenntnisse aus dem praktischen Systembetrieb, keine Aussagen möglich. Zwar wurde bei der Erörterung der betreffenden Problempunkte in den Unterabschnitten der einzelnen Kapitel versucht, mit Hilfe von Analogieschlüssen aus verwandten Gebieten die sich stellende Problematik weitgehend einzugrenzen, gleichwohl kann in diesen Fällen nicht von gesicherten Erkenntnissen ausgegangen werden. Im Laufe der Erörterungen wurde auf die Analogieschlüsse und den Unsicherheits-Spielraum der nachfolgend getroffenen Aussagen hingewiesen; in der Übersicht sind diese Punkte ebenfalls entsprechend gekennzeichnet.

Weiterhin sind, zur besseren Handhabbarkeit der tabellarischen Übersicht, die Querverweise zu den Vertiefungen der angesprochenen Kriterien bei den einzelnen Kapiteln eingearbeitet (Ziffern in Klammern = Kapitelnummern bzw. Unterpunkte).

Die nachfolgende tabellarische Gegenüberstellung der jeweiligen Betriebscharakteristika offener und geschlossener Systemkreisläufe ermöglicht und enthält eine Bewertung der Einzelmerkmale nach den Kriterien des Anforderungsprofils, wenngleich diese Bewertung, aufgrund des theoretischen Untersuchungsansatzes, nur einem sehr einfachen Schema unterliegen kann.

Die vorgenommene Bewertung richtet sich nach den Vorgaben des Anforderungsprofils und den für konventionelle Heizungssysteme derzeit üblichen Standards.

Danach wurden für die Bewertung vereinbart:

- ++ = Entspricht in allen Belangen den Anforderungen an optimierte Heiz- und Sonnenenergie-Nutzungssysteme nach derzeitigem Erkenntnisstand (erreichbarer Maximalstandard).
- + = Entspricht den Optimierungs-Anforderungen im allgemeinen, der erreichbare Maximalstandard wird nicht voll erreicht, die dargestellte Eigenschaft des Systems ist insgesamt als für den Gesamtbetrieb vorteilhaft zu betrachten;
- 0 = eine Verbesserung gegenüber konventionellen Systemen wird nicht erreicht, die Betriebsmerkmale oder die Betriebseigenschaften werden als "neutral" eingestuft.
- = der erreichbare Standard und damit eine Verbesserung wird im dem Systembetrieb nicht erkennbar, die dargestellte Eigenschaft ist als negativ für Betrieb und Wirkung des Systems einzustufen;

Diejenigen Betriebsmerkmale, zu denen aufgrund mangelnder praktischer Erkenntnisse keine gesicherten Aussagen getroffen werden konnten, werden der Bewertung nicht unterzogen und in der Bewertungsskala mit einem "*" gekennzeichnet.

Durch Fußnoten mit entsprechenden Anmerkungen werden solche Fälle gekennzeichnet, zu denen Aussagen nur aufgrund von Analogieschlüssen möglich sind. In den Anmerkungen sind Angaben über die durch spezielle Einrichtungen veränderbaren Betriebsparameter enthalten.

Tabellarische Übersicht der Untersuchungsergebnisse

< Abkürzungen s. S. 7-11 >

WARMLUFTDURCHSTRÖMTE SPEICHERBAUTEILE IN WL-HEIZKREISLÄUFEN - ALLGEMEINE SYSTEM- + BETRIEBSMERKMALE	BETRIEBSWEISE					
	OFFEN			GESCHLOSSEN		
	SYSTEM-/ BETRIEBSMERKMAL	BEMERKUNG	BEWERTUNG		SYSTEM-/ BETRIEBSMERKMAL	BEMERKUNG
Niedertemperatur- betrieb (1.5.1; 3.1)		Systemvoraus- setzung	++	++		Systemvoraus- setzung
Wärmeträgermedium (WTM) Luft (3.1)	Zirkulation in O.S.	Austausch von Energie + Materie	—	—	Zirkulation in G.S.	Austausch von Energie
Wärmeübertragungs- medium (WÜM)	= Wärmetrans- portmedium	—	—	—	wärmeabstrah- lendes Bauteil, Abstrahlfläche	gilt als "biolo- gisch/physiologisch" vorteilhaft (5.6)
Wärmeübertragung (3.1)	vorw. konvektiv direkt durch WTM Luft	WÜ durch Strahlg. b. Systemstill- stand möglich	—	—	vorw. Strahlg., freie Konvekt. an der Bauteil- oberfläche	Sekundärübertragung: - WTM an Bauteil; - Bauteil an Raum/
Nutzung vorhandener Bauteile zur Luftfüh- rung + Speicherung	ja	—	—	—	ja	—
Wärmespeichervorgang (1.4)	Tertiärspeiche- rung im Bauteil	Transp. d. Wärme mit WTM z. Bauteil	—	—	Tertiärspeiche- rung im Bauteil	Transp. d. Wärme mit WTM z. Bauteil
Sonnenenergienutzung (1.4)	hybrid	bauliche Mittel + mechan. Gebläse	—	—	hybrid	bauliche Mittel + mechan. Gebläse
Grund- und Einzel- raumregelung (1.5.1; 4.4.3)	möglich	manuelle Regelung möglich (Luftstrom an/aus)	+	-	mögl. i.V.m. WL-Zusatzheizg. in Regelkreise	Unterteilung der Speicherabschnitte

WARMLUFTDURCHSTRÖMTE SPEICHERBAUTEILE IN WL-HEIZKREISLÄUFEN - ALLGEMEINE SYSTEM- + BETRIEBSMERKMALE	BETRIEBSWEISE					
	OFFEN			GESCHLOSSEN		
	SYSTEM-/ BETRIEBSMERKMAL	BEMERKUNG	BEWERTUNG		SYSTEM-/ BETRIEBSMERKMAL	BEMERKUNG
Alternative Speicher- anordnung (Vor-/Rück- luftstrom, 3.3.3)	möglich	bedarfsw. alternie- rende Änderung der Luftstromrichtung i.d. Speicherbaut.	—	—	entfällt	wegen G.S.
ENERGETISCHE ASPEKTE DES SYSTEMBETRIEBS (3)						
Thermisches Reaktions- vermögen des WTM	flink	thermophysikal. Ei- gensch. von Luft: schnelle Erwärmbar- keit, geringe Spei- cherfähigkeit	++	++	flink	thermophysikal. Ei- gensch. von Luft: schnelle Erwärmbar- keit, geringe Spei- cherfähigkeit
Thermisches Reaktions- vermögen des WÜM	flink	WÜM = WTM	++	-	träge	Verzögerung durch therm. träge reagie- rendes WÜM
Thermisches Reaktions- vermögen des Systems	flink	Vollständige Aus- nutzung d. thermo- phys. Eigenschaf- ten des WTM	++	-	träge	Verzögerung durch therm. träge reagie- rendes WÜM
Stillstand-/Trägheits- verluste	minimiert	Unterbrechung des Luftstroms = Unter- brechung der Wärme- zufuhr	++	-	treten auf	abh. von den physik- alischen Eigensch. der Wärmeabstrahl- flächen

KAP. I.8 - ERGEBNISSE + DISKUSSION VON ABSCHNITT I

ENERGETISCHE ASPEKTE DES SYSTEMBETRIEBS (3)	BETRIEBSWEISE					
	OFFEN			GESCHLOSSEN		
	SYSTEM-/ BETRIEBSMERKMAL	BEMERKUNG	BEWERTUNG		SYSTEM-/ BETRIEBSMERKMAL	BEMERKUNG
Auf- + Nachheizzeiten	minimiert	Unterbrechung des Luftstroms = Unterbrechung der Wärmezufuhr	++	-	treten auf	abh. von den physikalischen Eigensch. der Wärmeabstrahlflächen
Reaktionsmöglichkeit des Systems auf Änderung d. äuß. Heizbed.	spontan, ohne Verzögerung direkt mit WTM	Regelmöglichkeit Wärmezufuhr an/aus	++	-	verzögert, nur i.V.m. WL-Zusatzheizung	Verzögerungsgrad abh. v. thermischen Reaktionsvermögen
Nutzung kurzfristig auftretender Wärmeüberschüsse	möglich	aufgrund der thermophysikal. Eigenschaften des WTM	+	-	nicht möglich	Verzögerung durch thermisch träge Reaktion des Systems
Option der systemintegrierten Gebäudekühlung (1.5; 3.4; 4.3.3)	möglich	konv. Wärmeentzug aus den Räumen, Luftstrom durch ausgekühlte Speichermassen	+	0	theoretisch möglich	in mitteleurop. Klima n. sinnvoll, Kondensationsgefahr auf d. Bauteiloberfl.
Wärmeverschiebung mit/durch Systemkreislauf	möglich	Verteilung der Wärme direkt oder über Zentrale	+	-	nicht möglich	
Nutzung interner Wärmequellen im System	möglich, sowohl Wärmeverschiebung als auch Tertiärspeicherung	direkte Nutzung über WTM	+	-	keine systemintegrierte Nutzungsmöglichkeit.	Tertiärspeicherung und Wärmespeicherung nicht möglich

INTEGRATIONSFÄHIGKEIT DES SYSTEMBETRIEBS IM GEBÄUDETECHNISCHE GE- SAMTKONZEPTION (3; 4)	BETRIEBSWEISE					
	OFFEN			GESCHLOSSEN		
	SYSTEM-/ BETRIEBSMERKMAL	BEMERKUNG	BEWERTUNG		SYSTEM-/ BETRIEBSMERKMAL	BEMERKUNG
Integration einer aktiven Zusatzheizung (ZH) (1.5; 3.4; 4.3)	vollständige Integration in Betriebsablauf	direkte Einbindung von WL-ZH Systemvoraussetz. nach 1.5; 1.6; 3.4; 4.3 und 6.2	++	0	Integration einer WL-ZH	Durch Betrieb einer WL-ZH ggf. ungünstige Vorwärmung der Speichermassen
Integration von Einrichtungen zur kontrollierten mechanischen Lüftung (KL)	Mischluftbetrieb n. 3.4.1, Mehrfachnutzung der Systemperipherie	Einbindung als Voraussetzung für energetisch sinnvollen Betrieb n. 1.5; 1.6; 3.4; 4.3 und 6.2	++	-	nicht möglich	durch geschlossene Systembetriebsweise
Integration von Einrichtungen zur WRG aus der Abluft	i.V.m. kontrollierter Lüftung (KL)	- " -	++	-	nicht möglich	- " -
Systemintegrierte Einr. zur Raumluftbefeuchtg. (4.4.6; 5.2)	möglich	Integration von Dampfluftbefeuchtern	+	-	nicht möglich	- " -
Integration von akt. Kühleinrichtgn. (WP)	möglich	in Mitteleuropa n. erforderlich			nicht möglich	in Mitteleuropa n. erforderlich
By-Pass-Luftführungen zur An- + Abkoppelung von Speichermassen + RLT-Peripherie	möglich	Voraussetzung für energetisch sinnv. Systembetrieb nach 4.4.4.4	+	0	teilweise möglich	zur An- + Abkoppelung einzelner Luftführungs- + Speicherabschnitte

KAP. I. 8 - ERGEBNISSE + DISKUSSION VON ABSCHNITT I

SONNENENERGIE NUTZUNG (1.4; 3.3)	BETRIEBSWEISE					
	OFFEN			GESCHLOSSEN		
	SYSTEM-/ BETRIEBSMERKMAL	BEMERKUNG	BEWERTUNG		SYSTEM-/ BETRIEBSMERKMAL	BEMERKUNG
Variabilität bei der Kollektorverwendung	Betrieb mit sämtl. Kollektortypen mögl.	Nutzung d. ins Gebäude eingestrahlt. Solarenergie (Treibhauseffekt)	+	0	Betrieb m. Kollektoren ohne WTM-Austausch m. Innenraum	keine tertiäre Nutzungsmöglichkeit des gebäudeinternen Treibhauseffektes
Direkte Verschiebung von Solarwärme zur Deckung von Wärmefiziten im Gebäude	möglich	direkte Einspeisg. d. Warmluft i.d. offenen WL-Heiz-	++	-	nicht möglich	Wärmeabgabe + -übertragung nur m. zeitl. Verzögerung
Kombination/Ausbau mit versch. Kollektortypen	möglich				möglich	Einschränkungen s.o.
Nutzung kurzfristiger Einstrahlungsgewinne	möglich	s.o. "Nutzung kurzfr. auftretender Wärmeübersch."	+	-	nicht möglich	s.o. "Nutzung kurzfristig auftretender Wärmeüberschüsse"
Betriebstemperaturniveau	ggf. auch unter Raumlufttemperaturniveau	bei ausgekühlten Speichermassen	+	0	über Raumlufttemperaturniveau	
Kontrollierte Speicherentladung	möglich	Entladung konvektiv über Luftstrom (alt.: unkontrollierte Entladung)	++	0	nicht möglich	Speicherentladung nur über Strahlung

BEHAGLICHKEIT (1.2; 5) - THERMISCHE BEHAGLICHKEIT (5.2):	BETRIEBSWEISE					
	OFFEN			GESCHLOSSEN		
	SYSTEM-/ BETRIEBSMERKMAL	BEMERKUNG	BEWERTUNG		SYSTEM-/ BETRIEBSMERKMAL	BEMERKUNG
Temperaturkonstanz	Schwankungen möglich	abh. von der Speicheranordg. (Vor-/Rückluft, 3.3.3)	0	+	gleichmäßige Temperatur	durch gleichmäßige (träge) Wärmeabstrahlung der Bauteile
Temperaturverlaufsprofil im Raum (Temp.-Schichtung)	gleichmäßig	Verlaufsprofil nahe Idealverlauf	+	1)		abh. von der Lage der Abstrahlfläche im Raum
Raumluftgeschwindigkeit	bei ungünstigen Betriebsbedingungen Zugscheinungen	Geschwindigkeiten > 0,2 m/s	2)	+	keine systembedingten Beeinträchtigungen	
Luftfeuchte	Einfluß des Systembetriebs auf Luftfeuchte ungeklärt	Praktische Betriebsuntersuchung erforderlich	*		analog konventionelle Heiz-	z.B. Fußbodenheizung
AKUSTIK (5.3):						
Geräuschbildung im System	Geräuschbildung möglich	Strömungs- und Peripheriegeräusch	3)	3)	Geräuschbildung möglich	Strömungs- und Peripheriegeräusche
Geräuschübertragung durch das System	Geräuschübertragungen durch Luftschall	Luftschallübertragungen z.B. aus Nachbarräumen	3)	+	verminderte Gefahr der Geräuschübertrag.	durch geschlossenen Systemkreislauf ohne Öffnungen

KAP. I. 8 - ERGEBNISSE + DISKUSSION VON ABSCHNITT I

HYGIENE (5.4):	BETRIEBSWEISE					
	OFFEN			GESCHLOSSEN		
	SYSTEM-/ BETRIEBSMERKMAL	BEMERKUNG	BEWERTUNG		SYSTEM-/ BETRIEBSMERKMAL	BEMERKUNG
Schadstoffübertragung	möglich	im offenen Kreislauf kann WTM zu Schadstoffträgermedium werden	4)	+	nicht möglich	Ausnahme: Leckage im System; ggf. Gefahr der Schadstoffdiffusion durch Bauteile
Geruchsübertragung durch Systemkreislauf	bei Mischluftbetrieb n. möglich	Abluft aus Küche, Bad + WC; Übertragung auf Umluft ausgeschlossen	+	+	nicht möglich	_____
Schadstoffentstehung im System (5.4, Anhang 1)	möglich bei Kondensation i. System	Vermeidung ungünstiger Betriebsbedingn.; prakt. Unters. erford.	5)	5)	möglich	durch geschlossenen Kreislauf reduzierte Übertragungsgefahr
Schadstoffemission aus Speicherbauteilen (Anhang 1)	b. Emissionen direkte Übertragungsgefahr	Vermeidung durch Verwendung unbedenkli. Baustoffe	6)	6)	möglich	b. geschl. Systemkreislauf verzögerte Übertragung (n. über Luftkreislauf)

WIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE (1.7; 6)	BETRIEBSWEISE					
	OFFEN			GESCHLOSSEN		
	SYSTEM-/ BETRIEBSMERKMAL	BEMERKUNG	BEWERTUNG		SYSTEM-/ BETRIEBSMERKMAL	BEMERKUNG
Kompensation der Initialkosten durch Mehrfachfunktion + -nutzg. der Systemkomponenten	in weitestgehendem Umfang	bei Integration v. KL, WRG und WL-Zusatzheizung; Nutzg. vorh. Bauteile z. Speichg.	++	0	eingeschränkt	nur Möglichkeit zur Integration einer geschlossenen WL-ZH; Nutzung vorh. Bauteile z. Speichg.
Herstellung + Einbau d. durchströmten Speicherbauteile ohne zusätzl. Mehrkosten	Möglichkeiten zeichnen sich ab	praktische Untersuchungen erforderlich	*	*	Möglichkeiten zeichnen sich ab	praktische Untersuchungen erforderlich
Reduzierung der Betriebskosten durch - integrierte KL + WRG	ja	_____	+	-	nein	_____
- Ausnutzung d. energetisch günstigen flinken therm. Reaktionsverm. d. Luft	ja	praktische Betriebsuntersuchg. über Art + Ausmaß d. Kostenwirkung	*	*	nein	_____
- effektiv nutzbare solare Heizbeiträge	in vollem Umfang	s.o. "Sonnenenergienutzung"	++	+	ja	mit den Einschränkungen der thermisch trägeren Reaktionsfähigkeit des Systembetriebs

In der tabellarischen Übersicht verwendete Abkürzungen:

G.S.	= Geschlossener Systemkreislauf
KL	= kontrollierte mechanische Lüftung
O.S.	= Offener Systemkreislauf
RLT-	= Raumlufttechnische- (RLT-Peripherie od. RLT-Anlage)
WL-	= Warmluft- (z.B. WL-Heizung)
WP	= Wärmepumpe
WRG	= Wärmerückgewinnung aus der Abluft
WTM	= Wärmeträgermedium
WÜ	= Wärmeübertragung
WÜM	= Wärmeübertragungsmedium
ZH	= Zusatzheizung

Anmerkungen zu den Fußnoten:

- 1) Das Raumtemperatur-Verlaufsprofil von geschlossenen Systemen hängt ab von der Lage des Speicher-/Abstrahlbauteils im Raum (Wand, Boden, Decke). Bei Ausbildung einer nach oben abstrahlenden Geschoßdecke kann von dem gleichen Verlaufsprofil ausgegangen werden wie bei einer konventionellen Warmwasser-Fußbodenheizung.
- 2) Bei Verwendung von Diffusoren, speziell dimensionierten Auslaßöffnungen etc. (üblicher technischer/planerischer Standard bei modernen Warmluft-Heizungen) werden überhöhte, als Zugerscheinung wahrzunehmende Raumluft-Bewegungen vermieden. Die Geschwindigkeiten betragen dann < 1 m/s unmittelbar über den Luftauslaßöffnungen und deutlich $< 0,2$ m/s (Mittelwert) im Raum.
- 3) In 4.4.7 und 5.3 sind Maßnahmen und technische Lösungen aufgezeigt, mit deren Hilfe das Auftreten unerwünschter akustischer Störeinflüsse wirksam unterdrückt werden kann. In jedem Fall sind jedoch praktische Untersuchungen auf diesem Gebiet zu empfehlen.
- 4) Nach 4.4.5 und 5.4.1 kann durch eine ständige Filterung der Umluft die Gefahr einer Schadstoffübertragung durch das in offenen Systemkreisläufen frei in den Raum tretende Wärmeträgermedium erheblich reduziert werden. Bei entsprechender Filterung läßt sich der Anteil der in der Raumluft enthaltenen partikulären Verunreinigungen (Staub, Rauch, Pollen, Keime und Bakterien) gegen 0% (!) verringern, so daß sich die Qualität der Raumluft gegenüber der Luft in konventionell beheizten Räumen deutlich verbessert.
- 5) Nach 5.4.2 sind zum gegenwärtigen Entwicklungsstadium des Untersuchungsgegenstandes keine Angaben über Arten von möglichen Schadstoffen und deren Bildung im Systemkreislauf zu machen. Zu diesem Themenbereich werden ausführliche praktische Untersuchungen und Erprobungen notwendig sein.
- 6) Schadstoffemissionen aus Bauteilen können durch die Auswahl unbedenklicher Baustoffe vermieden werden.

8.3 Erläuterung und Diskussion der Ergebnisse

Vier Vertiefungsschwerpunkte der vorausgegangenen Kapitel verdienen im Hinblick auf die Auswertung, vgl. auch das Anforderungsprofil b. 8.2, besonderes Interesse:

- Die energetischen Aspekte des Systembetriebs, einschließlich der Fragen der Sonnenenergienutzung.
 - Die Integrationsfähigkeit - und damit die Mehrfunktionalität - der Systemkonzeption.
 - Fragen des hygienisch einwandfreien und die Behaglichkeit nicht beeinträchtigenden Systembetriebs.
 - Die Wirtschaftlichkeit der untersuchten Systemkonzeptionen.
-

8.3.1 Die energetischen Aspekte des Systembetriebs

Hinsichtlich der energetischen Aspekte sprechen die Vorteile für die offene Betriebsweise der Systeme. In keiner der vorgenommenen Untersuchungen zeichnet sich auf diesem Gebiet ein Vorteil für den geschlossenen Betrieb ab.

Die Gründe dafür liegen in der vollständigen Nutzbarmachung des thermisch flink reagierenden Wärmeträgermediums Luft im offenen Systemkreislauf. Gleichzeitig übernimmt die Luft in der offenen Systembetriebsweise die Funktion des Wärmeübertragungsmediums. Diese doppelte Funktion der Luft wirkt sich mit Blick auf das energetische Wirkungsprinzip als besonders günstig aus.

Anders in den geschlossenen Systemkreisläufen: zwar findet auch hier das Wärmeträgermedium Luft Verwendung, die Wärmeübertragung an den Raum erfolgt jedoch zwangsläufig über ein separates, thermisch weitaus träger reagierendes Wärmeübertragungsmedium. Die energetisch vorteilhaften thermophysikalischen Merkmale der Luft können aufgrund des Wirkungsprinzips des geschlossenen Systemkreislaufs nicht auf den Heizbetrieb übertragen werden.

Alle nachfolgenden, als neutral oder negativ bewerteten System- oder Betriebseigenschaften der geschlossenen Warmluft-Heizkreisläufe resultieren direkt aus der Kombination eines flinken Wärmeträgermediums mit einem träge reagierenden Übertragungsmedium, die als energetisch ungünstig angesehen werden muß.

Diese energetischen Merkmale der Systeme wirken sich auch auf die Nutzung der Sonnenenergie aus. Wie aus dem tabellarischen Überblick ersichtlich wird, summieren sich bei der Solarwärme-Nutzung mit geschlossenen Systemkreisläufen die negativ zu bewertenden Umstände und Einschränkungen in erheblichem

Maße, so daß die Sinnfälligkeit einer derartigen Systemkonzeption zur Sonnenenergienutzung als fragwürdig angesehen werden muß.

Vor diesem Hintergrund erscheint die Frage berechtigt, welchen Vorteil hinsichtlich der energetischen Aspekte ein geschlossenes Warmluft-Heizsystem auch gegenüber und im Vergleich mit einer konventionellen Warmwasserheizung bieten kann.

Ergebnis: Nach Wertung der diesbezüglichen Aspekte muß in energetischer Hinsicht, sowohl für den aktiven Zusatzheizbetrieb als auch für die hybride Nutzung von Sonnenwärme, der offenen System-Betriebsweise der Vorzug gegenüber der geschlossenen Betriebsweise gegeben werden.

8.3.2 Die Integrationsfähigkeit der Systemkonzeption

Ähnlich wie bei 8.3.1 fällt auch die Beurteilung der Systeme hinsichtlich ihrer Integrations- und Anpassungsfähigkeit zugunsten der offen betriebenen Luft-Heizkreisläufe aus.

Die Gründe dafür liegen wiederum in der vielseitigeren Nutzbarkeit des in einem offenen Kreislauf zirkulierenden Wärmeträgermediums Luft. Durch den offenen Kreislauf wird die vollständige Einbindung der Systemkomponenten in die übrige raumlufttechnische (RLT-) Anlage ermöglicht. Der mit oberster Priorität zu behandelnden Forderung nach Reduzierung der Lüftungswärmeverluste (vgl. Einleitung und Kapitel 1.5) kann auf diese Weise durch die Integration von Einrichtungen zur kontrollierten mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft optimal entsprochen werden. Dadurch ergibt sich für den offenen Systemkreislauf ein zusätzlicher Vorteil in energetischer Hinsicht. Gleichzeitig lassen sich durch diese Einrichtungen ("Mischluftbetrieb") die hygienischen Anforderungen an die Verminderung des Schadstoffgehaltes der Raumluft erfüllen.

Bei offenem Systembetrieb bietet sich zudem die Integration einer Warmluft-Zusatzheizung gleichsam an. Zusammen mit der Lüftungseinrichtung ergibt sich aus dieser Kombination die angestrebte Mehrfunktionalität fast aller der eingesetzten System- und RLT-Komponenten. - Für geschlossene Warmluft-Heizkreisläufe ist die Integration in die RLT-Anlage systembedingt ausgeschlossen.

Ergebnis: Der offen betriebene Warmluft-Heizkreislauf bietet gegenüber dem geschlossenen Systembetrieb die Möglichkeit zur Integration der übrigen RLT-Anlage in die Systemkonzeption und weist damit erhebliche Vorteile in planerischer, energetischer und funktioneller Hinsicht auf.

8.3.3 Fragen des hygienischen und behaglichen Systembetriebs

Aus offenem und aus geschlossenem Systembetrieb ergeben sich hinsichtlich der Behaglichkeit (thermische Behaglichkeit und Akustik) keine einschneidenden Besonderheiten, nach denen spezielle Maßnahmen erforderlich werden oder die deutliche Vor- bzw. Nachteile der einen oder der anderen Betriebsvariante erkennbar werden lassen.

Zwar weist das geschlossene System leichte Vorzüge auf in Bezug auf die Konstanz der Raumtemperatur; ebenso ist systembedingt eine negative Beeinflussung der Raumluftgeschwindigkeiten und die Übertragung von störendem Luftschall von vornherein ausgeschlossen. Da für offene Systeme technische Lösungen zur Verfügung stehen, die gleichfalls zur Vermeidung eventueller Beeinträchtigungen wirkungsvoll eingesetzt werden können, können die jeweiligen System- und Betriebsmerkmale als ausgewogen und gleichermaßen geeignet bezeichnet werden.

Bezüglich eines hygienisch einwandfreien Systembetriebs ergeben sich jedoch für offene Warmluft-Heizkreisläufe eine ganze Reihe von möglichen Problemen. Wenngleich manche Schwierigkeiten als beseitigt gelten können (Verhinderung der Schadstoffübertragung durch Filterung, Vermeidung von Geruchsübertragungen bei Mischluftbetrieb und geeigneter Abluftführungen), so darf doch dieser Umstand nicht darüber hinwegtäuschen, daß noch Fragen zu ganz erheblichen Problemen des offenen Systembetriebs unbeantwortet bleiben, insbesondere betreffs eines möglichen Schadstoff- und Feuchtigkeitsniederschlags in den Speicherbauteilen mit nachfolgender Schadstoffneubildung und -übertragung an die beheizten Räume. Erst praktische Untersuchungen können Sicherheit darüber geben, ob und in welchem Umfang Gefahren für die Bewohner (und auch für die Bausubstanz) durch den Betrieb offener Luftheizungssysteme mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen ausgehen können.

Ergebnis: Hinweise für systembedingte Beeinträchtigungen der thermischen Behaglichkeit oder für akustische Störeinflüsse gibt es weder für den geschlossenen noch für den offenen Systembetrieb. - Der hygienische Aspekt offen betriebener Warmluft-Heizkreisläufe mit durchströmten Speicherbauteilen muß jedoch solange als unbestimmt gelten, bis durch praktische Versuche die Unbedenklichkeit nachgewiesen worden ist.

8.3.4 Wirtschaftlichkeit der Systemkonzeptionen

Die Wirtschaftlichkeit (das Verhältnis von Herstellungs- und Betriebskosten) einer Systemkonzeption ermittelt sich zum überwiegenden Teil direkt aus deren Integrationsfähigkeit in die RLT-Peripherie, s.o. 8.3.2.

Die wirtschaftlichen Vorteile sprechen damit für den offenen Systembetrieb, sowohl bezüglich der Herstellungs- als auch der Betriebskosten. Zwar verwenden beide Systemkonzeptionen vorhandene Bauteile zur Luftführung und Speicherung, was zu einer günstigen Beeinflussung der Herstellungskosten der Systeme führt; nur der offene Systembetrieb bietet darüber hinaus jedoch die Möglichkeit zur gemeinsamen Verwendung der raumluftechnischen Peripherie sowohl für Systembetrieb, kontrollierte Frischluftzufuhr und Zusatzheizung, s. 8.3.2.

Bei offenen wie bei geschlossenen Systemkonzeptionen ist von einem passiven bzw. hybriden Heizbeitrag auszugehen, so daß für beide Betriebsvarianten mit einer in wirtschaftlicher Hinsicht günstigen Beeinflussung der Betriebskosten (durch den verringerten Einsatz von aktiv gewandelter Heizenergie) gerechnet werden kann. Wie nachgewiesen wurde, ist die effektivere hybride Nutzung der Sonnenenergie mit offenen Systemkreisläufen möglich, wodurch sich das Verhältnis weiter zugunsten der offenen Betriebsweise verschiebt. - Für eine abschließende Beurteilung müssen jedoch genaue Herstellungs- und Betriebsanalysen durchgeführt werden.

Eine Reduzierung der Betriebskosten ergibt sich bei offenen Systemen zudem durch die integrierte kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung und den damit verbundenen Energieeinsparungen.

Ergebnis: Durch die Vorteile bei Herstellungs- und Betriebskosten fällt die wirtschaftliche Prognose zugunsten der offenen Betriebsweise aus. Konkrete Aussagen können jedoch erst nach praktischen Wirtschaftlichkeitsermittlungen getroffen werden.

ABSCHNITT II. :
VORHANDENE SYSTEME

Abschnitt II - Vorhandene Systeme

Einleitung:

In Abschnitt II werden vorhandene Konzepte und Systeme analysiert, bei denen im Sinne der Forschungsthematik Luft als Wärmeträger- und -transportmedium durch die Konstruktion bzw. Bauteile eines Gebäudes geführt wird, um die in der Luft enthaltene Wärmeenergie an die Speichermasse der Bauteile zu übertragen und/oder die Wärmeenergie im Gebäude zu verteilen.

Die Vielzahl bereits vorhandener Systeme und die dazu erhältlichen Informationen indizieren die Aktualität der Thematik. Durch die Analyse dieser Systeme soll die weitere Suche nach geeigneten Lösungsansätzen gestützt werden.

Die Aufzählung der in Abschnitt II erfaßten Systeme erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Die Auswahl und Reihenfolge ist nicht im Sinne eines bestimmten Ordnungsprinzips oder einer Prioritätenfolge zu verstehen, sondern erklärt sich aus dem Rücklauf und dem Umfang der zur Verfügung gestellten Informationen. Eine Systematisierung und Zusammenfassung der Systeme nach übergeordneten Kriterien erfolgt in Kapitel III.

Unter II.2 sind weitere Systeme erfaßt, die nicht näher erläutert werden, entweder, weil keine Unterlagen vom Hersteller erhältlich bzw. noch nicht zur Veröffentlichung freigegeben waren, oder, weil sie nur am Rande der Forschungsthematik liegen und für den unmittelbaren Untersuchungsbereich keine Relevanz haben.

Die untersuchten Systeme wurden nach einem einheitlichen Gliederungskonzept bearbeitet:

- 1 Systembezeichnung/Hersteller
- 2 Quellenangaben
- 3 Anwendungsbereich
 - 3.1 Entwicklungs-/Realisationsstand, Ursprung
- 4 Systembeschreibung
 - 4.1 Systemaufbau
 - 4.2 Wirkungsweise
 - 4.3 Saisonaler Betrieb:
 - 4.4 Peripherie
 - 4.5 Konstruktive Ausbildung, Herstellung
 - 4.6 Systemvoraussetzungen, Einsatzbeschränkungen

- 4.7 Möglichkeiten der Nachrüstbarkeit in vorhandene Bausubstanz
 - 4.8 Nutzereinfluß auf Systemfunktion und -wirkungsweise
 - 4.9 Übertragbarkeit der Systemanwendung + Nutzungserkenntnisse auf Gebäude anderer Nutzungsart
 - 4.10 Übertragbarkeit der Systemanwendung auf andere geographische/klimatische Gebiete (Sonnenenergienutzung)
- 5 Kombination mit Einrichtungen zur passiven Sonnenenergienutzung, Variationen
 - 6 Energiebilanz
 - 7 Wirtschaftliche Aspekte
 - 8 Ergebnisse; abschließende Bewertung

Die Untersuchungen stützen sich dabei inhaltlich auf die in Abschnitt I erörterten Systemvoraussetzungen und -anforderungen.

Sämtliche in Kap. II.1 verwendeten Abbildungen sind aus den aufgeführten Quellen der jeweiligen Systembezeichnungen entnommen bzw. nach diesen Abbildungen entwickelt worden. Zusätzliche Quellenverweise für die Abbildungen wurden deshalb nicht mehr vorgenommen.

Die Angaben zu den einzelnen Systemen entstammen den angegebenen Quellen. Aufgrund fehlender Informationen, sind zu Einzelpunkten nur eingeschränkt Aussagen möglich gewesen. Insbesondere trifft dieses bei den meisten Systemen in bezug auf die energetische Bewertung und Angaben zur Wirtschaftlichkeit zu.

Entsprechend der zwischenzeitlichen Entwicklung auf diesem Gebiet, werden einige der vorgestellten Daten zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Arbeit bereits überholt sein oder weitere Ergänzungen bedürfen. Im Einzelfall können diese beim Hersteller, Lizenznehmer oder Vertreiber (s. Quellen und Adressen) abgefragt werden.

Kap. II.1 - Untersuchte Systeme:
(Quellenangaben und Herstellerhinweise s. a.a.O.)

<u>Übersicht/Systembezeichnung:</u>		<u>Seite:</u>
1.1	Hambro (Knauf)	II.1 - 5
1.2	Thermodeck (Isfält)	II.1 -12
1.3	Airfloor	II.1 -21
1.4	Wärmespeicherfähigkeit interner Massen (Fuchs)	II.1 -29
1.5	Durchlüftete Baukonstruktionen (Haferland)	II.1 -38
1.6	Minimalenergiehäuser (Küsgen)	II.1 -43
1.7	Porenlüftung/Solpor-Sonnenwand (Bartussek)	II.1 -48
1.8	Hohlkörperdecken (Hoffman)	II.1 -55
1.9	Luftheizung mit Speicherdecken (Brink)	II.1 -59
1.10	Beton-Sohlplattenspeicher (Mitchell)	II.1 -65
1.11	Chaleff-Slab	II.1 -70
1.12	Flexicore	II.1 -75
1.13	Acorn-Slab	II.1 -79
1.14	Luftheizung m. passiver Sonnenenergienutzung, (System Arnke)	II.1 -84
1.15	Hohlkammerdecken, System Seppanen/Ripatti	II.1 -89
1.16	Sonnenwand mit transparenter Wärmedämmung (Fraunhofer-Institut für Bauphysik; Stuttgart)	II.1 -94
1.17	Hypokausten-Wand, System Bambek	II.1 -98

teil. Dabei ist, abhängig von der Gebäudekonzeption, dem Grad der passiven Sonnenenergienutzung und der Luftwechselrate, für weite Bereiche die Raumbeheizung ohne aktiven Heizeinsatz möglich.

4.4 - Peripherie

Zwar sind die Hambro-Decken voll in die lufttechnische Anlage der Reihenhäuser integriert, es besteht jedoch keine Bindung an die System-Peripherie.

Die Luftstrombewegung erfolgt mechanisch über ein zweistufiges, temperaturgesteuertes elektrisches Gebläse am zentralen Umluft-Gasofen. Die raumlufttechnische Ausstattung der Gebäude wurde bereits in 4.1 vorgestellt.

In dem genannten Forschungsbericht gibt es Hinweise darauf, daß dem Luftkreislauf möglicherweise ein bestimmter Frischluftanteil beigemischt und damit kontrolliert gelüftet wird ("Mischluftbetrieb"). Es wird von 0,2- bzw. 0,4-fachen Luftwechselraten gesprochen. Angaben über die Art der Vorrichtungen werden nicht gemacht.

In Einrichtungen der Wärmerückgewinnung gibt es keine Angaben. Die Integration entsprechender mechanischer Lüftungseinrichtungen wäre, soweit nicht bereits vorhanden, in jedem Falle sinnvoll und ohne großen Mehraufwand durchführbar.

Die zentrale Hausbeheizung erfolgt über einen in Nordamerika üblichen Umluft-Gasofen mit den entsprechenden Zuluftschächten und -öffnungen. Zur Auslegung der Heizungsanlage werden im einzelnen keine Angaben gemacht.

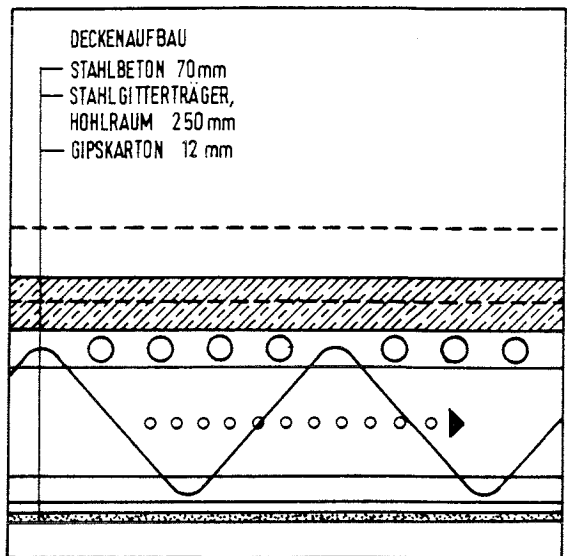
Der Einsatz der "System-Warmluftdecken" in mit Warmwasserheizungen ausgerüsteten Wohnhäusern ist bereits konzipiert. In diesem Fall würde ein ausschließlich offener Umluftbetrieb vorgesehen, bei dem die Decken in der vorbeschriebenen Weise durchströmt werden. Für den Luftstrom wäre ein separater Ventilator erforderlich.

Angaben über das Erfordernis bzw. die Möglichkeit der Luftfilterung und der Luftbe- oder -entfeuchtung sind in dem Forschungsbericht nicht gemacht.

4.5 - Konstruktive Ausbildung, Herstellung

Die Hambro-System-Warmluftdecke ist als zweischalige Konstruktion ausgebildet. Die 7cm dicke Stahl-Betonplatte liegt auf Stahl-Gitterträgern, die in die monolithische Stahl-Betonplatte eingebunden sind.

Durch eine Unterdecke aus Gipskarton entsteht der Deckenhohlraum. Über die Art der Ausbildung der Ein- und Auslaßöffnungen liegen keine Angaben vor. Ebenso wenig kann zur Oberflächenbehandlung der Hohlräume etwas ausgesagt werden.



Ob die Deckenteile vorgefertigt sind, geht aus dem Bericht nicht hervor.

4.6 - Systemvoraussetzungen, Einsatzbeschränkungen

Bisher wurde das System ausschließlich in den beschriebenen Reihenhaustypen eingesetzt.

Bauliche Systemvoraussetzungen ergeben sich aus den Anforderungen an die passive Sonnenenergienutzung (Standortfaktoren, Gebäudezonierung, Glasflächenanteil der Südfassade).

Ansonsten sind Beschränkungen für den Einsatz des Hambro-Systems in Reihen- oder Einfamilienhäuser nicht erkennbar.

4.7 - Möglichkeiten der Nachrüstbarkeit in vorhandene Bausubstanz

Eine nachträgliche Ausrüstung mit dem Hambro-System ist mit vertretbarem Aufwand nicht möglich.

4.8 - Nutzereinfluß auf Systemfunktion und -wirkungsweise

Der Nutzereinfluß hängt vom Grad der Automatisierung der Systemsteuerung und -regelung ab.

In dem Forschungsbericht ist darauf hingewiesen, daß der Wirkungsgrad des Hambro-Systems in dem Maße steigt, in welchem der Bewohner das Ansteigen der Raumlufttemperatur während der Sonneneinstrahlphase duldet, ohne die temporäre Überschußwärme hinauszulüften.

4.9 - Übertragbarkeit der Systemanwendung + Nutzungserkenntnisse auf Gebäude anderer Nutzungsart

Konkrete Erkenntnisse liegen zu diesem Punkt bislang noch nicht vor. Ein erweiterter Einsatzbereich wäre indessen nur bei entsprechender Systemausbildung denkbar.

4.10 - Übertragbarkeit der Systemanwendung auf andere geographische/klimatische Gebiete (passive Sonnenenergienutzung)

Das Klima in den südlichen Provinzen Kanadas ist, zumindest in den Übergangszeiten, mit dem mitteleuropäischen Klima vergleichbar. Der Winter in diesen Gebieten fällt in der Regel strenger aus.

5 - Kombination mit Einrichtungen zur passiven/hybriden Sonnenenergienutzung, Variationen

Der beschriebene Systemaufbau stellt ein typisches solares Hybrid-System zur Raumbeheizung dar. Die Kombination mit weiteren Sonnenwärmenutzungseinrichtungen ist daher nicht Untersuchungsgegenstand.

6 - Energiebilanz

Die Energiebilanz der untersuchten Reihenhäuser liegt noch nicht in vollem Umfange vor, da die Meßergebnisse aus dem Winterhalbjahr 1984/85 noch nicht bekannt sind. - Einen ersten Überblick über die zu erwartende Leistungsfähigkeit des Systems geben die abgebildeten Tabellen mit den Ergebnissen der ersten Simulationsreihen.

ENERGIEVERBRAUCH WÄHREND DES SIMULIERTEN 24-STD.-ZYKLUS WIE BESCHRIEBEN:					
Temp. Profile Code	Solar Profile Code	FLÄCHE DER VERGLASTEN SÜDFASSADE SOUTH GLAZING AREA (KWM/TAG)			
		Normal Design 7.3 m ²		Passive Solar 15 m ²	
		HOLZDECKE Wood Floor	HAMBRODECKE Hambro Floor	HOLZDECKE Wood Floor	HAMBRODECKE Hambro Floor
TEMPERATUR PROFIL KENNUNG	SONNENEINSTRÄHLUNGSPROFIL KENNUNG				
SPRNG	FULL VOLL	11.2			Ø
	AVG DURCHSCHNITT	11.5			Ø
	NONE NULL	16.8			19.3
HIGH	FULL	24.7			14.9
	AVG	25.1			16.1
	NONE	36.9			44.2
MED	FULL	39.8			33.7
	AVG	41.0			35.6
	NONE	57.6			69.6
COLD	FULL	69.8			71.3
	AVG	74.2			76.2
	NONE	96.0			116.7

SIMULATIONSEINGABEN: HAUSTYP MASTERCRAFT #44
 TEMPERATURSCHWANKUNG: 5,5°C
 LUFTAUSTAUSCH/n: 2,2
 THERMOSTAT: 20°C

ENERGIEVERBRAUCH WÄHREND DES SIMULIERTEN 24-STD.-ZYKLUS WIE BESCHRIEBEN:					
Temp. Profile Code	Solar Profile Code	FLÄCHE DER VERGLASTEN SÜDFASSADE SOUTH GLAZING AREA (KWM/TAG)			
		Normal Design 7.3 m ²		Passive Solar 15 m ²	
		HOLZDECKE Wood Floor	HAMBRODECKE Hambro Floor	HOLZDECKE Wood Floor	HAMBRODECKE Hambro Floor
TEMPERATUR PROFIL KENNUNG	SONNENEINSTRÄHLUNGSPROFIL KENNUNG				
SPRNG	FULL VOLL	14.2	Ø	17.1	Ø
	AVG DURCHSCHN.	14.4	0.5	17.3	Ø
	NONE NULL	22.2	20.8	30.9	24.9
HIGH	FULL	31.7	22.0	36.6	16.6
	AVG	33.7	28.1	37.4	20.5
	NONE	48.1	46.1	56.6	55.7
MED	FULL	52.5	47.1	58.6	40.5
	AVG	55.4	53.5	60.3	48.1
	NONE	74.7	72.5	87.4	86.7
COLD	FULL	95.0	95.0	102.3	91.1
	AVG	101.1	98.9	106.2	103.5
	NONE	124.0	121.4	145.3	145.0

SIMULATIONSEINGABEN: HAUSTYP MASTERCRAFT #44
 TEMPERATURSCHWANKUNG: 7°C
 LUFTAUSTAUSCH/n: 0,4
 THERMOSTAT: 20°C

Die mittels Computer-Simulation vorausberechneten und auf den Jahresdurchschnitt gebrachten Energieeinsparungen der mit den Hambro-Systemdecken ausgestatteten Reihenhäuser, variieren zwischen 5,8% und 25% gegenüber den vergleichbaren herkömmlichen Reihenhaustypen.

Diese relativ große Bandbreite erklärt sich aus der Vielzahl variabler Parameter (Größe der Südverglasung, Reihenmittel- oder Endhaus, Luftwechselraten, Wärmeschutz der Fenster bzw. der Außenwände, Amplitudenschwankungen der Innenraumtemperatur etc.), die der Kalkulation zugrunde liegen. Die angegebenen Maximalwerte wurden für ein relativ breites Reihenmittelhaus mit 15m verglaster Südfassade, temporärem Wärmeschutz für die Glasfläche, angenommenem 0,2-fachen Luftwechsel/h und einer maximal zulässigen Innenraumtemperaturschwankung von 7K (beim Abfallen der Temperatur unter 20°C springt selbsttätig die Zusatzheizung an, über 27°C wird die Überschuwärme automatisch hinausgelüftet) ermittelt.

Das herkömmliche Vergleichshaus unterscheidet sich in der Ausstattung nur insofern, als dort lediglich 7,3m² der Südfassade verglast sind. Die übrigen Ausstattungs- und Betriebsmerkmale sind identisch.

7 - Wirtschaftliche Aspekte

Da genaue Zahlenangaben fehlen, erlauben die dem Forschungsbericht zugrunde liegenden Einzelerfahrungen nur vergleichende Überlegungen.

- 1.) Der Einbau der Hohlkammerdecken erfolgt ohne bauliche Mehrkosten im Vergleich zu sonst üblichen Konstruktionen.
- 2.) Inwieweit die systembedingte Konstruktionshöhe des Hambro-Decken-Systems sich auf die Herstellungskosten auswirkt, ist in dem Bericht nicht untersucht.
- 3.) Positiv auf die Investitionskosten wird sich die Kopplung des Systems mit bereits vorhandenen haus- und heiztechnischen Anlagen auswirken. Bei einer anderen als einer Warmluftheizung entfielen allerdings dieser Vorteil.
- 4.) Aufgrund der zu erwartenden Verringerung der Zusatzheizlast kann die zentrale Heizungsanlage evtl. kleiner dimensioniert werden.

Vorgenannte Merkmale treffen nur auf den entsprechend ausgestatteten Reihenhaustyp zu. Insofern sind diese Merkmale nicht ohne weiteres übertragbar auf andere Haustypen.

Im dargestellten Fall sind die Antriebskosten für den Luftstrom nicht systembedingt, da diese Energie ohnehin für den Umluftstrom der Zusatzheizung bzw. für die kontrollierte Lüftungseinrichtung benötigt wird.

8. - Ergebnisse und Bewertung

Der wichtigste Ansatz des Hambro-Systems liegt in der Vermeidung zusätzlicher Investitionskosten. Ein weiterer entscheidender Vorteil des Systems besteht durch die vollständige Integration der warmluftdurchströmten Decken in die vorhandene heiz- und lufttechnische Anlage der untersuchten Reihenhäuser.

1 - Systembezeichnung, Hersteller

System zur Wärmeenergieverteilung und -speicherung, genannt "Thermodeck"; Engelbrekt Isfält, c/o Royal Institute of Technology, S-10044 Stockholm 9, Schweden

2 - Quellenangaben

1. Isfält, E.: "Wärmespeicherungswirkung in Gebäuden", 'Klima- und Kälteingenieur' Ki 10/73, S.29, /I09/
2. Anderson, L.O. et. al: "Storage of Heat and Coolth in Hollow Core Concrete Slabs. (...)", 'Lawrence Berkeley Laboratory', LBL-18913, 10/1979, /A05/
3. Barnaby, C. et al.: "Utilizing the Thermal Mass of Structural Systems in Buildings for Energy Consercation and Peak Power Reduction", 'Lawrence Berkeley Laboratory', LBL-11332, 1980, /B05/
4. U.S. Patent # 4,124,062

3 - Anwendungsbereich

System zur natürlichen Klimatisierung von Bürogebäuden. Wärmespeicherung in den internen Gebäudemassen (luft-durchströmte Geschoßdecken).

3.1 - Entwicklungs-/Realisationsstand

- Ende der 70er Jahre wurde ein Bürogebäude in Schweden fertiggestellt, das erstmalig mit einem "Thermodeck" bezeichneten Beton-Hohlkörper-Deckensystem ausgerüstet war.
- Daten des im Jahre 1977 fertiggestellten Bürogebäudes:

7-geschossiges Bürogebäude mit rechteckigem Grundriß 17m x 75m = 1.275m² je Geschoß, Gesamtfläche 8.800m² davon 5.400m² genutzte und über den Luftstrom beheizte Fläche; 10m² Büromodul: 2,4m (Fassadenanteil) x 4,2m, H = 2,7m; 6,5m² Außenwand, davon 1,5m² Fenster (22% Fassadenfläche); k-Wert Außenwand = 0,25 W/m²K Fenster = 2,0 W/m²K;

- Weitere Projektuntersuchungen beschäftigen sich mit dem Einsatz des Systems in Gebäuden mit anderer Nutzungsart und in anderer geographisch-klimatischer Umgebung. Dabei finden auch unterschiedliche Gebäudekonstruktionen Berücksichtigung (s.u.).

4 - Systembeschreibung

- System zur passiven Wärmeenergienutzung, vorwiegend in Büro- und Verwaltungsgebäuden u. dgl.; Raumbeheizung im Winter, Gebäudekühlung im Sommer.

4.1 - Systemaufbau

- Warmluftdurchströme und wärmespeichernde Hohlkammer-Geschoßdecken, hergestellt aus vorgefertigten Betonelementen: Breite 1,2m = halbe Raumbreite, Höhe = 30cm, Beton, fünf Hohlkammern mit kreisförmigem Querschnitt, Durchmesser 18,5 cm.
Masse je Platte (2 je Büromodul) = 2.000kg, Wärmekapazität ca. 500 Wh/K;
- Luftstrombewegung über ein zentrales Gebläse im Gebäude;
- Anschluß aller zu versorgenden Räume über einen Verteilerkanal; Koppelung mit der übrigen raumlufttechnischen Anlage;
- Speicheranordnung im Zuluftstrom;
- Nutzung interner Wärmequellen (Menschen, Büromaschinen, Licht) und der in die Südräume eingestrahlten Sonnenwärme; hochwärmegedämmtes Gebäude als Betriebsvoraussetzung.
- Offener Umluft-Systembetrieb; Integration der zentralen Warmluftheizung; elektrische Einzelradiatoren in den Büroräumen als Zusatzheizung; Nachtluftkühlung im Sommer: die Geschoßdecken werden von der kühlen Außenluft durchströmt.
- Erwärmung der Raumluft durch Konvektion; eventueller Strahlungsanteil konstruktionsabhängig, nicht definiert;
- Kontrollierte Außenluftzufuhr Systembestandteil (Umluft 85%, Außenluft 15%); keine WRG aus der Fortluft;
- Möglichkeit der Integration weiterer Peripherieeinrichtungen;

Jeder der Einzelräume ("Büromodul", s.o.) ist über die abgehängten Deckenelemente an das Thermodeck-System angeschlossen.

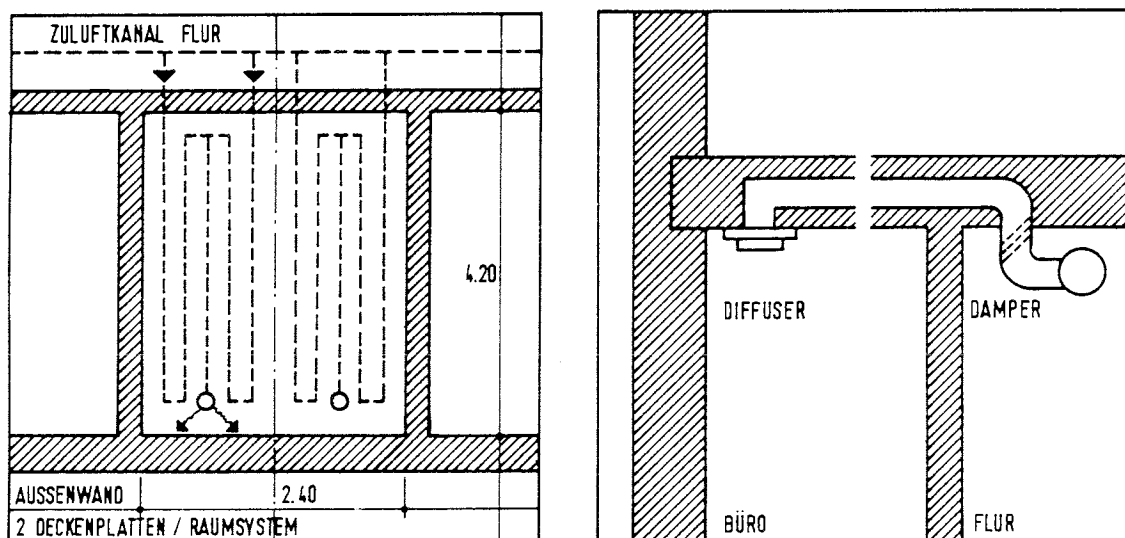


Abbildung: Anschluß der Deckenprofile an den Zuluftstrom.
Jedes 10m² Büro hat eine Modulbreite von zwei Deckenplatten (2,4m) und eine Tiefe von 4,2m.

In den Korridoren wird die Zuluft in Kanälen entlang der Decke geführt. Jedes Deckenfertigteil ist über 1 - 2 Anschlüsse plus Luftstromsteuerungsklappe mit diesem Kanal verbunden.

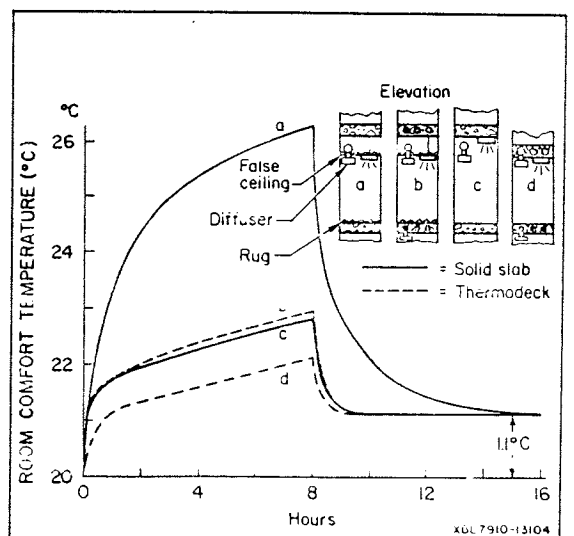
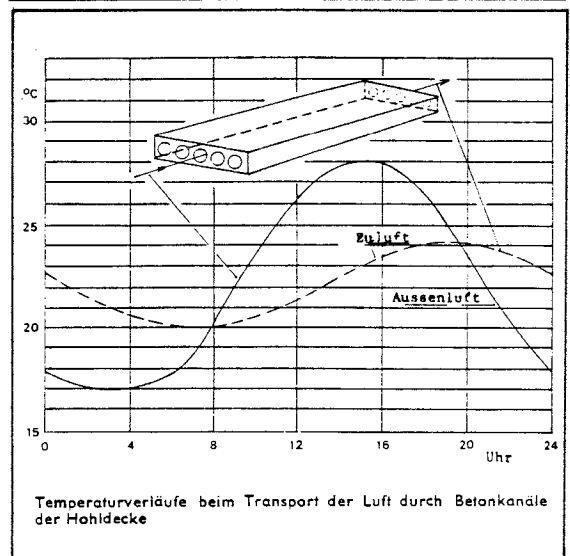
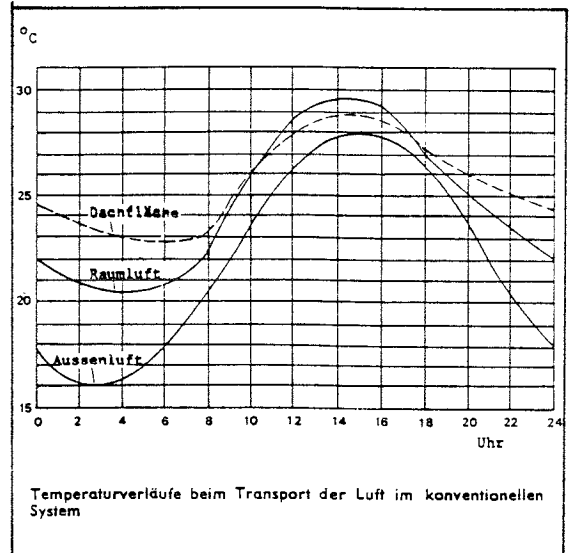
4.2 - Wirkungsweise

Aufgrund der hohen Wärmedämmung in herkömmlichen schwedischen Gebäuden treten selbst im Winter Übererwärmungen (Sonneneinstrahlung, interne Wärmequellen) in den Räumen auf, die ungenutzt wieder hin ausgelüftet werden müssen. Der durchschnittliche Energiegewinn im Winter beträgt in einem schwedischen Bürogebäude 15 W/m^2 während der 8 Stunden Belegungszeit. Ohne Thermodeck kann dieser Energiegewinn zum Ansteigen der Raumlufttemperatur auf über 26°C führen. Beim Einsatz von Thermodeck ist lediglich ein Anstieg von 2°C zu erwarten. (Angaben lt. Quellen unter 2)

Die in den Betonhohlkörper-Decken gespeicherte Wärme wird im Winter dazu genutzt, die Nacht- und Wochenend-Wärmedefizite zumindest teilweise zu kompensieren. Im Sommer kehrt sich der Kreislauf: die Decken werden nachts von der kühlen ($18\text{-}20^\circ\text{C}$) Außenluft durchströmt, um tagsüber die Überschusswärme aus den Büroräumen aufnehmen zu können.

Computer-simulierte Raumtemperaturkurven für unterschiedliche Deckenaufbauten (Wärmekapazität jeweils $100 \text{ W/m}^2\text{K}$) in gleicher Umgebung (Büroraum). Während der ersten 8 Stunden wurden für Beleuchtung 15 W/m^2 (50% Strahlungsanteil) aufgewendet. Die folgenden Deckenaufbauten werden dargestellt:

- a) 20cm massive Beton-Deckenplatte, Teppichboden, abgeh.



Decke m. Luftzwischenraum. Angenommene Wärmedurchlaßwiderstände (m^2K/W): Teppich: 0,1; Luftzwischenraum 0,17 und abgeh. Decke (gedämmt) $0,5m^2K/W$;

- b) wie a, jedoch 30cm Thermodeck-Deckenplattenelemente;
- c) 20cm Betonplatte, ohne Teppichboden u. abgeh. Decke;
- d) wie c, jedoch 30cm Thermodeck.

4.3 - Saisonaler Betrieb

Das Thermodeck-System ist für den Winter- (Heiz-) wie für den Sommer- (Kühl-)Betrieb konzipiert.

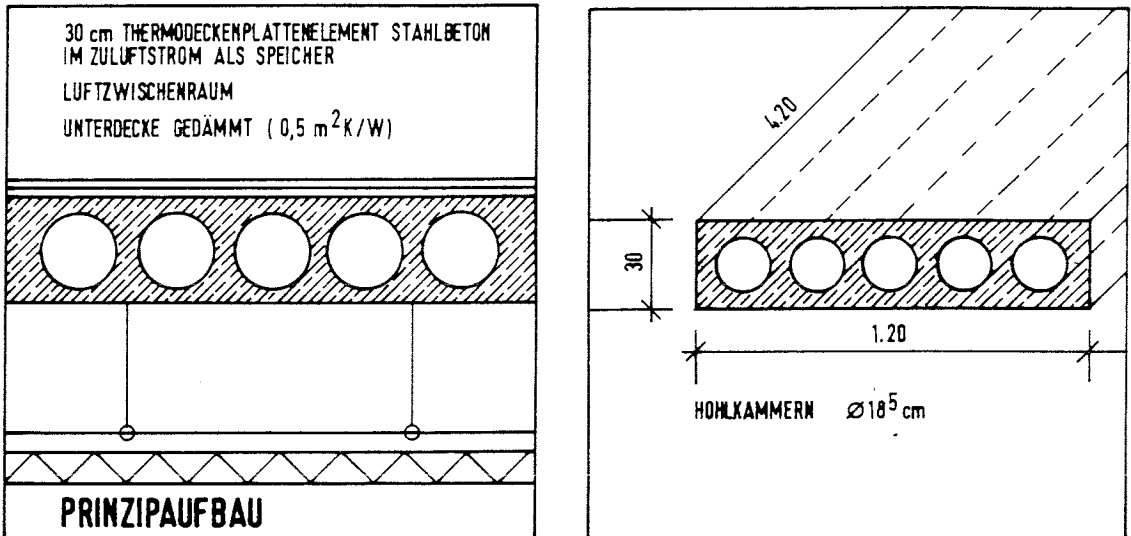
4.4 - Peripherie

- Bezüglich der Systemperipherie bestehen für Thermodeck keine Bindungen. Im Prinzip kann jede lufttechnische Anlage mit dem System gekoppelt werden.
- Über ein elektrisches, zentrales Gebläse wird der Luftstrom des gesamten Bürotraktes angetrieben. Antriebsleistung (Aufnahme) $2,3 W/m^2$, davon $0,15 W/m^2$ für den zusätzlichen Druckverlust in den Thermodeck-Elementen.
- Eine kontrollierte Lüftung wird über die Beimischung der 15% Frischluft zu dem Umluftstrom erreicht.
- Die übrige raumlufttechnische Anlage entspricht in Ausführung und Standard der in diesen Gebäuden üblichen Ausstattung ("schwedischer Standard").
- Die Veröffentlichungen enthalten keine Angaben über einen Einsatz von Einrichtungen zur WRG.
- Die aktiven Zusatzheizeinrichtungen sind teilweise direkt mit dem Thermodeck-System gekoppelt. Die Erwärmung der Luft erfolgt indirekt über Warmwasser-Wärmetauscher. Mit dieser Lufterwärmung wird der (aktive) Grundheizbedarf gedeckt.
- Zur individuellen Einzelraumbeheizung befindet sich zusätzlich je Raum eine kleine elektrische Direktheizung (Radiators mit 100W Aufnahmeleistung). Diese Radiatoren dienen ausschließlich der Steigerung des persönlichen Komforts des Personals und sind mit Einzelthermostaten versehen.
- Luftfilterungseinrichtungen sind in die raumlufttechnische Anlage integriert. Angaben zur Art der Filterung werden nicht gemacht.
- Aus den Veröffentlichungen geht nicht hervor, ob das Erfordernis zur Be- +/- Entfeuchtung der Luft besteht und ob es entsprechende Einrichtungen dafür gibt.

4.5 - Konstruktive Ausbildung, Herstellung

- Vorgefertigte Hohlkörperdeckenplatten aus Beton;
- Abmessung nach Statik erforderlich, mindestens jedoch nach Skizze;
- Für Montage Kran erforderlich;
- Hohlkörper der Deckenplatten sind im eingebauten Zustand nicht mehr zugänglich.

- Aus den vorliegenden Veröffentlichungen geht nicht hervor, ob die Oberflächen der Hohlräume speziell behandelt oder ausgebildet sind.



Deckenaufbau System Thermodeck

4.6 - Systemvoraussetzungen, Einsatzbeschränkungen

- Integration der Hohlkammer-Deckenplatten in die Konstruktion des Gebäudes; durch die Konstruktionshöhe der Platten ergeben sich Konsequenzen für die Geschoßhöhen der Gebäude.

Der Systembetrieb basiert im wesentlichen auf der Nutzung intern vorhandener Wärmequellen (vgl. 6), wohingegen für die Nutzung der Sonnenenergie keine besonderen Einrichtungen vorgesehen sind (schwedische Winter!). Eine Verlagerung der passiven/hybriden Energiequellennutzung zugunsten eines höheren Sonnenenergieanteils erscheint jedoch möglich ohne erkennbare Beeinträchtigung der Thermodeck-Funktion oder seiner thermischen Wirkung.

Die Effektivität des Systems wird bestimmt durch die weitgehend reduzierten Transmissions- und Lüftungswärmeverluste (vgl. dazu die Ausführungen in I.1.3).

Eine Koppelung mit der übrigen raumluftechnischen Anlage einschließlich der Möglichkeit zur kontrollierten Lüftung sowie einer Luftheizung ergibt sich sinnvollerweise. Das gleiche gilt für die WRG aus der Abluft.

Für die verstärkte Nutzung der Sonnenenergie gelten die Voraussetzungen nach I.1.4.

Die vorliegenden Ergebnisse sind nicht ohne weiteres auf Gebäude mit anderer Nutzungsstruktur (Wohngebäude) übertragbar, da sowohl die Lastspitzenverteilung als auch die Möglichkei-

ten bzw. das Erfordernis der passiven Energiequellennutzung vollkommen anders gelagert ist.

Der Systemaufbau selbst wird sich indessen bei einem Einsatz in Gebäuden mit anderer Nutzungsart kaum ändern.

4.7 - Möglichkeiten der Nachrüstbarkeit in vorhandene Baustanz

Enfällt für das Thermodeck-System.

4.8 - Nutzereinfluß auf Systemfunktion und -wirkungsweise

Der Einfluß der Nutzer ergibt sich beim Thermodeck-System aus der speziellen Speicheranordnung im Zuluftstrom (s. 4.2). Dadurch wird das Personal in den Büros veranlaßt, auf sich ändernde Heizungsbedingungen zu reagieren. Der individuellen Behaglichkeit wird zudem durch die Anordnung der elektrischen Zusatzradiatorn Rechnung getragen, die zwar nicht systemgekoppelt sind, dennoch oder gerade deswegen den Systembetrieb beeinflussen können (durch Zu- oder Abschaltung).

Der Entscheidungsbereich des Büropersonals beschränkt sich auf den jeweiligen 10m² Büroraum.

4.9 - Übertragbarkeit der Systemanwendung + Nutzungserkenntnisse auf Gebäude anderer Nutzungsart

Rückschlüsse auf einen Thermodeck-Einsatz z.B. im Wohnungsbau sind nicht möglich. - Die vorliegenden Untersuchungsberichte weisen auf die geringere Wärmemenge aus internen Wärmequellen im Wohnungsbau hin, dies könnte jedoch evtl. durch einen erhöhten Sonnenenergienutzungsanteil kompensiert werden.

Änderungen des prinzipiellen Systemaufbaus wären dazu nicht erforderlich, s.o..

4.10 - Übertragbarkeit der Systemanwendung auf andere geographische/klimatische Gebiete (Sonnenenergienutzung)

In dem Untersuchungsbericht (s. 2.2) wird die Systemanwendung für größere Gebäude in den USA und Kanada theoretisch erörtert. - Gewisse Systemmodifikationen wären erforderlich zur Anpassung an die dortigen klimatischen Verhältnisse. Trotzdem wäre demnach eine vollständige Gebäudekühlung im Sommer durch den Einsatz des Thermodeck-Systems nicht zu erreichen, da die Kühllasten zu groß sind. - Im Winter jedoch wäre der Systembetrieb durch die erheblich vergrößerte passive Sonnenenergienutzungsmöglichkeit um einiges effektiver als in dem untersuchten und gemessenen Gebäude in Schweden (vergleichbare baukonstruktive und bauphysikalische Gebäudeeigenschaften vorausgesetzt). Insbesondere die Eignung und der Einsatz von

Thermodeck zur Wärmeverschiebung (offenes System) innerhalb des Gebäudes wäre dann vielversprechend.

Der Einsatz von Thermodeck im mitteleuropäischen Raum könnte gleichfalls effektiv sein: die klimatischen Verhältnisse im Sommer unterscheiden sich nur geringfügig von denen in Schweden, so daß die Gebäudekühlung mit Thermodeck auch hier erfolgen könnte. Im Winter und in der Übergangszeit könnte möglicherweise, durch die höhere Solarrate, das System noch wirkungsvoller zur passiven Gebäudeheizung eingesetzt werden.

5 - Kombination mit Einrichtungen zur passiven/hybriden Sonnenenergienutzung, Variationen

Der Anteil der Sonnenenergienutzung wurde bereits erläutert und sein Einfluß auf die Wirkungsweise des Systems dargestellt.

Zur Verbesserung der thermischen Effektivität des Systems wird in dem Untersuchungsbericht der Einsatz von Luftkollektoren erwähnt. - Denkbar sind darüber hinaus die Kombination von Thermodeck mit allen sonstigen bekannten und vorhandenen Einrichtungen zur passiven/hybriden Sonnenenergienutzung. Abhängigkeiten s. I.1.4.

6 - Energiebilanz

In einer theoretisch ermittelten thermischen Bilanz für das mit Thermodeck ausgerüstete Bürogebäude wurde ein Heizenergiebedarf von 25 kWh/m² Bürofläche vorausgesetzt (nach Quelle 2.2), was umgerechnet 17,5 kWh/m², bezogen auf die Gesamtfläche des Gebäudes, ergibt.

Die konkreten Messungen im Gebäude weisen einen Energiebedarf von 60 kWh/m² für die Raumbeheizung aus. (Das entspricht der Hälfte des sonst in Schweden für derartige Gebäude üblichen Standards).

Die offensichtliche Differenz zu den og. Werten läßt sich teilweise durch die folgenden Umstände erklären (alle Angaben in kWh/m²):

- | | |
|---|------|
| - Die theoretischen Vorausberechnungen beliefen sich auf: | 17,5 |
| - Nach schwed. Erfahrungen bleiben an Wochentagen ca.30% der Büroräume unbesetzt, wodurch sich der Bedarf verdoppelt: | 17,5 |
| - 2,6 Wochen Belegschaftsferien, dadurch zusätzl.: | 4,0 |
| - Die Ventilatoren werden 3 Std. täglich auch außerhalb der Bürozeiten betrieben; während dieser Zeit wird weiterhin Außenluft kontrolliert zugeführt, Mehraufwand: | 4,0 |

- Zusätzlich ergeben sich Verluste durch angelassene Heizradiatoren und Heizspiralen, die zur Vermeidung der Vereisung beheizt werden mußten. Die Wärmetauscher wurden zu dicht an den Außenluftzulasen angeordnet. ?
- Durch diese Umstände erhöhen sich die theoretisch ermittelten Voraussagen um mindestens (kWh/m²): 43,0

Der Rest, also etwa 20 kWh/m², dürfte sich durch weitere Systemabstimmungen und -verbesserungen ausgleichen lassen, die üblicherweise in der zweiten Heizsaison vorgenommen werden. Zudem sind die Mehrkosten für diese 20 kWh/m² gering (vgl. Bericht n. Quelle 2.2, S.9).

7 - Wirtschaftliche Aspekte

"Da sich vorgefertigte Hohlkörper-Betonelemente bereits in weitverbreitetem Einsatz befinden, sind die Kosten dafür eindeutig konkurrenzfähig mit anderen Konstruktionsmethoden. Zudem betragen die Kosten für den Anschluß an die Zuluftkanäle im Flur ungefähr das gleiche wie die Installation von horizontalen Verteilerkanälen. Durch Thermodeck wird jedoch eine kleinere HLK-Anlage möglich, wodurch sich die Erstinvestitionskosten verringern." (zit. n. Quelle 2.2, S.12)

Mit erhöhten Folgekosten gegenüber konventionellen Heiz- und Lüftungseinrichtungen ist für Thermodeck nicht zu rechnen. Die Frage nach Reinigung und Wartung der Deckenhohlkammern bleibt jedoch auch diesbezüglich offen.

8 - Ergebnisse und Bewertung

Bei dem Thermodeck-System handelt es sich zweifellos um eines der bestdokumentierten Systeme mit warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen. Die angeführten Untersuchungsberichte und Veröffentlichungen datieren bereits einige Jahre zurück. Neuere Untersuchungen bzw. Weiterentwicklungen zu diesem System standen nicht zur Verfügung.

Die vorgestellte thermische Gebäudebilanz und die Leistungsfähigkeit des Systems sind beachtlich. Ungeklärt bleibt die Frage nach den hygienischen Aspekten des offenen Systembetriebs. Zu diesem Punkt waren keine Auskünfte zu bekommen.

Ein wichtiger Vorteil des Systems liegt in der Möglichkeit der vollständigen Integration der raumlufthechnischen Anlage eines Gebäudes. Zusammen mit der Tatsache, daß für die Einrichtung des Systems keine finanziellen Mehraufwendungen (zusätzliche Investitionskosten) erforderlich werden, legt dieser Umstand den Grundstein für die Wirtschaftlichkeit und kurze Amortisationszeit des Systems.

Von Bedeutung wäre die Untersuchung des praktischen Einsatzes von Thermodeck im Wohnungsbau (verdichteter Flachbau ebenso wie Geschosswohnungsbau). Hier ließe sich ein weiteres breites Einsatzgebiet erschließen, zumal eine der Systemvoraussetzungen, nämlich eine hochwirksame Wärmedämmung, von den meisten Neubauten bereits erfüllt wird. Für den Wohnungsbau wäre es jedoch erforderlich, in verstärktem Maße die Sonnenwärme zu nutzen, da interne Wärmequellen in aller Regel nicht in ausreichendem Maße zu Verfügung stehen. Eine zusätzliche Verbesserung des System-Wirkungsgrades könnte durch die Hinzunahme von Wärmerückgewinnungseinrichtungen erreicht werden.

1 - Systembezeichnung, Hersteller

Airfloor Division; Aircontrol Systems, Inc., c/o Mr. J.C. Leemhuis, Jr., 13310 Mapledale St., Norwalk, CA 90650 - USA

2 - Quellenangaben

1. Lewis, S.: "Radiant Floors", 'Solar Age', 5/1982, /L07/
2. US Pat. # 2,602,323
3. US Pat. # 3,334,458

3 - Anwendungsbereich

Mit dem Airfloor-System, bislang hauptsächlich in den USA angewendet, sind sowohl Wohngebäude, als auch Verwaltungs- und Schulbauten ausgerüstet (s. 3.1).

3.1 - Entwicklungs-/Realisationsstand

Das Airfloor-System existiert bereits seit 36 Jahren. Inzwischen sind Tausende von Gebäuden unterschiedlicher Dimensionen, Konstruktion und Nutzungsart und unter allen in Nordamerika auftretenden klimatischen Bedingungen mit diesem System ausgerüstet. Zunächst wurde Airfloor als reines Heiz- und Kühlsystem verwendet.

Seit 25 Jahren wird Airfloor auch mit aktiven Sonnenenergiesystemen kombiniert. In den letzten Jahren verstärkt sich die Kombination mit Einrichtungen zur passiven Sonnenenergienutzung.

4 - Systembeschreibung

Im Prinzip erfährt hier die 2000 Jahre alte Hypokaustenheizung eine Renaissance. Erwärmte Luft durchströmt Hohlräume innerhalb des Fußbodenaufbaus und gibt Wärme an die Deckenmasse ab. Diese überträgt die Wärme über Strahlung an die Innenräume.

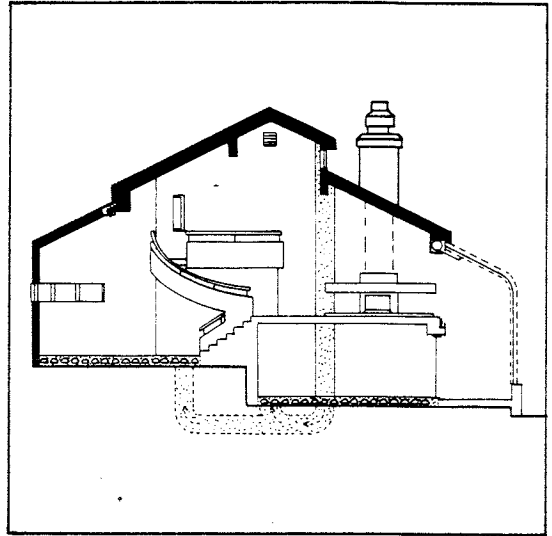
Beachtung verdient das Airfloor-System auch deshalb, weil es sowohl als geschlossenes als auch als offenes System betrieben werden kann. Innerhalb der Airfloor-Deckenkonstruktion werden zwei Vorgänge, die insbesondere für die passive Sonnenenergienutzung von großer Bedeutung sind, miteinander kombiniert: Luftführung und Wärmespeicherung.

Unterschiedlichste Systemvarianten befinden sich im Einsatz. Im folgenden wird die "Standardversion" beschrieben.

4.1 - Systemaufbau

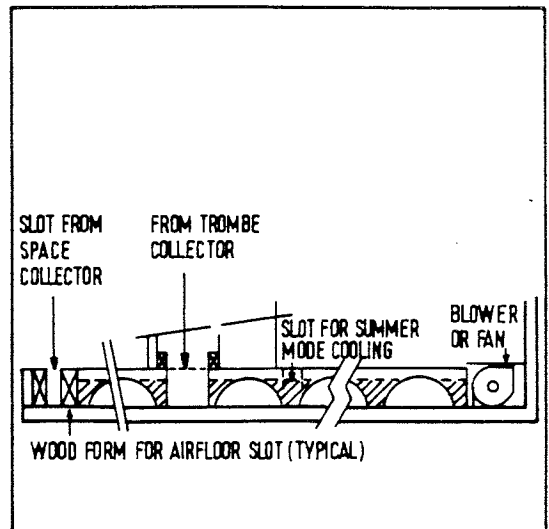
Bei Airfloor handelt es sich um eine luftdurchströmte Deckenplattenkonstruktion. Auf eine Betonplatte werden gewölbte

Blechfertigteile im Verbund so verlegt, daß Luft den damit entstandenen Hohlraum flächig durchströmen kann. Die gewölbten Blechteile werden mit einem Überbeton abgedeckt. Die Blechteile dienen so als verlorene Schalung für die Hohlräume.



Die erwärmte Luft wird dieser Hohlkammer-Deckenkonstruktion über horizontale oder vertikale Kanäle und Verteilerschächte bzw. durch Aussparungen in der Deckenplatte direkt von oben zugeführt. Innerhalb des Aufbaus bzw. direkt in den Hohlräumen können haustechnische Leitungen verlegt werden.

Über Öffnungsschlitze im Deckenaufbau kann die Luft, nachdem sie durch die Decke geleitet wurde, in den Raum bzw. zu Einrichtungen zur passiven Sonnenenergienutzung geleitet werden.



In allen Fällen wird der Luftstrom mechanisch, über elektrische Gebläse, angetrieben.

Durch Klappen und By-Pass-Schaltungen kann die Airfloor-Decke in einzelne "thermische" Abschnitte unterteilt werden. Je nach Bedarf und Energiequelle werden nur Teile des Deckenmassespeichers von der Luft durchströmt. Über Thermostate und Registerschaltungen kann die Auf- oder Entladung einzelner Deckenabschnitte auf ein bestimmtes Temperaturniveau gesteuert werden. Auf wechselnde Außenbedingungen kann auf diese Weise optimal reagiert werden.

4.2 - Wirkungsweise

Auf das Wärmeträgermedium Luft wird die Wärme von der Energiequelle entweder direkt oder indirekt über Wärmetauscher übertragen. Zirkuliert die Luft innerhalb des Airfloor-Systems in einem geschlossenen Kreislauf, so gibt sie die in ihr enthaltene Wärme über Konvektion an die Speichermasse der Deckenkonstruktion ab. Die Decke wiederum überträgt die Wärme auf dem Weg der Strahlung an den Innenraum. Wird der Luftkreislauf geöffnet, kann die Luft aus dem Deckenaufbau in den Innenraum strömen und durch Konvektion erwärmen.

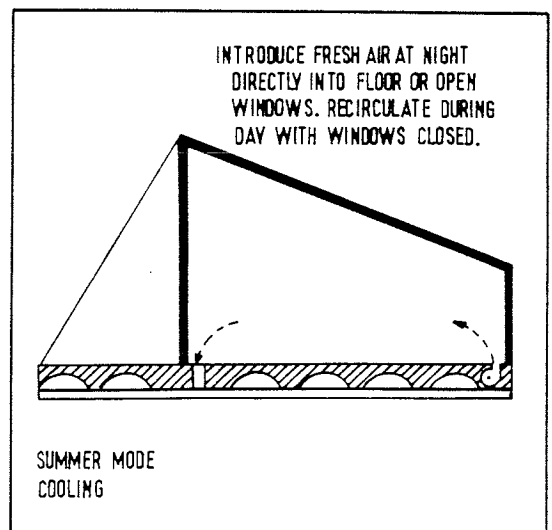
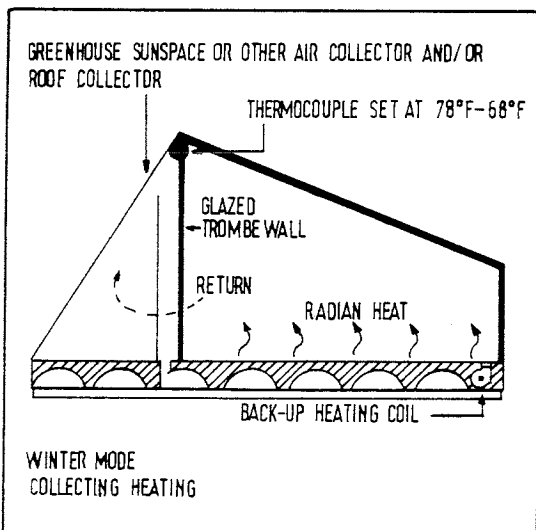
Voraussetzung für die Wärmeabstrahlung an den Innenraum ist, daß die Deckentemperatur größer als die Raumlufttemperatur ist. Im umgekehrten Fall wird dem Raum Wärme entzogen (s. 4.3 und 4.4).

4.3 - Saisonaler Betrieb

Abhängig von der Jahreszeit und den damit verbundenen Außenbedingungen kann das Airfloor-System sowohl zu Heiz- als auch zu Kühlzwecken betrieben werden (vgl. I.4 u. I.5)

Im Winterbetrieb liegt das Temperaturniveau der Deckenplatte über der Raumlufttemperatur. Auf die unter 4.2 beschriebene Weise erfolgt die Erwärmung der Räume.

Bei aktiver oder passiver Nutzung der Sonnenenergie (letztere wird in der Herstelldokumentation als die für die Kombination mit Airfloor sinnvollere Lösung dargestellt) und bei Nutzung eventuell vorhandener interner Wärmequellen (Lampen, Maschinen, Apparate, Prozeßwärme ... etc. vgl. I.1.4), kann das Wärmedefizit eines mit Airfloor ausgestatteten Gebäudes ganz oder teilweise durch diese Energiequellen bei offener Betriebsweise gedeckt werden (vgl. I.3).



Im Sommerbetrieb liegt das Temperaturniveau der Deckenplatte unterhalb der Raumlufftemperatur, der unter 4.2 beschriebene Kreislauf kehrt sich um.

Die zirkulierende Luft kann entweder über herkömmliche Kühlmaschinen (Wärmepumpen) abgekühlt werden, oder es wird nachts die kühlere Außenluft direkt in die Deckenplatte eingeleitet und sorgt damit für den nötigen Wärmeentzug, damit die Decke tagsüber die Wärme aus dem Raum aufnehmen und speichern kann.

Der Betrieb in der Übergangszeit unterscheidet sich im Prinzip nicht vom Winterbetrieb.

Die Wärmedefizite des Gebäudes können hier fast ausschließlich über die zu erzielenden passiven Sonnenenergiegewinne gedeckt werden (Angaben des Herstellers für die geographischen und klimatischen Daten in den USA).

4.4 - Peripherie

Hinsichtlich der das Airfloor-System umgebenden haus-, heiz- und raumlufftechnischen Einrichtungen bestehen keine Systembindungen.

Die Bewegung des Luftstroms wird mechanisch mittels elektrisch betriebener Gebläse aufrecht erhalten. Die Dimensionierung richtet sich nach dem erforderlichen Luftdurchsatz, den Querschnitten der Ein- und Austrittsöffnungen sowie dem gewünschten stündlichen Raumluffwechsel (bei offenen Airfloor-Systemen).

Die Art des Gebläses sowie die Anordnung innerhalb des Systems ist frei wählbar.

Aus den Herstellerunterlagen ist nicht zu entnehmen, ob in das Airfloor-System gleichzeitig Einrichtungen zur kontrollierten Lüftung (Verminderung der Lüftungswärmeverluste, vgl. I.1.3 u. I.5) integriert sind.

Über Einrichtungen zur Wärmerückgewinnung fehlen Herstellerangaben.

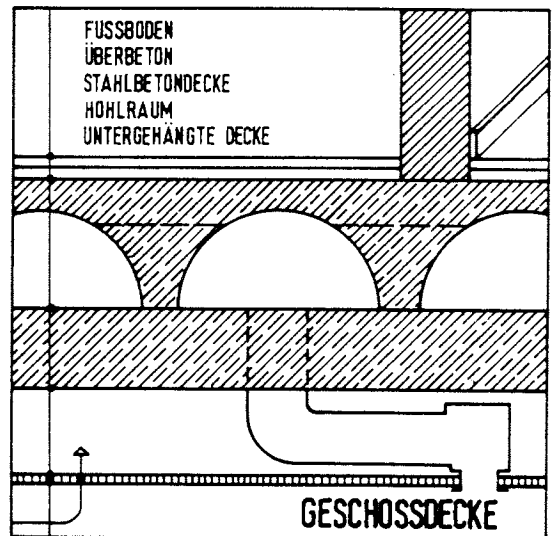
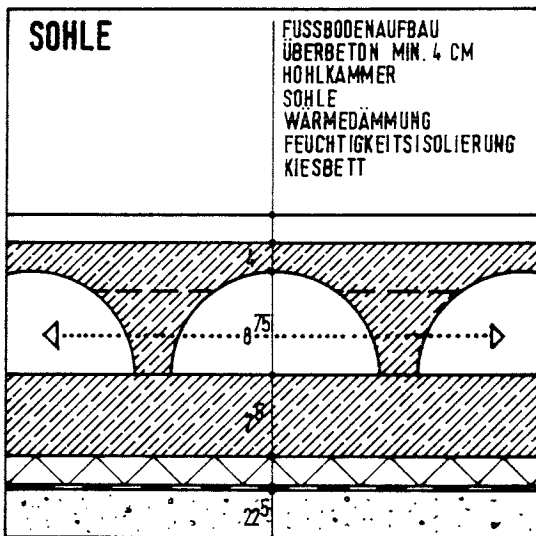
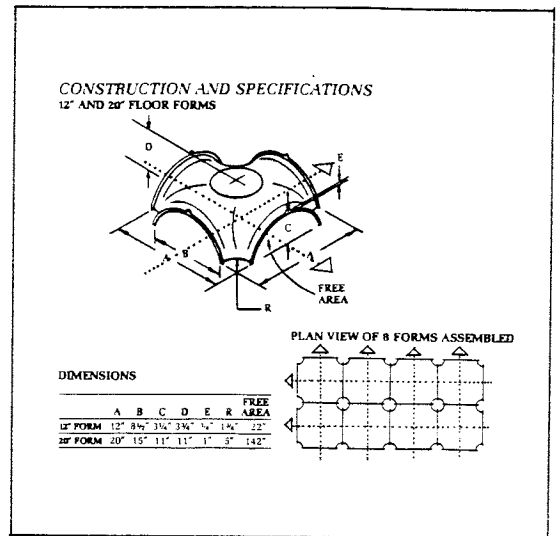
Konkrete Aussagen über Art und Dimensionierung der mit Airfloor verbundenen aktiven Zusatzheizsysteme gibt es nicht. Es werden jedoch verschiedene Heizsysteme im Zusammenhang mit der Systemerläuterung erwähnt.

Angaben über Luftfilterung und Be- und Entfeuchtung fehlen in der Herstellerdokumentation. Bei Verwendung von Airfloor im Krankenhausbau wird auf den Einsatz "heute üblicher Filteranlagen" hingewiesen.

4.5 - Konstruktive Ausbildung, Herstellung

Die Deckenkonstruktion wird monolithisch hergestellt. Auf der Deckenplatte werden die gewölbten Blechteile verlegt und miteinander verbunden. Daraufhin wird der obere Teil der Deckenplatte ebenfalls im Ortbetonverfahren gegossen (Ausparungen für Ansaug- und Ausblasöffnungen, sonstige Anschlüsse). Lediglich die Blechformteile sind vorgefertigt.

Die Dimensionierung erfolgt aufgrund statischer Erfordernisse und der Anforderungen an die Wärmespeicherkapazität.



Im eingebauten Zustand sind die Hohlkammern nicht mehr zugänglich.

Wartungsaufwand dürfte sich für das Airfloor-System in aller Regel nicht ergeben, da sich innerhalb der Deckenkonstruktion keine Verschleißteile befinden. Für Klappen an den Luftstromanschlüssen können Revisionsöffnungen vorgesehen werden.

Angaben zu möglichen Schallübertragungen innerhalb einer Geschoßebene oder zwischen den Geschossen werden nicht gemacht.

4.6 - Systemvoraussetzungen, Einsatzbeschränkungen

Hinsichtlich der Integration von Airfloor in die Gebäudekonzeption ergeben sich die in I.1.3 und I.1.5 formulierten allgemeinen Anforderungen.

Einschränkungen, die sich aus der Verwendung von Airfloor ergeben könnten, sind weder in baulicher noch in nutzungsbedingter Hinsicht zu erkennen.

Bezüglich der Ausführung der Nutzschrift des Fußbodens ergeben sich die gleichen Konditionen wie für herkömmliche Fußbodenheizungen.

Je nach dem, ob Airfloor als offenes oder geschlossenes System betrieben wird (ausführlich dazu I.3), reagiert das System thermisch mehr oder weniger "flink". Daraus können sich Bedingungen ergeben, die zu unterschiedlichen Nutzungsgewohnheiten führen können, die jedoch im eigentlichen Sinn nicht als eine Einschränkung zu werten sind.

4.7 - Möglichkeiten der Nachrüstbarkeit in vorhandene Bausubstanz

Die Nachrüstung von Airfloor in vorhandene Gebäude ist mit vertretbarem Aufwand nicht möglich.

4.8 - Nutzereinfluß auf Systemfunktion und -wirkungsweise

Der Nutzereinfluß hängt im wesentlichen vom Grad der technischen Ausstattung und dem Grad der passiven Sonnenenergienutzung ab (s. I.1.1).

Erfolgen Steuerung und Regelung des Luftstroms sowie der weiteren Einrichtungen (Zusatzheizung, temporärer Sonnenschutz, Luftdurchsatz mit Gebläsen) weitgehend automatisch, ist ein direktes Eingreifen des Nutzers nur in Ausnahmefällen erforderlich. Allerdings nimmt damit gleichzeitig die Möglichkeit der individuellen Einflußnahme ab.

Bei manueller Steuerung sind die Möglichkeiten auf die persönlichen Bedürfnisse und auf einen energetisch optimalen Einsatz sehr groß.

4.9 - Übertragbarkeit der Systemanwendung + Nutzungserkenntnisse auf Gebäude anderer Nutzungsart

Lt. Herstellerdokumentation ist Airfloor in allen Gebäudetypen und für alle Nutzungsarten verwendbar. Einschränkungen in der Anwendung ergeben sich möglicherweise für den Sommerbetrieb (s. 4.10).

4.10 - Übertragbarkeit der Systemanwendung auf andere geographische/klimatische Gebiete (Sonnenenergienutzung)

Die Funktions- und Wirkungsweise des Systems ist unabhängig vom geographischen Einsatzort. Daher ist die Übertragbarkeit in weiten Bereichen gegeben.

Sie unterliegt Einschränkungen jedoch in dem Moment, wo die passive Nutzung der Sonnenenergie als Bestandteil des Airfloor-Energiekonzeptes angestrebt wird. Abhängig von der geographischen Breite bzw. der klimatischen Lage ergibt sich der Anteil der aktiven Zusatzheizung im Winterbetrieb und in der Übergangszeit.

Die gleichen Einschränkungen entstehen in wärmeren Klimazonen bei der Gebäudekühlung mit Airfloor.

5 - Kombination mit Einrichtungen zur passiven Sonnenenergienutzung, Variationen

Im Prinzip sind alle Einrichtungen zur passiven Sonnenenergienutzung sinnvoll mit Airfloor kombinierbar. Dies trifft ebenso für die unterschiedlichen Arten der passiven Solarenergienutzung zu (direkte, indirekte Gewinne).

Das System bietet hierfür günstige Voraussetzungen, da das Wärmeträgermedium Luft direkt genutzt werden kann und die Airfloor-Decken zur Wärmespeicherung wie zur Wärmeverteilung ("verschiebung") genutzt werden können.

6 - Energiebilanz

Genaue Angaben zu diesem Punkt werden in der Herstellerdokumentation nicht gemacht, da die den Energieverbrauch bestimmenden systemunabhängigen Variablen allgemeingültige Aussagen kaum zulassen (vgl. I.1.6).

Mit tatsächlicher Energieeinsparung (= Reduzierung des aktiven Zusatzheiz- bzw. Kühllanteils) sei in jedem Fall zu rechnen (Herstellerangabe). Insbesondere hängt dies natürlich von der Möglichkeit der Nutzung der Sonnenenergie bzw. interner Wärmequellen ab (vgl. I.1.4).

7 - Wirtschaftliche Aspekte

Die Investitionskosten, die für die Herstellung des Airfloor-Deckensystems erforderlich sind, können nur analog zu den Kosten für verwandte Bauweisen (Stahlbetonkonstruktionen) geschätzt werden. Die Herstellerangaben beziehen sich auf den amerikanischen Markt, wodurch Rückschlüsse auf hiesige Verhältnisse nicht gezogen werden können.

Die Mehrkosten für die Herstellung des Systems werden bestimmt von:

- Dem im Vergleich zu üblichen Stahlbetondecken aufwendigeren Herstellungsprozeß;
- Den zusätzlichen Kosten für die Airfloor-Blechelemente;
- Der größeren Konstruktionshöhe des Airfloor-Deckenaufbaus und dadurch größerer Geschoßhöhe.

Dem steht gegenüber:

- Die Heizungsanlage in mit Airfloor ausgerüsteten Gebäuden kann bei gleichzeitiger passiver Nutzung der Sonnenenergie kleiner ausgelegt werden.
- Bei Kombination mit einer Luftheizungsanlage entfallen die Kosten für die Einrichtungen zur Luftführung und Luftverteilung.
- Im Sommer werden zusätzliche Einrichtungen zur Gebäudekühlung überflüssig.
- Die Kombination mit WRG-Einrichtungen zur kontrollierten Lüftung ist mit nur geringem Mehraufwand möglich.

Kosten für Reinigung und Wartung sind wie für vergleichbare Lüftungseinrichtungen bzw. Warmluftheizungen zu erwarten.

8 - Ergebnisse und Bewertung

Mit Airfloor wird ein System vorgestellt, bei dem die Elemente zur Luftführung und Wärmespeicherung kombiniert sind und das dadurch in weiten Bereichen unserer Forschungsthematik entspricht. Zudem bietet sich für das Airfloor-System die Integration von (beliebigen) Einrichtungen zur passiven Sonnenenergienutzung geradezu an.

Der Systemaufbau ist einfach. Der Kern des Systems, das Airfloor-Blechformteil, stellt ein relativ kleines Modul dar, so daß in der Herstellung der Airfloor-Decken kaum Beschränkungen bestehen.

Das gleiche gilt für die Betriebsweise: alle Betriebsvarianten sind möglich, alle Peripherieeinrichtungen sind mit Airfloor kombinierbar.

Da das Airfloor-System in Europa bislang keine Anwendung gefunden hat, sind zu den Herstellungs- und Planungskosten noch keine zufriedenstellenden Aussagen möglich.

Unter Zugrundelegung der in I.1, I.3 und I.6 erörterten Themen kann vermutet werden, daß mit dem Airfloor-System ein wirkungsvolles Wärmespeicher- und -verteilungsmedium zur Verfügung steht, mit dessen Hilfe interne Wärmequellen und die Sonnenwärme zur Gebäudeheizung benutzt werden können. Dies würde eine tatsächliche Reduzierung der zur Gebäudebeheizung erforderlichen aktiven Zusatzheizenergie bedeuten.

1 - Systembezeichnung, Hersteller

Massivdecke als Wärmespeicher, Beeinflußung des thermischen Raumklimas in Bürogebäuden; Walter E. Fuchs, Büro für Industriebau, Stuttgart

2 - Quellenangaben

1. Fuchs, W.: "Beeinflussung des thermischen Raumklimas durch Ausnutzung der Wärmespeicherfähigkeit interner Massen", 'Dissertation', Stuttgart, 1980, /F09/
2. Gertis, K., Fuchs, W.: "Massivdecke eines Großraumbüros als Wärmespeicher", 'IABSE-Proceedings P-45/81', 3/1981, S.133, /G08/

3 - Anwendungsbereich

Das System wurde in ein Bürogebäude eingebaut (Fertigstellung 1975).

3.1 - Entwicklungs-/Realisationsstand

Denkbar wäre die Verwendung dieses Systems auch in Gebäuden mit anderen Nutzungsarten, sofern eine Klimatisierung für das Gebäude erforderlich ist.

4 - Systembeschreibung

System zur Gebäudekühlung; das Prinzip des Systems beruht darauf, daß tagsüber anfallende, überschüssige Wärmemengen in der Deckenmasse der massiven Geschoßdecken gespeichert werden (offener Luftkreislauf). Während der kühlen Nachtstunden, also zeitlich nachfolgend, wird die dort gespeicherte Wärmemenge mit Hilfe von Lüftungseinrichtungen wieder (nach draussen) abgeführt.

Um die Wärmeübertragungsvorgänge, d.h. die Speicher Be- und Entladung am Tage und in der Nacht quantitativ steuern und zeitlich erfassen zu können, sind unterschiedliche Lüftungsvorgänge vorgesehen.

4.1 - Systemaufbau

Kern des Systems sind die massiven Geschoßdecken des Gebäudes, die nicht nur nach statischen sondern auch nach thermischen Gesichtspunkten ausgelegt wurden. Unterhalb dieser Massivdecken, die als Wärmespeicher dienen, sind wärmege-dämmte, abgehängte Decken angeordnet, die mit Lüftungsschlitzen versehen sind.

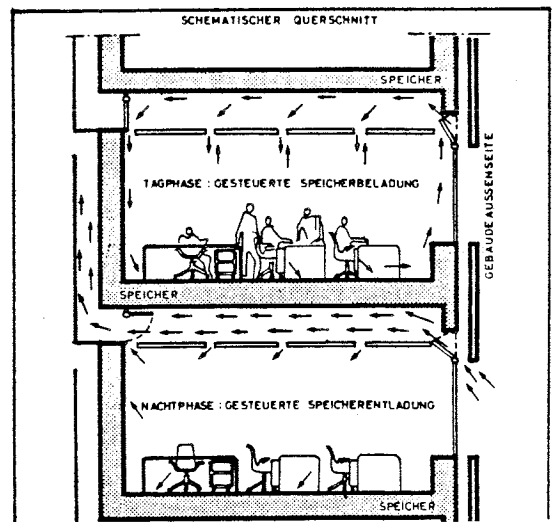
4.2 - Wirkungsweise

Am Tage wird die Raumluft im Umluftverfahren über alle raumseitigen Speicheroberflächen, besonders aber über die Unterseiten der Deckenflächen, zwangsgeführt. Diese Zwangsführung der Raumluft bewirkt die Beladung des Deckenspeichers und erfolgt über punktwise in die abgehängte Decke eingebaute Axiallüfter.

Zusätzlich erfolgt am Tage die Wärmezufuhr zu den Speichermassen zum Teil auch durch natürliche Konvektion und durch Wärmestrahlung (Beleuchtungskörper) im Spalt.

Dabei wird die erwärmte Luft in den Luftraum zwischen Speicher und abgehängter Decke eingesaugt. Ein besonders geformter Ausströmkanal führt die Luft unter die Speicheroberfläche und preßt diese strahlenförmig nach allen Seiten mit hoher Geschwindigkeit aus. Die Temperatur des Deckenspeichers liegt dabei unterhalb der Raumlufttemperatur. Der Temperaturanstieg der Raumluft wird durch den Wärmeaustauschvorgang zwischen Luft und Deckenspeicher verhindert.

Da der Wärmeübergang an der Deckenunterseite im wesentlichen durch Konvektion erfolgt, beeinflusst die Strömungsgeschwindigkeit der Luft die dort wirksam werdende konvektive Wärmeübergangszahl. Mit zunehmender Geschwindigkeit wird die Wärmeübergangszahl größer und der Wärmeübergangswiderstand somit kleiner. Daraus folgt, daß die Raumlufttemperaturzunahme quantitativ mittels der Umluftmenge und der Strömungsgeschwindigkeit zu steuern ist. Die Umluftführung zur Speicherentladung während der Nacht erfolgt über ein zentrales Lüftungssystem im Gebäude von unten nach oben.



Kühle Nachtluft strömt dabei durch Außenluftklappen in den Raumspalt zwischen Deckenspeicher und abgehängter Decke, wird mit möglichst großer Geschwindigkeit und in großer Menge über die Speicheroberfläche geführt und dann über vertikale Schächte nach außen geleitet. Auf dem Kopf dieser Schächte sind mehrere Hochleistungs-Radial-Ventilatoren, vertikal ausblasend, aufgesetzt, die einen Unterdruck erzeugen und damit das Nachströmen der kühlen Luft in den Deckenhohlraum ermöglichen. Während größere Luftmengen den Hohlraum zwischen Speicheroberfläche und abgehängter Decke durchströmen, wird über ein stark gegliedertes Netz von Lüftungsspalten in der abgehängten Decke ein Anteil der Gesamtluftmenge an den darunterliegenden Raum abgeführt. Dieser Luftanteil bewirkt die

Wärmeübertragung aus dem Fußboden und den übrigen Raumschließungsflächen. Über den in den Lüftungsspalten entstehenden Unterdruck an den Absaugöffnungen wird die in den Raum gelangte Zuluft wieder abgeführt, so daß der Durchsatz einer bestimmten Luftmenge gewährleistet ist.

Die Zuluftführung der Außenluft erfolgt am Tage über jene Aussenluftklappen, die auch die Nachtlüftung ermöglichen. Bei diesem Vorgang sind die Luftklappen entsprechend der jahreszeitlichen Außenlufttemperaturen und der Frischluft-Bedarfsrate ganz oder nur teilweise geöffnet. Die stufenlose Einstellung kann für jeden Anstellwinkel von Hand oder automatisch vorgenommen werden.

4.3 - Saisonaler Betrieb

Vorab bedarf es noch einmal der Erwähnung, daß das beschriebene System zunächst nur die herkömmlichen Klimatisierungseinrichtungen von Gebäuden/Räumen ersetzen soll.

Im Winter ist dieses Problem nicht akut, da das gewünschte Raumklima leicht mit Hilfe einfacher Heizungsanlagen eingestellt werden kann; die internen Wärmequellen, z.B. Beleuchtung und technische Geräte, tragen dann mit dem System zur Raumheizung bei. Überschüssige Wärme ("Treibhauseffekt" u.a.) kann in die Speichermasse eingeladen werden und die Frischluft, die über die Speicheroberfläche herangeführt wird, vorwärmen.

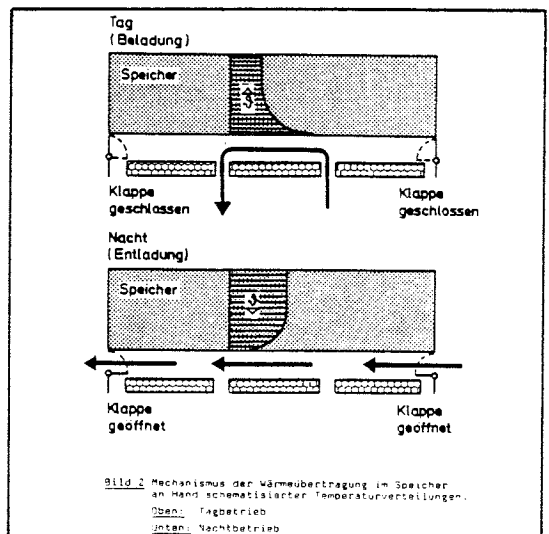
Entsprechend kann dieses System in der Übergangszeit wirken.

Im Sommer bewirken die Be- und Entladung des Deckenspeichers eine Klimatisierung, d.h. Kühlung des Gebäudes, indem überschüssige Wärme, wie beschrieben, durch entsprechende Lüftungseinrichtungen, abgeführt wird.

4.4 - Peripherie

Die Speicherbeladung am Tag erfolgt über in die Decke eingebaute Axiallüfter;

Die Speicherentladung in der Nacht erfolgt über zentrale, vertikal verlaufende Schächte. Auf dem Kopf dieser Schächte sind mehrere Hochleistungs-Radial-Ventilatoren aufgesetzt. Die Regelung der Abluftmenge erfolgt für die einzelnen Geschosse durch Verstellung von Klappen im Vertikalschacht. Eine gleichmäßige Bestromung der Speicheroberfläche wird



durch Einregulierung des Anstellwinkels der Außenluftklappen erreicht; die Öffnungsweite der Klappen ist von der Entfernung zum zentralen Vertikalschacht abhängig.

Über die Außenluftklappen erfolgt tagsüber, entsprechend der jahreszeitlichen Gegebenheiten und der Frischluft-Bedarfsrate, die Zufuhr von Außenluft.

Während es im Sommer sinnvoll erscheint, die im Schatten liegenden Lüftungsklappen für die Außenluftzufuhr zu öffnen, wird dazu geraten, in der Übergangszeit, also im Herbst und im Frühling, bei Wärmebedarf Zuluftklappen auf der sonnenbeschienenen Gebäudeseite zu öffnen. Die stufenlose Einstellung der Lüftungsklappen ist von Hand oder automatisch möglich.

Einrichtungen zur Wärmerückgewinnung wurden bei diesem System nicht verwendet. Denkbar wären jedoch entsprechende Wärmetauscher an den Vertikalschächten, z.B. zur Brauchwassererwärmung.

Der Einsatz eines aktiven Zusatzheizsystems zur Deckung des Wärmedefizites des Gebäudes wird notwendig, wenn dazu die internen Wärmequellen und die Sonneneinstrahlung nicht ausreichen.

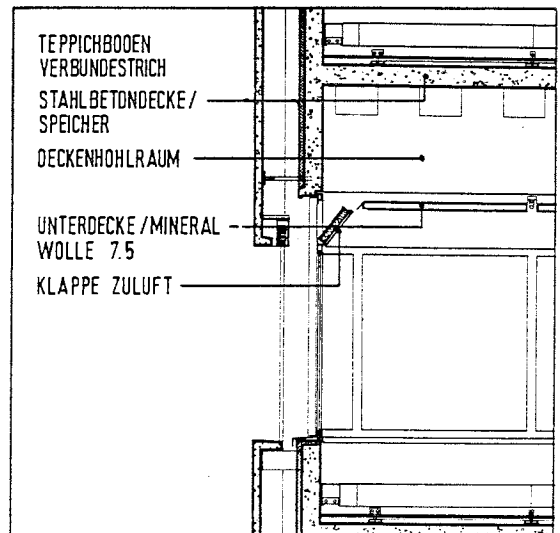
Bei dem beschriebenen Anlagensystem erfolgt die Wärmeabgabe der Zusatzheizung über Konvektoren und eine Luftaufbereitung über Brüstungs-Gebläsekonvektoren. Prinzipiell jedoch ist jede beliebige Raum-/Gebäudeheizung mit dem System kombinierbar, wobei die Kombination mit einer Warmluftheizung wegen des gleichen Wärmeträgermediums eine Reihe von Vorteilen mit sich brächte.

Einrichtungen zur Luftfilterung und -befeuchtung sind in diesem System nicht vorhanden. Der Einbau einer Luftfilteranlage ist jedoch möglich, in welchem Umfang das Vorsetzen von Filtern die Intensität der Lüftung beeinträchtigen würde, müßte in weiteren Untersuchungen festgestellt werden.

4.5 - Konstruktive Ausbildung

Die Wärmespeicherung der internen Wärmelast erfolgt in den Massivdecken des Gebäudes.

Die Luftführung in den Räumen erfolgt in einem Hohlraum zwischen der Massivdecke und einer abgehängten, gedämmten Decke.



Im Kern des Gebäudes sind zwei vertikale Luftschächte angeordnet, an die der Luftraum zwischen Massiv- und Abhängdecke angeschlossen ist.

Die Reinigung der "Luftkanäle" ist ohne allzu großen Aufwand möglich, da der Hohlraum über die leicht zu demontierenden Abhängdeckenelemente zugänglich bleibt. Die vertikalen Luftschächte können etwa in der gleichen Art wie Schornsteine gereinigt werden.

4.6 - Systemvoraussetzungen, Einsatzbeschränkungen

Die Entscheidung für eine Kühlung mittels entsprechender interner Massen muß in einem frühen Stadium in der Planung erfolgen, um entsprechende bauliche Maßnahmen zu treffen: z.B. die Auslegung der Deckenmassen gemäß der thermischen Anforderungen und die Vergrößerung der Raumhöhen zur Ermöglichung der Luftführung unterhalb der Geschoßdecken. Dazu zählt weiter auch die zentrale Anordnung der Abluftschächte sowie eine mit entsprechenden Zuluftklappen versehene Fensterkonstruktion.

Zudem muß beachtet werden, daß eine Installationführung unterhalb der Decken nur eingeschränkt möglich ist; die Elektro-Installation erfolgt im Verbundestrich auf der Massivdecke.

4.7 - Möglichkeiten der Nachrüstbarkeit in vorhandene Bausubstanz

Die Möglichkeit der Nachrüstung in vorhandene Bausubstanz ist nur in Ausnahmefällen und mit hohem Aufwand möglich.

4.8 - Nutzereinfluß auf Systemfunktion und -wirkungsweise

Durch die Regelung der Axialgebläse in der abgehängten Decke, die auch manuell möglich ist, kann der Nutzer die Wärmespeicherung in der Massivdecke und somit die Raumtemperatur beeinflussen. Die Zuluftzufuhr kann manuell durch das Öffnen und Schließen der Außenluftklappen geregelt werden.

4.9 - Übertragbarkeit der Systemanwendung + Nutzungserkenntnisse auf Gebäude anderer Nutzungsart

Sicherlich ist dieses System auch zur Kühlung von Gebäuden mit anderer Nutzungsart denkbar.

Bedingt durch die verhältnismäßig aufwendige Konstruktion (abgehängte Decken, mechanischer Luftantrieb, zentrale Schächte) dürfte sich der Einsatz des Systems auf größer dimensionierte Gebäude beschränken (Verwaltungs-, Schul-, Universitätsgebäude, Industrie- und Gewerbebauten). - Da eine

der Systemvoraussetzungen die Notwendigkeit zur Gebäudeklimatisierung darstellt, ist der Einsatz von Massivdecken als Wärmespeicher um so wirkungsvoller, je höher das interne Wärmehaushalt eines Gebäudes ist.

Wegen der genannten Gründe ist ein sinnvoller Einsatz des Systems im Wohnungsbau recht fraglich.

4.10 - Übertragbarkeit der Systemanwendung auf andere geographische/klimatische Gebiete (Sonnenenergienutzung)

Dieses System kann in allen Gebieten, wo aufgrund äußerer oder innerer Umstände eine Kühlung des Gebäudes erforderlich wird, eingesetzt werden.

5 - Kombination mit Einrichtungen zur passiven/hybriden Sonnenenergienutzung, Variationen

Im Winter und in der Übergangszeit kann die verbesserte Ausnutzung der Wärmespeicherfähigkeit interner Massen zu einer effizienteren Ausnutzung passiver Sonnenenergiegewinne führen.

Die Kombination des Systems mit weiteren Einrichtungen zur passiven/hybriden Nutzung der Sonnenenergie ist denkbar. Eine solche Kombination wäre insofern sinnvoll, als damit möglicherweise aktive Zusatz-Heizenergie in größerem Umfang eingespart und das Wärmeträgermedium Luft unmittelbar verwendet werden könnte.

6 - Energiebilanz

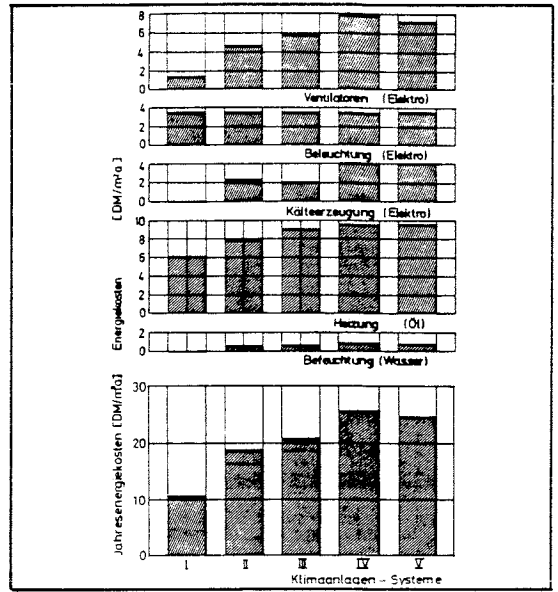
In der folgenden Tabelle wird der Energieverbrauch des beschriebenen Systems (I) im Vergleich mit herkömmlichen Klimaanlagen dargestellt:

Nicht enthalten in dieser Zusammenstellung sind diejenigen Energiemengen, welche für den Betrieb der nicht mit dem Gebäude fest verbundenen Einrichtungsgegenstände aufzubringen sind. Ebenso wurde der Energiebedarf für die Aufzüge und für die Warmwasserbereitung nicht erfaßt. Wie die Tabelle zeigt, benötigen entsprechende Klimaanlagen-Systeme zwischen 54% und 90% mehr Energie.

Absoluter Energiebedarf auf das Gebäude bezogen	System				
	I	II	III	IV	V
Elektroenergie zur Luftförderung kWh/a	19050	62212	81363	111818	104545
Elektroenergie für WC-Abluft, Pumpensteuerung, Ölbröner kWh/a	2850	3150	3150	3150	3150
Elektroenergie zur Raumbeleuchtung kWh/a	50000	50000	50000	50000	50000
Kälteenergie zur Raumkühlung kWh/a	-	61108	58240	103958	103958
Wärmeenergie zur Raumwärme kWh/a	286520	377000	380000	421008	421008
Gesamt kWh/a	352520	552470	572753	688934	682661
Energiebedarf bezogen auf kWh/a	217	336	348	418	414

Dabei muß allerdings berücksichtigt werden, daß die Betriebsdaten für die Anlagen-Systeme II bis V von einer lufttechnischen Firma mit Hilfe einer Vergleichsrechnung auf der Basis des ausgeführten Bauobjektes ermittelt wurden.

Im folgenden Bild werden die Jahres-Energiekosten der verschiedenen Klimaanlage-Systeme für Ventilatoren, Beleuchtung, Kälteerzeugung, Heizung und Befeuchtung gegenübergestellt.



7 - Wirtschaftliche Aspekte

Das vorgestellte System kann im Hinblick auf die wirtschaftlichen Aspekte beurteilt werden über den Vergleich mit Klimatisierungs-Systemen, die im "Normalfall" in dem Gebäude eingesetzt werden müssen.

Die Investitionskosten für dieses Projekt sind, verglichen mit anderen Anlagen, den folgenden Tabellen zu entnehmen:

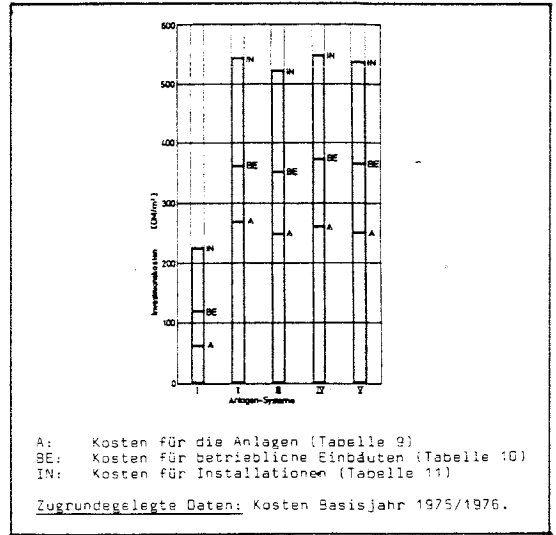
Investitionsdaten	System				
	I	II	III	IV	V
Anschaffungskosten für gesamtes Klima-Anlagen-System ohne Installations- und Raumkosten (DM/m² HNF)	63	267	248	260	250
Anschaffungskosten für den Kälteteil ohne Installations- und Raumkosten (DM/m² HNF)	-	33	36	36	36
Anschaffungskosten für den Kälteteil mit Installations- und Raumkosten vgl. Tab. 9 und 10 (DM/m² HNF)	-	67.6	70.6	70.6	70.6
Spezieller Leistungsbedarf der Klimaanlage-Systeme für Kühlen (kW/m² HNF)	-	0,092	0,124	0,114	0,124
Anschaffungskosten für die Beleuchtungsanlage mit Verteilerkosten (DM/m² HNF)	34,5	43	43	43	43
Installierte Beleuchtungsleistung (W/m² HNF)	20	20	20	20	20

Bestandteil der Klimaanlage-Systeme	Platzbedarf Absolut (m²)	bezogen auf HNF (t)	Kosten	
			Absolut (DM)	bezogen auf HNF (DM/m²)
1 Heizzentrale	50	3,0	50.000	30,3
2 Kältezentrale mit Rückkühlwerk	30	1,8	27.000	16,4
3 Klimazentrale	110	7,0	78.000	47,2
4 Lüftungszentrale	28	1,7	21.000	12,7
5 Luftschächte vertikal, feuerbeständig, Zuluft- und Abluft-Fortluft	11,5	0,7	30.000	16,6
6 Luftschächte vertikal, feuerbeständig, Nachluft	8,2	0,5	25.000	15,2
7 Luftkanäle horizontal	-	-	32.000	19,4
8 Induktionsgeräte	76	4,6	80.000	46,5
9 Klimaanlage-System I (Zelle 4+6+7)	36,2	2,2	78.000	57,3
10 Klimaanlage-System II (Zelle 2+3+4+5+6)	164,0	10,4	154.000	93,3
11 Klimaanlage-System III (Zelle 2+3+5+7)	151,5	9,5	167.000	101,8
12 Klimaanlage-System IV - V (Zelle 2+3+4+5+7)	178,5	11,2	188.000	113,9

Investitionsdaten für die für die überprüften Klimaanlage-Systeme

Bauseitiger Raumbedarf und daraus resultierende Kosten für betriebliche Einbauten der überprüften Klimaanlage-Systeme

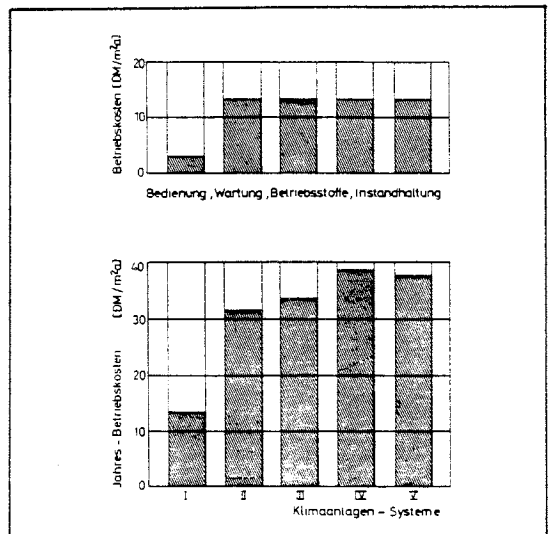
Apparative und bauliche Installationen	Installationskosten (DM/m ² HNF)			
	System I	System II	System III	System IV
Statische Grundheizung mit Wärmeerzeugung	67,9	-	67,9	67,9
Installation der Wärmetauscher mit Wärmeerzeugungsanteil	9,1	71,5	15,2	15,2
Installation der Kälteerzeugung	-	18,2	18,2	18,2
Elektroinstallation	14,5	25,2	21,2	21,2
Speicherausbildung	3,6	-	-	-
Wasserversorgung und Entsorgung	-	15,2	4,8	4,8
Kanalführung und Durchbrüche	10,9	15,2	16,3	16,3
Brüstungs- und Kanalverkleidungen	-	36,4	-	-
Aufwand im Bereich Abhängecke und Beleuchtung	-	-	29,1	29,1
Summe	106,0	181,7	170,9	170,9



Installations-Anschlußkosten und Baufolgekosten für die überprüften Klimaanlage-Systeme

Vergleich der Investitionskosten je m² HNF für die überprüften Anlagen-Systeme

In dem folgenden Diagramm sind die Jahres-Betriebskosten für das Massivdecken-Speichersystem (I) sowie für andere, vergleichbare Klimaanlage-Systeme, dargestellt.



Gegenüber dem energetisch als etwa gleichwertig anzusehenden Induktions-Anlagesystem (II) und dem Variablen-Volumenstromsystem (III) ergibt sich eine jährliche Einsparung in Höhe von ca. 60% der Gesamtbetriebskosten.

Die Kosten für Reinigung, Wartung und Instandhaltung dieses Klimaanlage-Systems sind, im Vergleich mit herkömmlichen Anlagen, gering. - Inwiefern durch die Hinzunahme von Einrichtungen zur Luftfilterung höhere Kosten entstünden müßte noch untersucht werden.

8 - Ergebnisse und Bewertung

Das System zur Kühlung von Gebäuden, in denen es infolge eines hohen internen Wärmeaufkommens und/oder Sonneneinstrahlung zu Raumüberwärmungen kommt, erweist sich als sehr effektiv in bezug auf Energieeinsparungen.

Gegenüber Systemen zur Gebäudeklimatisierung können ca. 40% der Investitionskosten für baulichen und technischen Aufwand eingespart werden. Die Betriebskosten belaufen sich auf ca. ein Drittel; die Gesamtkosten auf etwa die Hälfte der Kosten von herkömmlichen Klimatisierungssystemen.

Den vorliegenden Unterlagen konnten keine Angaben über einen Systembetrieb entnommen werden, der zur Raumheizung in der Heizperiode durch Speicherung und Entnahme passiv erzielter Solarwärme-Überschüsse beiträgt.

Einrichtungen zur passiven/hybriden Nutzung der Sonnenenergie sollten für weitere Vorhaben in Betracht gezogen werden; derartige Maßnahmen würden nur einen geringen finanziellen Mehraufwand bedeuten. - Die Betriebskosten konnten im Idealfall weiter gesenkt werden.

Im Wohnungsbau kann das System in der dargestellten Weise nicht sinnvoll eingesetzt werden; dazu müßten spezielle Varianten ausgearbeitet und geschaffen werden.

1 - Systembezeichnung, Hersteller

"Natürliche Kühlung von Räumen und Gebäuden in aridem Klima";
F. Haferland, Delft

2 - Quellenangaben

1. Haferland, F.: "Durchlüftete Baukonstruktionen zur natürlichen Regulierung des thermischen Raumklimas in warmen Klimaten", 'Betonwerk und Fertigteil-Technik', 2 u. 3/1980, /H03/
2. Haferland, F.: "Natürliche Klimatisierung", 'db' 8/1981, /H05/
3. Haferland, F.: "Flexible Wärmespeicher", 'db' 10/1981, /H04/
4. Wiegerinck, P., Haferland, F.: "Natürliche Kühlung von Räumen bei Gebäuden leichter Bauart in warmtrockenen Klimagebieten", 'Bauphysik' 2, 1985, /W10/

3 - Anwendungsbereich

Natürliche Kühlung/Klimatisierung von Räumen und Gebäuden in ariden Klimagebieten.

3.1 - Entwicklungs-/Realisationstand

Vorerst liegen nur wissenschaftliche Überlegungen für Konstruktions- und Auslegungskonzepte vor (s.o., 2); Realisierungen an konkreten Objekten sind noch nicht erfolgt.

4 - Systembeschreibung

Den in der o.a. Literatur vorgestellten Systemen liegt die Überlegung zugrunde, den Speichermassen in den kühlen Nachtstunden Wärme zu entziehen, um sie für tagsüber anfallende Wärme aus der Raumluft aufnahmefähig zu machen bzw. den Raum direkt über entladene Speichermassen zu kühlen.

4.1 - Systemaufbau

Verschiedene Systemvarianten werden diskutiert, die jedoch alle vom Prinzip her gleich aufgebaut sind:

Luftdurchströme und wärmespeichernde Gebäudemassen dienen zur Wärmeaufnahme und Wärmeabgabe. Die Ausbildung der jeweiligen Wärmespeicher ist abhängig von der Bauart (leicht/schwer) des Gebäudes. Es werden Decken, Wände oder Böden entsprechend ausgebildet bzw. Speicher extra vorgesehen. Kanäle und steuerbare Klappen stellen den Anschluß an den Luftkreislauf her. Dieser wird mechanisch über ein Gebläse betrieben.

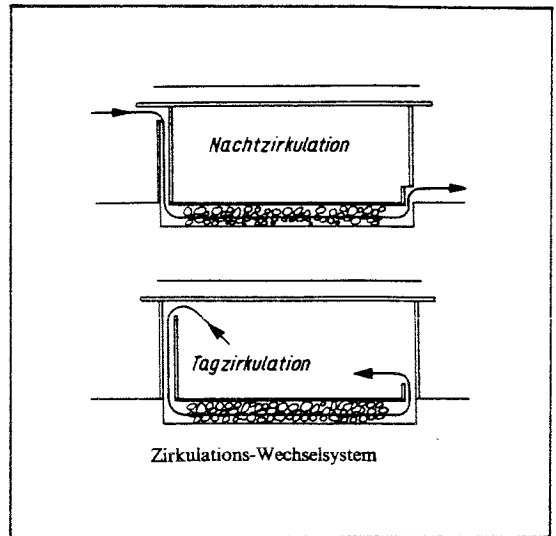
4.2 - Wirkungsweise, Funktion

Unabhängig vom jeweiligen Systemaufbau sind die vorgesehenen Funktionsprinzipien gleich. Die Wärmeabgabe bzw. -aufnahme findet über Konvektion statt. Es werden zwei Varianten unterschieden:

- Zirkulationswechsel

Die kühle Luft in den Nachtstunden wird über externe Klappen durch den Speicher geleitet, der dadurch entladen wird. Interne Klappen ermöglichen tagsüber die Zirkulation der Raumluft durch den Speicher, die durch die Wärmeabgabe an den Speicher gekühlt wird.

Mit dieser Methode können die Raumlufttemperaturen unter den Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur gesenkt werden (Amplitudendämpfung, Phasenverschiebung).

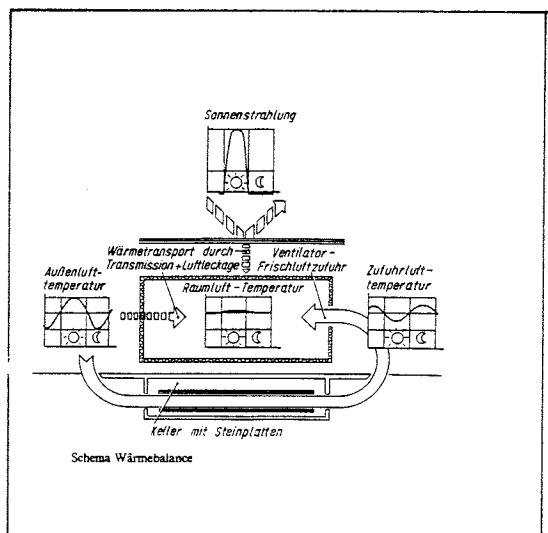
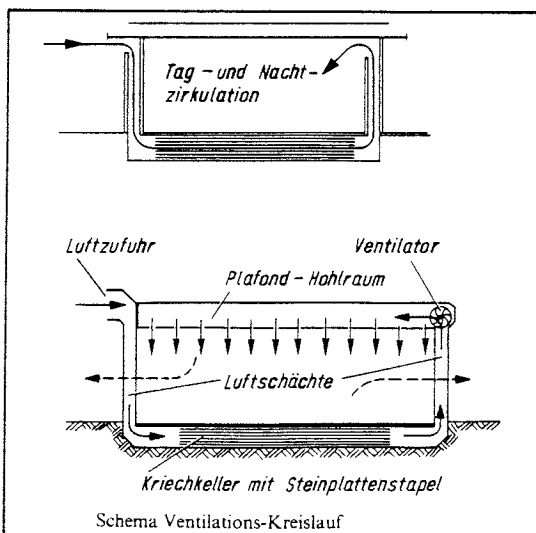


- Zirkulation in einer Richtung

Unabhängig von Tages- oder Nachtzeit wird die Außenluft über Speicher- und Innenraum wieder nach draußen geleitet.

Dadurch soll eine möglichst gleichmäßige Raumtemperatur über Tag und Nacht erreicht werden, die ungefähr dem Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur entspricht. Die "Wärmebalance" wird in der Abbildung (s.u.) schematisch skizziert.

Gleichzeitig erfolgt die Versorgung der Innenräume mit Frischluft.

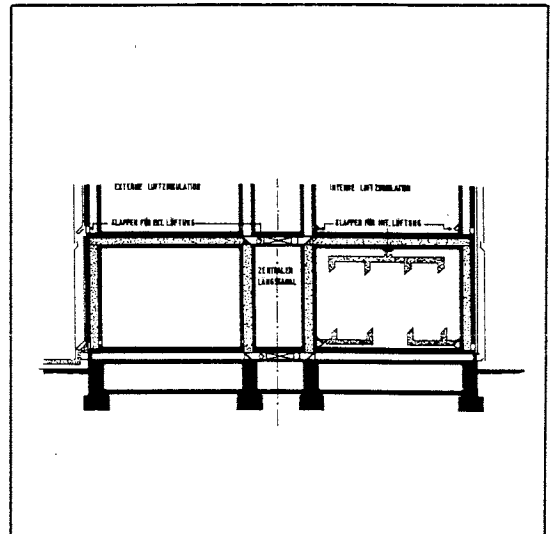


4.3 - Saisonaler Betrieb

Abhängig von den örtlichen Bedingungen findet der Systembetrieb ganzjährig statt. Variationen im Betrieb sind möglich. Ansonsten beschränkt sich die Anwendung auf die trocken-heiße Periode.

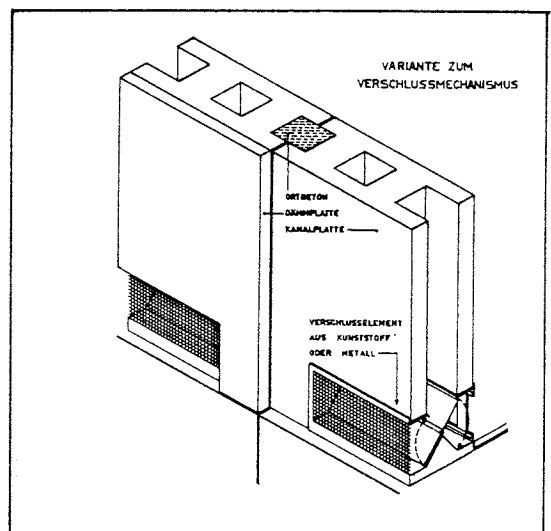
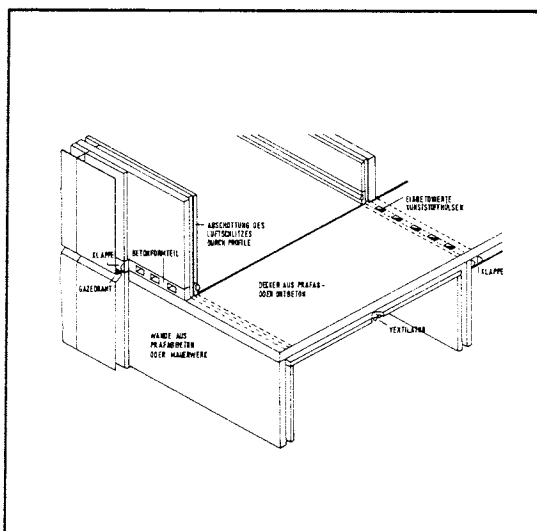
4.4 - Peripherie

Mechanische Luftstrombewegung, Luftstromsteuerung über Klappen, ggf. Kanäle.



4.5 - Konstruktive Ausbildung, Herstellung

Verschiedene Ausführungen sind konzipiert, für Gebäude in schwerer wie in leichter Bauweise. Für die Luftführung und Wärmespeicherung werden sowohl in den Bauteilen vorhandene, als auch bauseitig herzustellende Hohlräume projektiert. Bezüglich der Materialwahl besteht noch keine Festlegung. Die Vorschläge reichen über Beton-, Ziegel-, Lehm- bis hin zu Stahlkonstruktionen.



4.6 - Systemvoraussetzungen, Einsatzbeschränkung

Der Ansatz für die Überlegungen zu dem System bezieht sich auf den Betrieb in ariden Gebieten. Denkbar wäre jedoch auch der Einsatz zu Heizzwecken in gemäßigten Klimazonen, entsprechend der anderen, in diesem Abschnitt aufgeführten Systeme.

4.7 - Möglichkeiten zur Nachrüstbarkeit in vorhandene Bausubstanz

Eine Nachrüstung ist mit vertretbarem Aufwand nicht möglich.

4.8 - Nutzereinfluß auf Systemfunktion- + -wirkungsweise

Möglichkeiten der Einflußnahme bestünden in einer vom Nutzer vorzunehmenden, anpassungsfähigen Luftstromsteuerung.

4.9 - Übertragbarkeit der Systemanwendung + Nutzungserkenntnisse auf Gebäude anderer Nutzungsart

Der Einsatz ist für eine Vielzahl unterschiedlicher Gebäude (Wohngebäude, Schulen, Krankenhäuser etc.) in den betreffenden Gebieten denkbar.

5 - Kombination mit Einrichtungen zur passiven/hybriden Sonnenenergienutzung, Variationen

Im Prinzip stellt das System ein "umgekehrtes hybrides Solar-system" dar.

6 - Energiebilanz

Konkrete Energiebilanzen liegen nicht vor. - Theoretisch ermittelte Wärmebilanzen für eine bestimmte Systemanordnung werden in 2.4 (s.o.) diskutiert. - Zum Betrieb des Systems ist ausschließlich die für den mechanischen Luftantrieb benötigte Energie erforderlich. In den Einsatzgebieten könnte der elektrische Strom dafür photovoltaisch erzeugt werden.

"Die benötigte Wärmespeicherkapazität in durchlüfteten Gebäudekonstruktionen hängt erstens vom lokal jeweils vorliegenden thermischen Außenklima ab. Hierbei sind maßgebend die Größe der täglichen Außenlufttemperaturschwankung, Zeitpunkt und Höhe der täglichen Minimumtemperatur und ferner die örtlichen Einstrahlungsverhältnisse. Zweitens hängt die Größe von der nötigen Wärmespeicherkapazität von der inneren Wärmebelastung und dem dabei gewünschten Schwankungsbereich der Raumtemperatur ab."

7 - Wirtschaftliche Aspekte

Die getroffenen Überlegungen zu den vorgestellten Systemen sollen in erster Linie herkömmliche Klimaanlageanlagen überflüssig machen. Die Integration des Speichers in vorhandene Bauteile ermöglicht eine kostengünstige Herstellung.

Die Kosten für den Systembetrieb können niedrig angenommen werden. Günstig ist, daß der Systemaufbau in fast jeder Beziehung an die örtlichen Bedingungen angepaßt werden kann.

8 - Ergebnisse und Bewertung

Für die vorgesehenen geographischen Einsatzgebiete scheint der Einsatz für das System vielversprechend. Die in den Veröffentlichungen angeführten Rechenbeispiele unterstützen diese Vermutung. - Besonders interessant ist die Möglichkeit, der Selbstbaukonstruktionen und die Anpassung von Materialwahl und Konstruktion an örtliche Gegebenheiten. Die Bemühungen führen zu konstruktiv einfachen Lösungen. Flexibilität ist auch im Hinblick auf die Bauart - schwer/leicht - erreicht.

In den theoretischen Überlegungen wird das Problem der Wasserdampfkondensation in den durchströmten Speichermassen angerissen. Die rechnerischen Ermittlungen ergaben hier Werte von 0.06mm Wasserfilmdicke auf der Speicheroberfläche. Zudem wird die Möglichkeit erwogen, das Speichermaterial gegen Schimmel- und sonstige Pilzbildung mit einer desinfizierenden Imprägnierung zu versehen.

1 - Systembezeichnung, Hersteller

"Minimalenergiehäuser" - entwickelt am Institut für Bauökonomie der Universität Stuttgart;
Prof. Dipl.-Ing. H. Küsgen, Keplerstraße 11, 7000 Stuttgart 1
Bearbeiter: P. Goretzki

2 - Quellenangaben

1. Küsgen, H.: "Minimalenergiehäuser" 'arcus' 3, 1983, S.137, /K13/
2. Küsgen, H.: "Persönliche Mitteilungen", 5/1985, /K15/

3 - Anwendungsbereich

Solare Gebäudeheizung zur Unterstützung des aktiven Heizsystems.

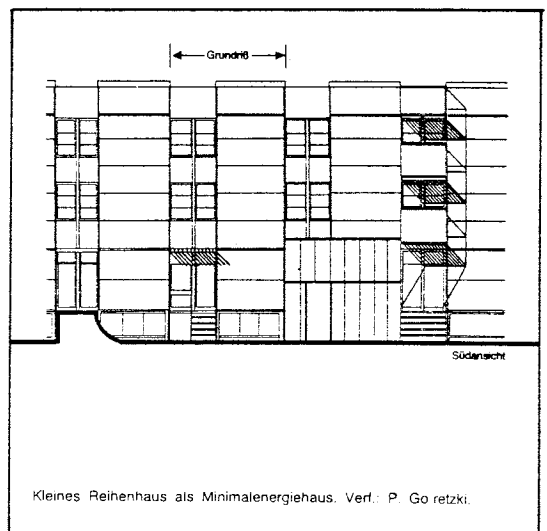
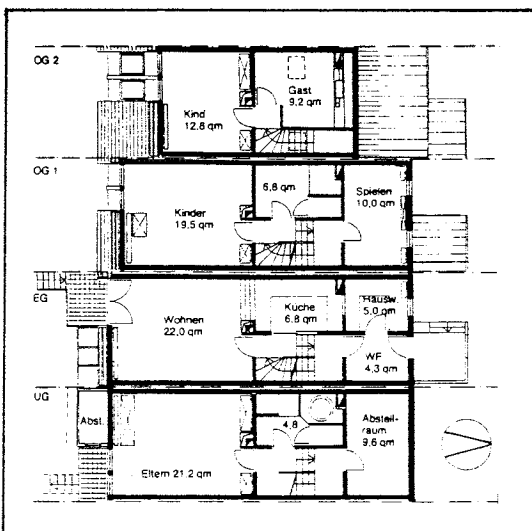
3.1 - Entwicklungs-/Realisationsstand

Versuchshäuser (Reihenhäuser) in der Vorplanung, Computer-Gebäude-Energie-Simulation, Realisierung geplant.

4 - Systembeschreibung

Das MEH ist als 3,5-geschossiger Reihenhaustyp an einem Südhang mit 140m² Wohnfläche geplant. Das Gebäude ist 4,60m breit und max. 12,00m tief.

4.1 - Systemaufbau



- Intergration von Luftkollektoren in die nach Süden orientierten, vertikalen Fassadenflächen;
- Zuluft- bzw. Abluftkanäle vom Luftkollektor zum internen Massespeicher;
- Nutzung der Haustrennwände von Reihenhäusern als Speichermasse;
- Luftführung innerhalb der Fuge zwischen beiden Trennwänden benachbarter Häuser.

4.2 - Wirkungsweise, Funktion

Das Wärmeträgermedium Luft zirkuliert in dem geschlossenen Kreislauf Luftkollektor - Speichermasse (Haustrennwand) - Luftkollektor, wodurch die Haustrennwände konvektiv bis zu einer Wandinnenoberflächentemperatur von max. 40°K über der Innenraum-Solltemperatur erwärmt werden. Die Abgabe der eingespeicherten Wärme an die Innenräume erfolgt zeitverschoben vorwiegend über Strahlung, teilweise über Konvektion. Die Wärmeverteilung innerhalb des Gebäudes ist nur durch Konvektion möglich.

Das System soll unabhängig von der aktiven Gebäudeheizung als "Zusatzheizung" eingesetzt werden.

4.3 - Saisonaler Betrieb

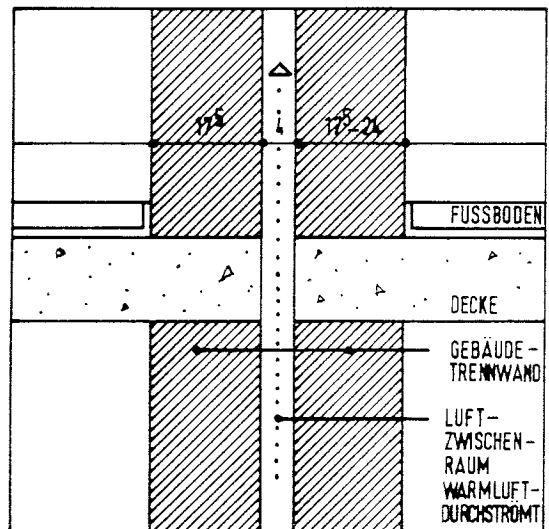
Das System ist als Gebäudeheizung im Winter und in der Übergangszeit in gemäßigten Klimazonen geplant. Angaben zur Gebäudekühlung im Sommerbetrieb liegen noch nicht vor.

4.4 - Peripherie

Einrichtungen zur Luftzirkulation, ihre Dimensionierung etc. sind nicht beschrieben. Als Zusatzheizung dient eine Warmluftheizung. Alle Räume werden über einen zentralen Schacht zwangsbelüftet. Eine Wärmerückgewinnungsanlage befindet sich unter dem Dach im Abluftkanal.

4.5 - Konstruktive Ausbildung, Herstellung

- zweischalige, massive Wandkonstruktion mit einem Luftzwischenraum von 4cm Breite;
- keine Angaben über Baustoffe;
- keine Angaben über die Einbindung der Systemkomponenten.



4.6 - Systemvoraussetzungen, Einsatzbeschränkung

Das System ist für den verdichteten Flachbau, ggf. für den verdichteten Geschosswohnungsbau konzipiert. An Standorten mit einem entsprechenden Strahlungsaufkommen und optimaler Kollektorausrichtung wird ein Km-Wert des Gebäudes von ungefähr $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht.

4.7 - Möglichkeiten zur Nachrüstbarkeit in vorhandene Bausubstanz

Nicht möglich.

4.8 - Nutzereinfluß auf Systemfunktion- + -wirkungsweise

- Angaben dazu liegen nicht vor.

4.9 - Übertragbarkeit der Systemanwendung + Nutzungserkenntnisse auf Gebäude anderer Nutzungsart

Der Einsatz ist auch in Gebäuden mit anderer Nutzung denkbar, wenn die Gebäudekonzeption und die Grundrißorganisation (z.B. Schottenprinzip) ähnliche Merkmale aufweisen.

4.10 - Übertragbarkeit der Systemanwendung auf andere geographische/klimatische Gebiete (Sonnenenergienutzung)

Einsatz in gemäßigten Klimazonen. Übertragbarkeit der Systemanwendung in ähnliche, mitteleuropäische Verhältnisse ist möglich.

5 - Kombination mit Einrichtungen zur passiven/hybriden Sonnenenergienutzung, Variationen

Unter der Voraussetzung von Kollektorsystemen mit einem Temperaturbereich von $> 20^\circ\text{C}$ läßt die Konzeption einen erfolgversprechenden Systembetrieb erwarten.

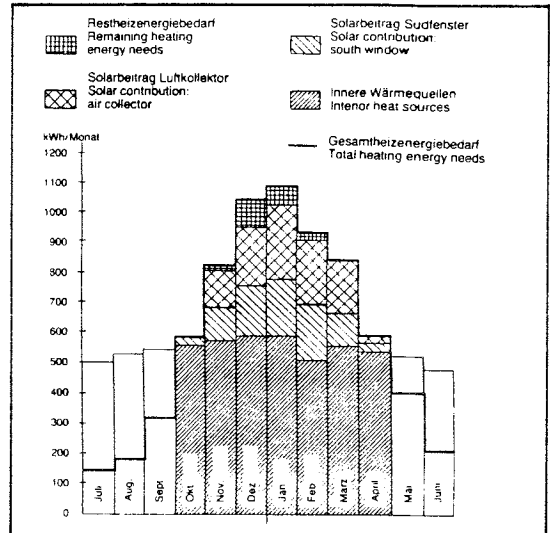
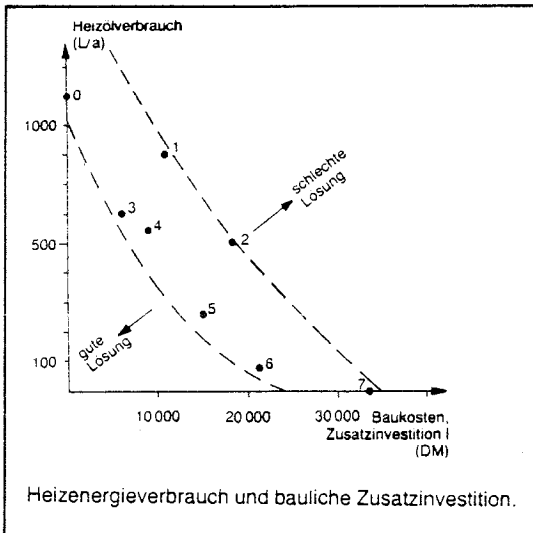
6 - Energiebilanz

Aus der Energiebilanz (nach Computer-Simulation) des geplanten Reihenhaus-Typs geht hervor:

- Von Mai bis einschließlich September deckt das interne Wärmeaufkommen den Wärmebedarf.
- Im Oktober, März und April decken die Solarenergiegewinne den zusätzlichen Energiebedarf.
- Von November bis Februar muß meist nur an kalten und da bei trüben Tagen zusätzlich geheizt werden.

Der errechnete aktive Heizenergiebedarf in der Winterperiode liegt bei 180 kWh bzw. 25l Heizöl (!).

Diese Rechnung muß jedoch relativiert werden, da das zur Ermittlung der Strahlungsgewinne angewandte SLR-Verfahren die zu erwartenden Solarenergiegewinne optimistisch einschätzt.



7 - Wirtschaftliche Aspekte

Hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit wurden einzelne Energiesparmaßnahmen am geplanten Reihenhaus mit folgenden Ergebnissen untersucht:

- Die energetisch ausgewogenen (mittleren) Lösungen erreichen die größte Wirtschaftlichkeit: z.B. Variante 5.
- Niedriger Heizenergieverbrauch erfordert proportional hohe Investitionskosten.

Einzelne Energiesparmaßnahmen und ihre gesamte Wirtschaftlichkeit im Gebäude. Aus einem Entwurf mit dreigeschossigen Minimalenergiehäusern. Verf.: Chr. Dietrich.

Planungs- variante	Heizölver- brauch (L)	Energiesparmaßnahmen				Barwert der E.-Einsparung			E ₀ Zusatz- investition (DM)	Wirtschaft- lichkeit W = E ₀ /I		
		AW k	FE k Tag	LÖFT. R Na ETA	LU-Koll ETA	FE Q = 1,06 N = 30 E ₀₁	FE Q = 1,03 N = 30 E ₀₂	FE Q = 1,00 N = 30 E ₀₃		W ₁	W ₂	W ₃
0	1000	0,4	3,0 3,0	-	-	0	0	0	0	-	-	-
1	800	0,2	2,0 2,0	-	-	12800,-	7700,-	4900,-	11000,-	1,2	0,7	0,4
2	500	0,2	2,0 0,6	-	-	30000,-	18000,-	11400,-	18500,-	1,6	1,0	0,6
2	600	0,4	3,0 3,0	0,5	-	24000,-	14500,-	9100,-	6150,-	3,9	2,4	1,5
4	550	0,4	3,0 3,0	-	0,6	26700,-	16000,-	10100,-	9000,-	3,0	1,8	1,1
5	260	0,4	3,0 3,0	0,5	0,6	45000,-	27000,-	17000,-	15150,-	3,0	1,8	1,1
6	75	0,4	3,0 0,6	0,5	0,6	55900,-	33600,-	21200,-	22650,-	2,5	1,5	0,9
7	0	0,2	2,0 0,6	0,5	0,6	60100,-	36200,-	22800,-	33600,-	1,8	1,1	0,7

8 - Ergebnisse und Bewertung

Da sich das System noch in einem relativ frühen Entwicklungsstadium befindet, kann es noch nicht abschließend beurteilt werden.

Es kann jedoch festgestellt werden, daß dieses System, ähnlich wie andere geschlossene Systeme, recht träge auf instationäre Randbedingungen reagieren wird. Dies kann in Zusammenwirken mit der flinken Luftheizung zu Raumüberhitzung führen. Die Bemessung der Speichermasse sowie die Einhaltung der Wandoberflächentemperatur erscheint problematisch.

Ebenso ist eine unkontrollierte Speicherentladung nicht auszuschließen.

4.2 - Wirkungsweise, Funktion

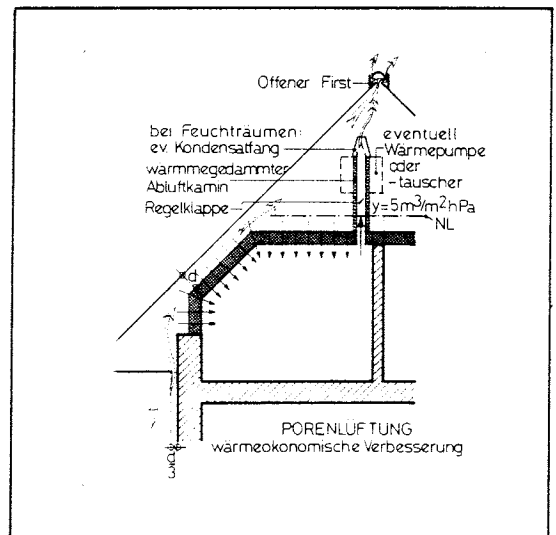
- Strahlungssammlung mit Luftkollektor vor einer luftdurchlässigen, massiven Außenwand. Absorber in diesem Kollektor ist eine luftdurchlässige Dämmplatte mit poröser, schwarzer Oberfläche.
- Wärmeübergang von der solar erwärmten Luft an die hinter dem Luftkollektor angeordnete Massivwand, die von der erwärmten Luft durchströmt wird.
- Beeinflussung der Bauteildurchströmung durch: Saug- bzw. Druckwirkung eines mechanischen Lüfters; Regelung des Unterdrucks im Raum/Gebäude mittels eines Schwerkraftschornsteins mit Drosselklappe.
- Speicherung eines Teils der Solar-Wärme in der massiven Wand.
- unmittelbare Nutzung des Teils der Solar-Wärme, der nicht in der Wand gespeichert wird, zur Raumbeheizung.
- Entnahme der gespeicherten Wärme während der Tageszeiten ohne solaren Wärmegewinn, indem kühlere Außenluft durch die Wand geführt und temperiert wird.
- Wärmeverteilung im Raum/Gebäude vorwiegend durch Zwangskonvektion, teilweise durch Wärmestrahlung.
- nicht integrierbare Zusatzheizung.

4.3 - Saisonaler Betrieb

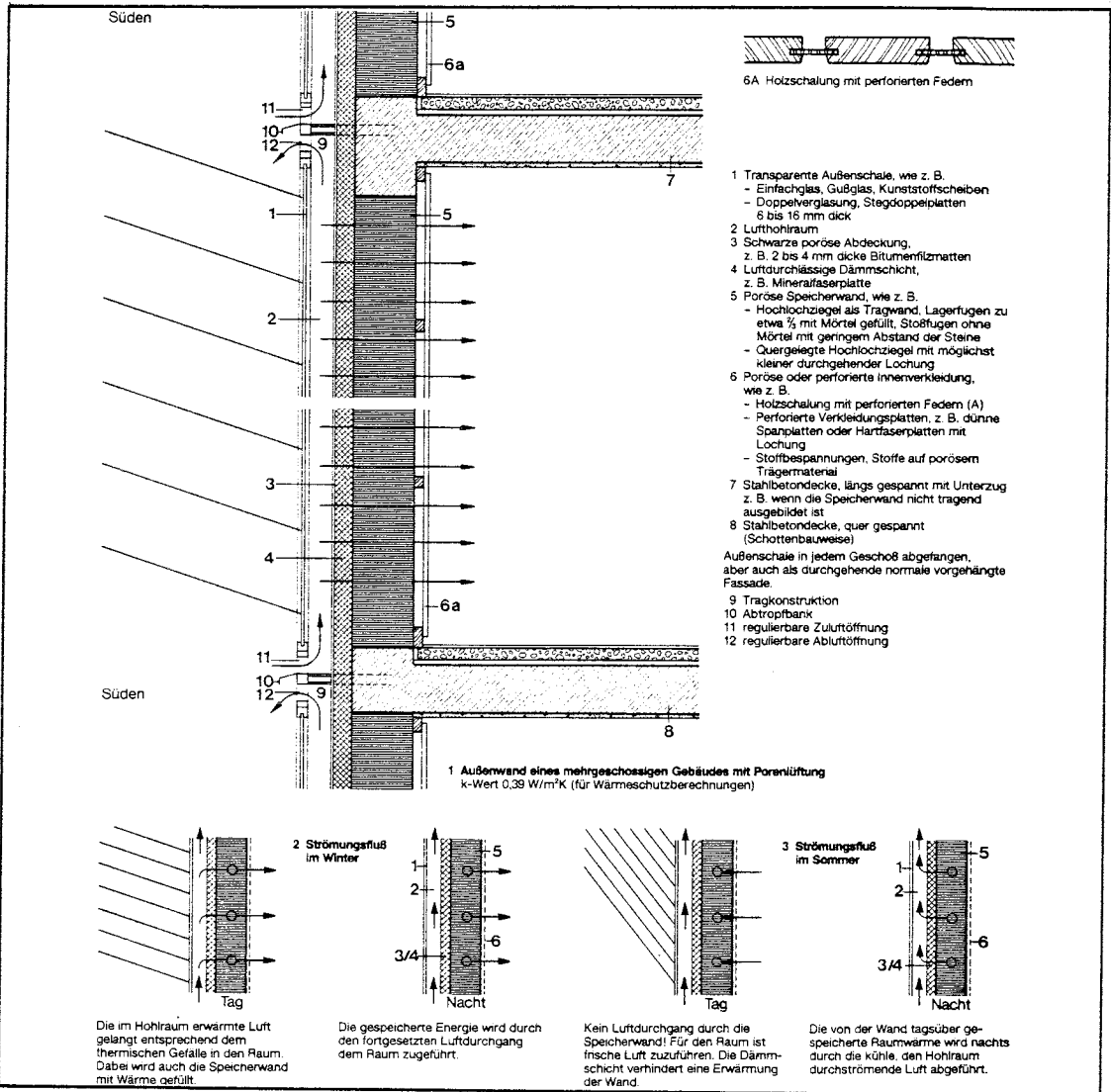
"Entwärmung" des Absorbers, Gebäudekühlung durch Umkehrung der Strömungsrichtung der Luft, wobei das Nachströmen kühlerer Außenluft z.B. durch geöffnete Fenster gesichert sein muß.

4.4 - Peripherie

- z.T. elektrisch betriebene, mechanische Ventilatoren zur Herstellung eines Unterdrucks im Gebäude;
- ggf. Einsatz einer Wärmepumpe zur Raumheizung oder Brauchwassererwärmung (Wärmeentzug aus der Abluft zur Verringerung der Lüftungswärmeverluste);
- keine Einrichtungen zur Filterung oder sonstiger Raumluftkonditionierung;
- permanente Frischluftzufuhr, steuerbar durch Ventilatorleistung oder Drosselklappe des Abluftschornsteins;
- Zusatzheizung muß als separates Heizsystem ausgebildet werden, eine Warmluftheizung sollte als Zusatzheizung keine Verwendung finden.

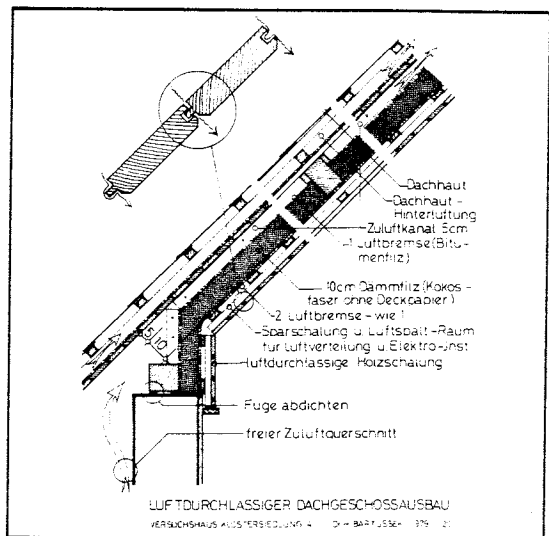


4.5 - Konstruktive Ausbildung, Herstellung



Beispiel einer Solpor-Wand

Beispiel eines Dachaufbaus

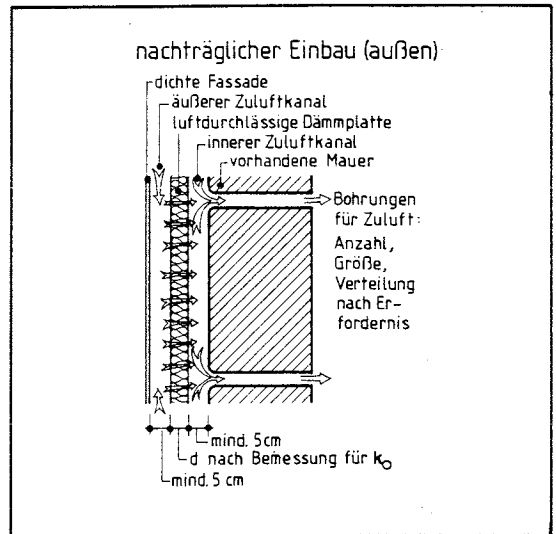


4.6 - Systemvoraussetzungen, Einsatzbeschränkungen

- Windstaudruck und -sog dürfen keinen Einfluß auf die Lüftung ausüben.
- Sämtliche Türen, Fenster und -anschlüsse etc. müssen möglichst dicht sein, damit Außenluft nicht unkontrolliert über Fugen ins Gebäude gelangt.
- Fugen im luftdurchlässigen Bauteil, auch im Anschluß an konstruktive Bauteile, müssen verhindert werden. Ebenso ist darauf zu achten, daß die gesamte durchströmte Fläche mit Dämmstoff abgedeckt ist, um Kondensatbildung zu verhindern.

4.7 - Möglichkeiten zur Nachrüstbarkeit in vorhandene Bausubstanz

- Unter Berücksichtigung der Systemvoraussetzungen aus 4.6 ist eine Nachrüstung gemäß Abbildung möglich.

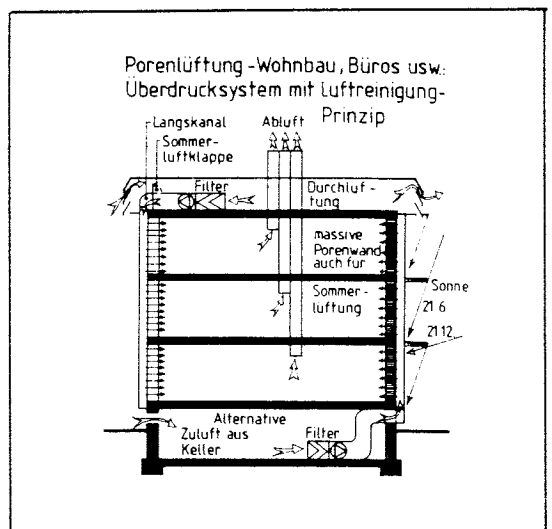


4.8 - Nutzereinfluß auf Systemfunktion- + -wirkungsweise

- Unkontrolliertes Öffnen der Fenster, offene Türen etc. führen dazu, daß die Außenluft nicht durch die Porenwand, sondern durch die Öffnungen nachströmt. Die Wirkung des Systems wird dadurch herabgesetzt.
- Das "Verstellen" der durchströmten Bauteile mit Möbeln etc. kann die Wirkung des Systems nachteilig beeinflussen.

4.9 - Übertragbarkeit der Systemanwendung + Nutzungserkenntnisse auf Gebäude anderer Nutzungsart

Das System scheint auch auf den Geschosswohnungsbau, Bürobauten, Krankenhäuser etc. übertragbar zu sein.



4.10 - Übertragbarkeit der Systemanwendung auf andere geographische/klimatische Gebiete (Sonnenenergienutzung)

Der Einsatz in gemäßigten Klimazonen. Übertragbarkeit der Systemanwendung auf mitteleuropäische Verhältnisse ist denkbar.

5 - Kombination mit Einrichtungen zur passiven/hybriden Sonnenenergienutzung, Variationen

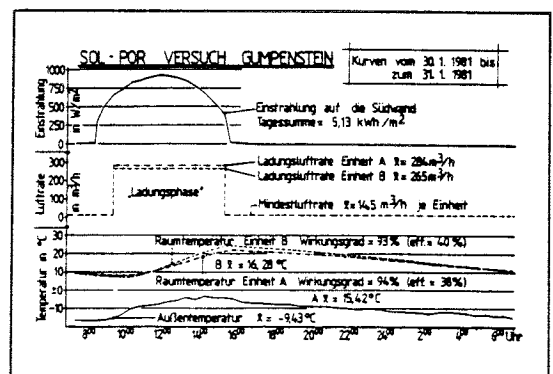
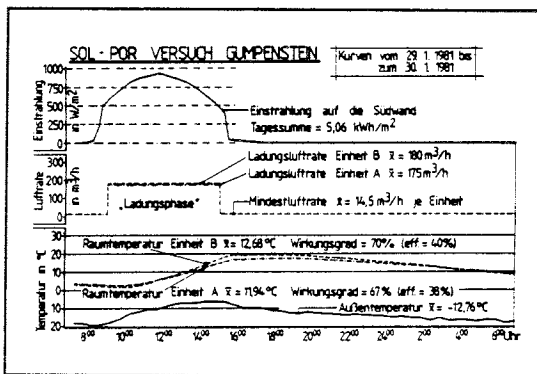
Das System ist nur in Kombination mit Luftkollektoren ('Solpor-Wand') wirkungsvoll einsetzbar.

Fraglich ist, ob dieses System zu einer vollständigen Ausnutzung der Solar-Wärme führen kann, da die Regelung der Wärmezufuhr problematisch erscheint und eine Raumüberwärmung in Extremfällen nicht ausgeschlossen werden kann.

6 - Energiebilanz

Konkrete Energiebilanzen liegen noch nicht vor. Mögliche Solarenergiegewinne werden in /B08/ (s.a. 2.1) diskutiert:

Dabei wurde festgestellt, daß der Wirkungsgrad der Solpor-Wand mit der Erhöhung des Luftdurchsatzes steigt. (Daraus resultiert auch ein erhöhter Lüftungswärmeverlust, der den Einsatz einer Wärmerückgewinnungsanlage notwendig macht).



7 - Wirtschaftliche Aspekte

Angaben zur Wirtschaftlichkeit solcher Systeme wurden nicht gemacht.

Der relativ hohe Aufwand für die Erstellung der Solpor-Wand, die notwendig erscheinende Wärmerückgewinnungsanlage sowie die ebenfalls nötige Zusatzheizung stellen die Wirtschaftlichkeit eines solchen Systems in Frage.

8 - Ergebnisse und Bewertung

Leider liegen noch keine Ergebnisse in dem Umfang vor, das eine Gesamtbeurteilung des Systems vorgenommen werden könnte.

Problematisch erscheinen:

- relativ hohe Luftwechselzahlen und damit hohe Lüftungswärmeverluste;
- ein hoher Solarenergie-Ausnutzungsgrad ist nur bei hohem Luftdurchsatz und erhöhten Lüftungswärmeverlusten möglich;
- die Regelung der Zulufttemperatur bei vollständiger Ausnutzung der Solarenergiegewinne ist mit Problemen behaftet;
- Herstellung und Ausführung der Solpor-Wand sind aufwendig;
- Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit des Systems ist die Gewährleistung des Luftdurchsatzes durch die Wand auf Dauer;
- wirtschaftliche Herstellung und Betrieb dieses Systems sind fraglich.

1 - Systembezeichnung, Hersteller

Forschungsleiter: Milo Hoffman, Department of Building Climatology, Building Research Station (B.R.S.), Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel

2 - Quellenangaben

1. Hoffman, M. et al.: "Solar Heating Using Common Building Elements as Passive Systems" (Passive Sonnenenergienutzung mit vorhandenen Bauteilen zur Gebäudeheizung), 'Solar Energy', Vol.30 (1983), No.3, p.275, /H26/

3 - Anwendungsbereich

Warmluftdurchströmte, wärmespeichernde Wände und Decken zur Speicherung von Solarwärme zur Gebäudeheizung.

3.1 - Entwicklungs-/Realisationstand

Bisher nur theoretische Überlegungen zur Wärmespeicherung in Wänden und Decken im Rahmen der o.a. Forschungsarbeit. Erste praktische Tests und Messungen fanden in einer Versuchsanordnung mit Schotterspeicher (zur Untersuchung von Solar-Luftkollektoren) statt.

4 - Systembeschreibung

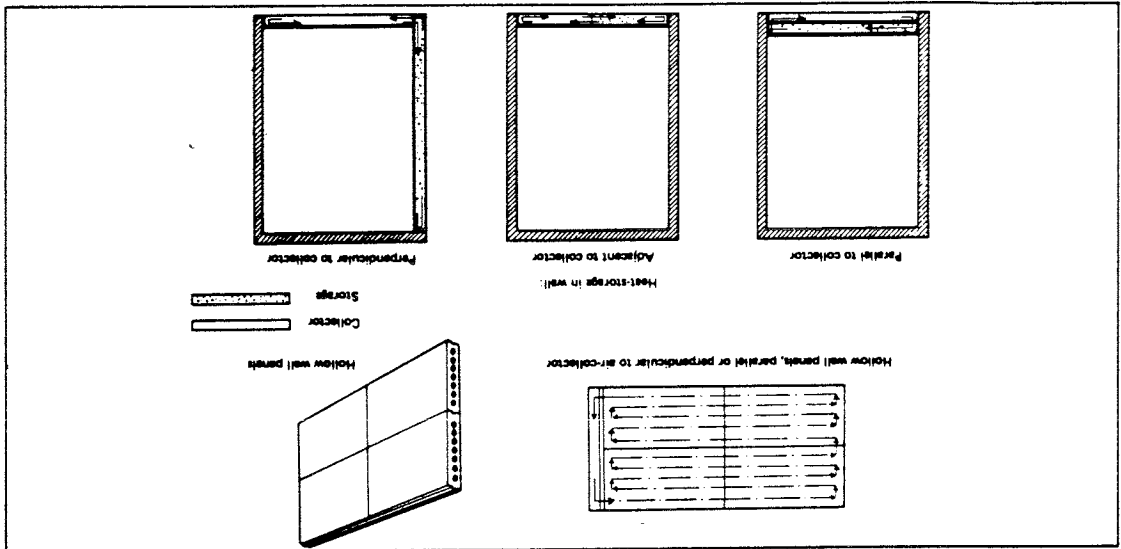
Das mit der Untersuchung vorliegende theoretische Konzept beschäftigt sich mit folgenden Überlegungen zur Systemanordnung:

- vorgefertigte Spannbeton-Hohlkammerelemente zur Decken- oder Wandkonstruktion;
- adäquate Verbindung der Hohlkammern für einen kontinuierlichen Warmluftstrom;
- raumseitige Dämmung der Elemente zur Verhinderung ungewollter Wärmeströme in die Räume;
- daraus folgt ein offener Systembetrieb; (Geschlossene Betriebsweise wäre gleichfalls denkbar bei einer Möglichkeit zur temporären Wärmedämmung der Speicherbauteiloberflächen.)
- Sonnenenergienutzung mit Luftkollektoren; passiver oder hybrider Betrieb, je nach Systemanordnung;
- bei hybridem Betrieb Luftstromantrieb mit el. Ventilatoren.

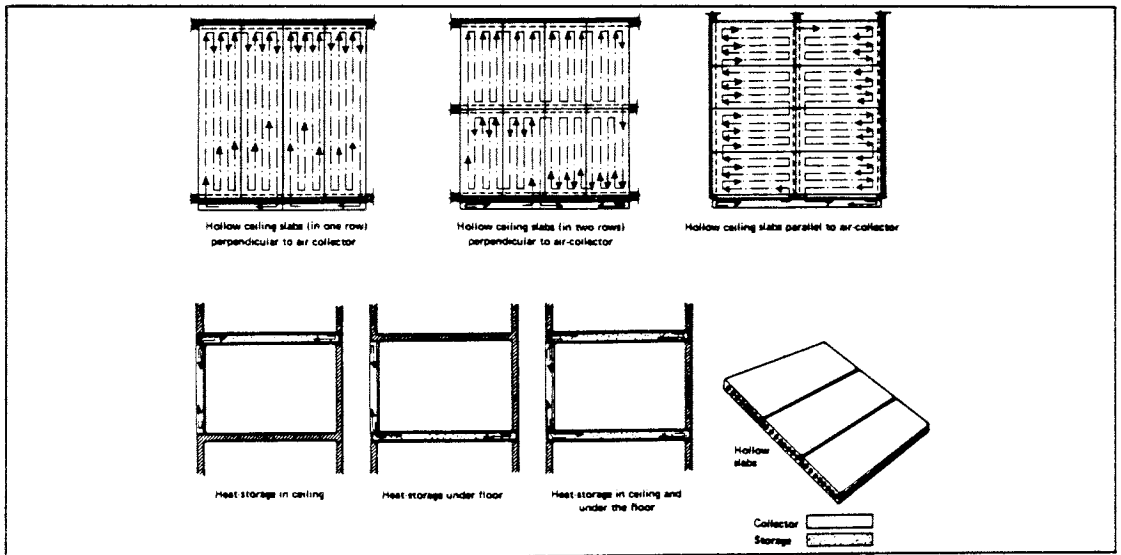
Angaben über Peripherie, Zusatzheizung, Dimensionierungen etc. sind nicht gemacht.

4.1 - Systemaufbau

Es sind zwei Möglichkeiten der Integration der Hohlkammerelemente in das Gebäude erwähnt:



Wand



Decke/Boden

4.2 - Wirkungsweise, Funktion

Die vorgesehene Speicherbeladung erfolgt über Luftkollektoren (Fensterkollektoren, kollektorartig ausgebildete Südwände ähnlich dem Trombe-Prinzip). Die Wärmeübertragung an die Innenräume erfolgt konvektiv durch das Öffnen von Klappen.

4.3 - Saisonaler Betrieb

- Keine Angaben -

4.4 - Peripherie

- Keine Angaben -

4.5 - Konstruktive Ausbildung, Herstellung

- Keine weiteren Angaben -

4.6 - Systemvoraussetzungen, Einsatzbeschränkung

Als bauliche Voraussetzungen für einen effektiven Systembetrieb wird die Reduzierung der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste genannt.

4.7 - Möglichkeiten zur Nachrüstbarkeit in vorhandene Bausubstanz

Mit vertretbarem Aufwand nicht möglich.

4.8 - Nutzereinfluß auf Systemfunktion- + wirkungsweise

- Keine Angaben -

4.9 - Übertragbarkeit der Systemanwendung + Nutzungserkenntnisse auf Gebäude anderer Nutzungsart

Für alle Einsatzbereiche der vorgefertigten Spannbetonelemente denkbar (vgl. Systeme II.2, II.8, II.11 etc.).

4.10 - Übertragbarkeit der Systemanwendung auf andere geographische/klimatische Gebiete (Sonnenenergienutzung)

Die geographische Lage (32°N) Israels (Gebiet der Forschung und der ersten praktischen Untersuchungen) erlaubt keine direkte Übertragung der sonnenenergienutzungsrelevanten Konditionen auf mitteleuropäische Verhältnisse. Der Forschungsansatz von Hoffman et al. besteht in der Entwicklung eines integrierten passiven/hybriden Sonnenenergiesystems zur monovalenten Betriebsweise; diese ist für Mitteleuropa auszuschließen. - Gleichwohl bieten die Systemüberlegungen Ansatzpunkte auch für den Einsatz in hiesigen Breiten, wie auch die Verwendung von Betonfertigelementen durch andere Systemhersteller indiziert.

5 - Kombination mit Einrichtungen zur passiven/hybriden Sonnenenergienutzung, Variationen

S.o. 4.1 und 4.2. - Keine Systembindungen.

6 - Energiebilanz

- Keine Angaben für den Einsatz der Elemente -

7 - Wirtschaftliche Aspekte

- Keine Angaben -

8 - Ergebnisse und Bewertung

Das Stadium der Untersuchung scheint für eine Bewertung des Systems zu früh. Analogien mit den Herstellern artverwandter Systeme (s.o. 4.9) können gezogen werden.

1 - Systembezeichnung, Hersteller

Brink-Warmluftheizung mit Luftkollektoren und Deckenspeicher;
 - Luftheizung: Firma Brink, Postfach 1302, 2900 Oldenburg
 - Luftkollektor: Polyprofil, Kunststofftechnik GmbH,
 Rolfzener Straße, 3282 Steinheim

2 - Quellenangaben

1. Hinterneder, H.: "Reihenhäuser werden mit Luftkollektoren beheizt", 'Solar + Wärmetechnik' 4(1982) Nr.6, /H23/
2. Hinterneder, H.: "Luftkollektoren mit Warmluft- und Warmwasser-Heizungen kombiniert", 'Sonnenenergie & Wärmepumpe' 7(1982) Nr.5/6, /H22/
3. Brink (Hersteller): "Planungsunterlagen", 'Herstellerinformation' (1984), /B35/
4. Fisch, N.: "Leistungsmessung an einem Sonnenenergieflachkollektor mit Luft als Wärmeträger", 'Forschungsinstitut f. Wärmetechnik e.V.', Stuttgart 1982, /F04/

3 - Anwendungsbereich

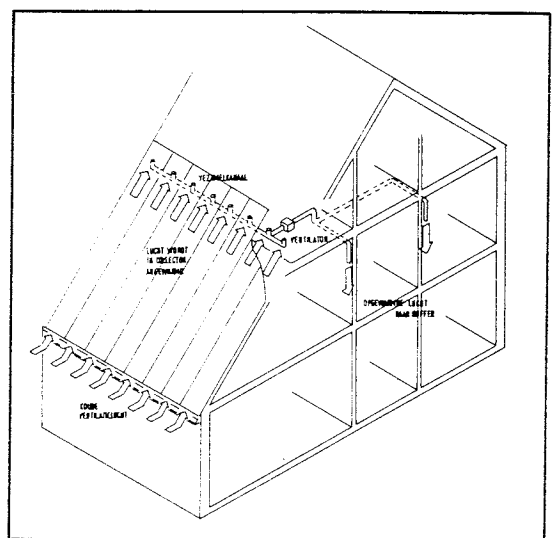
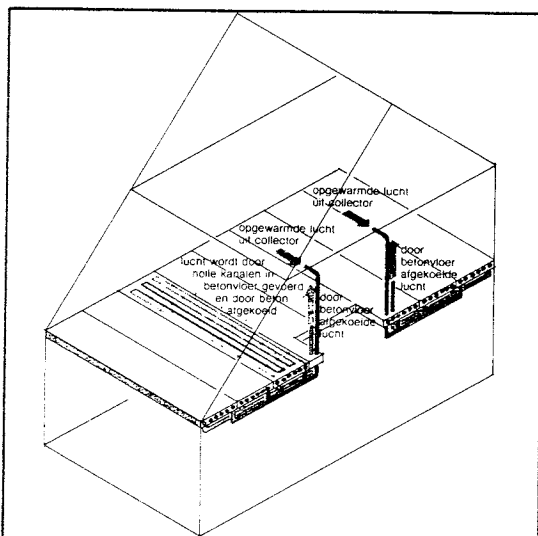
Solare Gebäudeheizung mit Solarwärmespeicher.

3.1 - Entwicklungs-/Realisationstand

Pilotprojekt in Alkmaar, NL, mit 32 Reihenhäusern (1983);
 Systemvergleiche (Varianten)

4 - Systembeschreibung

Mit einem Ventilator, der sich im Dachraum des Reihenhauses befindet, wird kühle Außenluft in einen Luftkollektor geführt. Der Kollektor befindet sich auf der nach Süden ausgerichteten Dachfläche. Die Luft wird in dem Kollektor auf 60 - 70°C erwärmt.

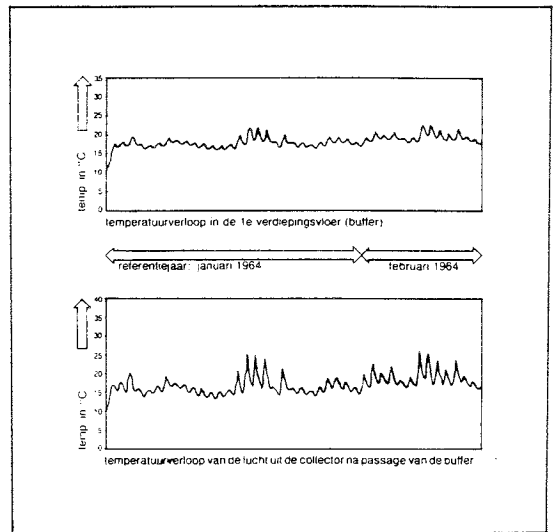


Damit es in den Wohnräumen nicht zu Überwärmungen kommt, wird die erwärmte Luft diesen Räumen nicht direkt zugeführt, sondern zunächst in einen Wärmespeicher (Puffer) geleitet. Als Wärmespeicher dient eine Stahlbeton-Fertigteildecke. Diese Decke weist Kanäle auf, die verbunden sind.

In dieser Decke gibt die Luft ihre Wärme an den Beton ab und wird mit einem Temperaturniveau, das dem der Decke entspricht, in das Luftheizungssystem geführt. Von dort erfolgt die Verteilung der Luft in die verschiedenen Räume. Ist in den Wohnräumen ein Wärmebedarf vorhanden, wird die Luft ggf. "zugewärmt".

Abends und nachts strömt kalte Luft durch die aufgewärmte Betondecke und wird dort vorgewärmt, bevor sie in das Luftheizungssystem gelangt. - An einem sonnigen Tag erhöht sich die Temperatur der Deckenplatte um 3 - 5°C.

Um Kondensatbildung innerhalb der Deckenplatte bei Außentemperaturen ab -10°C zu verhindern, wird die Zuluft nach Verlassen des Luftkollektors mit Rückluft gemischt und auf +/- 0°C temperiert.



Die Menge der Zuluft, die durch den Luftkollektor angesaugt wird, entspricht der Menge der Abluft ("Mischluftbetrieb").

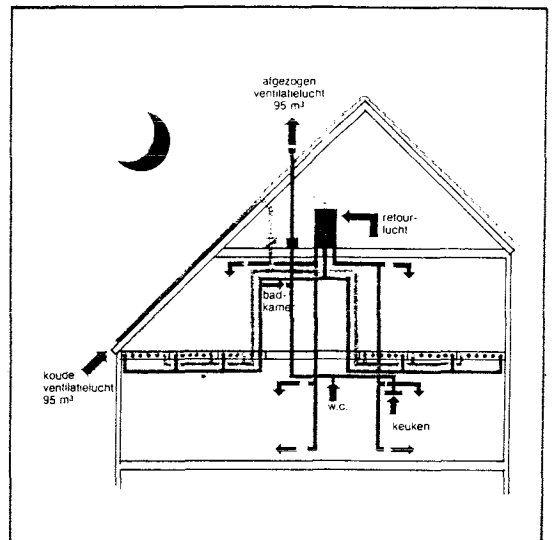
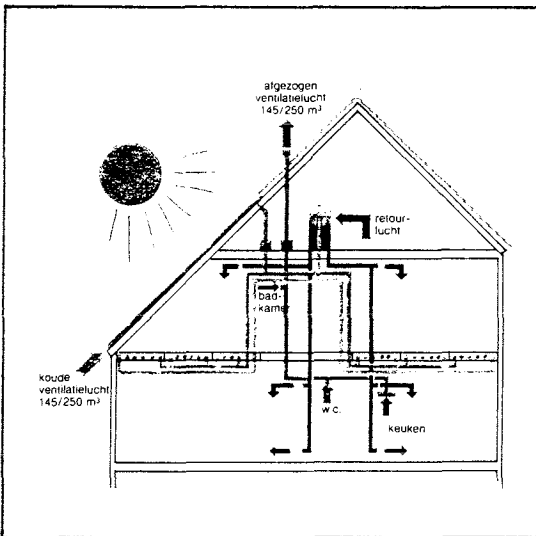
4.1 - Systemaufbau

- solare Warmegewinne (hybrid) über Luftkollektoren;
- Wärmeträgermedium Luft, elektrischer Gebläseantrieb;
- Ausbildung der EG-Deckenplatte als Wärmespeicher für Sonnenwärme;
- Nutzung der in der Fertigteildecke vorhandenen, untereinander verbundenen Kanäle zur Luftführung und als Wärmeübertragungs-Fläche;
- offener Systembetrieb;
- Warmluftheizungssystem zur Luft- bzw. Wärmeverteilung und Regulierung sowie zum Erwärmen der Luft bei geringer Sonneneinstrahlung.

4.2 - Wirkungsweise, Funktion

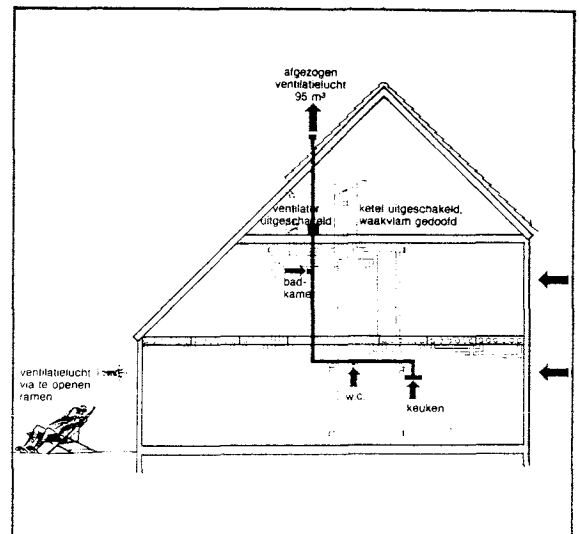
- Strahlungssammlung durch Luftkollektoren;
- Speicherung von Sonnenwärme in warmluftdurchströmten Stb-Fertigteildecken;

- Nutzung der Luft nach Verlassen des Deckenspeichers als "Frischlufanteil" im Luftheizungssystem (Mischbetrieb); eventuell "Zuwärmen" der Luft bei Wärmebedarf in den Wohnräumen;
- Wärmeverteilung im Gebäude durch das Luftheizungssystem (Zwangskonvektion);
- Integration des hybriden Sonnenenergiesystems in das konventionelle Heizungssystem.



4.3 - Saisonaler Betrieb

Gebäudeheizung im Winter und in der Übergangszeit für den Einsatz in gemäßigten Klimazonen. Mechanische Lüftung im Sommerbetrieb (keine Gebäudekühlung).



4.4 - Peripherie

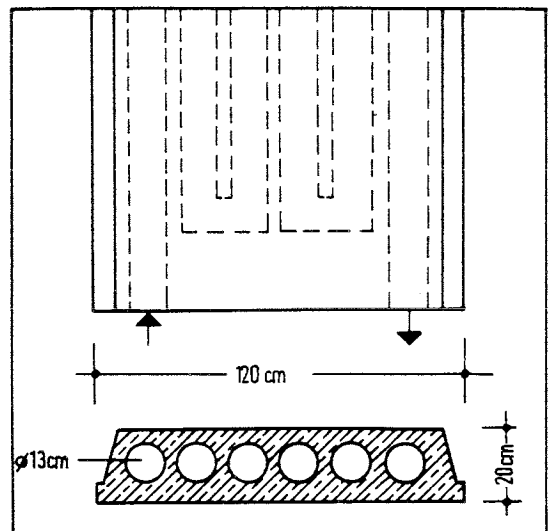
- Elektrisch betriebene Ventilatoren für den Luftstromantrieb:
 - zwischen Luftkollektor und Wärmespeicher;
 - im Luftheizungssystem;
 - im Abluftsystem;

- Regelung, Steuerung und Luftfilterung durch Einrichtungen des Brink-Luftheizungssystems;
- Warmluftheizung (Mischluftbetrieb) als in das hybride Sonnenenergiesystem integrierte "Zusatzheizung";
- kontrollierte Lüftung, Frischluftanteil in drei Stufen regelbar:

Stufe 1 (Kochen)	250 m ³ /h
Stufe 2 (normal)	145 m ³ /h
Stufe 3 (nachts, Sommer)	95 m ³ /h
- von der Luftheizung unabhängiges Abluftsystem.

4.5 - Konstruktive Ausbildung, Herstellung

- Verwendung von Stahlbeton-hohlkörperdecken aus Fertigteilen als Speicherdecke über dem Erdgeschoß. Die bereits vorhandenen Hohlräume werden zusätzlich untereinander verbunden.



Deckenelement

- Blechkanäle (Luftheizungssystem) zur Luftführung.

4.6 - Systemvoraussetzungen, Einsatzbeschränkung

Einsatz bislang nur in Geschoßdecken; Prinzipanwendung auch bei anderen Innenbauteilen entsprechender Bauart möglich.

4.7 - Möglichkeiten zur Nachrüstbarkeit in vorhandene Bausubstanz

Mit vertretbarem Aufwand nicht möglich.

4.8 - Nutzereinfluß auf Systemfunktion- + -wirkungsweise

Durch den hohen Grad der Automation gering; ggf. manuelle Regelung der Raumtemperatur.

1 - Systembezeichnung, Hersteller

"Porenlüftung - Luftdurchlässige Wand- und Deckenkonstruktionen"; Dipl.-Ing. Dr.techn. H. Bartussek

2 - Quellenangaben

1. Bartussek, H.: "Porenlüftung", Monographie, Österr. Kurat. f. Landtechnik, Wien, 1981, /B09/
2. Bartussek, H.: "Von der zugfreien Stall-Lüftung zur passiven Wohnraumheizung", T.1 und T.2, 'Sonnenenergie & Wärmepumpe' 5, 1980, H.1, S.28, /B08/
3. Gilli, P.G.: "Wärmerückgewinnung mittels poröser durchströmter Außenbauteile, Berechnungsverfahren u. Fallstudie", 'Bauphysik' 5/1982, S.173 u. 6/1982, S.203, /G15/
4. Ö. BMBau + Tech. (Hrsg.): "Luftdurchlässige Wand- und Deckenkonstruktionen. Ein Beitrag zur Hygiene und Wärmeökonomie im Wohnungsbau", 'Kurzberichte a.d. Bauforschung', Nr.7/82-88, 1982, /B37/
5. Bähr, H.: "Porenlüftungssysteme zur Wärmeschutzoptimierung", 'Bauzeitung' (DDR) 12, 1982, S.656, /B02/
6. Hebgen, H.: "Bauen mit der Sonne", 'Energieverlag', Heidelberg 1983, /H18/
7. Jasper, W.: "Gesundes Raumklima", arch+ 51/52, 7/1980, /J03/

3 - Anwendungsbereich

- Wärmerückgewinnung, Minimierung der Transmissionswärmeverluste;
- zugluftfreie Raumlüftung;
- Zuluftkonditionierung, d.h. Gebäudekühlung im Sommer;
- solare Gebäudeheizung;
- ggf. Minimierung der Lüftungswärmeverluste.

3.1 - Entwicklungs-/Realisationstand

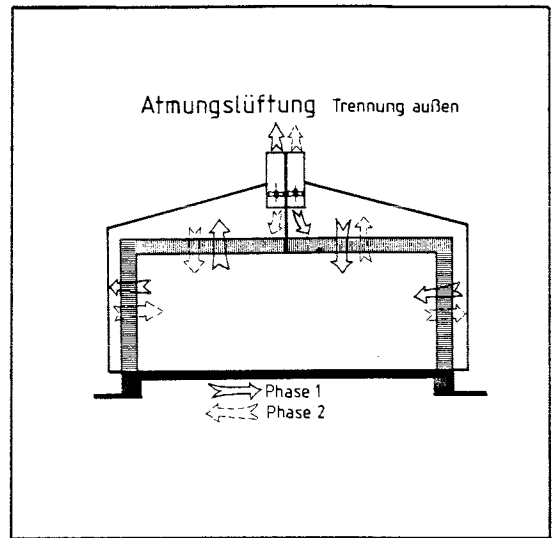
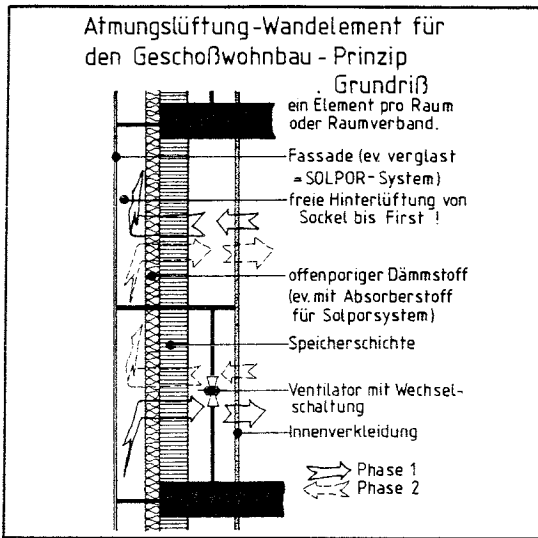
Neben Experimental-Bauten, wie dem Versuchshaus in Irdung/Österreich (Messungen und Beobachtungen), existieren Erkenntnisse aus Laborversuchen. Weitere Systemvarianten befinden sich in der Entwicklung.

4 - Systembeschreibung

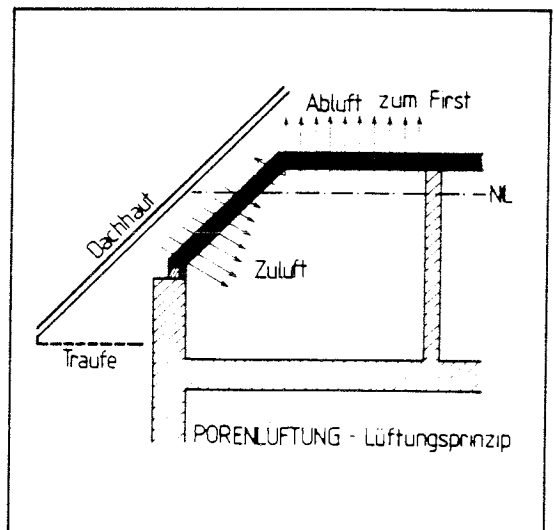
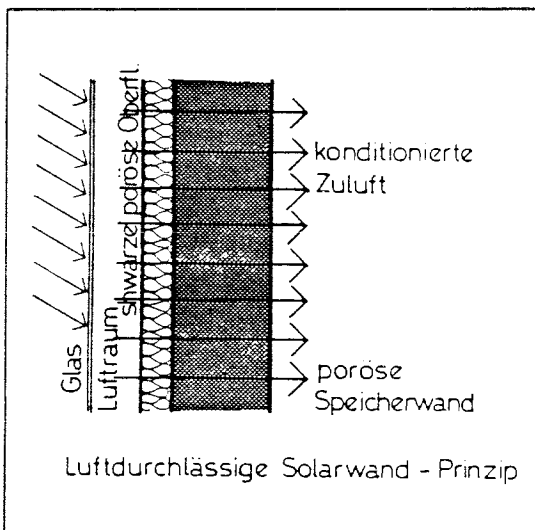
Das Prinzip der Porenlüftung beruht darauf, daß ein Teil der raumumschließenden Flächen aus porösen, luftdurchlässigen Bauteilen hergestellt wird. Durch Abluftschächte oder Abluftventilatoren wird ein Druckunterschied an den Oberflächen der porösen Bauteile erzeugt, der dafür sorgt, daß die Zuluft von außen nach innen durch das Bauteil strömt und so diese Flächen als Wärmetauscher wirken, die Transmissionswärme dient dabei zur Temperierung der Zuluft.

Wird ein Luftkollector vor dieser Wand angeordnet (Solpor-Wand), können die passiv erzielten Solarenergiegewinne in der Wand gespeichert werden und über Strahlung oder Konvektion dem Raum zugeführt werden.

Das Prinzip der "Atmungslüftung", also der rhythmische Wechsel der Strömungsrichtung, vermindert nicht nur Transmissions- sondern auch Lüftungswärmeverluste. Die Wärme aus der Abluft wird in der durchströmten Wandkonstruktion gespeichert und beim Richtungswechsel des Luftstroms mit der Zuluft dem Raum zugeführt.



4.1 - Systemaufbau



4.9 - Übertragbarkeit der Systemanwendung + Nutzungserkenntnisse auf Gebäude anderer Nutzungsart

Einsatz in Schulen, Kindergärten, Verwaltungsgebäuden und im Geschößwohnungsbau denkbar.

4.10 - Übertragbarkeit der Systemanwendung auf andere geographische/klimatische Gebiete (Sonnenenergienutzung)

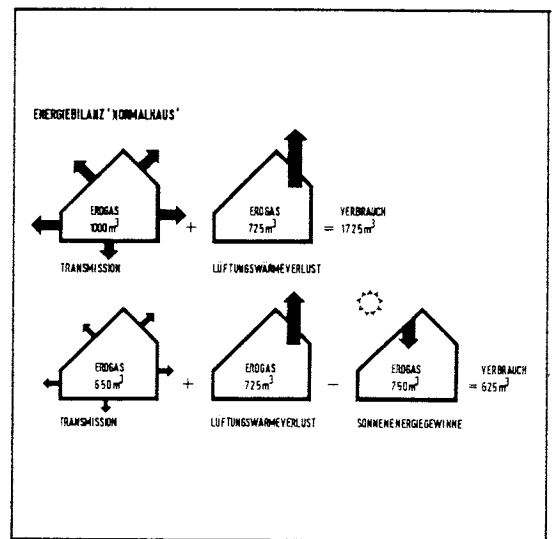
Einsatz in gemäßigten Klimazonen. Übertragbarkeit der Systemanwendung in mitteleuropäische Verhältnisse ist gegeben.

5 - Kombination mit Einrichtungen zur passiven/hybriden Sonnenenergienutzung, Variationen

Bei dieser Art der Systemausbildung ist nur die Kombination mit Luftkollektoren auf Dächern, mit Luftkollektor-Sonnenwänden o.ä. sinnvoll.

6 - Energiebilanz

Die nebenstehende Abbildung zeigt den Vergleich mit einem "Normalhaus". Sie ist dem Prospekt des Herstellers entnommen und so in ihrer Bedeutung zu werten.



7 - Wirtschaftliche Aspekte

Angaben zu den Systemkosten wurden nicht gemacht. Günstig könnte sich jedoch auswirken, daß:

- als Deckenspeicher Stb-Fertigteileplatten benutzt werden, die bereits über Hohlräume verfügen und
- für die Luftführung die ohnehin erforderlichen Kanäle der Luftheizung genutzt werden (integriertes Heizungssystem).

8 - Ergebnisse und Bewertung

Der Abschlußbericht des niederländischen TÜV über das Pilotprojekt liegt bislang nicht vor, so daß eine abschließende

Bewertung augenblicklich nicht möglich ist. Zu beachten ist jedoch folgendes:

- Lüftungswärmeverluste werden, obwohl eine kontrollierte Lüftung vorhanden ist, nicht durch den Einsatz einer Wärmerückgewinnungsanlage vermindert.
- In Perioden, in denen über längere Zeit nur geringe Sonneneinstrahlungen vorhanden sind, wird der Deckenspeicher permanent ausgekühlt, da die Frischluft durch ihn geführt wird. Dies könnte im Extremfall zu erhöhten Wärmeabflüssen aus dem Innenraum führen.

1 - Systembezeichnung, Hersteller

"Concrete Block Under Concrete Slab as a Heat Storage System in a Passive Solar Heated Building" (Beton-Speicherblöcke unterhalb der Beton-Sohlplatte zur Wärmespeicherung in einem passiv-solarbeheizten Gebäude)

Mr. Robert Mitchell, Solar Systems Design, Inc., RD #1, Box 462-A, Voorheesville, NY 12186

2 - Quellenangaben

1. Lewis, S.: "Radiant Floors", 'Solar Age' 5/1982, /L07/
2. Lewis, S.: "Radiant Slab Heat Recovery", unveröffentlichtes Manuskript, 8/1981, /L10/
3. Mitchell, R.; Giansante, J.: "The Use of Concrete Block Directly under a Concrete Slab as a Heat Storage System in a Passive Solar Heated Building", 'Alt Engy Sourc II', Proc of the Miami Int Conf, 1979, /M17/
4. Mitchell, R.: "A Unique Use of Concrete Block for Cooling Application", 'Progress in Solar Energy', Vol.5, o. Jahr, /M18/

3 - Anwendungsbereich

Gebäudeheizung in Einfamilienhäusern

3.1 - Entwicklungs-/Realisationstand

Lewis (s.o. 2.1) schreibt von 30 mit dem System ausgestatteten Gebäuden (Stand: 1981). Vom Hersteller waren keine Angaben zu erhalten. - Umfangreiche Modelluntersuchungen und Messungen sind der praktischen Verifikation vorausgegangen. Extensive Messungen auch an realisierten Objekten.

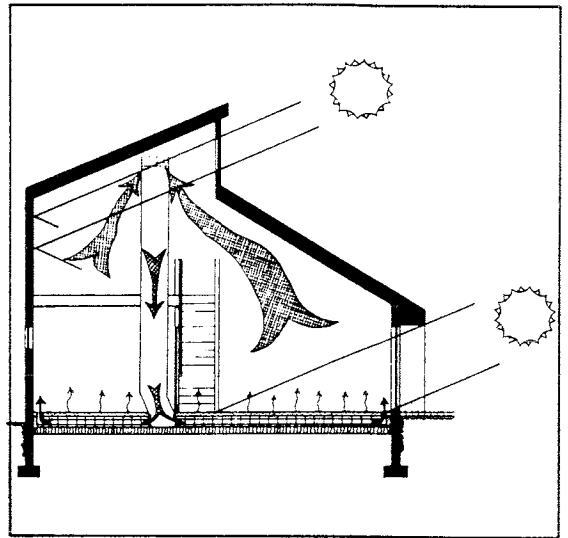
4 - Systembeschreibung

Durch Sonneneinstrahlung erwärmte Raumluft wird über einen vertikalen Schacht durch die Hohlräume der Sohlplatte des Gebäudes geleitet und danach wieder der Raumluft zugeführt.

Die Sohlplatte dient dabei als Speicher.

4.1 - Systemaufbau

- Kern des Systems ist die warm-luftdurchströmte Sohlplatte mit Speicherfunktion
- Beton-Hohlsteine auf einer Dämmschicht bilden durchlaufende Luftkanäle
- quer dazu verlaufende Zuluftkanäle in Gebäudemitte stellen die Verbindung mit einem vertikalen Schacht her, über den die erwärmte Luft aus dem oberen Gebäudeteil dem Verteilerkanal zugeführt wird
- der Luftstrom wird durch ein elektrisch betriebenes Gebläse erzeugt



- das System ist in die raumluftheiztechnische Anlage des Gebäudes integriert.
- eine Warmluftheizung dient als Back-up.

4.2 - Wirkungsweise, Funktion

Durch Sonneneinstrahlung in der Südzone erwärmen sich die Luft und die angrenzenden Bauteile. Durch die thermische Schichtung stellen sich die höchsten Temperaturen am höchsten Punkt im Gebäude ein. Dort wird die Luft mittels des Gebläses in den vertikalen Schacht gesogen und gelangt in die Verteilerkanäle der Speichersole. Nach Durchströmen der Betonhohlkörper und Wärmeabgabe an die speicherfähige Masse gelangt die Luft durch seitliche Ausblasöffnungen wieder in die Räume zurück.

Das elektrische Gebläse wird nur für die Speicherbeladung verwendet. Die Entladung erfolgt, wie auch bei dem System von Chaleff (vgl. II.11) über freie Konvektion und Strahlung. Der Speicherbeladevorgang beginnt thermostatisch gesteuert, sobald die Lufttemperatur an der höchsten Stelle im Haus einen bestimmten Wert erreicht hat. - Die mit dem Mitchell-System ausgestatteten Gebäude weisen einen relativ guten baulichen Wärmeschutz auf, was als Systemvoraussetzung angesehen werden kann.

4.3 - Saisonaler Betrieb

Neben dem beschriebenen Einsatz zur Gebäudeheizung kann das System auch zur Kühlung eingesetzt werden. Die entsprechenden Überlegungen und Vorschläge sind in 2.4 (s.o.) enthalten.

4.4 - Peripherie

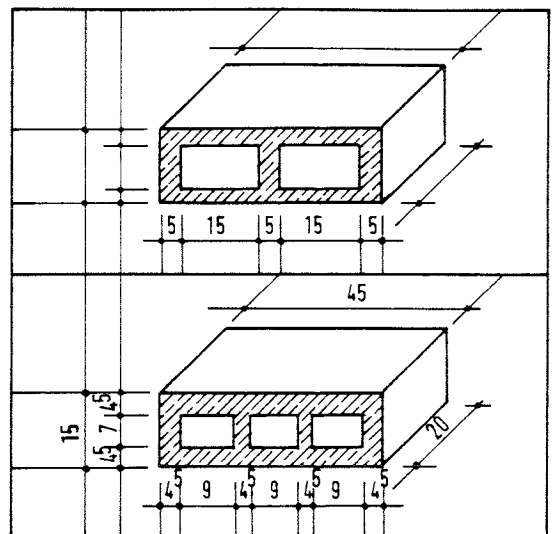
- volle Integration in die raumlufttechnische Anlage des Gebäudes;
- Warmluftzusatzheizung;
- elektrostatische Luftfilterung;
- Luftstromantrieb zur Speicherbeladung mit elektrischem Ventilator;
- vollautomatische Steuerung und Regelung aller Systemfunktionen.

In den vorliegenden Systembeschreibungen finden sich keine Angaben über ev. kontrollierte Lüftung und Wärmerückgewinnung.

4.5 - Konstruktive Ausbildung, Herstellung

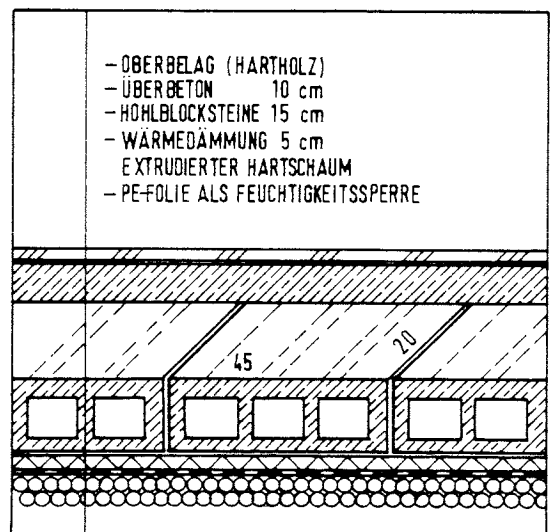
Die Speicher-Sohlplatte wird als mehrschichtige Konstruktion auf der Baustelle monolithisch hergestellt.

Einziges vorgefertigtes Element ist der Hohlblockstein aus Beton, für den zwei Varianten dargestellt sind:



Die einzelnen Schichten des konstruktiven Aufbaus der Sohlplatte ergeben sich aus nebenstehender Skizze.

Die Dicke des Überbetons ist nach thermischen bzw. thermodynamischen Untersuchungen bemessen.



4.6 - Systemvoraussetzungen, Einsatzbeschränkung

Ausführung des Speicherdeckenaufbaus nur als Sohlplatte und setzt somit nicht unterkellerte Gebäude voraus. Dadurch ergeben sich beim derzeitigen Entwicklungsstand keine Einsatzmöglichkeiten bei mehrgeschossiger Bauweise. - Optimierter baul. Wärmeschutz, vgl. 4.2.

4.7 - Möglichkeiten zur Nachrüstbarkeit in vorhandene Bausubstanz

- Entfällt herstellungsbedingt -

4.8 - Nutzereinfluß auf Systemfunktion- + wirkungsweise

Aufgrund der nahezu vollständigen Automatisierung hat der Bewohner nur Einfluß auf die vorzuzählenden Thermostatterperaturen. - Über die Möglichkeit einer manuellen Steuerung werden keine Angaben gemacht.

4.9 - Übertragbarkeit der Systemanwendung + Nutzungserkenntnisse auf Gebäude anderer Nutzungsart

Einsatz in Schulen, Kindertagesstätten, kleineren Büro- und Verwaltungsgebäuden (niedrig- bzw. eingeschossige Bauweise) denkbar.

4.10 - Übertragbarkeit der Systemanwendung auf andere geographische/klimatische Gebiete (Sonnenenergienutzung)

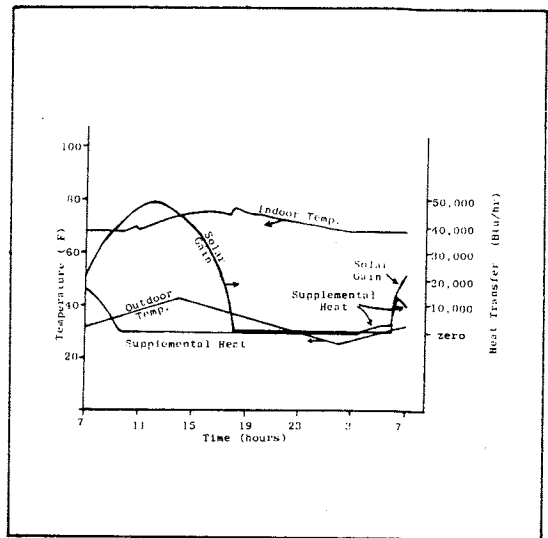
Einsatz in gemäßigten Klimazonen. Übertragbarkeit der Systemanwendung in mitteleuropäische Verhältnisse ist gegeben.

5 - Kombination mit Einrichtungen zur passiven/hybriden Sonnenenergienutzung, Variationen

Die Kombination des Systems mit allen Einrichtungen zur Tertiärgewinnung von Sonnenenergie sind möglich. Die Böden in den Südräumen können ebenso zur Primärspeicherung dienen. Es besteht keine Systembindung an eine bestimmte Sonnenenergienutzungsart.

6 - Energiebilanz

Zwar liegen Angaben in den Veröffentlichungen vor, die Ergebnisse sind jedoch nicht ohne weiteres nachvollziehbar. - Wie bei vergleichbaren Systemen (z.B. II.3) zeichnet sich in der Tendenz eine erhebliche Einsparung an aktiver Zusatzheizenergie ab.



7 - Wirtschaftliche Aspekte

Die aufwendigere Sohlplattenkonstruktion erfordert Mehrinvestitionen gegenüber konventionellen Vergleichslösungen. Zwar enthalten die Unterlagen konkrete Angaben über Einrichtungs- und Betriebskosten des Systems, die Unterschiedlichkeit der Verhältnisse erlaubt jedoch keine direkten Bezüge

8 - Ergebnisse und Bewertung

Hinsichtlich des Wirkungsprinzips und der Funktion unterscheidet sich das System nicht von vielen der anderen hier vorgestellten.

Mögliche "echte" Unterschiede, auch bzgl. des Wirkungsgrades etc., könnte nur ein direkter, praktischer Systemvergleich ergeben. Ermitteln ließen sich hingegen Differenzen in bezug auf die Herstellungskosten für die einzelnen Systeme durch entsprechende Kalkulationen. Die Betriebskosten und damit die entscheidenden Amortisationszeiträume wären jedoch ebenfalls nur in praktischen Versuchen festzustellen.

Wie bei z.B. II.12 ergeben sich durch die Ausbildung der Sohlplatte als alleiniger Speichermasse Einschränkungen in der Verwendbarkeit des Systems (mehrgeschossige Bauweisen etc.).

Die Ausbildung von Speicher(-innen-)wänden mit durchströmbaren Hohlkörper-Betonelementen wäre denkbar.

1 - Systembezeichnung, Hersteller

CHALEFF SLAB; Chaleff & Rogers, Architects, P.O.Box 990, 922 Montauk Highway, Water Mill, NY 11976

2 - Quellenangaben

1. Chaleff, B: "Persönliche Mitteilungen", 10/1985, /C03/
2. Lewis, S.: "Radiant Floors", 'Solar Age', 5/1982, /L07/
3. Lewis, S.: "Radiant Slab Heat Recovery", unveröffentlichtes Manuskript, 8/1981, /L10/
4. Lewis, S.: "Radiant Slab Heat Recovery", 'Newsletter of the Metropolitan Solar Energy Society', 6/1981, /L09/
5. Lewis, S.: "Solar Home Journal", 'Newsletter of the Metropolitan Solar Energy Society', 4/1981, /L08/
6. Chaleff, B.: "Air Floor Construction for Auxiliary and Solar Convective Heat Storage and Distribution", 'Proc of the Natl Pass Sol Engy Conf', 1982, p861, /C02/

3 - Anwendungsbereich

Vorwiegend Einfamilienhäuser

3.1 - Entwicklungs-/Realisationstand

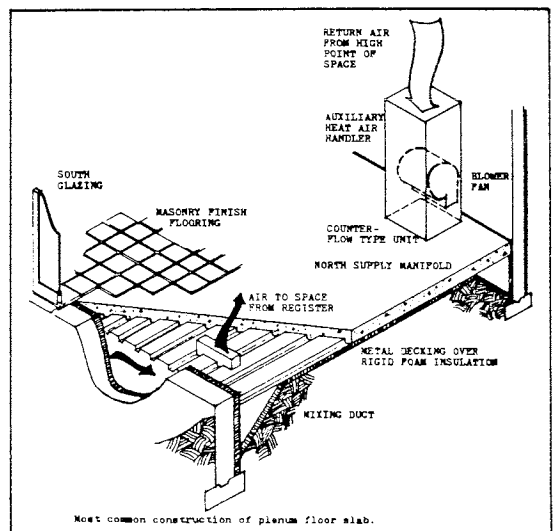
45 Gebäude sind mit der Chaleff-Decke ausgerüstet; weitere befinden sich in der Projektierungsphase. - Durch die praktischen Erfahrungen hat sich inzwischen eine Art Ausstattungsstandard entwickelt; die Anpassungs- und Optimierungsphase kann als abgeschlossen gelten.

4 - Systembeschreibung

Chaleff-Slab zur Tertiärspeicherung von Solarwärme; Gebäudeheizung und Wärmeverteilung mit vorhandener Peripherie.

4.1 - Systemaufbau

- Beton-Sohlplatte auf Trapezblechen (als verlorene Schalung zur Luftkanalausbildung); Dämmplatten als unterer Abschluß zum Baugrund;
- Offener Systembetrieb bei Speicherbeladung, bei Entladung Möglichkeit zur geschlossenen Betriebsweise. Wärmeabgabe an den Innenraum über Konvektion und Strahlung (50 : 50); großzügige Dimensionierung der Luftaustritts-



öffnungen zur Minimierung der Luftgeschwindigkeiten in den Aufenthaltsräumen.

- Quer zur Luftströmungsrichtung verlaufende Zu- und Mischluftkanäle; zentraler Rückluftsammlerschacht zum höchsten Punkt des Gebäudes;
- Zentrale Luftaufbereitung mit NT-Warmluftheizung und elektrischem Gebläse zum Luftstromantrieb. - Keine Angaben über weitere Luftkonditionierung.
- Steuerungsmöglichkeit automatisch oder manuell;
- Kombination mit passiven/hybriden Sonnenwärmenutzungseinrichtungen (keine Systembindung); üblicherweise Sonneneinstrahlung in der Südzone, daher auch Direkteinstrahlung auf die Speichersohlplatte möglich;
- Der Speicher liegt im Rückluftstrom;
- Guter baulicher Wärmeschutz als Systemvoraussetzung.

Alternativ besteht die Möglichkeit, auch Wärmespeicher-Geschoßdecken auszubilden; in den Quellen sind jedoch dazu keine Ausführungsbeispiele angegeben.

4.2 - Wirkungsweise, Funktion

Die Sonnenwärmenutzung erfolgt z.T. primär (direkte Einstrahlung auf den Fußboden), in der Hauptsache tertiär (mit Gebläse zum Transport der solar erwärmten Luft in die luftführenden Speicherbauteile). Am höchsten Punkt innerhalb des Gebäudes wird die Luft durch den Rückluftschacht nach unten gesaugt und über das Gebläse bzw. die zentrale (Warmluft-) Heizeinrichtung in den Deckenaufbau geleitet. Nachdem die Luft die Deckenhohlräume passiert hat, tritt sie wieder in den Raum. - Bemerkenswerterweise wird der Gebläseeinsatz nur für die Phase der Speicherbeladung vorgeschlagen. Die Abgabe der gespeicherten Wärme an den Raum soll vorwiegend über Strahlung erfolgen. Auf diese Weise erfolgt die Wärmeabgabe über Konvektion und Strahlung lt. Angabe im Verhältnis 50 : 50.

Die Deckung von Wärmedefiziten kann durch das System mit einer Zeitverzögerung von max. 30 Minuten erfolgen (gegenüber vier Std. bei rein geschlossen betriebenen Systemen im NT-Bereich).

4.3 - Saisonaler Betrieb

In den Unterlagen wird der beschriebene Heizmodus in der Winter- und Übergangszeit aufgezeigt; auf die (denkbare) Verwendung des Systems zur Gebäudekühlung findet sich kein Hinweis.

4.4 - Peripherie

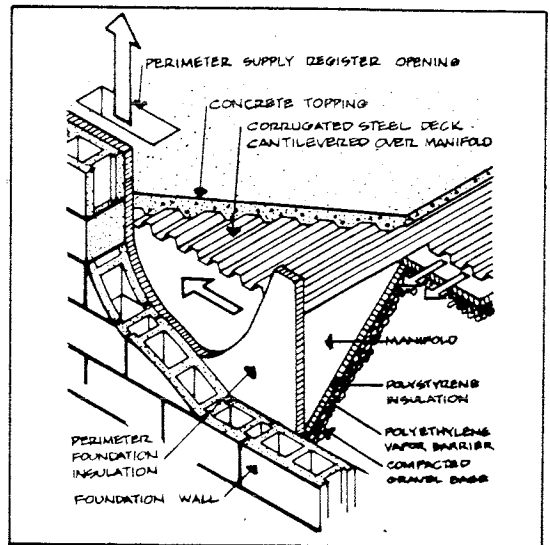
Zentrum der Peripherie ist die Warmluftheizung mit Gebläse und optionalen Einrichtungen zur Luftkonditionierung. - Prinzipiell ist es möglich, jede beliebige Heizung mit dem

Chaleff-System zu kombinieren.

Ob der Deckenspeicher über eine By-pass-Luftführung von der übrigen lufttechnischen Einrichtung abgekoppelt werden kann, geht aus den Unterlagen nicht hervor. Es findet sich indes der Vorschlag, eine Back-up-Heizung unabhängig vom übrigen Systembetrieb vorzusehen.

4.5 - Konstruktive Ausbildung, Herstellung

- Unmittelbar auf die Wärmedämmung bzw. über die Luftkanäle werden Trapezbleche gelegt, mit den schmalen Sicken nach unten weisend.
- Auf das Blech wird eine ca. 8 - 10cm dicke Schicht aus Betonspeicher aufgebracht. Als Bewehrung dienen Baustahlmatten bzw. Stahlprofile nach statischen Erfordernissen über den Kanälen.
- Die Nuttschicht auf dem Beton kann beliebig gewählt werden
- Die Kanäle werden mit der vorhandenen Warmluft-Zusatzheizung und dem zentralen Gebläse verbunden.



- Herstellung des Speicherdeckenaufbaus vollständig auf der Baustelle.

4.6 - Systemvoraussetzungen, Einsatzbeschränkung

Einsatz des beschriebenen Aufbaus nur in Sohlplatte (EG-Boden, nicht unterkellerte Gebäude). Dadurch beschränkte Einsatzmöglichkeiten in mehrgeschossigen Gebäuden. Vgl. aber Ausnahme in 4.1.

4.7 - Möglichkeiten zur Nachrüstbarkeit in vorhandene Bausubstanz

- Entfällt -

4.8 - Nutzereinfluß auf Systemfunktion- + -wirkungsweise

Abhängig vom Grad der Automatisierung.

4.9 - Übertragbarkeit der Systemanwendung + Nutzungserkenntnisse auf Gebäude anderer Nutzungsart

Einsatz in Schulen, Kindertagesstätten, kleineren Büro- und Verwaltungsgebäuden denkbar. Erste Konzepte in diese Richtung bestehen.

4.10 - Übertragbarkeit der Systemanwendung auf andere geographische/klimatische Gebiete (Sonnenenergienutzung)

Einsatz in gemäßigten Klimazonen. Übertragbarkeit der Systemanwendung in mitteleuropäische Verhältnisse ist gegeben.

5 - Kombination mit Einrichtungen zur passiven/hybriden Sonnenenergienutzung, Variationen

Im Prinzip ist die Kombination des Systems mit allen Nutzungseinrichtungen zur Tertiärgewinnung von Sonnenwärme möglich. Die Böden in Südräumen können im Falle einer Direktbestrahlung auch zur Primärspeicherung dienen. Eine Systembindung an eine bestimmte Art der Sonnenenergienutzung besteht nicht.

6 - Energiebilanz

Konkrete Angaben liegen nicht vor. In der Tendenz ist eine erhebliche Einsparung von aktiver Zusatzheizenergie zu erwarten. Die diesbezüglich angestellten Ermittlungen erfolgten bislang ausschließlich empirisch.

7- Wirtschaftliche Aspekte

Als Mehrkosten sind, gegenüber einer herkömmlichen Beton-Sohlplatte, die Aufwendungen für die Dämmung und die Trapezblechprofile zu verzeichnen. Die praktische Erfahrung von Chaleff zeigt, daß sich diese Kosten teilweise gegen die Einsparungen bei der Raumluftführung und -verteilung aufrechnen lassen. Die Herstellungskosten sind geringfügig höher als für eine konventionelle Platte.

8 - Ergebnisse und Bewertung

Das von Chaleff angewendete Prinzip entspricht in vielerlei Hinsicht einigen anderen der in diesem Abschnitt vorgestellten Systeme (z.B. 1.3, 1.11, 1.12 etc.). Chaleff scheint eine kostengünstige Variante entwickelt zu haben. - Leider ist den vorliegenden Unterlagen wenig an wichtigen technischen Details zu entnehmen (Luftstromgeschwindigkeiten, Antriebsleistungen, Druckabfall, Kanaldimensionierungen, KL und WRG etc.); Chaleff weist in seiner persönlichen Mitteilung darauf hin, daß nahezu alle Arten von Zusatzheizungen sich in er-

folgreichem Einsatz in Kombination mit seinem System befinden.

Nachdrücklich hebt er die Wichtigkeit einer optimalen Wärmedämmung als die wesentliche Voraussetzung für den erfolgreichen (= energieeinsparenden) Einsatz seines Systems hervor.

Die Ausbildung der Sohlplatte als konstruktive Standardlösung beschränkt den Systemeinsatz in größeren Gebäuden. Varianten zur Ausbildung von Geschoßdecken befinden sich den Angaben nach jedoch bereits in der Projektierungsphase, ebenso Überlegungen über den Einsatz in anderen als Wohngebäuden.

Die rechteckigen Luftkanäle in den Decken sind dreiseitig (oben und beide Seiten) vom Metall der Trapezbleche begrenzt, den unteren Abschluß bilden die auf den Baugrund aufgelegten Dämmplatten. Inwiefern dieses Dämmmaterial als für die Luftführung geeignet betrachtet werden kann, muß als fraglich beurteilt werden. Es sei dazu verwiesen auf die gutachterliche Stellungnahme von Beckert /B13/ in I.1.4.

1 - Systembezeichnung, Hersteller

Flexicore - Hohlkammerspeicherdecken; Stephen Lasar, 32 Main St., New Milford, CT 06776, USA

2 - Quellenangaben

1. Lewis, S.: "Radiant Slab Heat Recovery", unveröffentlichtes Manuskript, 8/1981, /L10/
2. Lewis, S.: "Radiant Floors", 'Solar Age' 5/1982, /L07/

3 - Anwendungsbereich

Vorgefertigte Hohlkammerspeicherdecken zur passiven/hybriden Sonnenwärmenutzung zur Wohnraumheizung in Einfamilienhäusern.

3.1 - Entwicklungs-/Realisationstand

Wahrscheinlich Serie; genaue Angaben waren vom Hersteller nicht zu erhalten.

4 - Systembeschreibung

Speicherdecken mit Flexicore-Betonfertigelementen zur tertiären Speicherung von Sonnenwärme. Gebäudeheizung über Wärmestrahlung der geladenen Speicherdecken.

4.1 - Systemaufbau

- Vorgefertigte Betonhohlkörperelemente werden als Geschoßdecken ausgebildet. Sie ersetzen die sonst in USA beim EFH-Bau üblichen Holzbalkendeckenkonstruktionen.
- Wände und Sohlplatten können ebenfalls mit den Flexicore-Elementen durchströmbar ausgebildet werden.
- Die Hohlkammern der Decken/Wände sind an die Zusatzheizung (Warmluft) angeschlossen.
- Die Hohlräume sind mit Einrichtungen zur Sonnenenergienutzung verbunden. Genannt werden Trombe-Wand und Wintergarten.
- Der Systemkreislauf ist offen.
- Die Speicherdecken liegen im Zuluftstrom.
- Der Luftstromantrieb erfolgt mit elektrischen Ventilatoren.

4.2 - Wirkungsweise, Funktion

Die in den Sonnenenergienutzungseinrichtungen erwärmte Luft durchströmt die Deckenpeicherelemente und tritt in den nördlich gelegenen Räumen in das Gebäude. Zusätzlich besteht auch die Möglichkeit, die die Decken durchströmende Luft durch die der Warmluftheizung vorzuwärmen. Die Wärmeabgabe an die Räume

erfolgt über Strahlung der Decke nach oben und unten. - Ob die Speicherentladung auch konvektiv über das elektrische Gebläse vorgesehen ist, geht aus den Unterlagen nicht klar hervor.

In Verbindung mit entsprechenden Sonnenenergienutzungseinrichtungen besteht auch die Möglichkeit einer rein passiven Betriebsweise des Systems, wobei auf den Einsatz elektrischer Gebläse verzichtet wird.

4.3 - Saisonaler Betrieb

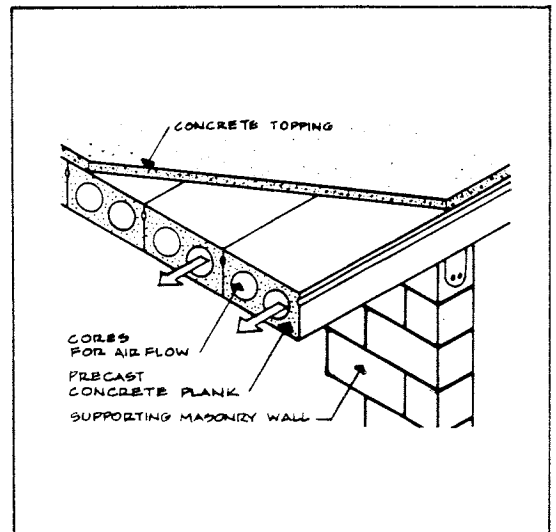
- Keine Angaben -

4.4 - Peripherie

Außer der Erwähnung der Warmluft-Zusatzheizung weiter keine Angaben zur Systemperipherie.

4.5 - Konstruktive Ausbildung, Herstellung

- Beton-Hohlkörper-Platten;
- die Elemente sind vorgefertigt.
- Montage der Decken aufgrund des hohen Eigengewichts der Platten mittels Baukrans;
- Weitere Detailangaben (Abmessungen, techn. Ausstattung, Einbindung etc.) waren vom Hersteller nicht zu erfahren.



4.6 - Systemvoraussetzungen, Einsatzbeschränkung

- Keine Angaben -

4.7 - Möglichkeiten zur Nachrüstbarkeit in vorhandene Bausubstanz

- Entfällt -

4.8 - Nutzereinfluß auf Systemfunktion- + wirkungsweise

Über Steuerungs- und Regeleinrichtungen enthalten die Unterlagen ebenfalls keine Angaben, so daß die Einflußmöglichkeiten der Bewohner auf den Systembetrieb nicht abgeschätzt werden können.

4.9 - Übertragbarkeit der Systemanwendung + Nutzungserkenntnisse auf Gebäude anderer Nutzungsart

Der Einsatz als Geschoßdecke bzw. als Innenwand läßt keine Einsatzbeschränkungen des Systems erkennen, so daß auch die Verwendung in anderen als in Wohngebäuden und EFH's denkbar ist (vgl. auch mit System 1.2).

4.10 - Übertragbarkeit der Systemanwendung auf andere geographische/klimatische Gebiete (Sonnenenergienutzung)

Einsatz in gemäßigten Klimazonen. Übertragbarkeit der Systemanwendung in mitteleuropäische Verhältnisse ist gegeben.

5 - Kombination mit Einrichtungen zur passiven/hybriden Sonnenenergienutzung, Variationen

Kombination mit Trombe-Wand oder Wintergarten wird angegeben. Im Prinzip ist die Kombination mit jeder beliebigen Einrichtung zur Nutzung von (tertiären) Sonnenenergiegewinnen möglich.

6 - Energiebilanz

- Keine Angaben -

7 - Wirtschaftliche Aspekte

Von den in 2.2 (s.o.) dargestellten 5 Systemen (vgl. dazu 1.3, 1.10, 1.11 u. 1.12) weist Flexicore nach den Quellenangaben die höchsten erforderlichen Investitionskosten auf (Untersuchung auf Grundlage US-amerikanischer Verhältnisse). Über Betriebskosten, Prognosen zur Einsparung von aktiver Zusatzheizenergie etc. fehlen Angaben, daher ist eine Beurteilung nicht möglich.

8 - Ergebnisse und Bewertung

Aufgrund der vielen fehlenden Detailinformationen ist eine abschließende Bewertung der Leistungsfähigkeit des Flexicore-Systems nicht möglich.

Interessant ist jedoch der Einsatz der Beton-Fertigelemente

zur Herstellung der durchströmbaren Geschoßdeckenkonstruktion. Vergleichbare Platten werden bereits in großen Stückzahlen eingesetzt (vgl. z.B. auch 1.8).

Eine Einbindung der Platte in die raumlufttechnische Anlage des Gebäudes ist ohne erkennbare Schwierigkeiten möglich. - Ob indessen (wie vorgeschlagen) der rein passive Systembetrieb bei uns effektiv erfolgen könnte, ist nicht geklärt.

Die Lage der Geschoßdecke im Zuluftstrom bringt die bekannten Nachteile bzw. Konsequenzen mit sich (möglicherweise erforderliche Vorwärmung der Decke durch die Zusatzheizung etc.). Diese Systemvorgabe erfolgt allerdings nicht durch die Verwendung der Hohlkammer-Deckenelemente.

1 - Systembezeichnung, Hersteller

Acorn Slab (Hohlkammer-Wärmespeicherdecke); Acorn Structures, Inc., P.O. Box 250, Concord, MA 01742, USA

2 - Quellenangaben

1. Kelley, M., Slote, J.: "Design, Construction and Performance of a Low Cost, Remote Thermal Storage System", 'Progress in Pass Solar Energy Systems, 1982, p849, /K01/
2. Lewis, D. et al.: "Rockbeds", 'Solar Age', 5/1982, S.44, /L06/

3 - Anwendungsbereich

Solare Gebäudeheizung (Solarwärmespeicher)

3.1 - Entwicklungs-/Realisationstand

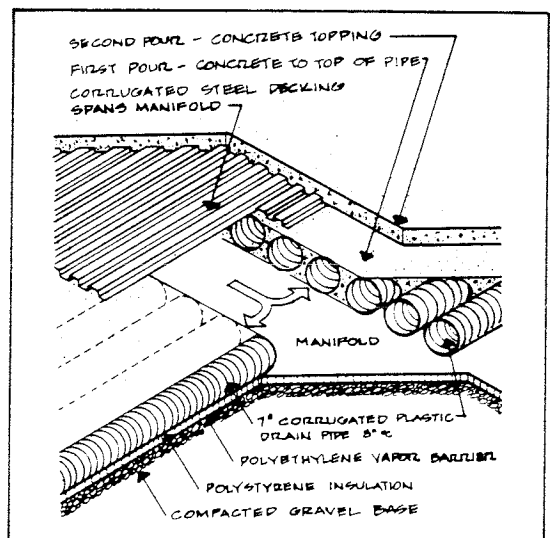
Prototypenentwicklung, praktische Versuche und Systemvergleiche (Varianten). Seit 1981 praktischer Einsatz von optimierten Systemen in Wohngebäuden (EFH) in New Jersey, USA.

4 - Systembeschreibung

- Beton-Sohlplattenkonstruktion mit Hohlkörperausbildung zur Warmluftführung, Wärmespeicherung und Gebäudeheizung

4.1 - Systemaufbau

- Ausbildung EG-Decke/Sohlplatte als Wärmespeicher für Sonnenwärme;
- einbetonierte Plastikrohre zur Luftführung und als Wärmetausch-(-übertragungs-) Fläche;
- Verlauf der Rohre parallel, Anschluß an Vor- und Rückluft über seitlich verlaufende Blechkanäle;
- Wärmetauschfläche der Rohre beträgt $4,2\text{m}^2$ je m^2 Betondecke - zur Maximierung der Wärmeübertragung Festlegung der Mindestrohrlänge im Systemkreislauf auf mind. $5,9\text{m}$;
- solare Wärmegewinne (passiv/hybrid) über Luftkollektoren, Wintergärten, Südzone im Haus o.ä.;



- Vorlufttemperaturen ca. 27°C, Luftgeschwindigkeit innerhalb der Decken ca. 1,5 - 2 m/s;
- Luftstromantrieb über regelbare, elektrische Ventilatoren;
- Bei einer ausgeführten Deckenkonstruktion mit einer Fläche von 43,3m² mit 32 einbetonierten Rohren von ca. 7,2m Länge wurde ein Druckabfall von 3,6 PA (+/- 4 PA) gemessen. Der Volumenstrom betrug dabei 0,33 m³/s.
- Ob Speicherung im Vor- und/oder Rückluftstrom stattfindet, geht aus den Unterlagen nicht hervor.

4.2 - Wirkungsweise, Funktion

- Speicherung von Sonnenwärme in der wärmespeicherfähigen baulichen Masse (Sohlplatte);
- offener Systembetrieb;
- (zeitverzögerte) Wärmeabgabe der gespeicherten Wärme an die Innenräume über Strahlung und/oder Konvektion;
- Vor- und Rückluft Verteil- bzw. Sammelkanäle seitlich der Sohlplatte;
- Wärmeverteilung im Gebäude über freie oder Zwangskonvektion;
- systemunabhängige Zusatzheizung.

4.3 - Saisonaler Betrieb

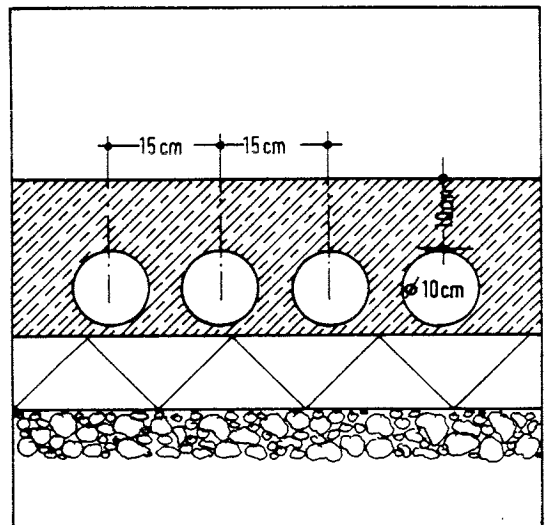
Gebäudeheizung im Winter und in der Übergangszeit für den Einsatz in gemäßigten Klimazonen. - Keine Angaben zum Sommerbetrieb (Gebäudekühlung).

4.4 - Peripherie

- elektrische betriebene, mechanische Ventilatoren für den Luftstromantrieb, stufenlos regelbar;
- Zusatzheizung vermutlich (?) Warmluftheizung (gem. US-amerikanischem Standard);
- keine Angaben zu: kontrolliertem Frischluftanteil, Filterung, Steuer- und Regeleinrichtungen oder sonst. Details.

4.5 - Konstruktive Ausbildung, Herstellung

- Herstellung der Speicherdecken auf der Baustelle, konventionelles Ortbetonverfahren;
- Herstellung der Hohlkammern durch Einbetonieren von preiswerten Plastik-Drain-Rohren;
- Durch die Rohrstruktur wird eine günstige Vergrößerung der Wärmetausch- und -übertragungsfläche erreicht;



- Anschluß der Rohre über seitlich verlaufende Blechkanäle.

4.6 - Systemvoraussetzungen, Einsatzbeschränkung

Einsatz bislang nur in Sohlplatte (EG-Boden, nicht unterkellert; dadurch entsprechende Ausführung (vgl. Abb. o.) und beschränkte Einsatzmöglichkeit in mehrgeschossigen Gebäuden.

4.7 - Möglichkeiten zur Nachrüstbarkeit in vorhandene Bausubstanz

- Entfällt -

4.8 - Nutzereinfluß auf Systemfunktion- + -wirkungsweise

Abhängig vom Grad der Automation. Bei konvektiver Speicherentladung rasche Einflußmöglichkeit der Bewohner (Nutzbarmachung der thermisch flinken Reaktion des Wärmeträgermediums).

4.9 - Übertragbarkeit der Systemanwendung + Nutzungserkenntnisse auf Gebäude anderer Nutzungsart

Einsatz in Schulen, Kindertagesstätten, kleineren Verwaltungsgebäuden usw. (begrenzte Geschößzahl) denkbar. Gegenwärtig noch nicht Untersuchungsgegenstand.

4.10 - Übertragbarkeit der Systemanwendung auf andere geographische/klimatische Gebiete (Sonnenenergienutzung)

Einsatz in gemäßigten Klimazonen. Übertragbarkeit der Systemanwendung in mitteleuropäische Verhältnisse ist gegeben.

5 - Kombination mit Einrichtungen zur passiven/hybriden Sonnenenergienutzung, Variationen

Betriebsweise mit fast allen Einrichtungen zur Tertiärgewinnung von Sonnenenergie sind möglich.

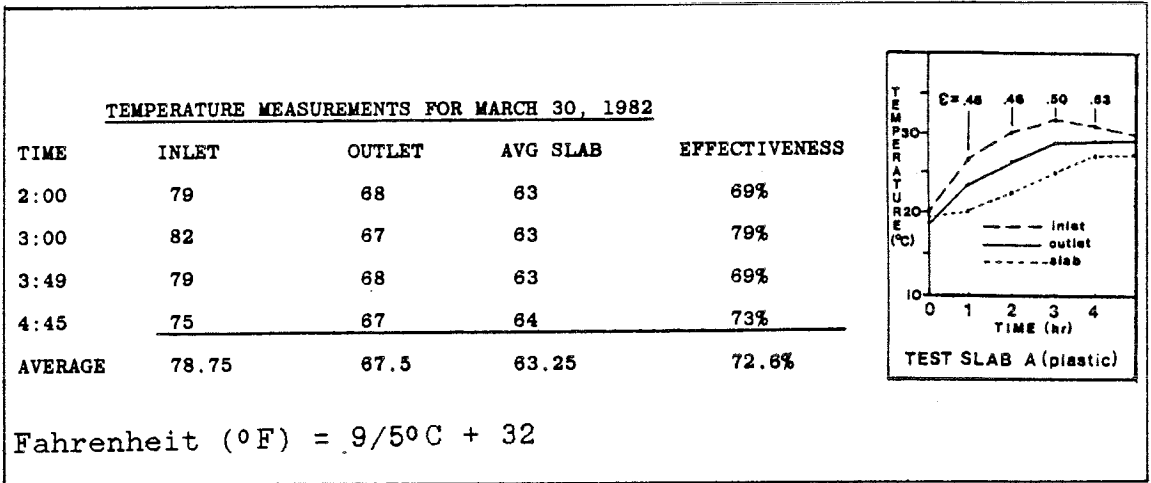
6 - Energiebilanz

Liegt zum gegenwärtigen Stadium noch nicht vor.

Messungen liegen vor über das Temperatur- und Speicherungsverhalten der Sohlplattenkonstruktion.

Der mit "Effectiveness" (in %) angegebene Wert drückt den Quotienten aus von Einlaßtemperatur minus Auslaßtemperatur zu Einlaßtemperatur minus Speichertemperatur (= Quotient aus tatsächlichem Wärmeübergang zu maximal möglichem Wärmeübergang). Damit läßt dieser Wert Rückschlüsse zu auf die tat-

sächliche Wärmespeicherfähigkeit des eingesetzten Materials bzw. Bauteils.



7 - Wirtschaftliche Aspekte

Es scheint bei den bislang ausgeführten Acorn-Slab-Beispielen gelungen, die Kosten innerhalb des Rahmens von konventionellen Vergleichslösungen zu halten. - Bei den angegebenen Vergleichskosten in den Unterlagen ist die amerikanische (Bau-) Marktsituation zugrunde gelegt, die nicht ohne weiteres auf den mitteleuropäischen Raum übertragen werden kann.

Inwieweit die Acorn Konstruktion auch unter hiesigen Umständen konkurrenzfähig ausgeführt werden könnte, müßten genaue Kalkulationen belegen.

8 - Ergebnisse und Bewertung

Leider liegt mit den zur Verfügung stehenden Unterlagen noch keine Information in dem Umfange vor, der eine abschließende Gesamtbeurteilung des Systems ermöglichen könnte. Dies liegt sicherlich auch mit daran, daß sich das System in einem relativ frühen Entwicklungsstadium befindet. Die Untersuchung der Systemintegration in Gebäude und die gebäudetechnische Peripherie ist noch nicht abgeschlossen.

Die beschriebenen Details geben jedoch Hinweise für einen erfolgversprechenden Systembetrieb, dessen Einsatz in Wohnhäusern auch auf den mitteleuropäischen Raum übertragbar ist. Wichtigstes Kriterium ist dabei der Ansatz der Herstellung des Systems ohne nennenswerte Mehrkosten gegenüber einer vergleichbaren Standardlösung.

Durch die bisher vorgeschlagene konstruktive Ausbildung sind in der bisherigen Systemkonzeption nur Sohlplatten von nicht unterkellerten, relativ klein dimensionierten Gebäuden durchströmbar und damit für die Tertiärspeicherung von Solarwärme zu aktivieren. Die Verwendbarkeit des Systems erfährt damit

eine wesentliche Einschränkung mit Blick auf den Einsatz in Gebäuden mit mehr als einem Vollgeschoß.

In bezug auf die Verwendung von Rohren aus Plastik ist in hygienischer Hinsicht auf das Gutachten von Beckert /B13/ in Abschnitt I.1.4 zu verweisen.

1 - Systembezeichnung, Hersteller

"Luftheizung mit integriertem passivem Sonnenenergiesystem";
Entwicklung: Peter Arnke, Hauptstraße 159, 1000 Berlin 62
St. Wilehard Straße 8, 4590 Cloppenburg

2 - Quellenangaben

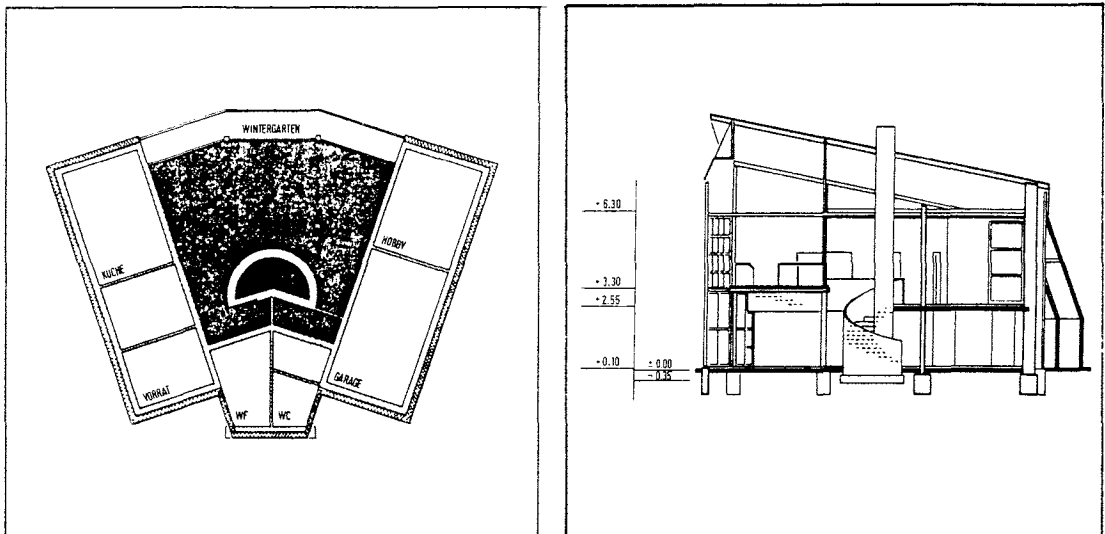
1. Arnke, P.: "Persönliche Mitteilungen", 1985 , /A04/

3 - Anwendungsbereich

Raumheizung für Einfamilienhaus

3.1 - Entwicklungs-/Realisationstand

Einfamilienhaus in Cappeln/Cloppenburg (Pilotprojekt 1985)

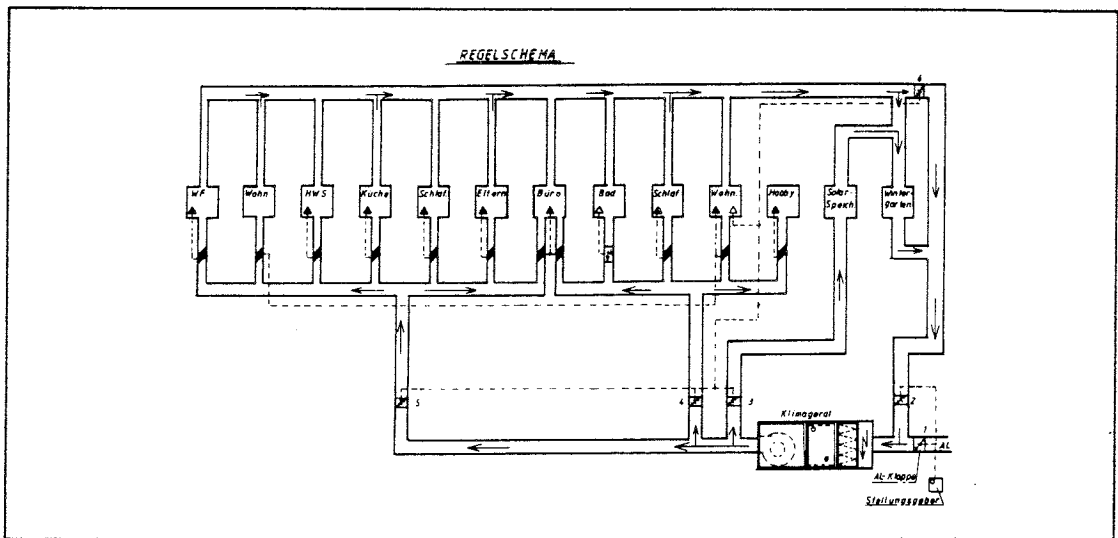


4 - Systembeschreibung

- Konventionelle Warmluftheizung mit integriertem, warmluft-durchströmten Speicher-Estrich auf der Geschoßdecke, zur Speicherung passiv erzielter, solarer Wärmeüberschüsse;
- Offenes Luftheizungssystem mit Mischluftbetrieb; Frischluftanteil ca. 10 - 15% wird (vorgewärmt) einem Wintergarten entnommen;
- Solare Wärmeüberschüsse werden in einen Speicher-Estrich geführt. Dies geschieht in einem geschlossenen Luftkreislauf zwischen Speichermasse und Wintergarten.

4.1 - Systemaufbau

- Die Luftführung innerhalb des Speicher-Estrichs erfolgt durch Blechkanäle, "Schrag Mini-Luftleitungen" aus dem Luftheizungsbauelement, die in den Estrich eingelassen sind.
- Als Wärmespeicher dient der Estrich im Obergeschoß des Gebäudes.
- Kanäle zur Luftführung, Lufterhitzer, Ventilatoren, Regel- und Steuereinrichtungen etc. entsprechen denen einer konventionellen Warmluftheizung im offenen Betrieb.
- Bedingt durch den Systembetrieb beim Speicher-Vorgang, liegt die für die Wärmespeicherung aktivierbare Speicher-masse im Zuluftstrom.



4.2 - Wirkungsweise, Funktion

Die Wirkungsweise des Systems läßt sich anhand einzelner Betriebsphasen darstellen:

1. Heizen, kein Wärmeüberschuß im Wintergarten:

- Der Frischluftanteil wird dem Wintergarten entnommen und mit der Umluft gemischt. Das Heizgerät erwärmt die Luft, bevor sie in die einzelnen Räume verteilt wird.
- Die Menge dieser Abluft entspricht der Luftmenge, die dem Wintergarten entnommen wird, bevor sie mit der Umluft aus den einzelnen Wohnräumen vermischt dem Heizgerät wieder zugeführt wird und der Kreislauf von neuem beginnt.
- Der Speicher ist vom Luftkreislauf abgekoppelt.

2. Heizen, Wärmeüberschuß im Wintergarten

- Luftkreislauf wie unter 1., jedoch springt das Heizgerät nur an, um die Luft "zuzuwärmen".

3. Kein Wärmebedarf in den Räumen (kein Heizen), Wärmeüberschuß im Wintergarten

- Zwischen Wintergarten und Speicher-Estrich entsteht ein geschlossener Luftkreislauf; die Warmluft aus dem Wintergarten wird in den Speicher-Estrich geführt, erwärmt die Speichermasse bzw. kühlt ab und gelangt dann in den Wintergarten.
- Die in dem Estrich gespeicherte Wärme wird phasenverschoben den entsprechenden Räumen vorwiegend über Strahlung zugeführt.

4.3 - Saisonaler Betrieb

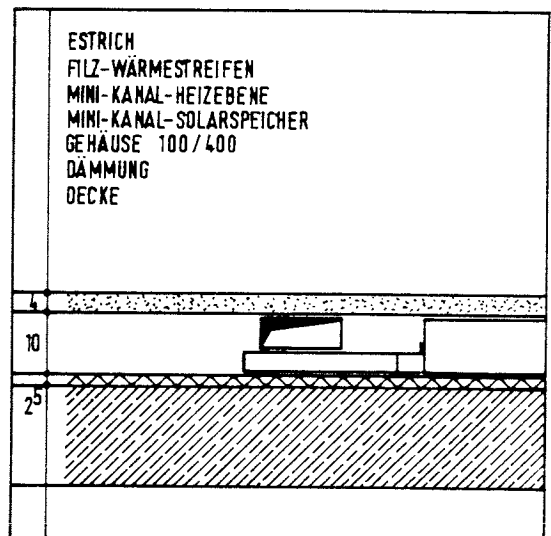
System zur Wohnraumbeheizung im Winter und die Übergangszeit, Sommerbetrieb nicht vorgesehen.

4.4 - Peripherie

- Für die Luftzirkulation durch den Speicher-Estrich dient die, mit der vorhandenen raumluftechnischen Anlage verbundene, Peripherie.
- Eine WRG-Anlage ist nicht vorhanden, jedoch nachträglicher Einbau möglich bzw. vorgesehen.

4.5 - Konstruktive Ausbildung, Herstellung

- Speicher-Bauteile wie beschrieben (s.o. 4.1);
- keine Zugänglichkeit zu den eingebauten, luftführenden Bauteilen;
- konventioneller Anschluß an raumluftechnische Anlage.



4.6 - Systemvoraussetzungen, Einsatzbeschränkung

Das System wurde für das unter 3.1 erwähnte Gebäude konzipiert; ein Einsatz in Gebäuden mit ähnlicher Nutzung (ähnlichem Gebäudekonzept), für die ein träges geschlossenes System akzeptabel ist, wäre denkbar.

4.7 - Möglichkeiten zur Nachrüstbarkeit in vorhandene Bausubstanz

- Entfällt -

4.8 - Nutzereinfluß auf Systemfunktion- + -wirkungsweise

Notwendig ist das aktive Eingreifen des Nutzers in den Systembetrieb, da die Systemregelung manuell erfolgt.

4.9 - Übertragbarkeit der Systemanwendung + Nutzungserkenntnisse auf Gebäude anderer Nutzungsart

- Übertragbarkeit der Systemanwendung noch nicht untersucht;
- Systemeinsatz in Gebäuden anderer Nutzung auch denkbar.

4.10 - Übertragbarkeit der Systemanwendung auf andere geographische/klimatische Gebiete (Sonnenenergienutzung)

Das System wurde für den Einsatz in der Bundesrepublik entwickelt. Einsatz in anderen Gebieten ist unter der Voraussetzung bestimmter Systemmodifikationen (Speicherdimension, Kollektorsystem) denkbar.

5 - Kombination mit Einrichtungen zur passiven/hybriden Sonnenenergienutzung, Variationen

- Integration eines Wintergartens in den Systembetrieb vorhanden;
- Denkbar wären auch Systemkombinationen mit Lufkollektoren (Wand + Dach).

6 - Energiebilanz

Noch keine Ergebnisse/Angaben vorhanden.

7 - Wirtschaftliche Aspekte

Noch keine Angaben zu den Herstellungskosten; Betriebskosten:

8 - Ergebnisse und Bewertung

Es liegen noch keine Informationen in dem Umfang vor, die eine abschließende Bewertung des Systems ermöglichen.

Positiv ist die Integration des passiven Sonnenenergiesystems in das aktive Luftheizungssystem und die Nutzung der Luft als Wärmetransportmedium.

Innerhalb des Systembetriebs übernimmt der Wintergarten die Funktion, den Frischluftanteil durch Sonneneinstrahlung vorzuwärmen und somit zu verringern. Denkbar wäre ein effektiver Systembetrieb bei Einsatz einer WRG-Anlage.

Schließlich muß sich zeigen, inwieweit das Kollektorsystem "Wintergarten" trotz seiner relativ großen Eigenwärmeverluste

im Systembetrieb geeignet ist. Da die Speicherentladung unkontrolliert vorwiegend über Strahlung erfolgt, ist die Regelung der Wärmeabgabe nicht möglich.

1 - Systembezeichnung, Hersteller

"Energieeinsparung mit Beton-Hohlkörperperdecken";

- Olli Seppanen, Helsinki University of Technology, Dept. of Mechanical Engineering, 02150 Espoo 15, SF
- Harri Ripatti, EKONO Inc., 410 Bellevue Way S.E., Bellevue, Washington 98004, USA

2 - Quellenangaben

1. Seppanen, O., Ripatti, H.: "Energy Conservation with Hollow Core Concrete Slabs", 'Proc of the Natl Pass Sol Engy Conf', 1982, p485, /S01/

3 - Anwendungsbereich

Kühlung und Heizung in Bürogebäuden in Finnland und im Nordwesten der USA

3.1 - Entwicklungs-/Realisationstand

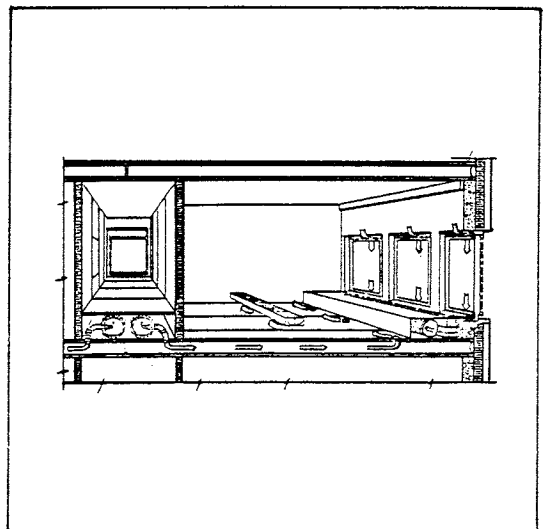
Umfangreiche theoretische Voruntersuchungen und Computer-Simulationen; Prototypen in Finnland und in den USA.

4 - Systembeschreibung

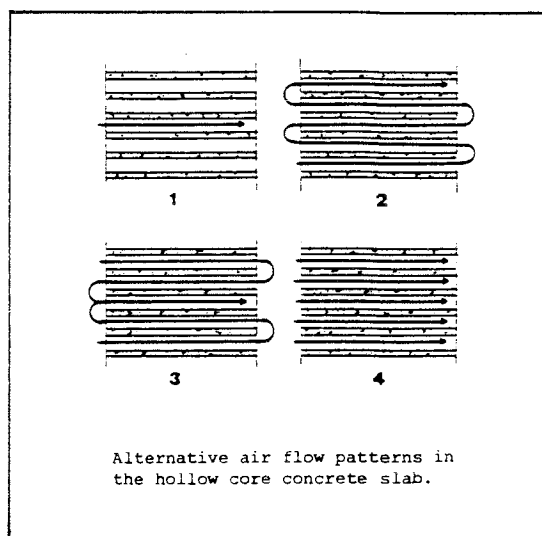
- integrierte warmluftdurchströmte und wärmespeichernde Hohlkörperperdecken zur Kühlung/Heizung von Bürogebäuden;
- passive/hybride Nutzung interner Wärmequellen und der in das Gebäude einstrahlenden Sonnenenergie;
- offener Umluft-Systembetrieb; Raumerwärmung durch Konvektion;
- Nachtluftkühlung im Sommer.

4.1 - Systemaufbau

Kern des Systems sind die Beton-Hohlkörperperdeckenelemente, die zur Ausbildung der Geschoßdecken im Gebäude verwendet werden.



- Verbindung der Elemente untereinander zur Integration in die lufttechnische Anlage im Gebäude;
- Vorluftanschluß über seitlich verlaufende Kanäle in den Korridoren der Bürogebäude;
- Luftführung innerhalb der Decken auf verschiedene Weise, praktisch verifiziert wurde das unter Punkt 3 dargestellte Luftstrommuster;
- Bedingt durch diese Systemanordnung liegt die für die Wärmespeicherung aktivierbare Deckenmasse im Zuluftstrom.
- Luftstromantrieb erfolgt über elektrisch betriebene Ventilatoren.



4.2 - Wirkungsweise, Funktion

- die Überschusswärme aus den Räumen gelangt über den Rückluftstrom in die lufttechnische Anlage des Gebäudes und wird auf diesem Wege in die angeschlossenen Speicherdecken transportiert.
- dort kühlt sich die Luft entweder ab (Kühlmodus) oder sie nimmt die in der Decke gespeicherte Wärme wieder auf (Heizmodus). Dadurch wird eine Dämpfung der Raumtemperaturschwankung erreicht.
- die konditionierte Luft erreicht die Räume über den Vorluftstrom und über Abstrahlung sowie freie Konvektion direkt von den Deckenoberflächen.
- nachts besteht die Möglichkeit, die Decken direkt von der kühlen Außenluft durchströmen zu lassen und dadurch einen erheblichen Teil der Kühllast des Gebäudes zu decken.

Für Bürogebäude hat der mit dem System zu erzielende Kühleffekt (Speicherung und Verteilung des internen Wärmeaufkommens durch Menschen, Maschinen, Beleuchtung, solare Einstrahlung etc.) eine größere Bedeutung als der Heizmodus. Beide Möglichkeiten zusammen ergeben jedoch erst den erstrebten, maximierten Gesamterfolg.

4.3 - Saisonaler Betrieb

Im Winter dienen die tagsüber im Gebäude aufgenommenen Wärmeüberschüsse zur teilweisen Deckung des Wärmedefizites während der unbesetzten Stunden. - Im Sommer kann die oben erwähnte "Nachtluftkühlung" vollständig oder teilweise (je nach geographischem oder klimatischem Standort des Gebäudes) die Kühllast des Gebäudes übernehmen.

In der Übergangszeit dient die tagsüber gespeicherte Über-

schußwärme zur Deckung der Defizite während der übrigen Zeit. Im Idealfall kann, abgesehen von der erforderlichen Antriebsenergie für die Ventilatoren, auf diese Weise die gesamte Gebäudeklimatisierung auf passivem bzw. hybridem Wege erfolgen.

Für die Verbesserung des mittelbaren Kühl- und Klimatisierungswirkungsgrades des Systems in der warmen Jahreszeit wird die Möglichkeit der "Verdunstungs-Kühlung" vorgeschlagen. Dazu wird die Luft vor ihrer Zirkulation durch die lufttechnische Anlage, die Speicherdecken und schließlich das Gebäude künstlich befeuchtet. Dadurch wird eine verbesserte Leitfähigkeit der Luft, ihre höhere Wärmeaufnahmekapazität und der physikalische Effekt des Wärmeentzugs durch Verdunstung erreicht. - Den Unterlagen zufolge wird die "Verdunstungs-Kühlung" in einem mit dem System ausgerüsteten Bürogebäude bereits praktisch betrieben. Inwiefern sich daraus Kondensations- mit nachfolgenden hygienischen Problemen ergeben, wird sich aus der Beobachtung des täglichen Betriebes ergeben. - Zunächst muß diese Option aufgrund der sich abzeichnenden Schwierigkeiten nach Beckert /B13/ mit Vorbehalt behandelt werden.

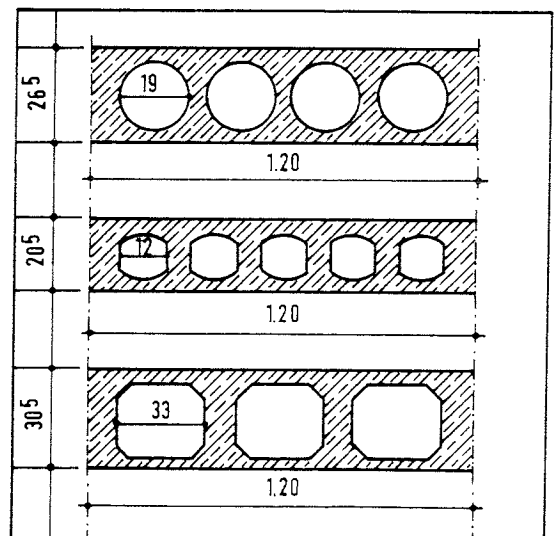
4.4 - Peripherie

Für die Luftzirkulation durch die Speicherdecken dient die mit der (vorhandenen) raumlufttechnischen Anlage verbundene Peripherie. - Details über Art der Einrichtung, Dimensionierung etc. werden nicht gegeben.

Als Hinweis zur Reduzierung der erforderlichen Antriebsleistung für die Ventilatoren wird vermerkt, daß für den Systembetrieb nur die gelegentliche Luftumwälzung (Luftstrombewegung in Intervallen, "intermittierende" Luftzirkulation) erforderlich ist.

4.5 - Konstruktive Ausbildung, Herstellung

- vorgefertigte Beton-Hohlkörper-Deckenelemente mit unterschiedlicher Profilausbildung;
- Montage auf der Baustelle mit Kran;
- konventioneller Anschluß an die raumlufttechnische Anlage.



4.6 - Systemvoraussetzungen, Einsatzbeschränkung

Das System ist konzipiert und ausgelegt für den Einsatz in größeren Büro- und Verwaltungsgebäuden mit entsprechend hohem internen Wärmeaufkommen.

4.7 - Möglichkeiten zur Nachrüstbarkeit in vorhandene Bausubstanz

- Entfällt -

4.8 - Nutzereinfluß auf Systemfunktion- + wirkungsweise

Da das System in Bürogebäuden Verwendung findet, ist von einem hohen Automatisierungsgrad des Systembetriebs auszugehen, der das Eingreifen der Nutzer weitgehend überflüssig macht. - Für diese Annahme spricht auch die Speicheranordnung im Vorluftstrom.

4.9 - Übertragbarkeit der Systemanwendung + Nutzungserkenntnisse auf Gebäude anderer Nutzungsart

Übertragung für den Einsatz in Wohngebäude nicht ohne weiteres möglich.

4.10 - Übertragbarkeit der Systemanwendung auf andere geographische/klimatische Gebiete (Sonnenergienutzung)

Einsatz in gemäßigten Klimazonen. Übertragbarkeit der Systemanwendung auf mitteleuropäische Verhältnisse ist denkbar.

5 - Kombination mit Einrichtungen zur passiven/hybriden Sonnenergienutzung, Variationen

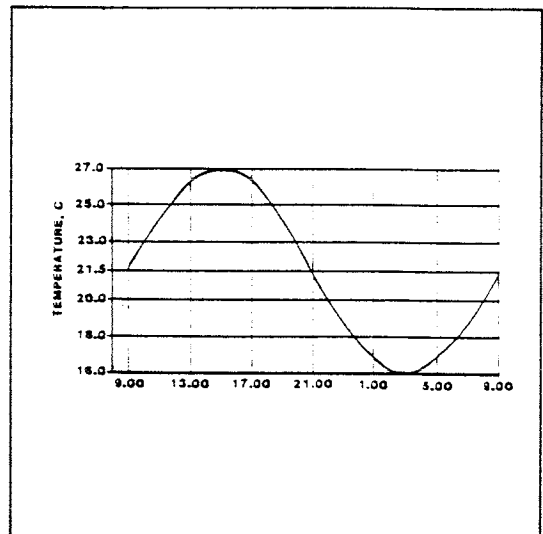
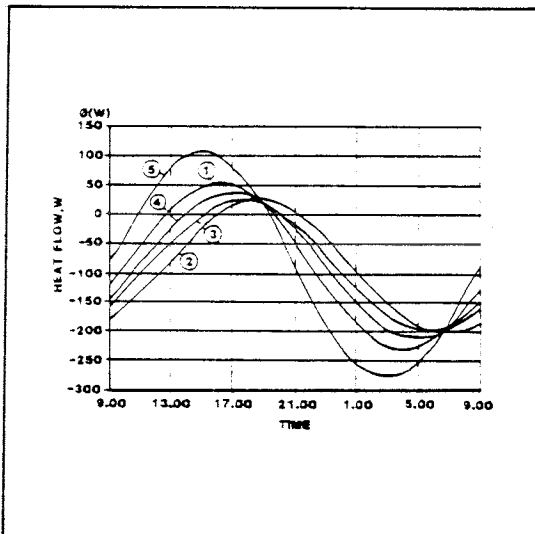
Betriebsweise mit fast allen Einrichtungen zur Tertiärgewinnung von Sonnenenergie sind möglich.

6 - Energiebilanz

- Der Gesamtenergiebedarf des Referenzgebäudes wird mit 115 kWh/m² angegeben.
- Im reinen Heizbetrieb wird über die Saison eine Einsparung an aktivem Heizenergieeinsatz von 20% prognostiziert.
- Der Speicher- und Kühleffekt der einzelnen Luftführungsvarianten (n. Abb. bei 4.1) wird in der Graphik auf der nachfolgenden Seite wiedergegeben.

Grundlage für diese mathematisch-theoretische Ermittlung der Kurvenverläufe war ein sinusförmiger Außentemperaturverlauf (s. Abb. rechts). - Der angenommene Luftdurchsatz betrug ca.

15 m³/h je m² Deckenfläche. - Kurve 5 zeigt den Verlauf des Wärmeflusses ohne Luftzirkulation durch die Speicherdecken. Nach diesem Ergebnis hat Decke 2 (s. Abb. b. 4.1) eine Wärmekapazität von 690 kJ/m² und kann damit 50% des Kühlenergiebedarfs des Gebäudes bei eingeschalteter Beleuchtung übernehmen bzw. 95% bei ausgeschalteter Beleuchtung.



7 - Wirtschaftliche Aspekte

Durch die Vermeidung der sonst üblichen abgehängten Decken und die Unterbringungsmöglichkeit der übrigen gebäudetechnischen Installationen in den Deckenhohlkörpern und der damit verbundenen Reduzierung der Gebäudekubatur sollen die Investitionskosten für die Einrichtung des Systems nicht höher liegen als für konventionelle Vergleichslösungen.

8 - Ergebnisse und Bewertung

Das auffälligste Merkmal des von Ripatti und Seppanen vorgeschlagenen Systems besteht in der sich in jeder Beziehung dem Thermodeck-System (Kapitel 1.2) ähnelnden Systemkonzeption und -betriebsweise. In der Tat scheinen beide Systeme nahezu identisch. Einzig die unter 4.3 erwähnte Option der "Verdunstungs-Kühlung" bringt ein konkretes Unterscheidungsmerkmal.

Die Veröffentlichungsdaten der Untersuchungsberichte und von den angegebenen Zeitpunkten der jeweils ersten praktischen Systemeinsätze liegt beim Thermodecksystem "zeitlich früher".

Leider liegen zu dem hier beschriebenen System keine Unterlagen in dem gleichen Umfang wie für das Thermodeck-System von Isfält et al. vor, so daß Unterschiede im Detail nicht feststellbar sind.

1 - Systembezeichnung, Hersteller

Studie: "Luftheizung im Wohnungsbau", entwickelt vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) Nobelstraße 12, 7000 Stuttgart, Bearbeiter: Dipl.-Ing. E. Boy, Dipl.-Ing. (FH) K.-D. Schall

2 - Quellenangaben

1. Boy, E., Schall, K.-D.: "Studie über Luftheizungen im Wohnungsbau", 'Mitteilungen d. Fraunhofer-Institut f. Bauphysik', 1984, /B34/

3 - Anwendungsbereich

Raumheizungskonzept für den Wohnungsbau

3.1 - Entwicklungs-/Realisationstand

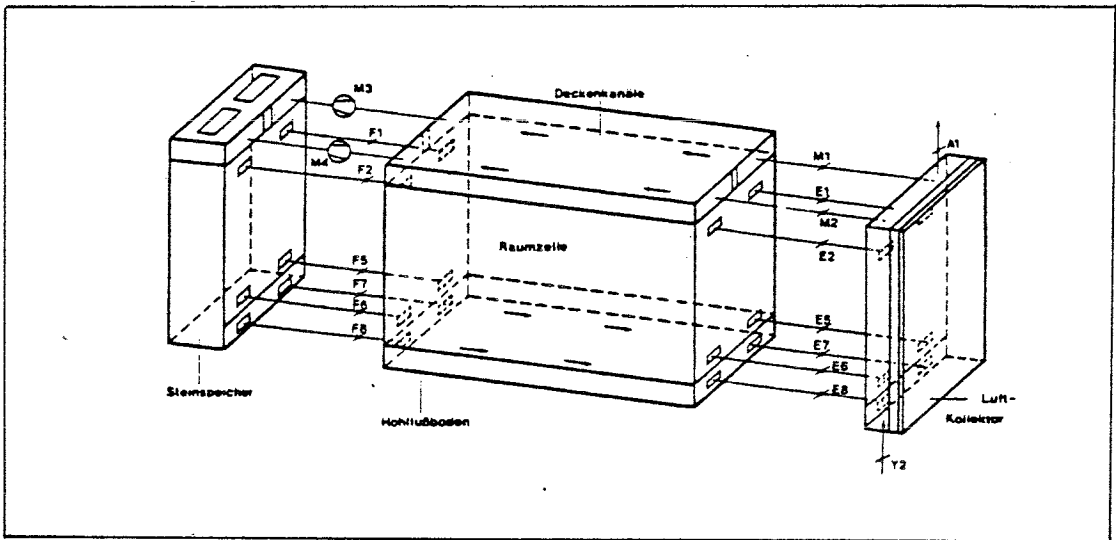
Praktische Untersuchungen und Messungen an Versuchsräumen auf dem Gelände des IBP in Stuttgart (455 m ü.NN; 48,3°N). Unterschiedliche Versuchsraumvarianten und Versuchsaufbauten.

4 - Systembeschreibung

- System zur hybrid-solaren Wohnraumbeheizung in der praktischen Untersuchungsphase.

4.1 - Systemaufbau

- innenliegende, warmluftdurchströmte und wärmespeichernde Bauteile;
- südorientierte Außenwand als Luftkollektor, nichtspeichernd, mit transparenter Wärmedämmung und transparentem Witterungsschutz;
- nichtspeichernde Luftrückführungskanäle über der Decke.
- rückwärtige Raumbegrenzungswand (innenliegend) als thermischer Hohl Speicher (KSV-Mauerwerk);
- Speicher-Fußboden (Installationshohlfußboden mit 3cm Betonplatten);
- zur Luftführung bauseitige Herstellung/Ausbildung durchströmbarer Hohlräume (Wand, Boden, s.o.);
- mechanisch betriebene Luftzirkulation;
- systembetrieb offen oder geschlossen; Wohnraumerwärmung über Wärmeabstrahlung der wärmespeichernden und warmluftdurchströmten Bauteile (geschlossen) bzw. Erwärmung der Raumluft über Konvektion (offen);
- Möglichkeit der Integration weiterer Peripherieeinrichtungen (KL, WRG, Filter etc.).



4.2 - Wirkungsweise, Funktion

- Das Wärmeträgermedium Luft zirkuliert innerhalb des vorgegebenen Kreislaufs (geschlossen) und lädt die Speichermassen in Rückwand und Fußboden.
- Offener Systembetrieb ist möglich: direkte Erwärmung der Raumluft aus dem Kollektor oder aus der aufgeladenen Speicherwand.
- Über den Kollektor kann Frischluft zugeführt werden.
- Zusätzliche Möglichkeit zur Kollektorkühlung.

Die Luftstrombewegung erfolgt mechanisch über elektrisch betriebene Ventilatoren.

4.3 - Saisonaler Betrieb

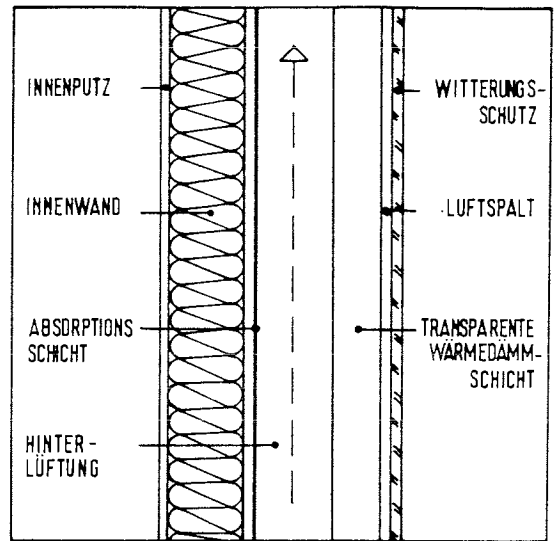
System zur Wohnraumbeheizung im Winter und in der Übergangszeit. Sommerbetrieb (Solar-Strahlungsüberangebot) in der Untersuchungsphase.

4.4 - Peripherie

- mechanische Ventilatoren zur Luftstrombewegung;
- Möglichkeit der kontrollierten Frischluftzufuhr bei offenem Systembetrieb;
- Zusatzheiz-, WRG- und Klimatisierungseinrichtungen in den Versuchsräumen (noch) nicht vorhanden;
- derzeit keine Einrichtungen zur Filterung und sonstiger Raumlufkonditionierung.

4.5 - Konstruktive Ausbildung, Herstellung

- Außenwand (s.Abb.)
- Speicherelemente und -massen wie beschrieben (s.o., 4.1);
- keine Zugänglichkeit zu den eingebauten, luftführenden Bauteilen;



4.6 - Systemvoraussetzungen, Einsatzbeschränkung

- spezielle Systemvoraussetzung: transparente Wärmedämmung, Ausbildung der südorientierten Außenwand als Luftkollektor;
- allgemeine Voraussetzungen für Einbau und Betrieb: z.Zt., in der praktischen Erprobungsphase, keine;
- Ziel weiterführender Untersuchungen ist die Ermittlung und Erprobung von Regelstrategien zur automatischen, temperaturgesteuerten Luftführung.

4.7 - Möglichkeiten zur Nachrüstbarkeit in vorhandene Bausubstanz

Nicht Untersuchungsgegenstand.

4.8 - Nutzereinfluß auf Systemfunktion- + -wirkungsweise

Abhängig vom Grad der Automatisierung der Systemregelung, vgl. o. 4.6.

4.9 - Übertragbarkeit der Systemanwendung + Nutzungserkenntnisse auf Gebäude anderer Nutzungsart

Derzeit noch nicht Untersuchungsgegenstand, denkbar jedoch ist der Systemeinsatz in Büro-, Verwaltungsgebäuden etc..

4.10 - Übertragbarkeit der Systemanwendung auf andere geographische/klimatische Gebiete (Sonnenenergienutzung)

Das System wurde entwickelt für den Einsatz im bundesdeutschen (mitteleuropäischen) Gebiet. Einsatz in anderen Gebieten ist denkbar, abhängig von Systemmodifikationen (Luft-

durchsatz, Kollektororientierung, Speicherdimensionierung etc.).

5 - Kombination mit Einrichtungen zur passiven/hybriden Sonnenenergienutzung, Variationen

Das System selbst stellt ein typisches solares Hybrid-System zur Wohnraumbeheizung dar (baul. Komponenten und apparative Bestandteile). Kombinationen mit weiteren Sonnenwärmenutzungseinrichtungen sind daher nicht Untersuchungsgegenstand.

6 - Energiebilanz

Bereits in der ersten Untersuchungsphase wurden "negative K-Werte" für die Außenwand ermittelt. Die praktischen Untersuchungen darüber sind noch nicht abgeschlossen.

7 - Wirtschaftliche Aspekte

Über die Kosten des Systems (Herstellungs-, Betriebs- und sonstige Kosten) ist gegenwärtig noch nichts bekannt.

8 - Ergebnisse und Bewertung

Kennzeichnend für das System ist die Multifunktionalität der wesentlichen Bauteile:

- südorientierte Außenwand: konstruktive Hülle, Dämmung, Kollektor, Luftführung;
- rückwärtige Raumbegrenzung: konstruktive Hülle, Speicher, Luftführung, Wärmestrahlungsfläche.

Diese Multifunktionalität wird entscheidenden Einfluß haben hinsichtlich der Kostenträchtigkeit der angeführten Konzeption. - Besondere Anforderungen in bezug auf die Baukonstruktion läßt der Systemaufbau bislang nicht erkennen (s. dazu I.8)

Konkrete Kosten sind noch nicht bekannt; die Kosten für das System dürften bestimmt werden vom Aufwand für Herstellung und Einbau der transparenten Wärmedämmung, des transparenten Witterungsschutzes und der Ausbildung der durchströmbaren Hohlräume (speichernd + nichtspeichernd), sowie der möglichen Zusatzeinrichtungen (temporäre Wärme- + Sonnenschutzvorrichtungen, Peripherie etc.). Dem müßten die Kosten für konventionelle Außenwandkonstruktionen, Heizung und Lüftung gegenübergestellt werden.

Wesentliche Einsparungen an aktiver (Zusatz-) Heizenergie sind nach Auskunft des IBP zu erwarten.

Offen bleibt, ähnlich wie bei der Trombe-Wand, der gestalterische Aspekt dieses Systems.

1 - Systembezeichnung

Hypokaustenwand; Architekt Béla Bambek, Poblacher Straße 30, 7307 Aichwald 3

2 - Quellenangaben

1. Aktionsgemeinschaft: 'Glas im Bau' (Hrsg.): "Erlebnissräume und Raumerlebnisse", 1985, S.27, /A01/
2. Scheirle, N. et al.: "Energetische Beurteilung des Sonnen- glashauses Aichwald", (2TF - 76), IKE Stuttgart, 11/1985, /S06/
3. Bambek, B.: "Persönliche Mitteilungen", 12/1985, /B04/

3 - Anwendungsbereich

Solare Gebäudeheizung (Solarwärmespeicher).

3.1 - Entwicklungs-/Realisationsstand

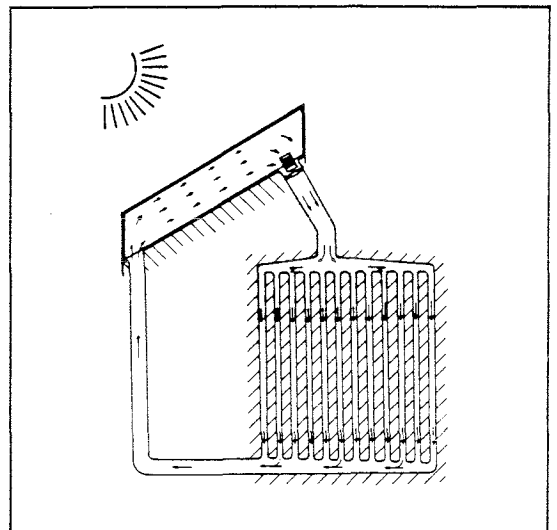
Pilotprojekt (2-Familien-/Doppelhaus) in Aichwald/Krummhardt; Ahornweg 4

4 - Systembeschreibung

- Luftkollektoren speisen Hypokaustenwände (freistehende und die als Wohnungstrennwände ausgebildeten Giebelwände) mit Warmluft;

4.1 - Systemaufbau

- bestehend aus Betonwänden (freistehende Giebelwände/ Wohnungstrenn-Giebelwände) mit vertikal (vom UG - DG) eingelassenen, verzinkten Blechröhren;
- Verlauf der Rohre parallel vertikal; Anschluß an Vor- und Rückluftkanäle über orthogonal dazu verlaufende, darüber bzw. darunter angeordnete Blechkanäle (\varnothing 25cm);
- geschlossener Luftkreislauf von einem Luftkollektor (südl. Dachfläche 38m² groß) zur Hypokaustenwand und zurück;
- ca. 120m² Wandfläche stehen als Speicher und Wärmetauscher zur Verfügung;



- Diese Ventilatoren bewirken eine Luftzirkulation (geschlossenes System) zwischen Kollektor und Hypokaustenwand.

4.2 - Wirkungsweise, Funktion

- Die im Luftkollektor erwärmte Luft wird in die Hypokaustenwände geführt (s. 4.1), gibt ihre Wärme an die Kanalwandungen ab und gelangt dann, abgekühlt, wieder in den Kollektor (geschlossenes Luftführungssystem);
- Innerhalb des Röhrensystems der Hypokaustenwand erfolgt der konvektive Wärmeübergang von der Warmluft an die Rohrwandungen;
- Die in den Hypokaustenwänden gespeicherte Wärme wird zeitverschoben und unkontrolliert vorwiegend über Strahlung an die Räume abgegeben.

4.3 - Saisonaler Betrieb

Der Systembetrieb beschränkt sich lt. vorhandener Unterlagen auf die Gebäudeheizung im Winter bzw. in der Übergangszeit. - Ein denkbarer Systemeinsatz zur Gebäudekühlung ist bisher nicht geplant.

4.4 - Peripherie

- elektrisch betriebene, mechanische Ventilatoren für den Luftstromantrieb;
- Steuerung des Luftkreislaufs durch jeweils einen Temperaturfühler im Kollektor und am Rohrsystem der Hypokaustenwände. Bei einer Temperaturdifferenz von 15K springen die Ventilatoren an; Luftgeschwindigkeit ca. 2m/s;
- Die konventionelle Zusatzheizung besteht aus einer NT-Warmwasser-Heizung (ölbefeuert, unterstützt durch aktives Sonnenenergiesystem mit 8,5m² Kollektorfläche);
- Einrichtungen zur kontrollierten Lüftung mit WRG sind nicht vorgesehen.

4.5 - Konstruktive Ausbildung, Herstellung

- Luftkollektoraufbau:

Die Absorberplatten bestehen aus schwarzen Metallplatten; sie sind an den Seiten und zu den Wohnräumen wärmegeklämt und luftdicht. 25cm über dem Absorber ist eine einfache Verglasung als Kollektorabdeckung angeordnet.

Die Luftkollektoren liegen unmittelbar auf der holzka-schierten Wärmedämmung des Daches.

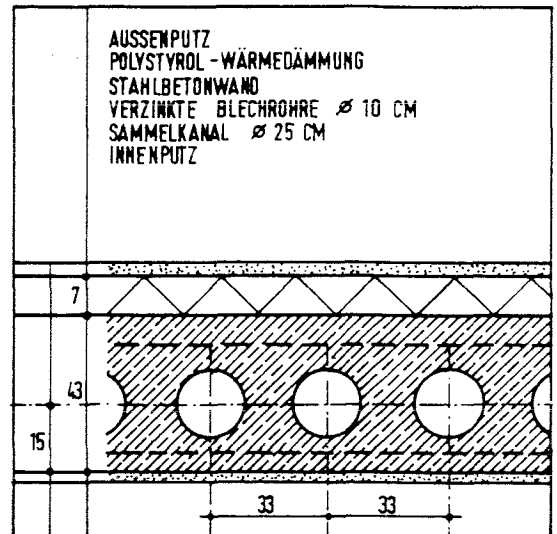
- Hypokaustenwände:

- bestehend aus:

Innenputz
43cm Stahlbeton
7cm Polystrol

Außenputz;

- In die Betonwand sind vertikal angeordnete, verzinkte Blechrohre (\varnothing 10cm) Achsabstand von 33cm eingelassen;
- Der Rohrmittelpunkt befindet sich ca. 15cm von der Innenwandoberfläche entfernt in der Stb-Wand.
- Die Rohre sind ca. 8m lang und durchziehen die Wände vom OG bis zum UG.
- Sammelrohre (\varnothing 25cm) verbinden die Rohre in ihren Enden miteinander und schaffen die Verbindung zum Kollektor.
- Herstellung der Hypokaustenwände auf der Baustelle aus Ort-beton;
- Herstellung der Luftkanäle in der Hypokaustenwand durch Einbetonieren von verzinkten Blechrohren.



4.6 - Systemvoraussetzung, Einsatzbeschränkung

- Der Systembetrieb ist nur im Zusammenwirken mit passiven Kollektorsystemen (Temperaturniveau $> 20^{\circ}\text{C}$) oder entsprechenden Wärmequellen möglich;
- Neben dem Einsatz von Wänden als Hypokausten ist auch die Verwendung von Decken möglich.

4.7 - Möglichkeiten zur Nachrüstung in vorhandene Bausubstanz

- Entfällt -

4.8 - Nutzereinfluß auf Systemfunktion- + -wirkungsweise

Der Nutzereinfluß ist gering, da der Systembetrieb automatisch gesteuert wird; die Wärmeabgabe der Hypokaustenwand erfolgt unkontrolliert.

4.9 - Übertragbarkeit der Systemanwendung + Nutzungserkenntnisse auf Gebäude anderer Art

Der Systemeinsatz ist auch in Gebäuden mit anderen Nutzungen denkbar.

8 - Erkenntnisse und Bewertung

Hypokauste:

- Sinnvoller ist es, Innenwände als Hypokausten auszubilden, um überflüssige Wärmeverluste zu vermeiden und die wärme-tauschende Fläche zu vergrößern.
- Die Strömung in den Rohren sollte turbulent sein (verbesserter Wärmeübergang), die Anzahl der Luftkanäle könnte größer sein.
- Für die geringen Einstrahlungsmengen im Winter ist die Speicherkapazität zu groß und kann nicht voll ausgenutzt werden. Ein Überbrücken von sonnenscheinarmen Witterungsperioden durch Entladung des Wärmespeichers "Wand" ist nur in der Übergangszeit möglich (Strahlungsangebot / Wärmebedarf).
- Die Speicherkapazität ist in Abhängigkeit von der Raumwärme, der Kollektorleistung und der statistischen Verteilung sonnenscheinarmer und -reicher Tage zu bestimmen.
- Die unregelmäßige Entladung der Speichermasse ist ein Nachteil, ein solches System kann nur unter sehr eingeschränkten Bedingungen arbeiten.
- Energetisch sinnvoller wäre, in Bedarfszeiten mit ausreichendem Strahlungsangebot, eine direkte Einspeisung der Warmluft in den Raum ohne Umweg über das Speicherelement.
- In Bedarfszeiten ohne Sonneneinstrahlung müßte der Speicher gezielt entladen werden können; eine Nachladung des Speichers müßte bei zu großem Strahlungsangebot erfolgen.
- Ein System mit getrennten und geregelten Wärmetauscher- und Wärmespeicherelementen wäre flexibler und energetisch überlegen.

Luftkollektor:

- Die Begrenzung der Kollektorfläche ergibt sich aus der verfügbaren Bauteilfläche.
- Neigung, Richtung und Glasart sollen so gewählt werden, daß optimale Energiegewinne erzielt werden können.

Kap.II.2 - Weitere Systeme

2.1 Systeme mit warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen, ohne Detailunterlagen (vom Hersteller, Entwickler oder Vertreiber nicht erhältlich bzw. Unterlagen noch nicht zur Veröffentlichung freigegeben)

2.1.1 Warmluftfußbodenheizung im Hebel-Versuchshaus in Bad Vilbel (sog. 'Hebel-Hypokaustenheizung')

Quelle:

- Hebel Alzenau GmbH & Co., Brentanostraße 2, 8755 Alzenau
- Grimm, J.: "Wohnhaus als Energie-Selbstversorger", 'beton' März 1984, /G22/

2.1.2 Zweikomponenten-Heizung ('2K-Luftheizung'), Schmidt Reuter Ingenieurgesellschaft

Quelle:

- Schmidt Reuter Ingenieurgesellschaft für technische Gesamtplanung, Graeffstraße 5, 5000 Köln 30

2.1.3 Warmluftfußbodenheizung der ARGE Solar Passiv

Quelle:

- ARGE Solar Passiv - Haider, Hofbauer, Reinberg, Treberspurg - A-3002 Purkersdorf, Wintergasse 53/5, Österreich
- Hofbauer, W.: "Wohnhaus Zöchbauer, Herzogenburg"(Au), 'Bauforum' (Wien) 109, S.50, /H25/

2.1.4 Solar-Hybrid-Haus Witten

Quelle:

- Gertis, K., Rath, J.: Forschungsaufgabe "Solar-Hybrid-Haus Witten", KB-B2 (1985), n. veröffentlichte Mitteilung, /G14/

2.1.5 Thermische Massespeicher im mehrstöckigen Gebäuden

Quelle:

- Scudo, G.: "Mass Produced Passive Components for Low-Cost Multistory Building.", '1st E.C. Conference on Solar Heating, Amsterdam, 1984, /S13/

2.1.6 Wärmespeichernde Gebäudestruktur

Quelle:

- Levine, S.: "The Coupled Pan Space Frame: A Structural Framework for Solar Conserving Buildings", 'Proceedings of the National Passive Solar Energy Conference', 1982, S.594, /L05/

2.2 Systeme mit warmluftdurchströmten Zusatzspeichern (Wärmeträgermedium Luft, Speicherung passiv-solarer Wärmegevinne)

2.2.1 Hypokausten (s. auch I.2)

2.2.2 Schotter-/Stein- und Kiesbettspeicher

2.2.3 das Thermohüllen- ("Haus-im-Haus-") System

2.2.4 Trombe- und andere Sonnenwandsysteme (s. I.1.4)

2.3 Systemkonzepte in Veröffentlichungen (theoretische Ansätze)

2.3.1 Bossel, U.: "Heizen mit Sonnenenergie", 'db', 3/82, /B31/

2.3.2 Spath, R.: "Nostalgie oder Herausforderung unserer Zeit", 'Bau & Energie', 5/82, /S17/

2.3.3 Koblin, W.: "Wärmespeicherung und Kühlung in Wohngebäuden" in: 'Bauwelt' 18/1977, S.607, /K06/

2.4 Systemverwandte Konzeptionen; Zielsetzung aufgrund unterschiedlicher Funktions- und Wirkungsprinzipien nicht identisch mit der Forschungsthematik. Teilweise Übereinstimmung der Systemaufbauten und -details

2.4.1 System Reatherm (Denzler)

Quelle:

- Denzler Engineering VDI, Planungsbüro für Wärme-, Luft- und Klimatechnik, Hessenstraße 24, 8501 Burgthann 2
- Schwab, D.: "Die zweite Haut für's Eigenheim", 'Umschau' 81, S.690, /S11/

2.4.2 System Airtherm (Saalfeld)

Quelle:

- Air Therm GmbH & Co.KG, Im Oberdorf 1 a, 3306 Lehre-Wendhausen

2.4.3 Außenbauteile als Wärmetauscher (Borchert)

Quelle:

- Borchert, K.L.: "Luftdurchströmte Außenbauteile als Wärmetauscher", 'Landbauforschung Völkenrode' 35, H.1, 1985, /B30/

2.4.4 Ökotherm - das biologische Heizsystem (Tetkov-Pohlert)

Quelle:

- Planungs- und Entwicklungsbüro für neue angewandte Technologieauswertung:

Planung:
Dipl.-Ing. Gerhard Soyka
Herrenstraße 9
7801 Ehrenkirchen 1

Entwicklung + Forschung:
Ing.grad Emmerich Tetkov
Renate Pohlert-Tetkov
Messkirchner Straße 110
7768 Stockach 8

ABSCHNITT III. :
ENTWICKLUNG EINES
SYSTEMKONZEPTES

III.1 - Voraussetzungen und Anforderungen

Die Vorgehensweise innerhalb dieses Forschungsvorhabens wird von der Forderung nach ganzheitlicher Betrachtung aller energiewirksamer Einflußfaktoren und deren Wechselbeziehungen sowie der Berücksichtigung einer Hierarchie innerhalb der Vielzahl von Maßnahmen zur Heizenergieeinsparung bestimmt.

Aus dieser Vorgehensweise ergeben sich Vorgaben für den Einsatz von luftdurchströmten, wärmespeichernden Bauteilen, deren Beachtung für einen erfolversprechenden Systemeinsatz und -betrieb erforderlich ist.

Es müssen also zunächst jene Voraussetzungen und Bedingungen erfüllt werden, die innerhalb der Rangordnung der Energiesparmaßnahmen unterhalb des Einsatzes warmluftdurchströmter, wärmespeichernder Bauteile angesiedelt sind.

1.1 Rahmenbedingungen

Voraussetzung für die Speicherung von Wärme ist ein Wärmeangebot, das den Wärmebedarf eines Gebäudes, zumindest zeitweise, übertrifft. Ohne die Möglichkeit einer vorübergehenden Aufbewahrung des Wärmeüberschusses müßte dieser ungenutzt wieder abgegeben werden; eine Deckung später auftretender Defizite und damit die Einsparung von Energie wäre dann nicht möglich.

Unter den klimatischen Verhältnissen Mitteleuropas (geringes Solarenergieangebot) müssen sich erst durch entsprechende Maßnahmen Verhältnisse einstellen, die einen derartigen, speicherwürdigen Wärmeüberschuß bewirken.

Da die Wärmespeicherung häufig mit Speicherverlusten behaftet ist, sollte auf eine Speicherung von Wärmeüberschüssen bei gleichzeitigem Wärmebedarf verzichtet werden. Die direkte Nutzung des Wärmeangebotes bis zur Deckung des Bedarfs ist zunächst anzustreben. Für die Erzielung dieser Wärmeüberschüsse ist die Minimierung der Wärmeverluste, die Optimierung der Strahlungssammlung und ein optimiertes Heizungssystem erforderlich (s.a. I.1.3, I.1.4).

Hinsichtlich der Reduzierung des Heizenergiebedarfs eines Gebäudes ist das Verhalten der Nutzer von entscheidender Bedeutung: die Wirksamkeit sämtlicher Maßnahmen zur Energieeinsparung und zur passiven/hybriden Sonnenenergienutzung hängt davon ab, ob die Nutzer in der Lage sind oder die Bereitschaft zeigen, sich "energetisch richtig" zu verhalten (vgl. I.1.1).

Aufklärung und Motivation des Nutzers zur Energieeinsparung sind deshalb für einen erfolversprechenden Systembetrieb von grundlegender Bedeutung.

Die Verringerung von Transmissionswärmeverlusten durch planerische und bauliche Mittel muß zunächst Vorrang haben. Sind diese Wärmeverluste soweit reduziert, daß nunmehr die Lüftungswärmeverluste nahezu den gesamten Wärmeverlust ausmachen, ist der Einsatz von Anlagen zur kontrollierten, mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung aus der Fortluft geboten (s.a. I.1.2, I.1.3 und I.1.5).

Bei gleichzeitiger Optimierung der Strahlungssammlung durch planerische und bauliche Maßnahmen (passive/hybride Solarenergiesysteme) erhebt sich die Forderung nach einem thermisch flinken Heizsystem mit geringen Trägheits-, Stillstands- und Leitungsverlusten sowie der Eigenschaft, solare/interne Wärmeüberschüsse direkt in das System einzuspeisen (Wärmeverschiebung in Defizitbereiche). - Hierdurch kann zum einen eine Erhöhung der solaren Deckungsrate, zum anderen die Beibehaltung der Standards der thermischen Behaglichkeit in den strahlungssammelnden Zonen erwartet werden (s.a. I.1.4, I.1.5).

Trotz eines derartig optimierten Heizungssystems muß angesichts des nun noch geringen Gebäude-Wärmebedarfs angenommen werden, daß es zeitweise zu Raumüberwärmungen bzw. zu einem solaren Wärmeüberangebot kommt. Die Ausnutzung der erzielten Solarenergiegewinne sinkt dann erheblich, da die Möglichkeit der primären und sekundären Wärmespeicherung in der Gebäudemasse sehr beschränkt ist.

Dieser Umstand, die in I.1.3 erhobene Forderung nach einem thermisch flink reagierenden Gebäude sowie der Aspekt der Mehrfunktionalität und Wirtschaftlichkeit bilden die Grundlage für den Einsatz warmluftdurchströmter, wärmespeichernder Bauteile in Verbindung mit passiven/hybriden Sonnenenergiesystemen.

Die vollständige Aktivierung und Ausschöpfung eines vorhandenen Speicherpotentials unter Beibehaltung der thermischen Behaglichkeit und unter dem Aspekt der Mehrfunktionalität läßt wirtschaftliche Systemoptimierungen sowie erhebliche Energieeinsparungen erwarten (s.a. I.1.6 u. I.1.7).

1.2 Systembetrieb

Die unter dem Aspekt der passiven und hybriden Sonnenenergienutzung besonders gute Eignung der Luft als Wärmeträgermedium findet bereits in der Forschungsthematik Beachtung und soll als Ausgangspunkt für die System-Optimierung dienen.

Die daher notwendige Untersuchung der unterschiedlichen Betriebs- und Wirkungsweisen von Warmluft-Heizkreisläufen in Verbindung mit warmluftdurchströmten Bauteilen (s. I.3), der Systemperipherie (s. I.4) sowie der Aspekte der Behaglichkeit, Hygiene und Ökonomie (s. I.5 und I.6) haben das Anforderungsprofil (vgl. I.8) für den Einsatz und Betrieb von passiven/hybriden Solarenergiesystemen mit warmluftdurchströmten

Speicherbauteilen maßgeblich bestimmt. Unter Berücksichtigung der eingangs dargestellten Rahmenbedingungen ergaben sich Anforderungen für den angestrebten, optimierten Systembetrieb bezüglich der folgenden Untersuchungskriterien.

Energetische Aspekte des Systembetriebs unter Berücksichtigung der passiven/hybriden Solarenergienutzung:

- Die Verwendung von Luft als Wärmeträger- und Wärmeübergangsmedium in offenen Luftheizkreisläufen ist vorteilhaft.
- Es sollte die Möglichkeit bestehen, neben dem offenen Systemkreislauf zeitweise einen zweiten, geschlossenen Systemkreislauf zwischen ggf. vorhandenen, weiteren Kollektoreinrichtungen (Luftkollektor o.ä.) und der Speichermasse zu betreiben.

Integrationsfähigkeit und damit auch Mehrfunktionalität der Systemkonzeption

- Ein offenes Luftheizungssystem bietet die günstigsten Voraussetzungen hinsichtlich der Integration von RLT-Anlagen, von Einrichtungen zur passiven/hybriden Solarenergienutzung und von warmluftdurchströmten, wärmespeichernden Bauteilen (s.a. I.3 u. I.4).
- Bezüglich der Systemkomponenten und der Systemperipherie kann zu fast 100% auf das bereits am Markt vorhandene Produktangebot zurückgegriffen werden.

Behaglichkeit und hygienisch einwandfreier Systembetrieb

- Systembedingte Beeinträchtigungen der thermischen Behaglichkeit und akustische Störeinflüsse werden durch entsprechende technische Einrichtungen in den Luftheizungsanlagen weitgehend ausgeschlossen.
- Die Mehrzahl der hygienischen Probleme, die sich aus dem offenen Luftheizungsbetrieb ergeben, wird durch den Einsatz von Filtern (mechan. Vorfilter, elektrostatische Hauptfilter) sowie eine entsprechende Abluftführung (Mischluftbetrieb) beseitigt.
- Über ggf. auftretende hygienische Probleme durch den Einsatz warmluftdurchströmter, wärmespeichernder Bauteile liegen derzeit noch keine ausreichenden Erkenntnisse vor. Für deren Einsatz sind diesbezüglich praktische Untersuchungen erforderlich (s. I.5).

Wirtschaftlichkeit der Systemkonzeption

- Die Wirtschaftlichkeit (Verhältnis Herstellungskosten zu Betriebskosten) leitet sich aus der Mehrfunktionalität von

Systemkomponenten ab. Es sollen daher die bereits vorhandenen/notwendigen Bauteile sowie Einrichtungen (Luftheizung) zur Systemoptimierung eingesetzt werden (s. Integrationsfähigkeit; vgl. I.1.6).

1.3 Systemkomponenten

1.3.1 Kollektoreinrichtungen

Der Wirkungsgrad von Kollektoreinrichtungen wird in hohem Maße von der thermischen Qualität der transparenten/transluzenten Bauteile bestimmt: geringe k-Werte und möglichst hohe g-Werte sind die Auswahlkriterien für einen erfolgversprechenden Systembetrieb (vgl. I.1.4).

Folgende Kollektoreinrichtungen sollen, je nach Standortbedingungen (mitteleuropäische Klimazone), zum Einsatz kommen (vgl. I.1.4):

Fenster mit dahinterliegendem Raum

- Der offene Systembetrieb bedingt eine Luftzirkulation durch Räume mit Fenstern, unabhängig davon, ob sie zur Strahlungssammlung eingesetzt werden. In jedem Fall bewirkt der Systembetrieb eine Stabilisierung des Raumklimas.
- Der größte Vorteil dieser Kollektoreinrichtung liegt in der "Mehrfunktionalität".
- Da dieser Kollektor nur Solarwärmegewinne auf einem relativ niedrigen Temperaturniveau zulässt (max. Raumüberwärmung 4K), sind relativ große Speicherflächen notwendig /S29/.

Wintergärten

- Aus energetischer Sicht sind diese Kollektoreinrichtungen unwirtschaftlich.
- Unbegrenzte Raumüberwärmungen sind kaum möglich. Daher sind ebenfalls tendenziell größere Speicherflächen anzustreben.

Luftkollektoren

- Luftkollektoren bieten derzeit die günstigsten Voraussetzungen für einen erfolgversprechenden Systembetrieb, besonders bei Verwendung von transparenten Wärmedämmungen als Kollektorabdeckung.
- Relativ hohe Temperaturen innerhalb der Luftkollektoren könnten Staubschwelgerüche verursachen. Inwieweit dies zu hygienischen Beeinträchtigungen führt, müßte in praktischen Versuchen geklärt werden.

- Der konvektive Wärmeübergang von der nach Luftkollektoren auf ein hohes Temperaturniveau erwärmten Luft an das Speicherbauteil dürfte wesentlich besser sein als bei den vorgenannten Kollektoreinrichtungen /S29/.

Kombination von Kollektoreinrichtungen

- Eine Kombination mehrerer Kollektoreinrichtungen ermöglicht eine effizientere Ausnutzung selbst geringer Solarenergieangebote.
- Anzustreben ist die Kombination der bereits vorhandenen Kollektoreinrichtung 'Fenster und Raum' mit einem Luftkollektor, d.h., die mehr oder minder erwärmte Luft wird aus dem Raum in den Luftkollektor geführt und dort rasch auf das systembedingt erforderliche Temperaturniveau gebracht.

Größe der Kollektorflächen

- Für Wintergärten und Luftkollektoren stellt die zur Verfügung stehende Gebäudefläche die einzige Begrenzung der Kollektorflächen dar /S06/.
- Für die Bemessung von Fenstergrößen müssen neue Erkenntnisse in praktischen Versuchen gewonnen werden, da deren Energiebilanz wesentlich von der systembedingten Ausnutzung des Solarenergieangebotes bestimmt wird.

1.3.2 Wärmespeicherung und luftdurchströmte Bauteile

Es muß zunächst festgestellt werden, daß es für die richtige Dimensionierung luftdurchströmter Speichermassen in Abhängigkeit vom Kollektorsystem, den Einstrahlungsmengen und dem Temperaturniveau der erwärmten Luft derzeit keine zuverlässigen Regeln gibt.

Hinsichtlich des konvektiven Wärmeübergangs von der Luft zum durchströmten Bauteil und der Wärmespeicherung in den Bauteilen gelten grundsätzlich die Vorgaben aus I.1.4, I.3 und I.4 /S.29/.

Nachfolgende Erkenntnisse sollen für die angestrebte Systementwicklung besondere Beachtung finden:

- Für die nahezu vollständige Nutzung passiv bzw. hybrid erzielter Solarenergiegewinne ist eine kontrollierte Speicherentladung vorteilhaft.
- Eine kontrollierte Speicherentladung sollte dann toleriert werden, wenn der Energieaufwand für die kontrollierte Speicherentladung einen Anteil von 10% der nutzbaren Solarenergie übersteigt.

- Damit die Temperatur des Luftstroms während der Speicherbeladung (im Heizbetrieb) nicht innerhalb des durchströmten Bauteils unter das Niveau der Raumluft absinkt und der Luftstrom durch die Luftheizung mehr als eigentlich notwendig erwärmt werden muß, sollte die Speichermasse in an- und abkoppelbare Einzelabschnitte unterteilt werden.
- Die Wärmespeicherung sollte ausschließlich in internen Bauteilmassen erfolgen, also nicht in Bauteilen der Gebäudehülle.
- Der Einsatz von Fertigteilen und Halbzeugen mit werkseitig hergestellten, luftdurchströmbaren Hohlräumen zur Wärmespeicherung erscheint besonders sinnvoll (Wirtschaftlichkeit).
- Unter dem Aspekt der Multifunktionalität und damit der Wirtschaftlichkeit sollten möglichst nur solche Bauteile zur Wärmespeicherung eingesetzt werden, die bereits über die notwendigen Kanäle zur Luftführung verfügen. Beispiel: Spannbeton-Hohlplatten (besonders für die Herstellung von Geschoßdecken geeignet, da sie häufig preisgünstiger als vergleichbare Lösungen im Ortbetonverfahren sind).
- Luftkanal-/Speicherbauteil-Ausbildungen, die zu einer Vergrößerung des Bauteilquerschnittes und damit zu einer Bauvolumenvergrößerung führen, sollen vermieden werden (Wirtschaftlichkeit).
- Hinsichtlich der hygienischen Beurteilung von Baustoffen für ihre Verwendung als luftdurchströmte Wärmespeicher im offenen Systembetrieb liegen noch keine ausreichenden Erkenntnisse vor (vgl. I.5).
- Erkenntnisse über das thermische Verhalten von Speicherbauteilen während des Systembetriebs sollten in praktischen Versuchen gewonnen werden. Aufgrund der hohen Wärmespeicherkapazität der Bauteile ist mit geringen Temperatursteigerungen in ihnen zu rechnen; Schäden am Speicherbauteil erscheinen daher unwahrscheinlich.

Energieeinsatz für den Luftstromantrieb

- Bei der Planung der Luftführung sollte die Anzahl der druckverlust erhöhenden Einzelwiderstände so niedrig wie möglich gehalten werden, um einen optimalen Energieeinsatz für den Luftstromantrieb zu erreichen. Der Energieeinsatz sollte 10% der nutzbaren Solarenergie nicht überschreiten.
- Aussagen über den systembedingt notwendigen Energieeinsatz können derzeit kaum gewagt werden, da eine Vielzahl von Faktoren (Standortbedingungen, Einstrahlungssummen, gebäudeplanerisches/energetisches Konzept) das instationäre Verhältnis von solaren Wärmegewinnen zum Energieeinsatz für den Luftstromantrieb beeinflussen.

- In /S29/ wird festgestellt, daß es aus thermodynamischer Sicht eine untere und obere Grenze Q_L/P (Q_L - speicherbares, solares Wärmepotential, P - Arbeitsleistung Gebläse) gibt, ab der sich wegen des zu hohen Energieeinsatzes eine Wärmespeicherung verbietet. Dabei wird von einem einzigen Gebläse ohne Regelung für den Luftstromantrieb ausgegangen. (P_N - Gebläsenennleistungsaufnahme)

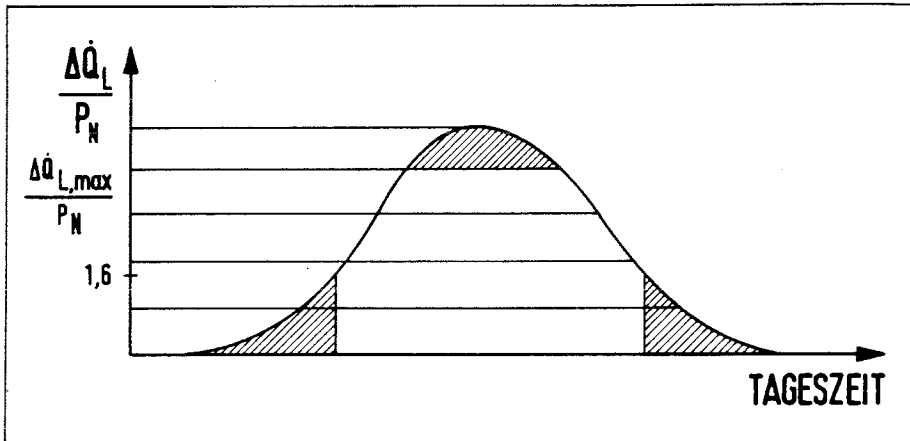
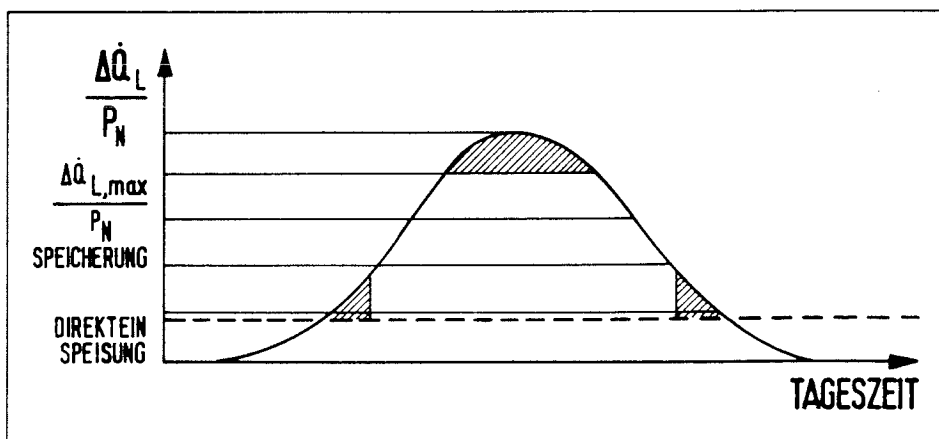


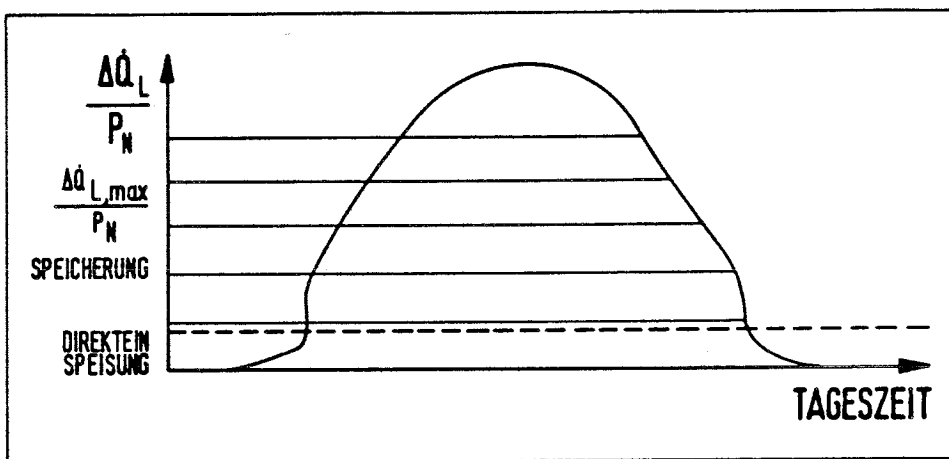
Abb. n. /S29/(S.8)

Diese Aussage bedarf jedoch angesichts des angestrebten Systembetriebs einer Relativierung:

- Geringe Wärmegewinne (unterer Bereich) werden direkt in die Luftheizungsanlage, die auch für den Luftstromantrieb sorgt, eingespeist. Es fällt in diesem Bereich also kein zusätzlicher Energiebedarf an. Folgendes Bild könnte sich daraus ergeben:



- Eine weitere Verbesserung der Solarwärme-Ausnutzung ist vermutlich durch die Kombination der Kollektoreinrichtungen 'Fenster mit dahinterliegendem Raum' und 'Luftkollektor' möglich: Es kann davon ausgegangen werden, daß rascher speicherbare Wärmemengen mit relativ hohem Temperaturniveau erzielt werden (schnellere Überwindung des 'unteren Bereichs'). Der Luftstromantrieb durch ein regelbares Gebläse in Verbindung mit dem bereits vorhandenen Gebläse der Luftheizungs- und Lüftungsanlage bietet günstige Voraussetzungen dafür, daß auch die Spitze der Solarenergiegewinne wirtschaftlich genutzt werden kann. Das Ergebnis könnte dann folgendermaßen aussehen:



1.4 Lastsituationen

Die möglichen Lastsituationen, denen ein Gebäude mit passiver/hybrider Sonnenenergienutzung in Verbindung mit luftdurchströmten, wärmespeichernden Bauteilen ausgesetzt ist, bedingen Systembetriebs-Varianten, die in ihrer Summe schließlich das Konzept für den optimierten Systembetrieb bilden (vgl. 3.)

Daher ist es unumgänglich, alle möglichen Lastsituationen aufzuzeigen und daraus sinnvolle Systembetriebs-Varianten abzuleiten.

Die Formulierung der nachfolgenden Lastsituationen basiert auf dem idealen, theoretischen Modell eines Gebäudes unter Berücksichtigung der Systemvoraussetzungen aus 1.1 - 1.3. Zur Strahlungssammlung soll eine Kollektorkombination aus den Einrichtungen 'Fenster mit dahinterliegendem Raum' und Luftkollektor verwendet werden.

Anmerkung: Die Kombination von mehr als zwei Kollektoreinrichtungen ist möglich. Es ergeben sich daraus prinzipiell die gleichen Bedingungen und Anforderungen wie das dargestellte Systemkonzept.

Lastsituationen

1. - Wärmespeicher ist entladen;
- keine Solarenergiegewinne;
- Wärmebedarf im Gebäude vorhanden.
2. - Wärmespeicher ist entladen;
- Solarenergiegewinne beider Kollektoreinrichtungen liegen im Bereich des Gebäude-Wärmebedarfs.
3. - Wärmespeicher ist entladen;
- internes Wärmeaufkommen und Solarenergiegewinne durch Fenster decken den gesamten Wärmebedarf;
- Luftkollektor produziert Wärmeüberschüsse.
4. - Wärmespeicher ist entladen;
- Wärmeabgabe beider zusammenwirkender Kollektoreinrichtungen übersteigt den Wärmebedarf des Gebäudes.
5. - Wärmespeicher ist entladen;
- internes Wärmeaufkommen und Solarenergiegewinne durch Fenster übersteigen den gesamten Wärmebedarf des Gebäudes;
- Luftkollektor produziert keine nennenswerten Wärmemengen.
6. - Wärmespeicher ist geladen;
- keine Solarwärmegewinne;
- Wärmebedarf im Gebäude vorhanden.
7. - Wärmespeicher ist geladen;
- Solarenergiegewinne beider Kollektoreinrichtungen decken vollständig den Wärmebedarf des Gebäudes.
8. - Wärmespeicher ist geladen;
- internes Wärmeaufkommen und Solarenergiegewinne durch Fenster decken den gesamten Wärmebedarf des Gebäudes;
- Luftkollektor produziert Wärmeüberschüsse.
9. - Wärmespeicher ist geladen;
- internes Wärmeaufkommen und Solarenergiegewinne durch Fenster übersteigen den Wärmebedarf des Gebäudes;
- Luftkollektor produziert keine nennenswerten Wärmemengen.
10. - Wärmespeicher ist vollständig geladen, seine Speicherkapazität ist erschöpft;
- Solarenergiegewinne beider Kollektoreinrichtungen übersteigen den Wärmebedarf des Gebäudes.
11. - Wärmespeicher ist entladen;
- längerfristig kein Wärmebedarf des Gebäudes (Sommer);
- erhebliches Solarenergieangebot.
12. - Wärmespeicher gering geladen; der Energieeinsatz für eine kontrollierte Wärmeentnahme ist größer als eine mögliche Energieeinsparung dadurch;
- beide Kollektoreinrichtungen produzieren nur geringe Wärmemengen.

Anmerkung: Für alle Systembetriebs-Varianten soll zudem gelten, daß alternativ Frisch-, Misch- und Umluftbetrieb (vgl. I.3) möglich ist.

III.2 Bewertung der untersuchten Systeme

In diesem Kapitel sollen die in der nachfolgenden Übersicht dargestellten Systeme hinsichtlich ihrer Eignung für das angestrebte Systemkonzept untersucht und bewertet werden.

Die Rahmenbedingungen, die die Systementwicklungen maßgeblich beeinflußt haben, werden in 2.1 untersucht. Daraus können Erkenntnisse für die unter hiesigen Klimaverhältnissen systembedingt erforderlichen Rahmenbedingungen abgeleitet werden. Außerdem soll aus Analogieschlüssen eine Prognose hinsichtlich des Systembeitrags zur Energieeinsparung, unter den entsprechenden Vorbehalten, entwickelt werden.

In 2.2 erfolgt zunächst die Darstellung der untersuchten Systeme, ihrer Speicherbauteile und deren Anschlüsse an die haustechnische Peripherie, gegliedert nach Systemkonzepten. Daran schließt sich die Bewertung der Systemkonzepte hinsichtlich ihres Systembetriebs bzw. ihrer Wirkungsweise an. Die Bewertung der Kollektoreinrichtungen wird in 2.2.1, die der warmluftdurchströmten, wärmespeichernden Bauteile in 2.2.2 vorgenommen.

Das Ergebnis der Eignungsuntersuchungen/Bewertung wird in der Übersicht 2.3 zusammengefaßt.

KAP. III.2 - BEWERTUNG DER UNTERSUCHTEN SYSTEME

Systemübersicht

		II1: HMBRO (KNAUF)	II2: THERMODECK	II3: AIRFLOR	II4: PULUS	II5: HAFFERLAND	II6: KÜSSEN	II7: SOLPOR	II8: HOFFMAN	II9: BRINK
1	Derzeitiger Einsatz	1 Einfamilienhaus	•	•	•	•	•	•	•	
		2 Mehrfamilienhaus		•	•	•	•	•	•	
		3 Büro-/Verwaltungsgeb.	•	•	•			•		
		4 sonstige Gebäude	•	•				•		
2	Entwicklungsstand	1 Theoretisches Konzept			•	•		•		
		2 Pilotprojekt/Prototyp	•		•		•		•	
		3 Serie		•						
3	Funktion	1 Gebäudeneizung	•	•	•	•	•	•	•	
		2 Kühlung/Klimatisierung	•	•	•	•	•	•	•	
4	Sonnenenergienutzung	1 passiv				•	•	•	•	
		2 hybrid	•	•		•	•	•	•	
		3 aktiv								
5	Sonnenenergieeinrichtung	1 (Süd-) Fenster/Zone	•	•						
		2 Wintergarten		•						
		3 Sonnenwand		•				•		
		4 (Luft-) Kollektor		•			•	•	•	
		5 sonstige		•		•				
6	Systembetrieb	1 offen	•	•	•	•	•	•	•	
		2 geschlossen		•			•			
		3 Wechselbetrieb (o/g)		•						
7	Speicherbauteil	1 (Geschob-) Decke	•	•	•	•		•	•	
		2 Innenwand					•			
		3 Außenwand						•		
		4 Zusatzspeicher								
8	Speichermaterial	1 Beton/-werkstoff	•	•	•	•	•	•	•	
		2 Mauerstein (Ziegel, KS)					•	•	•	
		3 Naturstein					•			
		4 Sandwich-Konstruktion	•	•	•	•	•			
9	Speicheranordnung*	1 im Zuluftstrom	•	•			•		•	
		2 im Rückluftstrom	•	•						
		3 alternierend			•					
10	Oberfläche Luftführung	1 wie Speichermt. (s.8)	•	•		•	•	•	•	
		2 Kunststoff			•					
		3 Metall								
		4 Komb.m.1; sonstige	•	•	•	•				
11	Hohlräume im Speicherbauteil	1 vorhanden	•	•		•	•	•	•	
		2 konstruktiv ausgebildet	•	•	•	•	•	•	•	
12	Vorfertigungsgrad	1 vollständig	•	•				•	•	
		2 teilweise	•	•	•					
13	Bauteil-ausbildung	1 homogen (integr. Hohlraum)	•	•		•		•	•	
		2 Komb. schwer - schwer		•		•	•			
		3 Komb. schwer - leicht	•		•		•			
14	By-pass*	1 Speicher	•							
		2 elektrisch	•	•	•	•	•	•	•	
15	Luftstrom-antrieb	1 elektrisch	•	•	•	•	•	•	•	
		2 Schwerkraft (Kamineffekt)				•	•	•		
16	Luft-umwälzung*	1 Umluft			•	•				
		2 Mischluft	•	•	•				•	
		3 Frischluft						•		
17	Zusatzheizung	1 Warmluft (NT)	•	•			•		•	
		2 Warmwasser (NT)			•					
		3 Wärmepumpe								
		4 Elektro (Direkt)		•						
		5 sonstige								
18	Systemsteuerung + -regelung	1 Hand		•		•				
		2 teilautomatisch								
		3 vollautomatisch	•	•	•	•	•	•	•	
19	Integrierte* Raumluft-konditionierung	1 kontroll. Lüftung	•	•	•	•	•	•	•	
		2 WRG aus Abluft						•		
		3 Befeuchtung								
20	Filterung*	1 Zuluft								
		2 Fortluft								
		3 Umluft								
22	Ergänzende Systemangaben zu:	1 in vorh. Baustanz						•		
		2 Spez. Systemvoraussetzg.	•	•		•	•	•	•	•
		3 Energiebilanz	•	•	•	•	•	•	•	•
		4 Wirtschaftlkt./Kosten	•	•	•	•	•	•	•	•
		5 Akustik*	•	•				•		
		6 Hygiene*								
		7 Reinigung* + Wartung					•			
23	Anwendungsübertragung	1 Nutzung	•	•	•	•	•	•	•	•
		2 geographisch/klimat.	•	•	•	•	•	•	•	•

* Relevanz i.d.R. nur für den offenen Systembetrieb

Systemübersicht

		II 110 MITCHELL	II 111 CHALEFF-SLAB	II 112 FLECKCORE	II 113 AKOPIN-SLAB	II 114 ARNKE	II 115 SEPANEIN	II 116 TRANSPAR WD	II 117 BA-WBEK
1	Derzeitiger Einsatz	1 Einfamilienhaus	•	•	•	•	•	•	•
		2 Mehrfamilienhaus							
		3 Büro-/Verwaltungsgeb.						•	
		4 sonstige Gebäude							
2	Entwicklungsstand	1 Theoretisches Konzept							
		2 Pilotprojekt/Prototyp			•	•	•	•	•
		3 Serie	•	•	•				
3	Funktion	1 Gebäudheizung	•	•	•	•	•	•	
		2 Kühlung/Klimatisierung	•				•		
4	Sonnenenergienutzung	1 passiv			•	•			
		2 hybrid	•	•	•	•	•	•	
		3 aktiv							
5	Sonnenenergieeinrichtung	1 (Süd-) Fenster/Zone	•	•	•	•	•		
		2 Wintergarten		•	•	•			
		3 Sonnenwand			•	•		•	
		4 (Luft-) Kollektor			•				
		5 sonstige						•	
6	Systembetrieb	1 offen	•	•	•		•	•	
		2 geschlossen				•	•	•	
		3 Wechselbetrieb (o/g)						•	
7	Speicherbauteil	1 (Geschoß-) Decke	•	•	•	•	•		
		2 Innenwand						•	
		3 Außenwand						•	
		4 Zusatzspeicher							
8	Speichermaterial	1 Beton/-werkstoff	•	•	•	•	•	•	
		2 Mauerstein (Ziegel, KS)						•	
		3 Naturstein							
		4 Sandwich-Konstruktion		•					
9	Speicheranordnung*	1 im Zuluftstrom			•		•		
		2 im Rückluftstrom	•	•					
		3 alternierend							
10	Oberfläche Luftführung	1 wie Speichermt. (s.8)	•				•		
		2 Kunststoff			•				
		3 Metall						•	
		4 Komb.m. 1: sonstige		•			•	•	
11	Hohlräume im Speicherbauteil	1 vorhanden	•	•	•	•	•	•	
		2 konstruktiv ausgebildet				•	•	•	
12	Vorfertigungsgrad	1 vollständig					•		
		2 teilweise							
13	Bauteil-ausbildung	1 homogen (Integr. Hohlraum)	•		•	•	•	•	
		2 Komb. schwer - schwer							
		3 Komb. schwer - leicht		•					
14	By-pass*	1 Speicher							
15	Luftstromantrieb	1 elektrisch	•	•	•	•	•	•	
		2 Schwerkraft (Kamineffekt)			•				
16	Luftumwälzung*	1 Umluft							
		2 Mischluft							
		3 Frischluft							
17	Zusatzheizung	1 Warmluft (NF)	•	•	•				
		2 Warmwasser (NT)		•				•	
		3 Wärmepumpe		•					
		4 Elektro (direkt)		•					
		5 sonstige		•					
18	Systemsteuerung + -regelung	1 Hand				•			
		2 teilautomatisch							
		3 vollautomatisch	•					•	
19	Integrierte* Raumluft-konditionierung	1 kontroll. Lüftung				•			
		2 WRG aus Abluft							
		3 Befeuchtung							
20	Filterung*	1 Zuluft							
		2 Fortluft							
		3 Umluft	•			•			
21	Nachrüstung	1 in vorh. Bausubstanz							
22	Ergänzende Systemangaben zu:	1 Spez. Systemvoraussetz.	•	•			•	•	
		2 Energiebilanz	•	•			•	•	
		3 Wirtschaftl./Kosten	•	•		•		•	
		4 Akustik*							
		5 Hygiene*							
		6 Reinigung* + Wartung							
		7 Interne Wärmegellen							
23	Anwendungsübertragung	1 Nutzung	•	•	•	•	•	•	
		2 geographisch/klimat.	•	•	•	•	•	•	

* Relevanz i.d.R. nur für den offenen Systembetrieb

2.1 Systemkonzepte und Rahmenbedingungen

Bevor Wirkungsprinzipien und Komponenten der vorhandenen Systeme hinsichtlich ihres Einsatzes in optimierten passiven/hybriden Sonnenenergiesystemen untersucht und beurteilt werden, sollen die Rahmenbedingungen dargestellt werden, die maßgebend für die Systementwicklung waren. Erst vor dem Hintergrund der jeweiligen Rahmenbedingungen ist das Wirkungsprinzip der Systeme, der Einsatz bestimmter Systemkomponenten sowie auch häufig der bereits erreichte Entwicklungsstand des jeweiligen Systems nachvollziehbar.

Die Bedeutung der Rahmenbedingungen für Systementwicklungen wird besonders deutlich, wenn man sich das geographische Einsatzgebiet bzw. das Herkunftsland der vorhandenen Systeme vor Augen führt:

Die Mehrzahl der vorhandenen Systeme, sieben von siebzehn, wurden in den USA und Kanada entwickelt. Sie weisen einen relativ hohen Entwicklungsstand auf: vier Systeme werden bereits serienmäßig eingesetzt, die übrigen drei existieren als Pilotprojekt. Man könnte daher annehmen, daß die dortigen Systementwicklungen von speziellen Einflußfaktoren gefördert wurden. In diesem Zusammenhang muß auf das relativ große Solarenergieangebot in Nordamerika sowie auf die dort bevorzugte Leichtbauweise verwiesen werden:

Es kommt selbst bei Gebäuden mit für unsere Verhältnisse mangelhaftem Wärmeschutz und hohem Energiebedarf zu Raumüberwärmungen, weil die überwiegend verwendeten Holz-Skelettbauten mangels Speichermasse nicht in der Lage sind überschüssige Wärmemengen abzuspeichern.

Der Einfluß der Faktoren "Solarenergieangebot" und "Bauweise" hat folgende Auswirkungen auf die Systemkonzepte:

- Zur Strahlungssammlung werden überwiegend Fenster eingesetzt (bei fünf von sieben Systemen).
- Die relativ häufige Verwendung der Sohlplatte als luftdurchströmtes Speicherbauteil ergibt sich daraus, daß es in den meisten Holz-Skelettbauten das einzige massive Bauteil ist. Die Vorteile einer optimierten Aktivierung bereits vorhandener Speicherbauteile wiegen anscheinend den energetischen Nachteil einer Wärmespeicherung in einem Bauteil der Gebäudehülle auf.
- Drei der sieben Systeme dienen neben der Gebäudeheizung auch der Gebäudekühlung; diese Entwicklung ist verständlich, da sich unter den klimatischen Verhältnissen Nordamerikas Klimaanlage häufig als notwendig erweisen.
- Die Kombination der vorhandenen Systeme mit Luftheizungsanlagen (z.B. II.1.1 Hambro) bzw. deren Benutzung als aktives Heizsystem ist in Nordamerika naheliegend, da dort Luftheizungssysteme zur standardmäßigen Gebäudeausstattung gehören.

Das System Hoffman, II.1.8, wurde für den Einsatz in Israel konzipiert. Das sehr große Solarenergieangebot in dieser Klimazone hat sich auf die Systemausbildung folgendermaßen ausgewirkt:

- Die Strahlungssammlung erfolgt mit (Fenster-) Luftkollektoren; dadurch erreicht die Sonneneinstrahlung nicht das Gebäudeinnere. Der Gefahr einer Raumüberwärmung kann so entgegengewirkt werden.
- Die Speicherbeladung bewirkt ein geschlossener Luftkreislauf zwischen Luftkollektor und Speicherbauteil; zur Speicherentladung wird ein Luftkreislauf zwischen Speicherbauteil und Raum hergestellt. Diese Betriebsweise ist offenbar deshalb sinnvoll, weil das dortige Solarstrahlungsangebot den Wärmebedarf voll deckt, ohne daß vom Luftkollektor gewonnene Wärme direkt in den Raum geführt werden muß.
- Das Systemkonzept ist für Gebäude in Schottenbauweise (Geschoßwohnungen etc.) mit leichten, nichttragenden Fassadenelementen entwickelt worden. Als luftdurchströmte Speicherbauteile sollen/müssen ausschließlich Innenbauteile, d.h. Schotten und Geschoßdecken, verwendet werden (energetischer Vorteil interner Speicherbauteile vgl. 1.3).
- Unter dem Aspekt der Mehrfunktionalität und Wirtschaftlichkeit ist der Einsatz von Stahlbeton-Hohlplatten zur Wärmespeicherung beabsichtigt; in bezug auf das Konstruktionsprinzip Schottenbauweise erweist sich diese Wahl zudem als vorteilhaft (vgl. 1.3).

Das Thermodeck-System, II.1.2, wird in Schweden serienmäßig eingesetzt, überwiegend in Gebäuden mit hohem internen Wärmeaufkommen (Büro- und Verwaltungsgebäude). Im Gegensatz zu den vorgenannten Systemen, die in erster Linie als Reaktion auf das große Sonnenenergieangebot entstanden sind, waren in Schweden andere Einflußfaktoren für die Systementwicklung von entscheidender Bedeutung: der geringe Wärmebedarf der Gebäude als Folge der dort vorgeschriebenen Wärmeschutzmaßnahmen im Verhältnis zu dem extrem hohen internen Wärmeaufkommen (z.B. in Verwaltungsgebäuden) und dem Wärmeeintrag aus Sonneneinstrahlung durch die Fenster hat selbst im Winter Wärmeüberschüsse und damit Raumüberwärmungen bewirkt.

Das Thermodeck-System ermöglicht durch eine gezielte Speicherung der Wärmeüberschüsse in den Bauteilmassen die Einhaltung der thermischen Behaglichkeit; während der Heizperiode wird die eingespeicherte Wärme bei Wärmebedarf den Räumen zugeführt (vorwiegend in Zeiten der "Nichtbelegung").

Die speziellen Rahmenbedingungen haben sich auf das Systemkonzept und den Systembetrieb folgendermaßen ausgewirkt:

- Das Speichervermögen von (Innen-) Wänden ist in Verwaltungsgebäuden häufig gering (leichte Trennwände), deshalb

- wird das bezüglich seiner Wärmespeicherkapazität bedeutendste Bauteil in derartigen Gebäuden, die Geschoßdecke, zur Luftführung und Wärmespeicherung verwendet (energetischer Vorteil interner Speicherbauteile vgl. I.1.4 u. III.1.3)
- Unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit werden Stahlbeton-Hohldecken zur Wärmespeicherung benutzt (vgl. 1.3).
 - Der Gesichtspunkt der Mehrfunktionalität bzw. der Wirtschaftlichkeit hat die Kombination eines Warmluftheizungssystems einschließlich kontrollierter Lüftung mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen zum Thermodeck-System gefördert (vgl. 1.2).
 - Ein aktiver Heizbetrieb der Luftheizungsanlage ist wegen des hohen internen Wärmeaufkommens nur während weniger Stunden zu Beginn der Belegungszeit erforderlich.
 - Die luftdurchströmten Speicherbauteile werden im Zuluftstrom angeordnet, damit der Nutzer gezwungen ist in die Systemregelung einzugreifen: erhöht sich die Raumtemperatur über thermisch behagliche Werte, muß er zunächst die Wärmeabgabe des aktiven Heizsystems bzw. interner Wärmeproduzenten verringern und dann, wenn nötig, ggf. auch Verschattungsanlagen betätigen.
 - Der Systembetrieb beinhaltet die Möglichkeit der Gebäudekühlung im Sommer. Die tagsüber mit den internen Wärmeüberschüssen beladene Speichermasse wird nachts entladen, indem kühle Außenluft durch die Speichermasse geführt wird. Dadurch können die Anlagen- und Betriebskosten für die ggf. erforderliche Gebäudekühlung erheblich reduziert werden.

Die Möglichkeit einer wirtschaftlichen Gebäudekühlung mit Hilfe luftdurchströmter, wärmespeichernder Bauteile war Anlaß für die Entwicklung von Systemen, die ausschließlich einem derartigen Systembetrieb dienen. Dazu gehören zwei der sieben untersuchten Systemvarianten. Die Betriebsweise beider Systeme entspricht im wesentlichen der des Thermodeck-Systems im Kühlmodus, hinsichtlich der Rahmenbedingungen und damit der Systemausbildung unterscheiden sie sich jedoch.

Das System Fuchs, II.1.4, existiert als Pilotprojekt in der Bundesrepublik. Es wird zur Kühlung eines Bürogebäudes benutzt, in dem ein extrem hohes internes Wärmeaufkommen Raumüberwärmungen verursacht.

Lediglich als theoretisches Konzept existiert das System Hafferland, II.1.5. Im Gegensatz zum System II.1.4 Fuchs wird ein Systemeinsatz in wärmeren Klimazonen, besonders in Entwicklungsländern, angestrebt. Bei dieser Variante führt ein großes Solarenergieangebot zu Raumüberwärmungen und bedingt damit Maßnahmen zur Gebäudekühlung. Dieses trifft in besonderer Weise für Büro-, Verwaltungs- und städtische Wohngebäude zu.

Die Wirkung der unterschiedlichen Rahmenbedingungen auf die Entwicklung beider Systeme stellt sich folgendermaßen dar; zunächst das System II.1.4 Fuchs:

- Die Wärmespeicherung erfolgt in den Geschoßdecken. Ausschlaggebend dafür ist, daß dieses Bauteil im Gegensatz zu den übrigen über die notwendige Wärmespeicherkapazität bzw. Speicheroberfläche verfügt.
- Die Ausbildung der luftdurchströmten Geschoßdecke wurde aus der notwendigen Konstruktion "Stahlbetondecke mit dahinterangeordneter Akustikdecke" entwickelt; die Luft zirkuliert im 'Luftspalt' zwischen diesen beiden "Bauteilschichten". Es wirkt sich negativ auf die Aktivierung der Speichermasse aus, daß diese nur be- und nicht durchströmt wird (vgl. 1.4).
- Das aktive Heizsystem ist nicht in das System integriert.

Die besondere Wirtschaftlichkeit dieser Systemvariante im Vergleich zu Klimaanlage wurde von Fuchs in /F09/ ausführlich nachgewiesen.

Das durch äußere Einflüsse entstandene Wärmeüberangebot hat sich folgendermaßen auf das Systemkonzept von Haferland, II.1.5, ausgewirkt:

- Es wird angestrebt, daß alle raumumschließenden Bauteile durchlüftbar sind; dafür wird eine massive Konstruktion aus Stahlbeton-Hohlplatten für Wände und Decken vorgeschlagen.
- Unter dem Aspekt der Mehrfunktionalität und damit der Wirtschaftlichkeit, die für den Systemeinsatz in Entwicklungsländern eine besondere Rolle spielt, wird der Einsatz von Stahlbeton-Hohlplatten, die bereits über Luftkanäle verfügen, geplant (s. 1.4).

Sechs der untersuchten Systemvarianten sind für den Einsatz in mitteleuropäischen Klimazonen bestimmt; sie weisen folgenden Entwicklungsstand auf:

Drei Systeme II.1.9 (Luftheizung mit Speicherdecken), II.1.14 (Luftheizung mit passiver Sonnenenergienutzung) und II.1.17 (Hypokausten-Wand, System Bambek) existieren als Pilotprojekte. Das System II.1.6, Minimalenergiehäuser, und die vom Fraunhofer-Institut entwickelte Variante II.1.16 sind als theoretisches Konzept vorhanden. Die Fraunhofergesellschaft untersucht jedoch bereits an einer Versuchszelle die Eignung interner Bauteile als Kanalsystem und luftdurchströmte Speichermasse.

Besondere Rahmenbedingungen haben zur Entwicklung des Solpor-Sonnenwand-Systems II.1.7 geführt; daher muß diese Systemvariante, die sich im Pilotprojekt-Stadium befindet, als Sonderfall bezeichnet werden.

Weder ein besonders großes Strahlungsangebot oder Wärmeaufkommen aus internen Wärmequellen noch die Bauweise oder eine Kombination dieser Faktoren waren unter hiesigen Rahmenbedingungen von dominierendem Einfluß auf die Systementwicklung.

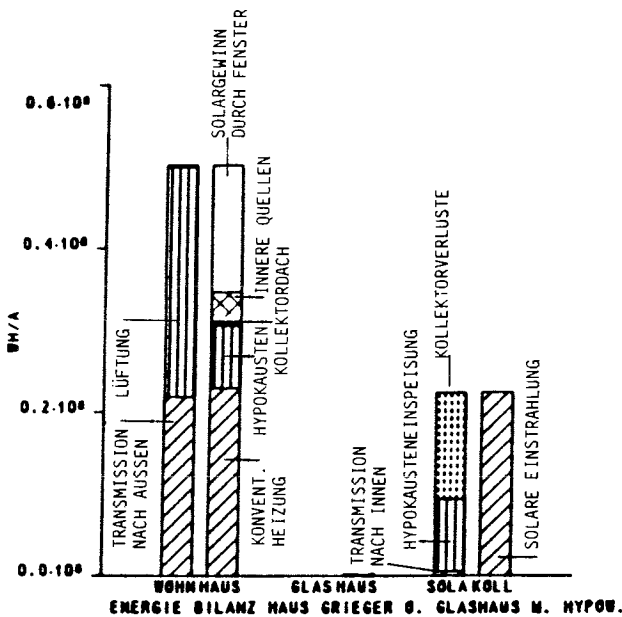
Vielmehr wurde die Entwicklung offenbar wesentlich von der Annahme beeinflußt, daß zusätzliche Kollektoreinrichtungen einen Wärmeüberschuß produzieren, der besondere Wärmespeichereinrichtungen erforderlich macht.

Auf die Mehrzahl der Systeme hat sich diese Einschätzung der Rahmenbedingungen folgendermaßen ausgewirkt:

- Die Strahlungssammlung mit dem Kollektorsystem 'Fenster mit dahinterliegendem Raum' wird für den Systembetrieb vernachlässigt; als Kollektoreinrichtung dienen vorwiegend entsprechende Applikationen. Von den sechs Systemvarianten verwenden fünf (II.1.6; II.1.7; II.1.9; II.1.16; II.1.17) Luftkollektoren, einmal wird ein Wintergarten eingesetzt (II.1.14).
- Die Verhinderung von Raumüberwärmungen ist nicht vorrangige Aufgabe dieser Systeme. Überschüssige Wärme wird, wenn überhaupt vorhanden, offenbar durch einfache Maßnahmen zur Wärmeverschiebung (Öffnen von Türen etc.), eine Intensivierung der Raumlüftung oder ein flinkes Warmluftheizungssystem beseitigt.
- Bis auf zwei Ausnahmen werden ausschließlich interne Speicherbauteile benutzt; der energetische Vorteil dieser Maßnahme, besonders angesichts der Vielzahl von Systemen mit unkontrollierter Speicherentladung, war anscheinend dafür entscheidend (s. III.1.4).
- Alle Systemvarianten wurden für den Wohnungsbau bzw. vorrangig für den Einfamilien-Hausbau konzipiert; winterliche Raumüberwärmungen scheinen die thermische Bahaglichkeit in Gebäuden mit extrem hohen Wärmeaufkommen aus internen Wärmequellen (Bürogebäude) nicht derart zu beeinflussen, daß dies die Entwicklung von Systemen gefördert hätte (wie z.B. in Schweden).

Obwohl die zusätzlichen Kollektoreinrichtungen die solaren Wärmegevinne erheblich vergrößern, muß angesichts der Dominanz dieser Maßnahmen und der Vernachlässigung von Wärmeschutzmaßnahmen, zumindest für einige der sechs Systeme, der effiziente Einsatz in Frage gestellt werden. Der Stellenwert einer Optimierung der Wärmespeicherung mittels luftdurchströmter Bauteile innerhalb eines Maßnahmenkataloges zur (Heiz-) Energieeinsparung wurde in diesen Fällen vermutlich nicht realistisch eingeschätzt. Ein Beispiel dafür ist das System II.1.17 Hypokausten-Wand, System Bambek. In /S06/ wurde die Energiebilanz für ein mit diesem System ausgestattetes Gebäude veröffentlicht (der Jahresenergieverbrauch für die Gebäudeheizung wurde mit einem statistischen und einem mathematisch-physikalischen Modell bestimmt; die Anwendung zweier

unterschiedlicher Verfahren, deren Ergebnisse relativ gut übereinstimmen, sichert die Bilanz ab).



Dieser Energiebilanz ist folgendes zu entnehmen:

- Die Größenordnung des Lüftungswärmeverlustes ist erheblich, er übersteigt den Transmissionswärmeverlust.
- Die Lüftungswärmeverluste sind etwa viermal so groß wie der (Heiz-) Energiebetrag der Systemvariante Hypokausten-Wand.
- die Ausnutzung der solaren Einstrahlung auf die Luftkollektorfläche ist relativ gering; ca. 40% der Einstrahlung können in die Hypokausten-Wand eingespeist werden.

Abb. n. /S06/(S.19)

- Der Solarenergiegewinn durch die Fenster ist beträchtlich.

Aus dieser Bilanz läßt sich ableiten, daß im Bereich der Lüftungswärmeverluste zunächst ein wesentlich höheres Energieeinsparpotential liegt als in der Nutzung der Solarwärme durch das Hypokaustenwand-System: eine kontrollierte, mechanische Bedarfslüftung einschließlich Wärmerückgewinnung aus der Fortluft würde bei einem angenommenen Wirkungsgrad der Anlage von ca. 70% einen wesentlich wirkungsvolleren Beitrag zur Energieeinsparung leisten als die eingesetzte Hypokaustenwand. Berücksichtigt man zudem noch die mit DM 33.280,-- angegebenen, relativ hohen Investitionskosten, die über den Kosten von Einrichtungen zur kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung liegen, so erscheint der Systemeinsatz auch aus wirtschaftlicher Sicht zweifelhaft.

Schließlich muß noch erwähnt werden, daß bei diesem System die Möglichkeiten zur Reduktion der Transmissionswärmeverluste (vgl. I.1.3) noch nicht voll ausgeschöpft sind.

Ein weiteres Beispiel für die unrealistische Einschätzung der Rahmenbedingungen ist das System Brink II.1.9, Luftheizung mit Speicherdecken.

Dieses System versucht in erster Linie mit Hilfe der hybriden Sonnenenergienutzung Lüftungswärmeverluste auszugleichen. Dieses geschieht, indem die in einem Luftkollektor gewonnene bzw. die in den luftdurchströmten Bauteilen eingespeicherte

Wärme zur Vorwärmung der dem Luftheizungssystem zugeführten Frischluft verwendet wird.

Selbst wenn der Solarwärmegewinn den Lüftungswärmeverlust ausgleicht oder übersteigt, so kann angenommen werden, daß zunächst der Einsatz einer Wärmerückgewinnungsanlage, die unabhängig von der Sonneneinstrahlung arbeitet, energetisch und auch wirtschaftlich sinnvoller wäre. In einem nächsten Schritt könnte dann ein durch den Einsatz warmluftdurchströmter Bauteile optimiertes Solarenergiesystem eine zusätzliche Einsparung bewirken.

Ähnlich verhält es sich mit dem System Arnke II.1.14 (Luftheizung mit passiver Sonnenenergienutzung).

Das Gebäudekonzept ist zwar unter dem Aspekt einer optimierten Strahlungssammlung entwickelt worden, eine Einrichtung zur Wärmerückgewinnung aus der Fortluft wurde jedoch nicht vorgesehen.

Diese Beispiele bestätigen die These vom besonderen Stellenwert einer realistischen Beurteilung der Rahmenbedingungen. Diese bilden erst die Basis für die Wahl von angemessenen Maßnahmen zur Energieeinsparung und die Einordnung der Verwendung luftdurchströmter, wärmespeichernder Bauteile in Verbindung mit passiven/hybriden Sonnenenergiesystemen in den Katalog dieser Maßnahmen (s. 1.1).

Die Problematik liegt im wesentlichen darin, daß sich diese Systemvoraussetzungen oder Rahmenbedingungen für den Einsatz luftdurchströmter Speicherbauteile im mitteleuropäischen Klima nicht so eindeutig darstellen wie in Gebieten mit z.B. extrem hohen Solarenergieangeboten.

Deshalb ist es um so wichtiger, daß anscheinend unter den Planern vielfach noch vorhandene Informationsdefizit bezüglich der energetisch wirksamen Einflußfaktoren und deren komplexen Wechselbeziehungen zu beseitigen.

Das Systemkonzept Küsgen II.1.6, Minimalenergiehäuser, ist weitestgehend unter Beachtung der in 1.1 dargestellten Rahmenbedingungen entwickelt worden. Die in 1.2 formulierten Anforderungen haben dabei jedoch nicht die volle Beachtung gefunden; besonders die energetische Bedeutung einer Integration des hybriden Solarenergiesystems in das Warmluftheizungssystem unter dem Aspekt der Mehrfunktionalität.

Das vom Fraunhofer-Institut entwickelte Systemkonzept II.1.6 ist als Reaktion auf die Rahmenbedingungen, die sich durch die Reduzierung der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste und die passive Sonnenenergienutzung eingestellt haben, entstanden.

Dieses Konzept kann als Voruntersuchung für eine Systementwicklung bezeichnet werden. Angestrebt wird eine Systemoptimierung, in dem die Qualitäten eines Luftheizungssystems mit

wirtschaftlichen Lösungsmöglichkeiten für eine verbesserte Nutzung solar erwärmter Luft in Form von innenliegenden, luftdurchströmten Speicherbauteilen verbunden werden.

Da die Versuchszelle lediglich zur Untersuchung der Eignung interner Bauteile als Kanalsystem und Speichermasse dient, muß der Systembetrieb und die Luftführung innerhalb der Versuchszelle immer unter Vorbehalt bzw. dem Aspekt des Untersuchungsschwerpunktes betrachtet werden. Die Integration eines derartigen Systems in ein Gebäude und die Kombination mit einer Luftheizungsanlage muß deshalb zu System-Modifikationen führen.

Man könnte bei dem System II.1.7 (Solpor-Sonnenwand) von einer "System-Modifikation" sprechen: es ist aus dem Porenlüftungssystem entwickelt worden, das zunächst als "zugfreie Stalllüftung", später auch zur Wohnungslüftung Verwendung fand. Durch Kombination mit einem Luftkollektor kann dieses System auch zur Strahlungssammlung herangezogen werden. Luftdurchströmte Teile der Gebäudehülle dienen dabei als Wärmespeicher; die Transmissionswärmeverluste der luftdurchströmten Bauteile werden dabei fast vollständig reduziert. Obwohl dieses System die Transmissionwärmeverluste verringert, muß angesichts der geringen luftdurchströmten Bauteilflächen und des extrem hohen Luftwechsels, der den Lüftungswärmebedarf erhöht, ein effizienter Systembetrieb infrage gestellt werden.

Die Übertragbarkeit des Prinzips "Porenlüftung" vom Stallbau auf den Wohnungsbau muß aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen angezweifelt werden.

Fazit:

- Das Bedürfnis nach Einhaltung der thermischen Behaglichkeit hat die Entwicklung einer großen Anzahl von Systemvarianten mit luftdurchströmten Speicherbauteilen verursacht bzw. forciert.
- Bezüglich der Rahmenbedingungen war in diesen Fällen das zeitweise auftretende, standortbedingt große Solarenergieangebot und/oder das große interne Wärmeaufkommen im Verhältnis zum Wärmebedarf und dem Wärmespeichervermögen (Bauweise) der Gebäude entscheidend; die Kollektorwirkung der Fenster einerseits sowie die Gebäudenutzung und die vorwiegend davon abhängenden, internen Wärmequellen bestimmten dabei die Größe der Wärmeüberschüsse.
- Gefördert wurde die Entwicklung und Verbreitung dieser Systeme dadurch, daß die Wirkung des Systembetriebs, die Verbesserung der thermischen Behaglichkeit bei gleichzeitiger Energieeinsparung, vom Nutzer direkt, z.T. am "eigenen Leib", wahrgenommen werden konnte.
- Unter hiesigen klimatischen Verhältnissen mit einem vergleichsweise geringen Solarenergieangebot, müssen zunächst

Rahmenbedingungen erzeugt werden, die die systembedingt erforderlichen Wärmeüberschüsse erwarten lassen. Dazu ist es notwendig (vgl. 1.1), die Wärmeverluste von Gebäuden bei gleichzeitiger Optimierung der Strahlungssammlung (Kollektorfläche/Wirkungsgrad) zu verringern.

- Die im mitteleuropäischen Klima systembedingt notwendigen Rahmenbedingungen und die auf sie wirkenden Einflußfaktoren stehen in einer komplexen Wechselbeziehung mit dem Systemkonzept bzw. -betrieb.
- Die Übertragung von Systemkonzepten, die für den Einsatz in Gebieten mit größerem Solarenergieangebot bestimmt sind, auf mitteleuropäische Verhältnisse ist nur eingeschränkt möglich. Es können jedoch Lastsituationen entstehen, die den Rahmenbedingungen für einige der untersuchten Systeme entsprechen. Inwieweit die daraus entstandenen Systemkonzepte dann für die Konzeption des optimierten Systems integrierbar sind, wird in 2.2 untersucht.
- Die Ausgangsbasis für die Untersuchungen der Fraunhofergesellschaft zum Systemkonzept II.1.6 deckt sich mit der im Rahmen dieser Arbeit aufgestellten These bezüglich der Systemvoraussetzungen bzw. Rahmenbedingungen. Sie kann deshalb als Grundlage für die angestrebte Systementwicklung dienen.

Systembeitrag zur Energieeinsparung

Anhand von Analogieschlüssen soll unter Berücksichtigung o.a. Rahmenbedingungen im nachfolgenden eine Prognose hinsichtlich des Systembeitrags zur Energieeinsparung gewagt werden. Die bereits erwähnte Energiebilanz für das Gebäude mit dem System II.1.17 soll als Ausgangspunkt für diese Prognose dienen.

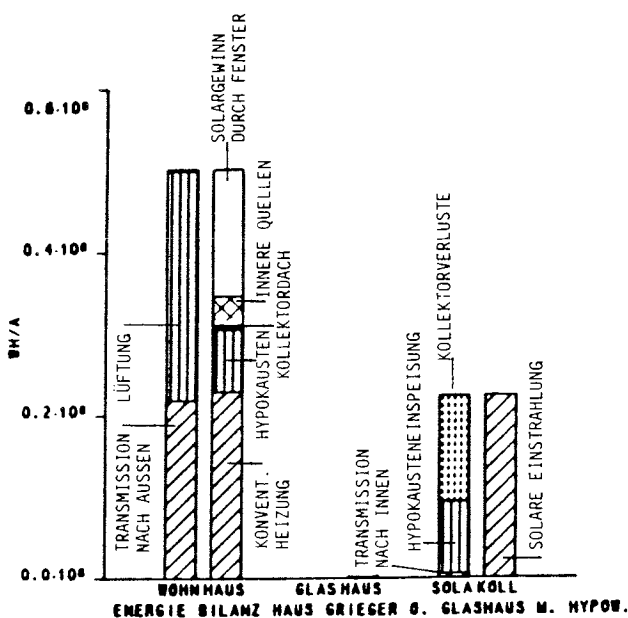


Abb. n. /S06/(S.19): Jährliche Energiebilanz für ein Gebäude mit dem System II.1.17, Hypokaustenwand, System Bambek

Geht man davon aus, daß die für dieses System vorgeschlagene kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung aus der Fortluft Eingang in das Systemkonzept gefunden hat, so kann folgende Hypothese aufgestellt werden:

- Die Verringerung der Lüftungswärmeverluste durch eine entsprechende Anlage mit einem Wirkungsgrad von ca. 70% hätte für dieses Gebäude zur Folge, daß theoretisch nur noch ein geringer Anteil des Wärmebedarfs vom aktiven Heizsystem gedeckt werden müßte.
- Eine zusätzliche Verminderung der Luftkollektor-Verluste, indem die Kollektorabdeckung aus Einfach-Glas durch eine Abdeckung mit thermisch besserer Qualität ersetzt wird, müßte theoretisch die Deckung des gesamten Wärmebedarfs dieses Gebäudes durch Solarenergiegewinne und den Wärmeeintrag aus internen Wärmequellen bewirken.
- Dem muß jedoch folgendes entgegengehalten werden: Die Energiebilanz beinhaltet lediglich die in die Hypokaustenwand eingespeiste Energie. Bedenkt man, daß ein großer Teil dieser eingespeicherten Energie, bedingt durch den geschlossenen Systembetrieb, unkontrolliert an die Räume abgegeben wird, auch dann, wenn kein Wärmebedarf vorhanden ist, so muß die Höhe des angegebenen Systembeitrags zur Gebäudeheizung angezweifelt werden. Zudem kann angenommen werden, daß es aufgrund des minimierten Wärmebedarfs bei gleichbleibenden Solarenergiegewinnen früher zu Wärmeüberschüssen bzw. Raumüberwärmungen kommt. Eine Intensivierung der Lüftung zur Erhaltung eines behaglichen Raumklimas wird dann häufig nur Abhilfe schaffen können (Lüftungswärmeverluste).
- Ein hybrides Solarenergiesystem mit luftdurchströmten, wärmespeichernden, internen Bauteilen (gem. 1.), das mit geringem Energieaufwand in der Lage ist,
 - a) Wärmeüberschüsse der Räume in ein thermisch flinkes, offenes Luftheizungssystem einzuspeisen und ggf. in Bereiche mit Wärmedefizit zu befördern und
 - b) Wärme in luftdurchströmten Bauteilen kontrolliert zu speichern und zu entnehmen,

könnte diese Nachteile ausgleichen und die solare Deckungsrate erheblich erhöhen. Damit wäre es dann möglich, den Wärmebedarf von Gebäuden mit Hilfe der Solarwärmegewinne und dem Wärmeeintrag aus internen Wärmequellen zu einem großen Teil zu decken.

2.2 Systeme in Abhängigkeit von ihrem Wirkungsprinzip

SYSTEMKONZEPT 1		KONSTRUKTIONSPRINZIP				
LUFTDURCHSTRÖMTE BAUTEILE		LK	LK	WG	SW-LK	WG/SW-LK
LUFTDURCHSTRÖMTE BAUTEILE		BAUTEIL AUSBILDUNG				
KOLLEKTOREINRICHTUNG		ANSCHLÜSSE				

Systemkonzept 1

Systembetrieb:

Kennzeichnend für dieses Systemkonzept ist der geschlossene Systemkreislauf, d.h., zwischen Kollektoreinrichtung und Speicherbauteil zirkuliert ein geschlossener Luftkreislauf. Als Kollektoreinrichtung dienen entweder Wintergärten oder Luftkollektoren. Die Kombination mehrerer Kollektoreinrichtungen ist nicht vorgesehen. Aus dem geschlossenen Systemkreislauf ergeben sich für den Systembetrieb eine Reihe von Nachteilen, die bereits in I.3 ausführlich dargestellt wurden; sie liegen vor allem in

- der mangelnden Eignung zur Vermeidung von Raumüberwärmungen und Nutzung interner Wärmeaufkommen/-überschüsse;
- der systembedingten thermischen Trägheit;
- der mangelnden Eignung zur Wärmeverschiebung in Defizitbereiche;
- der fehlenden Integration einer kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung aus der Fortluft;
- der eingeschränkten Eignung zur Kombination mit der haustechnischen Peripherie;
- der unregelmäßigen unkontrollierten Speicherentladung, das bedeutet Speicherentladung auch dann, wenn kein Wärmebedarf besteht;
- dem teilweise mangelhaften Temperaturprofilverlauf im Raum sowie
- einer eingeschränkten Eignung zur Gebäudekühlung.

Dem müssen aber auch einige positive Aspekte des geschlossenen Systemkreislaufs entgegengehalten werden. Diese liegen vornehmlich in

- einer sehr guten Wärmespeicherfähigkeit, d.h., die im Kollektor erwärmte Luft kann mit relativ hohen Temperaturen und Geschwindigkeiten in das Speicherbauteil eingespeist werden, ohne die thermische Behaglichkeit im Raum negativ zu beeinflussen.
- kaum vorhandenen hygienischen Problemen aufgrund des geschlossenen Luftkreislaufs und
- nicht zu erwartender akustischer Probleme.

Eignung des Systemkonzeptes für den optimierten Systembetrieb

Das Systemkonzept entspricht prinzipiell nicht den Anforderungen aus 1. an ein optimiertes, hybrides Solarenergiesystem mit luftdurchströmten Speicherbauteilen. Der Systembetrieb könnte jedoch als Systembetriebs-Variante, die dem Lastfall 3 entspricht (vgl. 1.4) Eingang in das angestrebte Systemkonzept finden.

SYSTEMKONZEPT 2	LUFTDURCHSTRÖMTE BAUTEILE					KOLLEKTOREINRICHTUNG	
	BAUTEIL	BAUTEIL	BAUTEIL	BAUTEIL	BAUTEIL	FENSTER (F)	WINTERGARTEN (WG)
 KONSTRUKTIONSPRINZIP II 1.3 AIRFLOOR	 BAUTEIL AUSBILDUNG					 ANSCHLÜSSE	WG
							 II 1.8 HOHLKÖRPERDECKE

SYSTEMKONZEPT 2.1	LUFTDURCHSTRÖMTE BAUTEILE					KOLLEKTOREINRICHTUNG	
	BAUTEIL	BAUTEIL	BAUTEIL	BAUTEIL	BAUTEIL	FENSTER (F)	WINTERGARTEN (WG)
 KONSTRUKTIONSPRINZIP II 1.16 TRANSPARENTE WD	 BAUTEIL AUSBILDUNG					 ANSCHLÜSSE	SW-LK (F)

Systemkonzepte 2 und 2.1

Systembetrieb:

Der Systembetrieb des Systemkonzeptes 2 wird gegenüber einem geschlossenen Systemkreislauf um eine Variante, nämlich den offenen Systembetrieb zur Speicherentladung, erweitert. Dadurch konnte eine verbesserte Ausnutzung der Solarenergiegewinne erreicht werden.

Die Strahlungssammlung erfolgt bei diesem Systemkonzept über Wintergärten oder Luftkollektoren.

Gegenüber dem ausschließlich geschlossenen Systemkreislauf hat dieses Konzept den Vorteil

- eines verbesserten thermischen Reaktionsvermögens, d.h., es reagiert thermisch flinker als der geschlossene Systemkreislauf.
- einer eingeschränkten Regelung der Speicherentladung;
- einer Eignung zur Gebäudekühlung.

Verbessert wird das Systemkonzept 2 durch die Variante 2.1. Während das erstgenannte vorwiegend die Speicherbe- und -entladung verbessert, ermöglichen beim Systemkonzept 2.1 fünf unterschiedliche Systembetriebs-Varianten eine verbesserte Anpassung an sich ändernde Lastsituationen; folgende Systembetriebs-Varianten sind möglich:

- direkte Raumheizung aus dem Kollektor;
- Raumheizung aus der Speicherwand;
- Speicherwand laden aus dem Kollektor und
- Kühlung des Kollektors.

Die Strahlungssammlung erfolgt bei diesem Systemkonzept durch Luftkollektoren (Luftkollektor-Sonnenwand); der Einsatz einer transparenten Wärmedämmung läßt dieses Kollektorsystem besonders effektiv arbeiten.

Die Kombination der Kollektoreinrichtungen "Fenster mit dahinterliegendem Raum" und Luftkollektor ist lediglich bei der direkten Raumbeheizung aus dem Kollektor möglich.

Hinsichtlich seiner Wirkungsweise weist das Systemkonzept 2.1 noch eine Reihe von Mängeln auf. Sie liegen hauptsächlich in

- der eingeschränkten Möglichkeit interne Wärmeüberschüsse in den Systemkreislauf einzuspeisen.

- der beschränkten kontrollierten Raumlüftung, d.h., eine Raumlüftung mit Hilfe dieses Systems ist nur bei offenem Systembetrieb möglich, die gleichzeitige Speicherung von Wärmeüberschüssen ist augenscheinlich ausgeschlossen; die Wärmerückgewinnung aus der Fortluft ist nicht Systembestandteil.
- der noch nicht vorgesehenen Kombination mit der übrigen haustechnischen Peripherie (Versuchsstadium!) und
- der eingeschränkten Eignung zur Gebäudekühlung.

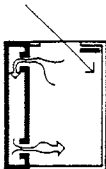
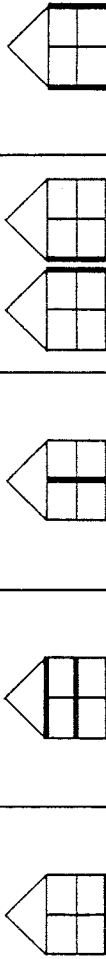
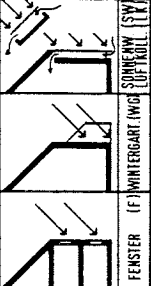

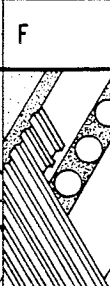
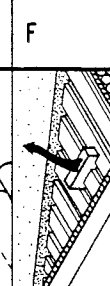

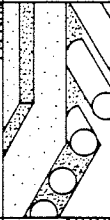
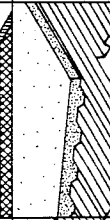
Hinsichtlich akustischer und hygienischer Systemeigenschaften liegen keine Angaben vor.

Die Vorteile dieses Systemkonzeptes liegen vor allem in

- einem thermisch relativ flinken Reaktionsvermögen auf sich ändernde Rahmenbedingungen;
- einer stark verbesserten Wärmenutzung durch
 - a) die Möglichkeit der direkten Raumheizung mit Solarenergiegewinnen,
 - b) die Speicherung von Wärmeüberschüssen im geschlossenen Systembetrieb und
 - c) die geregelte Wärmeentnahme aus dem Speicher.
- dem positiven Einfluß auf das Temperaturverlaufsprofil im Raum und
- der Möglichkeit zur Kollektorkühlung.

Eignung der Systemkonzepte für den optimierten Systembetrieb:

Mit den Systemkonzepten 2 und 2.1 ist eine wesentliche Verbesserung des System-Wirkungsgrades gegenüber einem geschlossenen Systembetrieb erreicht worden. Diese Konzepte entsprechen lediglich in Teilen den Anforderungen aus 1.. Mit seinen fünf System-Varianten kann das Systemkonzept 2.1 jedoch schon relativ differenziert auf sich ändernde Lastsituationen reagieren: Es wird den Lastsituationen 2, 3, 6 und 11 (vgl. 1.4) gerecht. Die Berücksichtigung dieser Systembetriebs-Varianten in der angestrebten Systementwicklung erscheint deshalb sinnvoll.

SYSTEMKONZEPT 3	LUFTDURCHSTRÖMTE BAUTEILE	KOLLEKTOREINRICHTUNG	ANSCHLÜSSE						
			F	F	F				
									
KONSTRUKTIONSPRINZIP	BAUTEILAUSBILDUNG								
			II 1.10 MITCHELL	II 1.13 ACORN-SLAB	II 1.11 CHALEFF-SLAB				

Systemkonzept 3

Systembetrieb:

Dieses Systemkonzept nutzt ausschließlich das Wärmeaufkommen im Gebäude aus Solareinstrahlung und internen Wärmequellen. Ein offener Systemkreislauf bewirkt eine Speicherbeladung im Falle von Raumüberwärmungen, indem erwärmte Luft in ein Speicherbauteil geführt wird, dort Wärme abgibt und schließlich abgekühlt wieder in den Raum gelangt. Entsteht ein Wärmebedarf im Raum, dann wird die Raumluft in einem Luftkreislauf durch das Speicherbauteil geführt, dort erwärmt und schließlich wieder in den Raum geleitet.

Zur Strahlungssammlung werden, systembedingt, ausschließlich Fenster benutzt.

Die Mängel eines derartigen Systembetriebs liegen vorwiegend in

- der Festlegung auf ein einziges Kollektorsystem;
- der eingeschränkten Systemeignung zur Wärmeverschiebung;
- der nicht integrierten kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- der fehlenden Kombination mit der haustechnischen Peripherie;
- der problembehafteten Wärmespeicherung, d.h., die geringen Raumüberwärmungen erfordern relativ hohe Speichermassen/-oberflächen und Volumenströme;

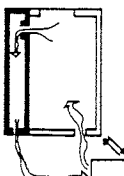
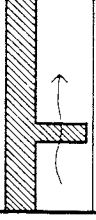
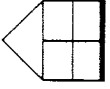

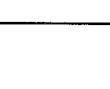
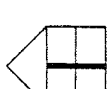
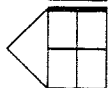


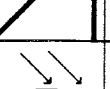
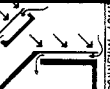
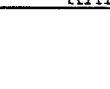
Bezüglich systembedingter, akustischer und hygienischer Störeinflüsse können keine Angaben gemacht werden.

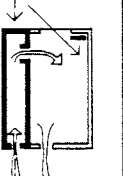
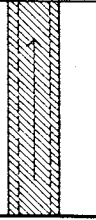
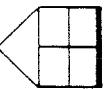

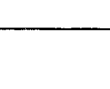

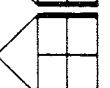


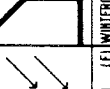


Die Qualitäten dieses Systembetriebs liegen vor allem in

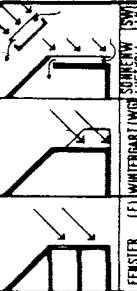
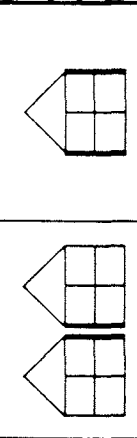

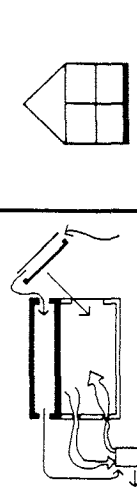
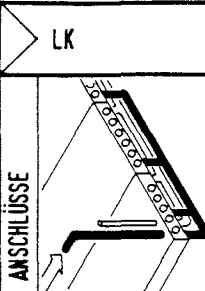
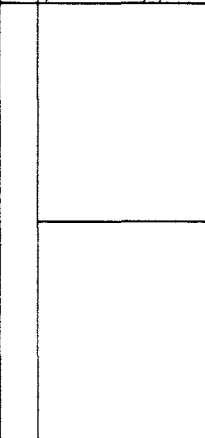
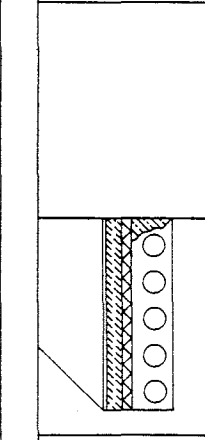
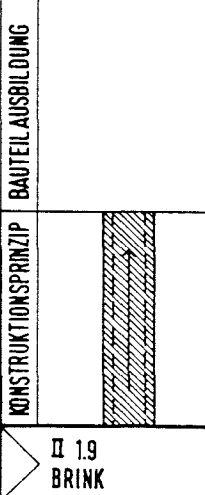
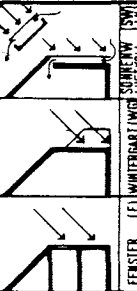
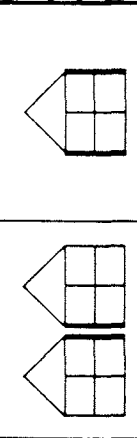

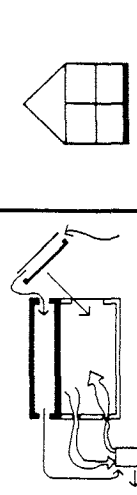
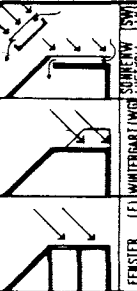
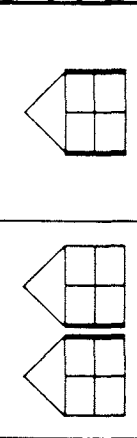

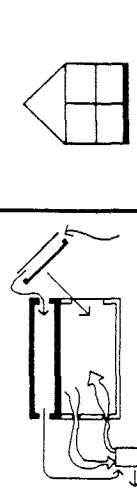
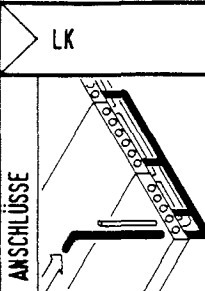
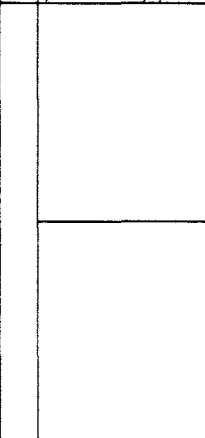
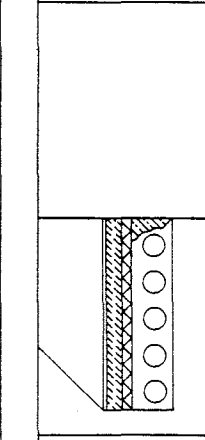
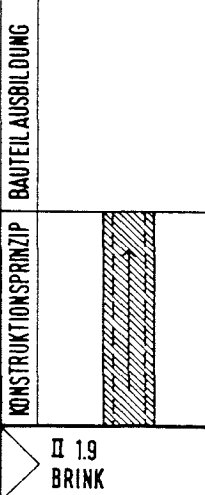
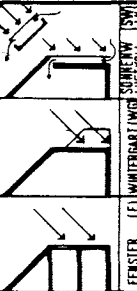
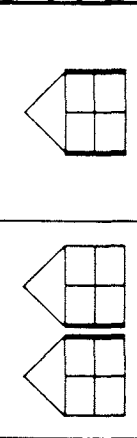

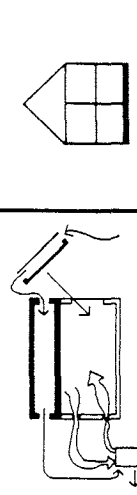
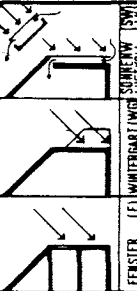
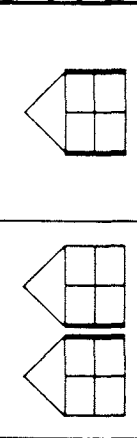

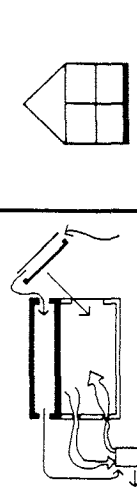
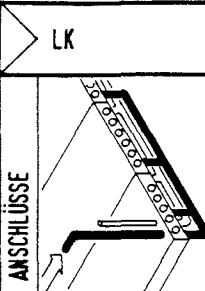
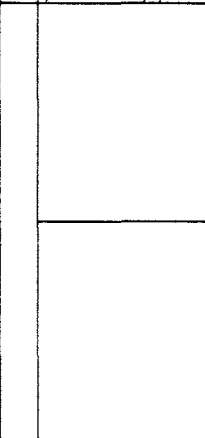
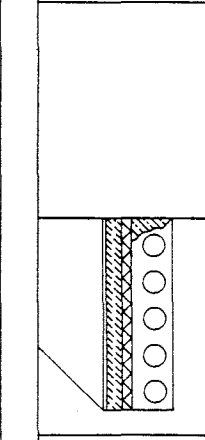
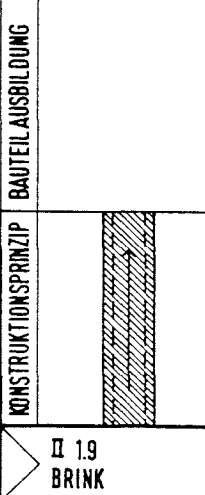
- dem verbesserten thermischen Reaktionsvermögen;
- der Verhinderung von Raumüberwärmungen und der Stabilisierung des Raumklimas; d.h., Standards der thermischen Behaglichkeit werden eingehalten;
- der, zwar eingeschränkten, Eignung zur Gebäudekühlung sowie
- dem positiven Einfluß auf den Temperaturprofilverlauf im Raum.

Eignung des Systemkonzeptes für den optimierten Systembetrieb

Das Systemkonzept 3 mit ausschließlich offenem Systemkreislauf kann als Gegenstück zum Systemkonzept 1 mit ausschließlich geschlossenem Systemkreislauf betrachtet werden, d.h., die geringe Anzahl möglicher Systembetriebs-Varianten verhindert ein differenziertes Reagieren auf veränderte Lastsituationen. Das Konzept 3 wird daher nur eingeschränkt den Anforderungen aus 1. gerecht: Der Systembetrieb ist lediglich für die Lastsituationen 5 und 6 (vgl. 1.4) geeignet. Die Verwendung innerhalb des angestrebten Systemkonzeptes ist damit aufgezeigt.

SYSTEMKONZEPT 4		LUFTDURCHSTRÖMTE BAUTEILE						KOLLEKTOREINRICHTUNG					
 KONSTRUKTIONSPRINZIP	 BAUTEILAUSBILDUNG											ANSCHLÜSSE FENSTER (F) WINTERGARTEN (WG) SOMMER (S) WINTER (W) LÜFTUNG (L)	F
		II 1.1 HAMBRO											

SYSTEMKONZEPT 4.1		LUFTDURCHSTRÖMTE BAUTEILE						KOLLEKTOREINRICHTUNG					
 KONSTRUKTIONSPRINZIP	 BAUTEILAUSBILDUNG											ANSCHLÜSSE FENSTER (F) WINTERGARTEN (WG) SOMMER (S) WINTER (W) LÜFTUNG (L)	F
		II 1.2 ISFÄLT											
													II 1.15 SEPPANEN

SYSTEMKONZEPT 4.2	LUFTDURCHSTROMTE	BAUTEILE	KOLLEKTOREINRICHTUNG																								
<p>SYSTEMKONZEPT 4.2</p> 	<p>LUFTDURCHSTROMTE</p> 	<p>BAUTEILE</p> 	<p>KOLLEKTOREINRICHTUNG</p> 	<p>FENSTER (F) WINTERWÄRMEN SÜDKENNE</p> 	<p>FENSTER (F) WINTERWÄRMEN SÜDKENNE</p> 	<p>FENSTER (F) WINTERWÄRMEN SÜDKENNE</p> 	<p>FENSTER (F) WINTERWÄRMEN SÜDKENNE</p> 	<p>ANSCHLÜSSE</p> 	<p>ANSCHLÜSSE</p> 	<p>ANSCHLÜSSE</p> 	<p>ANSCHLÜSSE</p> 																
<p>KONSTRUKTIONSPRINZIP</p> 	<p>BAUTEIL-AUSBILDUNG</p> 	<p>BAUTEILE</p> 	<p>KOLLEKTOREINRICHTUNG</p> 	<p>FENSTER (F) WINTERWÄRMEN SÜDKENNE</p> 	<p>FENSTER (F) WINTERWÄRMEN SÜDKENNE</p> 	<p>FENSTER (F) WINTERWÄRMEN SÜDKENNE</p> 	<p>FENSTER (F) WINTERWÄRMEN SÜDKENNE</p> 	<p>ANSCHLÜSSE</p> 	<p>ANSCHLÜSSE</p> 	<p>ANSCHLÜSSE</p> 	<p>ANSCHLÜSSE</p> 																
<p>II 1.9 BRINK</p>																											

Systemkonzept 4; 4.1; 4.2

Systembetrieb:

Bei diesen Systemkonzepten handelt es sich um passive/hybride Solarenergiesysteme in Verbindung mit Luftheizungssystemen im offenen Systembetrieb.

Das Konzept 4 nutzt das Wärmeaufkommen im Gebäudeinneren vorwiegend aus Sonneneinstrahlung, indem bei Wärmeüberangebot die erwärmte Raumluft in eine Speichermasse geführt wird (Rückluftstrom), dort Wärme abgibt und schließlich in die Luftheizungszentrale gelangt. Von dort wird die Luft, nachdem sie ggf. in diesem Gerät aufgewärmt wurde, wieder den Räumen zugeleitet. Ist in den Räumen ein Wärmedefizit entstanden, dann wird die kühle Raumluft durch das Speicherbauteil geleitet, dort erwärmt und schließlich in die Luftheizungszentrale geführt. Nach einer ggf. notwendigen Aufheizung erfolgt dann die Verteilung der Luft in die unterschiedlichen Räume.

Systembedingt ist bei diesem Konzept eine Strahlungssammlung durch Fenster erforderlich.

Gegenüber dem Systemkonzept 4 wird im Konzept 4.1 eine Änderung an der Reihenfolge der Systemkomponenten im Systemkreislauf vorgenommen; das Speicherbauteil liegt hier im Zuluftstrom. Diese Anordnung wurde aus folgenden Gründen gewählt:

Das Wärmeaufkommen aus internen Wärmequellen überschreitet bei diesem Systemkonzept während der Zeit der Gebäudenutzung permanent den Wärmebedarf. Eine aktive Zusatzheizung ist daher nur in seltenen Fällen notwendig. Lediglich in der Anheizphase wird das Speicherbauteil durch das aktive Heizsystem auf Raumlufttemperatur gebracht, danach erfolgt die Speicherbeladung bzw. die Wärmeentnahme durch den, das Bauteil durchströmenden, Luftstrom. Die Lage des Bauteils, im Vor- oder Rückluftstrom, ist dann bezüglich der Systemwirkungsweise unbedeutend. - Der Nutzer ist jedoch veranlaßt, bei unbehaglichen Raumtemperaturen den Heizungsbetrieb bzw. die Luftzirkulation zu regeln.

Die Luftheizung innerhalb des Systemkonzeptes 4.2 arbeitet im Mischluftbetrieb. Der notwendige Frischluftanteil hierfür wird über einen Luftkollektor angesaugt und dort erwärmt. Danach strömt die Luft in das Speicherbauteil, gibt dort Wärme ab und wird schließlich der im Heizungssystem zirkulierenden Luft beigemischt. Bei fehlenden Solarenergiegewinnen erfolgt das Ansaugen des kühlen Frischluftanteils ebenfalls durch den Luftkollektor. Während die Luft durch das aufgeladene Speicherbauteil strömt, wird sie vorgewärmt und gelangt dann in den zirkulierenden Luftkreislauf der Heizung.

Dieser Systemkreislauf dient damit überwiegend der Verringerung von Lüftungswärmeverlusten. Da mit den in 1. geforderten Anlagen zur kontrollierten, mechanischen Raumlüftung mit Wärmerückgewinnung aus der Fortluft ebenfalls diese Reduktion

der Lüftungswärmeverluste erreicht werden kann, bei gleichzeitiger Energieeinsparung durch Nutzung von Solarwärmegewinnen ist das Systemkonzept 4.2 für den angestrebten Systembetrieb ungeeignet (s. 2.1).

Die Mängel der Systemkonzepte 4 und 4.1 liegen vor allem in

- der Festlegung auf das Kollektorsystem "Fenster mit dahinterliegendem Raum";
- der nicht vorhandenen Kombination mehrerer unterschiedlicher Kollektoreinrichtungen;
- der zwar kontrollierten, mechanischen Raumlüftung, jedoch ohne Wärmerückgewinnung aus der Fortluft und
- der unbefriedigenden Wärmespeicherung, d.h., aufgrund zulässiger Raumüberwärmungen von lediglich 4K (Behaglichkeit) ist der konvektive Wärmeübergang von der Luft zum Speicherbauteil gering.

Hygienische und akustische Störeinflüsse, die von diesen Systemkonzepten ausgehen, sind bisher nicht bekannt.

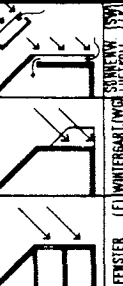
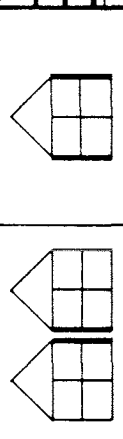
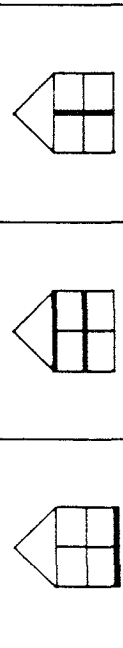
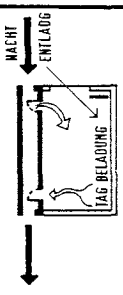
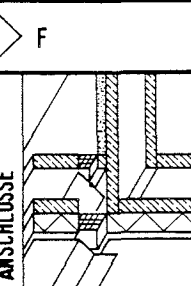
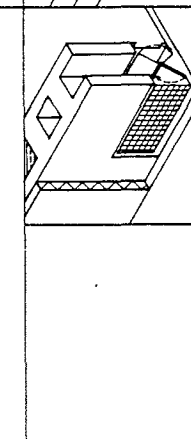
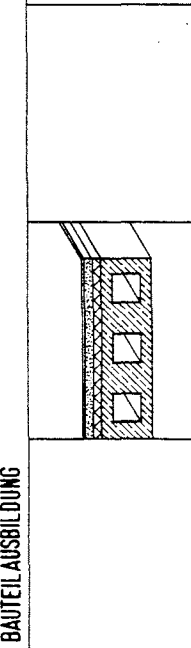
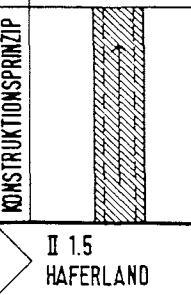
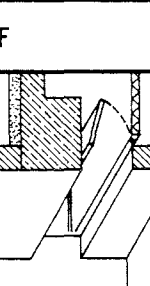
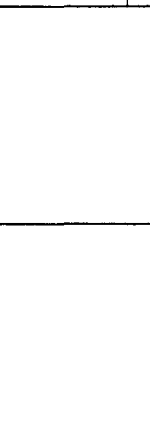
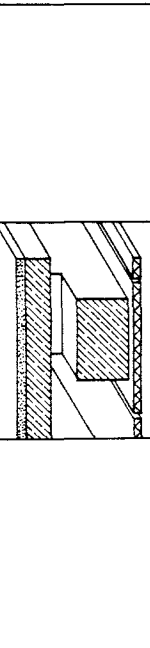
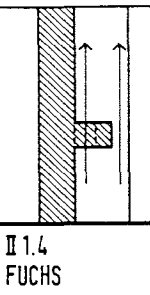

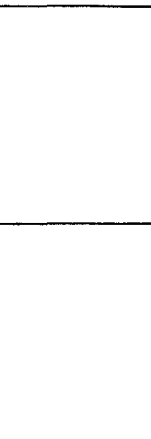







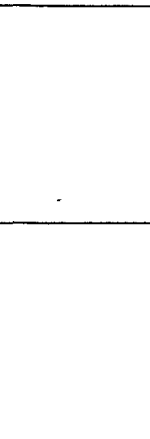


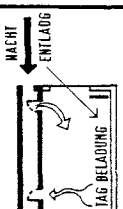
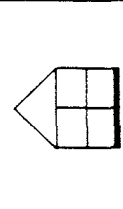
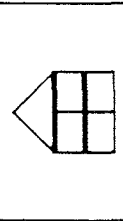
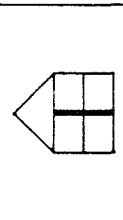
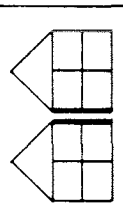
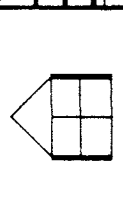
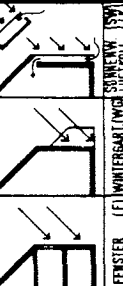
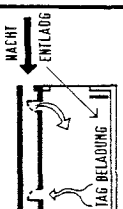
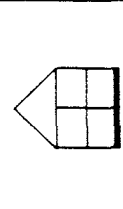
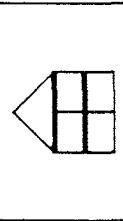
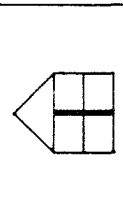
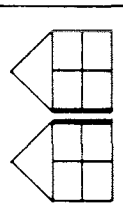
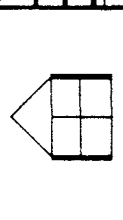
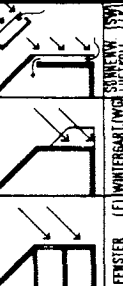
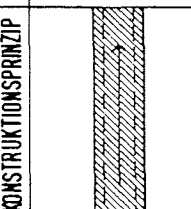

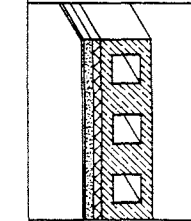
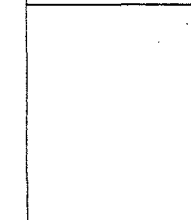
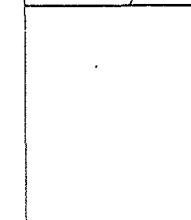
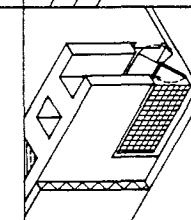
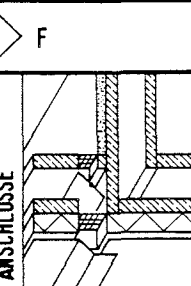
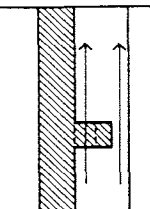

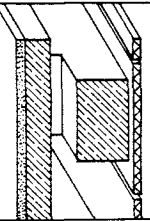



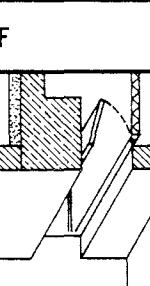





















Die positiven Eigenschaften dieser Systemkonzepte liegen vor allem in

- der Verhinderung von Raumüberwärmungen und der Stabilisierung des Raumklimas;
- dem thermisch flinken Heizsystem;
- der Möglichkeit der Wärmeverschiebung in Defizitbereiche;
- der besonders unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit hervorzuhebenden Kombination mit der haustechnischen Peripherie (Heizung/Lüftung - leider ohne Wärmerückgewinnung) und
- der zumindest teilweise vorhandenen Eignung zur Gebäudekühlung.

Eignung der Systemkonzepte für den optimierten Systembetrieb:

Die bei den Systemkonzepten vorgenommene Kombination mit der haustechnischen Peripherie entspricht den Anforderungen aus 1. Die Systembetriebsweise der Konzepte 4 und 4.1 ist in den Lastsituationen 5, 6, 9 und 11 (vergl. 1.4) sinnvoll und bietet günstige Voraussetzungen für weitere Maßnahmen zur Systemoptimierung.

Diese Systemkonzepte sollten deshalb die Basis für die angestrebte Systementwicklung bilden.

SYSTEMKONZEPT 5	LUFTDURCHSTRÖMTE BAUTEILE	KOLLEKTOREINRICHTUNG																																														
																																																

Systemkonzept 5

Systembetrieb:

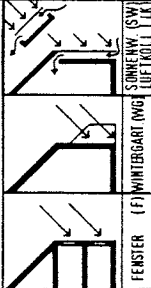
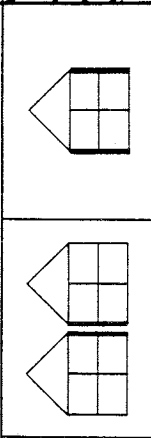
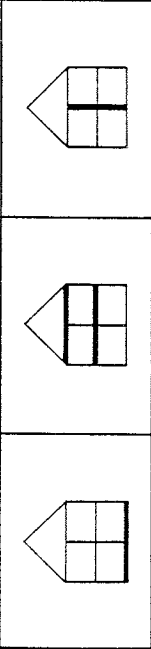
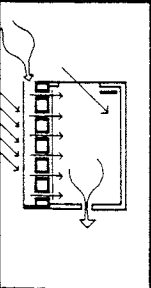
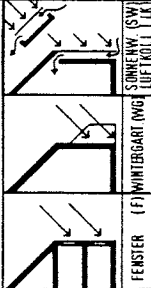
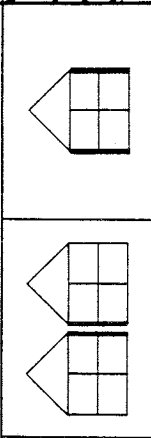
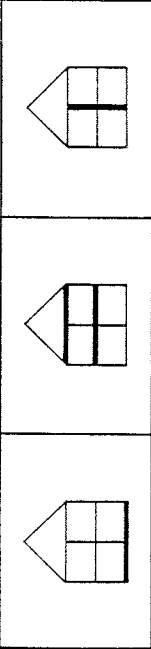
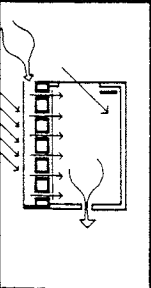
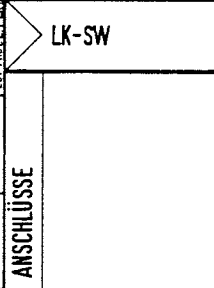
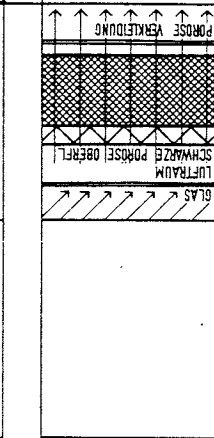
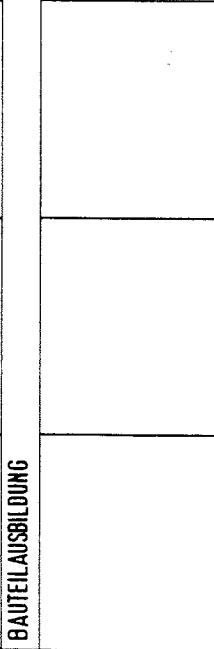
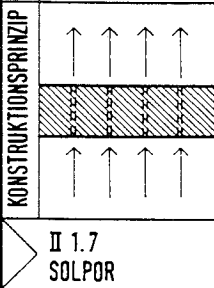
Dieses Systemkonzept dient im Gegensatz zu den vorgenannten Konzepten ausschließlich der Gebäudekühlung; dieser Aspekt wirkt sich wesentlich auf die Beurteilung des Systembetriebes aus.

Eine Abgabe der gespeicherten Wärme an das Gebäudeinnere ist aufgrund des hohen Wärmeangebotes aus internen Wärmequellen nicht geplant. Während des Tages bewirkt ein Luftkreislauf zwischen Raum und Speicherbauteil eine Speicherbeladung, sobald Raumüberwärmungen auftreten. Des nachts erfolgt die Speicherentladung, indem kühle Außenluft in das Speicherbauteil geleitet wird, sich dort erwärmt und wieder ins Freie gelangt.

Positiv ist die Wirkung des Systembetriebes besonders auf die Stabilisierung des Raumklimas.

Eignung des Systemkonzeptes für den optimierten Systembetrieb:

Der Systembetrieb des Konzeptes 5 ist in der Lastsituation 11 (vgl. 1.4) sinnvoll.

SYSTEMKONZEPT 6	LUFTDURCHSTRÖMTE BAUTEILE	KOLLEKTOREINRICHTUNG	ANSCHLÜSSE	FENSTER (F) WINTERGART (WG) SOMMERW. (SW) LUFTKOLL. (LK)	KONSTRUKTIONSPRINZIP	BAUTEILAUSBILDUNG	LK-SW								
								 <p>GLAS LUFTRÄUM SCHWARZE PORÖSE OBERFL. PORÖSE VERKLEIDUNG</p>							

Systemkonzept 6

Systembetrieb:

Der Systembetrieb dieses Konzeptes kann als Sonderfall bezeichnet werden; er wurde aus dem System für eine "zugfreie Stalllüftung" entwickelt.

Die Strahlungssammlung erfolgt über einen Luftkollektor, der einer porösen Außenwand vorgelagert ist. Aus diesem Kollektor wird die erwärmte Luft durch die Poren der massiven Außenwand geleitet, erwärmt dabei die Wand und strömt schließlich in das Gebäudeinnere. Eine fast vollständige Reduktion der Transmissionswärmeverluste wird durch diese Luftströmung ebenfalls erreicht. Bleiben Solarenergiegewinne aus, wird kühle Außenluft durch die warme Außenwand geführt und dort erwärmt, bevor sie in den Raum gelangt.

Die Systemmängel liegen vor allem in

- einem beschränkten thermischen Reaktionsvermögen;
- der fehlenden Möglichkeit zur Wärmeverschiebung in Defizitbereiche;
- dem systembedingt hohen Luftwechsel ohne Wärmerückgewinnung;
- der fehlenden Kombinationsmöglichkeit mit der haustechnischen Peripherie und
- der eingeschränkten Gebäudenutzung, da die durchströmten Bauteile innenseitig luftdurchlässig verkleidet werden müssen und die Luftführung nicht von Möbeln etc. behindert werden darf.

Die positiven Eigenschaften eines derartigem Systembetriebs liegen vor allem in

- einem effektiven Kollektorsystem;
- dem guten Wärmespeichervermögen (hohe Temperaturdifferenzen);
- der Vermeidung von Transmissionswärmeverlusten im Bereich der durchströmten Bauteile und
- dem positiven Einfluß auf den Temperaturprofilverlauf im Raum.

Hinsichtlich akustischer und hygienischer Störeinflüsse durch den Systembetrieb liegen keine ausreichenden Erkenntnisse vor.

Eignung des Systemkonzeptes für den optimierten Systembetrieb:

Die Mängel dieses Systemkonzeptes, besonders die auf- und notwendige Porenwandkonstruktion, hohe Lüftungswärmeverluste sowie die Beeinträchtigungen der Raumnutzung, sind so schwerwiegend, daß trotz der Qualitäten dieses Konzeptes auf eine Berücksichtigung hinsichtlich einer Systemoptimierung verzichtet werden muß.

2.2.1 Kollektoreinrichtungen

Drei unterschiedliche Kollektoreinrichtungen kommen bei den siebzehn untersuchten Systemen zur Anwendung: Wintergärten, Fenster mit dahinterliegendem Raum sowie Luftkollektoren/Sonnenwände.

Die Häufigkeit dieser Kollektoreinrichtungen zur Strahlungssammlung verteilt sich folgendermaßen:

- 4 Systeme Wintergärten
- 8 Systeme Fenster und
- 9 Systeme Luftkollektoren/Sonnenwände.

Anmerkung: Beachtet werden muß dabei, daß einige Systeme mit mehreren, unterschiedlichen Kollektoreinrichtungen kombinierbar sind.

Der relativ seltene Einsatz von Wintergärten im Zusammenhang mit luftdurchströmten Bauteilen scheint die These von deren eingeschränkter Eignung zur Strahlungssammlung zu bestätigen.

Die relativ häufige Verwendung von Fenstern zur Strahlungssammlung ergibt sich zwangsläufig daraus, daß eine ganze Reihe von Systemen unter dem Aspekt der Verhinderung von Raumüberwärmungen, aufgrund des Wärmeeintrags durch Fenster, entstanden sind. Zum anderen ist die Einfachheit und die "Mehrfunktionalität" dieses Bauteils hervorzuheben.

Der wirkungsvolle Einsatz von Luftkollektoren, trotz relativ hoher Eigenwärmeverluste, spiegelt sich in der häufigen Verwendung dieser Einrichtung wieder.

Eine Verringerung der Eigenwärmeverluste und damit eine Verbesserung des Wirkungsgrades von Luftkollektoren konnte beim System II.1.16 durch den Einsatz einer besonderen Kollektorabdeckung erreicht werden:

Im Gegensatz zu den vorgenannten Einrichtungen zur Strahlungssammlung ist eine transparente Kollektorabdeckung bei Luftkollektoren nutzungsbedingt nicht notwendig. Daher konnte eine transluzente Wärmedämmung als Abdeckung eingesetzt werden (kleiner k-Wert, großer g-Wert). Praktische Untersuchungen derartiger Luftkollektoren durch die Fraunhofergesellschaft hatten positive Ergebnisse (positive k-Werte, s. II.1.16).

Transparente bzw. transluzente Wärmedämmungen sollten deshalb als Kollektorabdeckung auch in dem angestrebten Systemkonzept Verwendung finden.

2.2.2 Wärmespeicherung in luftdurchströmten Bauteilen

Zunächst muß festgestellt werden, daß die Untersuchung vorhandener Systeme mit wärmespeichernden, luftdurchströmten

Bauteilen keine neuen Erkenntnisse hinsichtlich des Wärmespeichervorgangs im Bauteil bzw. der Luftführung im Speicherbauteil geliefert hat.

Für eine Systemkonzept-Entwicklung muß deshalb auf die Erkenntnisse aus 1.3 zurückgegriffen werden.

Für die Beurteilung vorhandener luftdurchströmter Speicherbauteile soll folgende Vorgehensweise gewählt werden:

Zunächst soll die Liste der vorhandenen Speicherbauteile um diejenigen verringert werden,

- die aus hygienischer Sicht bedenklich sind (s. /B13/),
- die ausschließlich als Außenbauteile verwendbar sind und
- deren Speicheroberflächen wegen der fehlenden 'Rauhigkeit' einen mit Mängeln behafteten Wärmeübergang erwarten lassen.

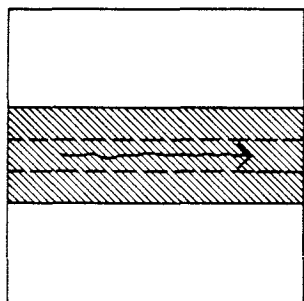
Die restlichen Speicherbauteile werden dann, gegliedert nach ihrem Konstruktionsprinzip, unter Berücksichtigung der übrigen Anforderungen aus 1.3, bewertet.

Bedenken bestehen für den Einsatz von Speicherbauteilen folgender Systeme:

- II.1.13 Acorn Slab
die Oberfläche der Speicherkanäle bestehen bei diesem System aus Kunststoff; aus hygienischer Sicht ist die Verwendung dieses Materials bedenklich (s. 1.3).
- II.1.11 Chaleff-Slab
die Luftkanäle dieses Systems werden zum einen von Dämmstoffen zum anderen von Trapezblechen gebildet und befinden sich unterhalb der Sohlplatte; die Bedenken sind besonders hygienischer Natur. Zudem erfolgt die Wärmespeicherung in einem Bauteil der Gebäudehülle (s. 1.3).
- II.1.17 Hypokausten-Wand; II.1.14 System Arnke; II.1.3 Airfloor
die Luftkanäle innerhalb der Speichermassen dieser Systeme bestehen aus Blechformteilen, Blechröhren etc.. Hinsichtlich der Verwendung von Blechteilen in der Speichermasse liegen noch keine ausreichenden Erkenntnisse in bezug auf die Hygiene vor (Feuchtigkeitsniederschlag im System). Außerdem muß die Wirtschaftlichkeit dieser Speicherbauteilausbildung angezweifelt werden. Deshalb und unter Berücksichtigung einer mangelhaften 'Rauhigkeit' der Metalloberflächen für einen befriedigenden Wärmeübergang sollte zunächst (bis entsprechende Erkenntnisse vorliegen) auf derartige Bauteilausbildungen verzichtet werden (s. 1.3).
- II.1.10 Beton-Sohlplattenspeicher
als Wärmespeicher wird die Sohlplatte aktiviert; die Wärmespeicherung ausschließlich innerhalb der Gebäudehülle ist für die angestrebte Systemoptimierung aus energetischer Sicht nicht sinnvoll.

Anmerkung: Nochmals soll darauf hingewiesen werden, daß mangels gesicherter Erkenntnisse zur Zeit auf den breiten Einsatz vorgenannter Bauteile verzichtet werden soll. Erst die in /B13/ geforderten Untersuchungen können Aufschluß hinsichtlich einer Verwendung dieser Bauteile als luftdurchströmte Speichermassen liefern.

Konstruktiv notwendige Bauteile, die von Luft durchströmt werden



Derartige Bauteile können grundsätzlich in zwei Gruppen unterteilt werden:

- Bauteile, deren zusätzliche Funktion zur Luftführung und Wärmespeicherung eine Vergrößerung des konstruktiv notwendigen Bauteilquerschnitts verursacht hat und
- Bauteile, als deren Bestandteil bereits Kanäle zur Luftführung vorhanden sind, ohne eine Vergrößerung des Bauteilquerschnitts zu bewirken.

Zur ersten Gruppe zählt z.B. die Hypokausten-Wand (System Bambek, II.1.17), dessen konstruktiv notwendiger Wandquerschnitt aufgrund der zusätzlichen Funktion auf 52cm vergrößert werden mußte.

Für die weitere Betrachtung im Rahmen dieser Untersuchung spielen derartige Bauteile keine Rolle, weil bereits wegen hygienischer Vorbehalte auf deren Verwendung zunächst verzichtet werden sollte.

Bauteile, die bereits über Kanäle zur Luftführung verfügen, bilden die größte Gruppe innerhalb der vorhandenen Systeme. Diese Bauteile bestehen ausschließlich aus vorgefertigten Stahlbeton-Hohlplatten. Bei den Systemen

- II.1.2 Thermodeck (Isfält)
- II.1.9 Luftheizung mit Speicherdecken (Brink)
- II.1.12 Flexicore und
- II.1.15 Hohlkammer-Decken, System Seppanen/Ripati

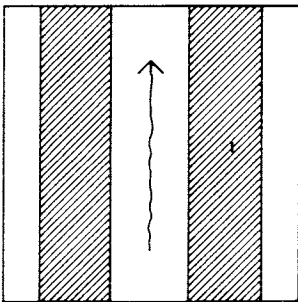
erfolgt die Wärmespeicherung in den Geschoßdecken, die Systeme

- II.1.5 sowie
- II.1.8

benutzen diese Bauteile außerdem für die Wärmespeicherung in Innen- und Außenwänden (s. II.1.5).

Die relativ häufige Verwendung dieser Fertigbauteile bestätigt offenbar die in 1.4 geäußerte Vermutung über deren wirtschaftlichen Einsatz. Beton verfügt zudem über eine relativ

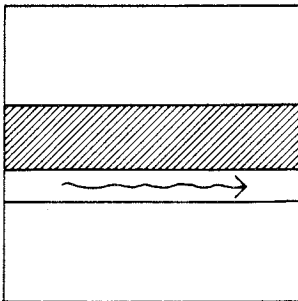
große Wärmespeicherkapazität und über eine befriedigende 'Rauhigkeit' für den konvektiven Wärmeübergang. Das Durchströmen der Speicherbauteile ermöglicht eine optimale Speichermassenaktivierung. Die Anschlußmöglichkeiten an die übrige haustechnische Peripherie sind optimal.



Luftführung in der Fuge zwischen zwei konstruktiv notwendigen Bauteilen

Bei dem System II.1.6, Minimalenergiehäuser (Küsgen), und der Versuchszelle für das Systemkonzept II.1.16 der Fraunhofergesellschaft wird die Fuge zwischen zwei konstruktiv notwendigen Innenwänden (z.B. Haustrennwände) geringfügig erweitert und zur Luftführung herangezogen.

Die Wärmespeicherkapazität der Mauerwerks-Wandscheiben ist befriedigend; hinsichtlich der Hygiene sind wahrscheinlich keine Störeinflüsse zu erwarten. Die 'Rauhigkeit' der Speicheroberflächen zur Optimierung des konvektiven Wärmeübergangs kann über die Materialwahl beeinflusst werden (KS-Ziegel). Die Mängel dieses Speicherbauteils liegen in der Herstellbarkeit: beim Aufmauern der Wandscheiben muß besonders darauf geachtet werden, daß kein Mörtel in die Fuge fällt und damit eine Verringerung der nutzbaren Speicherfläche bewirkt. Der Anschluß an die haustechnische Peripherie ist unproblematisch.

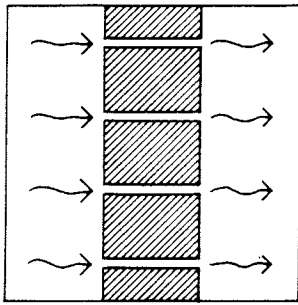


Erweiterung des konstruktiv notwendigen Bauteilquerschnitts um die luftführende Schicht

Die Systeme II.1.1, Hambro (Knauf), und II.1.4 nutzen den Raum zwischen einer konstruktiv notwendigen Stahlbeton-Geschoßdecke und einer mit Abstand darunter angeordneten abgehängten Decke, quasi als untere Begrenzung des Luftkanals, zur Luftführung.

Die Wärmespeicherung erfolgt überwiegend in der luftbeströmten Stahlbeton-Decke. Daraus ergibt sich eine nur einseitige, eingeschränkte Aktivierung der Speichermasse.

Die im Wohnungsbau unüblichen Deckenabhängungen führen zudem z.T. zu erheblichen Bauvolumenvergrößerungen bzw. Mehrkosten. Hygienische Störeinflüsse aus dieser Konstruktion sind nicht zu erwarten; die Speicherbauteiloberfläche weist die erforderlichen Qualitäten hinsichtlich des Wärmeübergangs auf. Der Anschluß an die haustechnische Peripherie ist problemlos möglich.



Durchströmte Porenwände

Bei dem System II.1.7, Solpor, wird das Speicherbauteil, die Außenwand, großflächig von außen nach innen durchströmt.

Dazu ist eine relativ aufwendige, arbeitsintensive Konstruktion notwendig, z.B. eine Mauerwerkswand mit offenen Stoßfugen sowie eine entsprechend luftdurchlässige Innenwandverkleidung.

Die Raumnutzung kann durch den Einsatz von "Porenwänden" beschränkt werden, da eine Behinderung der Luftströmung durch die Wand z.B. durch Möbel vermieden werden sollte.

Der Systembetrieb ist zudem mit erheblichen Mängeln behaftet.

Fazit:

Es kann zusammengefaßt werden, daß derzeit Stahlbeton-Hohlplatten über die besten Voraussetzungen für eine Verwendung verfügen. Sie sind bereits mit den systembedingten Kanälen ausgestattet, vergrößern nicht das Bauvolumen und damit die Bauteilkosten, verfügen über eine relativ hohe Wärmespeicherkapazität, sind durchströmbar (optimal zur Wärmespeicherung aktivierbar) und lassen keine hygienischen Probleme erwarten.

Die Luftführung in der Fuge zwischen zwei konstruktiv notwendigen Speicherbauteilen erscheint dann sinnvoll, wenn der konkrete Entwurf den Einbau von Stb-Hohldecken o.ä. nicht zuläßt.

Die Verwendung von beströmten Speichermassen erscheint nur in Ausnahmefällen, zumindest im Wohnungsbau, sinnvoll. Dort wo ausreichende Geschoßhöhen den nachträglichen Einbau von Abhäng-Decken erlauben, z.B. in Altbauten, wäre eine solche Speicherbauteil-Ausbildung angemessen.

2.3 Übersicht

Beurteilung vorhandener Systeme mit warmluftdurchströmten Bauteilen

Systemkonzept: 1

		IT 117	BAMBEK IT 16	KÜSGEN IT 14	APRME IT 13	ACORN-SLAB					
Systembetrieb	Passive/hybride Sonnenenergienutzung	●	●	●	●						
	Nutzung interner Wärmeüberschüsse (Interne Wärmequellen/Einstrahlung)	○	○	○	○						
	Thermische Reaktionsvermögen	○	○	○	○						
	Kombination mit haustechnischer Peripherie	○	○	●	○						
	Wärmespeicherung	●	●	●	●						
	Lüftung	kontrolliert	○	○	○	○					
		mit WRG	○	○	○	○					
	Wärmeabgabe im Raum (vorwiegend)	Leitung									
		Strahlung	●	●	●	●					
		Konvektion									
	Steuerung und Regelung der Wärmeabgabe	○	○	○	○						
	Wärmeverschiebung/Wärmetransport/Verteilung vom Speicher in Defizitbereiche	○	○	○	○						
	Temperaturprofil	○	○	●	●						
	Hygiene	●	●	●	●						
Akustik	●	●	●	●							
Kombination mehrerer unterschiedlicher Kollektorsysteme	Fenster										
	Luftkollektor (So-Wand) Wintergarten										
Option Gebäudekühlung	○	○	○	○							
Speicher-Bauteil	Speicherbauteil	intern		●	●						
		in der Gebäudehülle	○			○					
	Speichermaterial	●	●	●	●						
	Vorfertigungsgrad	○	○	○	○						
	Luftkanalausbildung	konstruktiv	○	○	○	○					
		vorhanden									
	Herstellbarkeit Bauteil/Luftführung	○	○	●	○						
	Oberfläche Luftführung	●	●	●	○						
	Verhältnis Speicherbauteilmasse/ konstruktiv notwendige Bauteilmasse	○	○	○	○						
	Wärmedämmung der Speicherbauteile (ein- und mehrseitig)	keine		○							
zusätzl. Bauteilschicht Bestandteil d. Bauteils		●		●	●						
Aktivierung der Speichermasse (Oberfl.)	einseitig	●	●	●	●						
	mehrseitig										
Anschluß an die Systemperipherie	Ausbildung der Luft- führung von/zum Bauteil	konstruktiv				○					
		vorgefertigt	●		●						
	Oberfläche Anschlußkanäle	●		●	○						
	Herstellbarkeit des Anschlusses an das Bauteil	●		●	○						
	Anschluß an den Luftstromantrieb	●		●							
Anschluß an den Kollektor	●		●								

● positiv ○ negativ ● keiner Bewertung unterzogen

KAP. III.2 - BEWERTUNG DER UNTERSUCHTEN SYSTEME

Beurteilung vorhandener Systeme mit warmluftdurchströmten Bauteilen

Systemkonzept: 2

		II 18	HOHLKÖRPERDECKEN	II 13	AIRFLOW									
Systembetrieb	Passive/hybride Sonnenenergienutzung	●	●											
	Nutzung interner Wärmeüberschüsse (Interne Wärmequellen/Einstrahlung)	○	○											
	Thermische Reaktionsvermögen	●	●											
	Kombination mit haustechnischer Peripherie	○	○											
	Wärmespeicherung	●	●											
	Lüftung	kontrolliert	○	○										
		mit WRG	○	○										
	Wärmeabgabe im Raum (vorwiegend)	Leitung												
		Strahlung	●	●										
		Konvektion	●	●										
	Steuerung und Regelung der Wärmeabgabe	○	○											
	Wärmeverschiebung/Wärmetransport/Verteilung vom Speicher in Defizitbereiche	○	○											
	Temperaturprofil	●	●											
	Hygiene	○	○											
Akustik	○	○												
Kombination mehrerer unterschiedlicher Kollektorsysteme	Fenster													
	Luftkollektor (So-Wand)													
	Wintergarten													
Option Gebäudekühlung	○	●												
Speicher-Bauteil	Speicherbauteil	intern	●	●										
		in der Gebäudehülle		○										
	Speichermaterial	●	●											
	Vorfertigungsgrad	●	○											
	Luftkanalausbildung	konstruktiv			○									
		vorhanden	●											
	Herstellbarkeit Bauteil/Luftführung	●	●											
	Oberfläche Luftführung	●	●											
	Verhältnis Speicherbauteilmasse/ konstruktiv notwendige Bauteilmasse	●	○											
	Wärmedämmung der Speicherbauteile (ein- und mehrseitig)	keine	○											
zusätzl. Bauteilschicht Bestandteil d. Bauteils		●	●											
Aktivierung der Speichermasse (Oberfl.)	einseitig	●	●											
	mehrseitig	●	●											
Anschluß an die Systemperipherie	Ausbildung der Luftführung von/zum Bauteil		○	●										
	Oberfläche Anschlußkanäle			●										
	Herstellbarkeit des Anschlusses an das Bauteil	●	●											
	Anschluß an den Luftstromantrieb													
	Anschluß an den Kollektor	●												

● positiv ○ negativ ● keiner Bewertung unterzogen

KAP. III.2 - BEWERTUNG DER UNTERSUCHTEN SYSTEME

Beurteilung vorhandener Systeme mit
warmluftdurchströmten Bauteilen

Systemkonzept: 2.1

		II 116	TRANSPARENT	WD							
Systembetrieb	Passive/hybride Sonnenenergienutzung	●									
	Nutzung interner Wärmeüberschüsse (Interne Wärmequellen/Einstrahlung)	○									
	Thermische Reaktionsvermögen	●									
	Kombination mit haustechnischer Peripherie										
	Wärmespeicherung	●									
	Lüftung	kontrolliert mit WRG	○								
	Wärmeabgabe im Raum (vorwiegend)	Leitung	○								
		Strahlung	●								
		Konvektion	●								
	Steuerung und Regelung der Wärmeabgabe		●								
	Wärmeverschiebung/Wärmetransport/Verteilung vom Speicher in Defizitbereiche		○								
	Temperaturprofil		●								
	Hygiene										
	Akustik										
Kombination mehrerer unterschiedlicher Kollektorsysteme	Fenster	●									
	Luftkollektor (So-Wand) Wintergarten	●									
Option Gebäudekühlung		○									
Speicher-Bauteil	Speicherbauteil	intern	●								
		in der Gebäudehülle									
	Speichermaterial		●								
	Vorfertigungsgrad		○								
	Luftkanalausbildung	konstruktiv	●								
		vorhanden									
	Herstellbarkeit Bauteil/Luftführung		○								
	Oberfläche Luftführung		●								
	Verhältnis Speicherbauteilmasse/ konstruktiv notwendige Bauteilmasse		○								
	Wärmedämmung der Speicherbauteile (ein- und mehrseitig)	keine									
zusätzl. Bauteilschicht Bestandteil d. Bauteils											
Aktivierung der Speichermasse (Oberfl.)	einseitig										
	mehrseitig	●									
Anschluß an die Systemperipherie	Ausbildung der Luft- führung von/zum Bauteil	konstruktiv	○								
		vorgefertigt									
	Oberfläche Anschlußkanäle										
	Herstellbarkeit des Anschlusses an das Bauteil										
	Anschluß an den Luftstromantrieb										
Anschluß an den Kollektor											

● positiv ○ negativ ● keiner Bewertung unterzogen

KAP. III.2 - BEWERTUNG DER UNTERSUCHTEN SYSTEME

Beurteilung vorhandener Systeme mit warmluftdurchströmten Bauteilen

Systemkonzept: 3

		IL 113	ALCORN-SLAB	IT 10 BETON-SOHLPL. SPEICHER	IT 11	CHALEFF-SLAB					
Systembetrieb	Passive/hybride Sonnenenergienutzung	●	●	●							
	Nutzung interner Wärmeüberschüsse (Interne Wärmequellen/Einstrahlung)	●	●	●							
	Thermische Reaktionsvermögen	●	●	●							
	Kombination mit haustechnischer Peripherie	○	○	○							
	Wärmespeicherung	●	●	●							
	Lüftung	kontrolliert	○	○	○						
		mit WRG	○	○	○						
	Wärmeabgabe im Raum (vorwiegend)	Leitung									
		Strahlung	●	●	●						
		Konvektion	●	●	●						
	Steuerung und Regelung der Wärmeabgabe	●	●	●							
	Wärmeverschiebung/Wärmetransport/Verteilung vom Speicher in Defizitbereiche	○	○	○							
	Temperaturprofil	●	●	●							
	Hygiene	○	○	○							
	Akustik	●	●	●							
Kombination mehrerer unterschiedlicher Kollektorsysteme	Fenster										
	Luftkollektor (So-Wand)										
	Wintergarten										
Option Gebäudekühlung		○	●	○							
Speicher-Bauteil	Speicherbauteil	intern									
		in der Gebäudehülle	○	○	○						
	Speichermaterial	●	●	●							
	Vorfertigungsgrad	○	●	○							
	Luftkanalausbildung	konstruktiv	○		○						
		vorhanden		●							
	Herstellbarkeit Bauteil/Luftführung	○	●	●							
	Oberfläche Luftführung	○	●	○							
	Verhältnis Speicherbauteilmasse/konstruktiv notwendige Bauteilmasse	○	○	●							
	Wärmedämmung der Speicherbauteile (ein- und mehrseitig)	keine									
zusätzl. Bauteilschicht Bestandteil d. Bauteils		●	●	●							
Aktivierung der Speichermasse (Oberfl.)	einseitig			○							
	mehrseitig	●	●								
Anschluß an die Systemperipherie	Ausbildung der Luftführung von/zum Bauteil	konstruktiv	○	○	○						
		vorgefertigt		●	●						
	Oberfläche Anschlußkanäle	○	●	●							
	Herstellbarkeit des Anschlusses an das Bauteil	●	●	●							
	Anschluß an den Luftstromantrieb			●							
Anschluß an den Kollektor			●	●							

● positiv ○ negativ ◐ keiner Bewertung unterzogen

KAP. III.2 - BEWERTUNG DER UNTERSUCHTEN SYSTEME

Beurteilung vorhandener Systeme mit
wärmeluftdurchströmten Bauteilen

Systemkonzept: 4

		II/1								
		KANAL/BAUTEIL								
Systembetrieb	Passive/hybride Sonnenenergienutzung	●								
	Nutzung interner Wärmeüberschüsse (Interne Wärmequellen/Einstrahlung)	●								
	Thermische Reaktionsvermögen	●								
	Kombination mit haustechnischer Peripherie	●								
	Wärmespeicherung	●								
	Lüftung	kontrolliert	●							
		mit WRG	○							
	Wärmeabgabe im Raum (vorwiegend)	Leitung								
		Strahlung Konvektion	●							
	Steuerung und Regelung der Wärmeabgabe	●								
	Wärmeverschiebung/Wärmetransport/Verteilung vom Speicher in Defizitbereiche	●								
	Temperaturprofil	●								
	Hygiene									
	Akustik									
Kombination mehrerer unterschiedlicher Kollektorsysteme	Fenster									
	Luftkollektor (So-Wand) Wintergarten									
Option Gebäudekühlung	○									
Speicher-Bauteil	Speicherbauteil	intern	●							
		in der Gebäudehülle								
	Speichermaterial	●								
	Vorfertigungsgrad	●								
	Luftkanausbildung	konstruktiv	○							
		vorhanden								
	Herstellbarkeit Bauteil/Luftführung	●								
	Oberfläche Luftführung	●								
	Verhältnis Speicherbauteilmasse/ konstruktiv notwendige Bauteilmasse		○							
Wärmedämmung der Speicherbauteile (ein- und mehrseitig)	keine									
	zusätzl. Bauteilschicht Bestandteil d. Bauteils	●								
Aktivierung der Speichermasse (Oberfl.)	einseitig	○								
	mehrseitig									
Anschluß an die Systemperipherie	Ausbildung der Luft- führung von/zum Bauteil	konstruktiv	●							
		vorgefertigt								
	Oberfläche Anschlußkanäle	○								
	Herstellbarkeit des Anschlusses an das Bauteil	●								
	Anschluß an den Luftstromantrieb	●								
Anschluß an den Kollektor	●									

● positiv ○ negativ ● keiner Bewertung unterzogen

KAP. III.2 - BEWERTUNG DER UNTERSUCHTEN SYSTEME

Beurteilung vorhandener Systeme mit
warmluftdurchströmten Bauteilen

Systemkonzept: 41

		II 12	ISFALT	II 15	SEPPANEN-RIGATI						
Systembetrieb	Passive/hybride Sonnenenergienutzung	●	●								
	Nutzung interner Wärmeüberschüsse (Interne Wärmequellen/Einstrahlung)	●	●								
	Thermische Reaktionsvermögen	●	●								
	Kombination mit haustechnischer Peripherie	●	●								
	Wärmespeicherung	●	●								
	Lüftung <u>kontrolliert</u> mit WRG	●									
	Wärmeabgabe im Raum (vorwiegend)										
	<u>Leitung</u> <u>Strahlung</u> <u>Konvektion</u>	○	○								
	Steuerung und Regelung der Wärmeabgabe	●	●								
	Wärmeverschiebung/Wärmetransport/Verteilung vom Speicher in Defizitbereiche	●	●								
	Temperaturprofil	●	●								
	Hygiene										
	Akustik										
	Kombination mehrerer unterschiedlicher Kollektorsysteme.	<u>Fenster</u> <u>Luftkollektor (So-Wand)</u> <u>Wintergarten</u>									
Option Gebäudekühlung		●									
Speicher-Bauteil	Speicherbauteil <u>intern</u> in der Gebäudehülle	●	●								
	Speichermaterial	●	●								
	Vorfertigungsgrad	●	●								
	Luftkanalausbildung <u>konstruktiv</u> <u>vorhanden</u>	●	●								
	Herstellbarkeit Bauteil/Luftführung	●	●								
	Oberfläche Luftführung	●	●								
	Verhältnis Speicherbauteilmasse/ konstruktiv notwendige Bauteilmasse	●	●								
	Wärmedämmung der Speicherbauteile (ein- und mehrseitig)	<u>keine</u> <u>zusätzl. Bauteilschicht</u> <u>Bestandteil d. Bauteils</u>	●	●							
	Aktivierung der Speichermasse (Oberfl.)	<u>einseitig</u> <u>mehrseitig</u>	●	●							
	Ausbildung der Luftführung von/zum Bauteil	<u>konstruktiv</u> <u>vorgefertigt</u>	●	●							
Anschluß an die Systemperipherie	Oberfläche Anschlußkanäle	●	●								
	Herstellbarkeit des Anschlusses an das Bauteil	●	●								
	Anschluß an den Luftstromantrieb										
	Anschluß an den Kollektor	●	●								

● positiv ○ negativ ● keiner Bewertung unterzogen

KAP. III.2 - BEWERTUNG DER UNTERSUCHTEN SYSTEME

Beurteilung vorhandener Systeme mit
warmluftdurchströmten Bauteilen

Systemkonzept: 42

		IIP	BRINK						
Systembetrieb	Passive/hybride Sonnenenergienutzung	●							
	Nutzung interner Wärmeüberschüsse (Interne Wärmequellen/Einstrahlung)	●							
	Thermische Reaktionsvermögen	●							
	Kombination mit haustechnischer Peripherie	●							
	Wärmespeicherung	●							
	Lüftung	●							
	Wärmeabgabe im Raum (vorwiegend)	○							
	Steuerung und Regelung der Wärmeabgabe	●							
	Wärmeverschiebung/Wärmetransport/Verteilung vom Speicher in Defizitbereiche	●							
	Temperaturprofil	●							
	Hygiene	●							
	Akustik	●							
	Kombination mehrerer unterschiedlicher Kollektorsysteme	●							
	Option Gebäudekühlung	○							
	Speicher-Bauteil	Speicherbauteil	●						
Speichermaterial		●							
Vorfertigungsgrad		●							
Luftkanalausbildung		●							
Herstellbarkeit Bauteil/Luftführung		●							
Oberfläche Luftführung		●							
Verhältnis Speicherbauteilmasse/ konstruktiv notwendige Bauteilmasse		●							
Wärmedämmung der Speicherbauteile (ein- und mehrseitig)		●							
Aktivierung der Speichermasse (Oberfl.)		●							
Ausbildung der Luftführung von/zum Bauteil		●							
Anschluß an die Systemperipherie	Oberfläche Anschlußkanäle	●							
	Herstellbarkeit des Anschlusses an das Bauteil	●							
	Anschluß an den Luftstromantrieb	●							
	Anschluß an den Kollektor	●							

● positiv ○ negativ ● keiner Bewertung unterzogen

KAP. III.2 - BEWERTUNG DER UNTERSUCHTEN SYSTEME

Beurteilung vorhandener Systeme mit warmluftdurchströmten Bauteilen

Systemkonzept: 5

		IT 15 HAFFERLAND	IT 14 EUGENS							
Systembetrieb	Passive/hybride Sonnenenergienutzung	○	○							
	Nutzung interner Wärmeüberschüsse (Interne Wärmequellen/Einstrahlung)	○	○							
	Thermische Reaktionsvermögen	●	●							
	Kombination mit haustechnischer Peripherie	●	●							
	Wärmespeicherung	●	●							
	Lüftung	kontrolliert mit WRG		○	○					
	Wärmeabgabe im Raum (vorwiegend)	Leitung								
		Strahlung								
		Konvektion								
	Steuerung und Regelung der Wärmeabgabe									
	Wärmeverschiebung/Wärmetransport/Verteilung vom Speicher in Defizitbereiche									
	Temperaturprofil									
	Hygiene									
	Akustik			●						
	Kombination mehrerer unterschiedlicher Kollektorsysteme	Fenster								
Luftkollektor (So-Wand)										
Wintergarten										
Option Gebäudekühlung		●	●							
Speicher-Bauteil	Speicherbauteil	intern in der Gebäudehülle		●	●					
	Speichermaterial	●	●							
	Vorfertigungsgrad	●	○							
	Luftkanalausbildung	konstruktiv vorhanden		●	○					
	Herstellbarkeit, Bauteil/Luftführung		●	●						
	Oberfläche Luftführung		●	●						
	Verhältnis Speicherbauteilmasse/konstruktiv notwendige Bauteilmasse									
	Wärmedämmung der Speicherbauteile (ein- und mehrseitig)	keine zusätzl. Bauteilschicht Bestandteil d. Bauteils			●					
Aktivierung der Speichermasse (Oberfl.)	einseitig			○						
	mehrseitig		●							
Anschluß an die Systemperipherie	Ausbildung der Luftführung von/zum Bauteil		konstruktiv vorgefertigt			○				
	Oberfläche Anschlußkanäle			●						
	Herstellbarkeit des Anschlusses an das Bauteil			●						
	Anschluß an den Luftstromantrieb			●						
	Anschluß an den Kollektor									

● positiv ○ negativ ● keiner Bewertung unterzogen

KAP. III.2 - BEWERTUNG DER UNTERSUCHTEN SYSTEME

Beurteilung vorhandener Systeme mit warmluftdurchströmten Bauteilen

Systemkonzept: 6

		II/17	SOL/PDR						
Systembetrieb	Passive/hybride Sonnenenergienutzung	●							
	Nutzung interner Wärmeüberschüsse (Interne Wärmequellen/Einstrahlung)	○							
	Thermische Reaktionsvermögen	●							
	Kombination mit haustechnischer Peripherie	○							
	Wärmespeicherung	●							
	Lüftung <u>kontrolliert</u> mit WRG	●							
	Wärmeabgabe im Raum (vorwiegend) <u>Leitung</u> <u>Strahlung</u> Konvektion	○							
	Steuerung und Regelung der Wärmeabgabe	○							
	Wärmeverschiebung/Wärmetransport/Verteilung vom Speicher in Defizitbereiche	○							
	Temperaturprofil	●							
	Hygiene								
	Akustik	●							
	Kombination mehrerer unterschiedlicher Kollektorsysteme <u>Fenster</u> <u>Luftkollektor (So-Wand)</u> <u>Wintergarten</u>								
	Option Gebäudekühlung	●							
Speicher-Bauteil	Speicherbauteil <u>intern</u> in der Gebäudehülle	○							
	Speichermaterial	●							
	Vorfertigungsgrad	○							
	Luftkanalausbildung <u>konstruktiv</u> vorhanden	○							
	Herstellbarkeit Bauteil/Luftführung	○							
	Oberfläche Luftführung	●							
	Verhältnis Speicherbauteilmasse/ konstruktiv notwendige Bauteilmasse	○							
	Wärmedämmung der Speicherbauteile (ein- und mehrseitig) <u>keine</u> <u>zusätzl. Bauteilschicht</u> Bestandteil d. Bauteils	●							
	Aktivierung der Speichermasse (Oberfl.) <u>einseitig</u> <u>mehrseitig</u>	●							
	Ausbildung der Luftführung von/zum Bauteil <u>konstruktiv</u> vorgefertigt								
Anschluß an die Systemperipherie	Oberfläche Anschlußkanäle								
	Herstellbarkeit des Anschlusses an das Bauteil								
	Anschluß an den Luftstromantrieb								
	Anschluß an den Kollektor								

● positiv ○ negativ ● keiner Bewertung unterzogen

III.3 Systemkonzept

Das Systemkonzept ist unter Berücksichtigung der nachfolgenden Vorgaben und Untersuchungsergebnisse entwickelt worden:

- Die in 1.1 dargestellten Rahmenbedingungen, die denen für das System II.1.16 der Fraunhofergesellschaft entsprechen, bilden die Grundlage für die Systementwicklung (vgl. 2.1).
- Die Betriebsweisen der Konzepte 4 bzw. 4.1 (vgl. 2.2) bildeten die Grundlage für das Systemkonzept; zudem konnten aus der Untersuchung vorhandener Systeme in 2.2 Erkenntnisse bzgl. unterschiedlicher Systembetriebs-Varianten (Lastsituationen 2, 3, 5, 6, 9, 11) gewonnen werden. Deren Berücksichtigung, die Anforderungen aus 1. sowie die Forderung nach einer angemessenen Reaktion auf die Lastsituationen (vgl. 1.4) haben die Systemkonzept-Entwicklung bestimmt.
- Zur Strahlungssammlung bietet derzeit offenbar die Kombination der Kollektoreinrichtungen 'Fenster mit dahinterliegendem Raum' und 'Luftkollektor' die günstigsten Voraussetzungen. Der Einsatz von transparenten Wärmedämmungen als Kollektorabdeckung sollte angestrebt werden (vgl. 1.3.1; 1.4; 2.2.1).
- Unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit, der Hygiene, der Wärmespeicherkapazität etc. (vgl. 1.3.2; 2.2.1) sollte zunächst der Einsatz von Stb-Hohlplatten zur Luftführung und Wärmespeicherung angestrebt werden, bis präzisere Aussagen zur Verwendung anderer Bauteile bzw. -stoffe vorliegen. Die Wärmespeicherung sollte möglichst in internen Bauteilmassen erfolgen.

Schließlich muß erneut darauf hingewiesen werden (vgl. 1.4), daß dieses Systemkonzept von einem theoretischen Modell mit optimalen Rahmenbedingungen ausgeht. Für jedes konkrete Projekt muß deshalb untersucht werden, ob alle Systembetriebs-Varianten erforderlich sind. Außerdem sollte geprüft werden, ob die jeweiligen Rahmenbedingungen den Aufwand für bestimmte Systembetriebs-Varianten (und deren Beitrag zur Energieeinsparung) rechtfertigten.

3.1 Systemskizze

1. Zentrale Luftaufbereitung mit:

- Haupt-(Umluft-)Filter
- Luftherhitzer
- mechan. Vorfilter, elektrostatisch. Filter
- Mischkammer (Um-, Frischluft)
- rekuperativer Abluft-Wärmerückgewinner mit Zu- und Abluftventilator und Zu- und Abluftfilterung

2. Küche, Bad und WC

- Bad und WC ggf. mit elektrischer Nachheizeinrichtung

3. Südraum

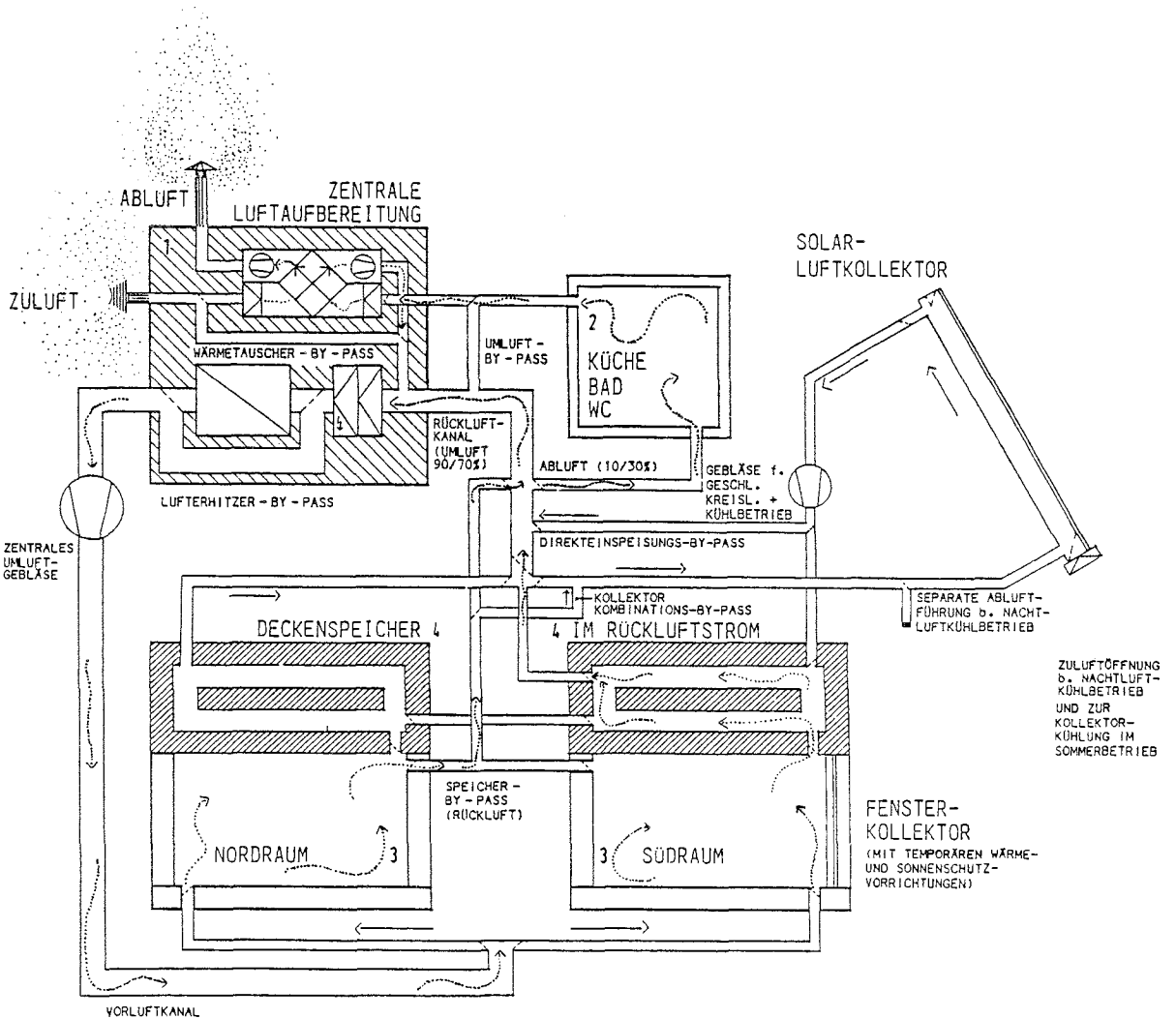
- Sonneneinstrahlungszone (Primär- und Sekundär-Speicherung)

4. Luftdurchströmtes Speicherbauteil

- Innenwände
- Geschoßdecken

5. Zusätzliche Kollektoreinrichtung

- z.B. Luftkollektor



3.2 Systembetrieb

Anhand der in 1.4 formulierten Lastsituationen soll der Systembetrieb des optimierten hybriden Solarenergiesystems mit warmluftdurchströmten, wärmespeichernden Bauteilen erläutert werden.

Inwieweit die dargestellte Betriebsweise auch für die konkrete Anwendung erforderlich und sinnvoll ist, wird durch eine Reihe von Einflußfaktoren bestimmt. Dazu zählen zum Beispiel:

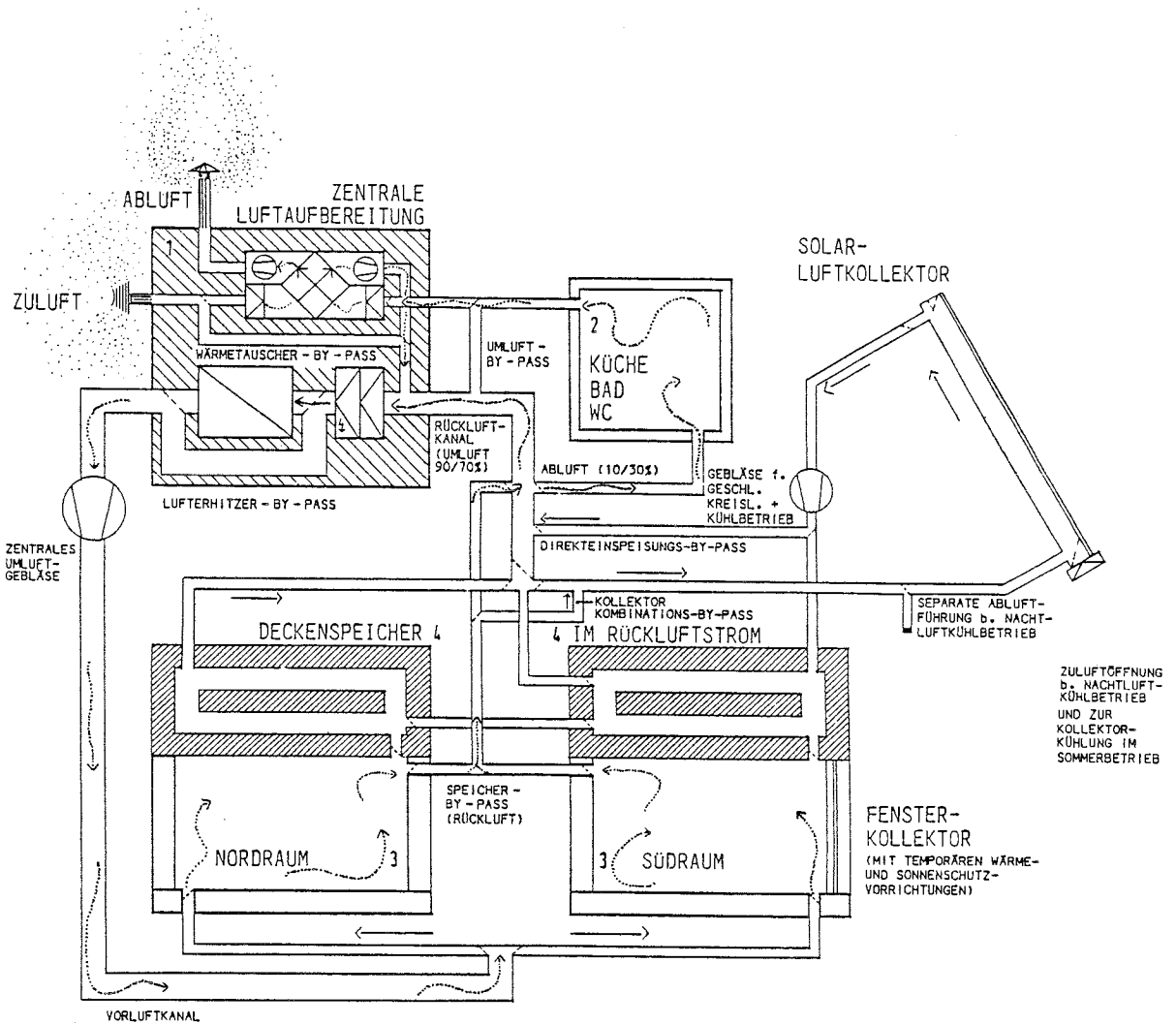
- die Standortbedingungen;
- das Gebäudekonzept;
- das solare Strahlungsangebot;
- das Nutzerverhalten etc..

Ist der Nutzer beispielsweise bereit in den Systembetrieb regulierend einzugreifen, könnte die aufwendige Thermostat-Steuerung von Luftklappen auf ein Minimum reduziert werden.

Unumgänglich für das konkrete Projekt ist daher eine Analyse der Einflußfaktoren/Rahmenbedingungen. Die sich daraus ergebenden Lastsituationen bilden dann die Grundlage für die notwendigen Systembetriebs-Varianten und damit für das jeweilige Systemkonzept.

Jede Modifikation des Systemkonzeptes stellt damit eine Anpassung an die jeweilige Systemumgebung dar.

Lastsituation 1



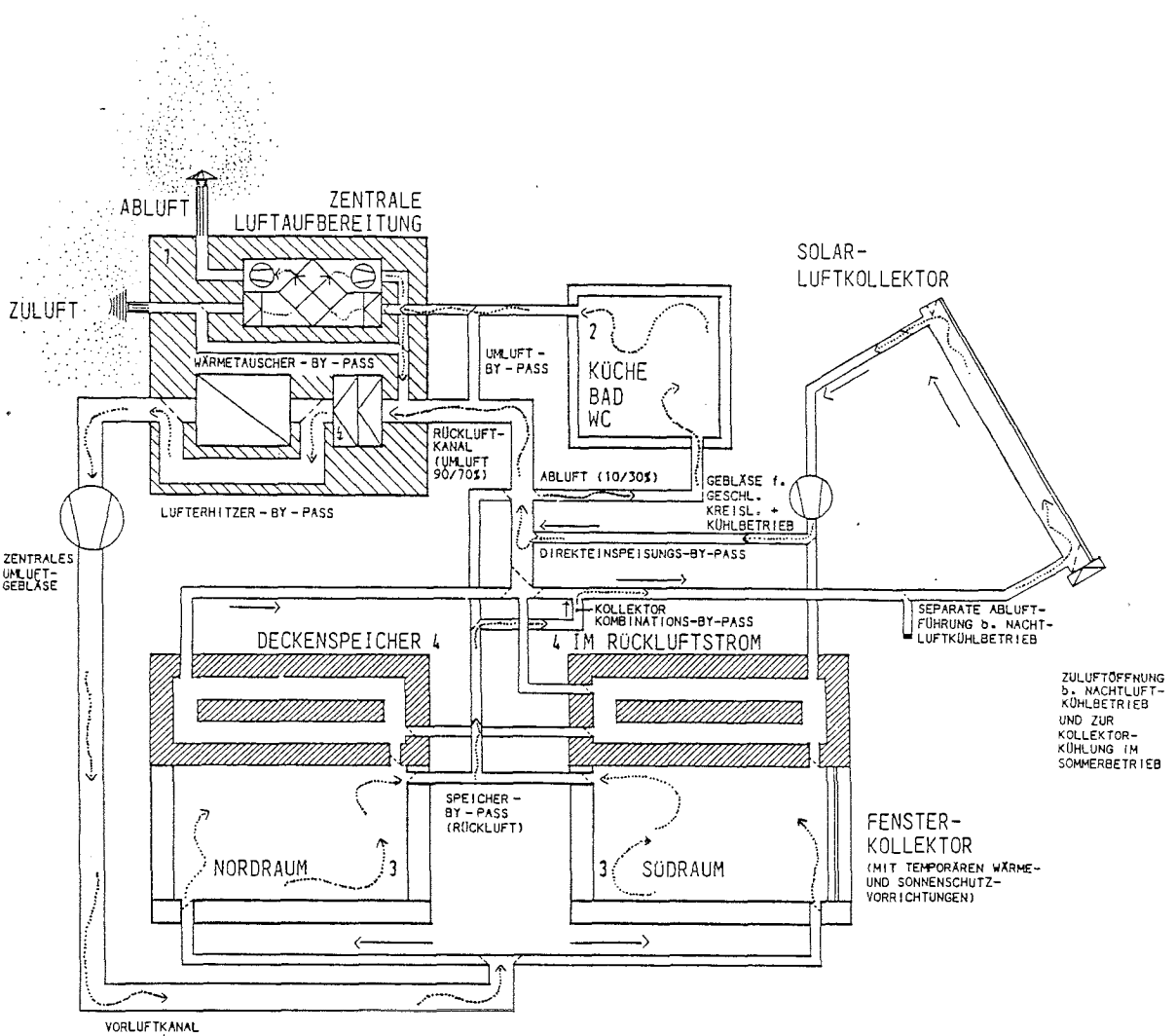
Lastsituation 1

- Wärmespeicher ist entladen
- keine Solarwärmegewinne
- Wärmebedarf im Gebäude vorhanden

Systembetriebs-Variante

- Lufterwärmung durch das aktive Heizsystem, einschl. kontrollierter Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Speicherbauteile vom Systemkreislauf abgekoppelt
- Luftkollektor vom Systemkreislauf abgekoppelt

Lastsituationen 2, 7, 12



Lastsituation 2

- Wärmespeicher ist entladen
- Solarenergiegewinne beider Kollektoreinrichtungen liegen im Bereich des Gebäude Wärmebedarfs

Systembetriebs-Variante

- eingeschränkte/keine Lufterwärmung durch das aktive Heizsystem;
- kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Speicherbauteile vom Systemkreislauf abgekoppelt
- Luftkollektor hinter den Kollektor "Fenster + Raum" geschaltet
- Wärmeverschiebung in Defizitbereiche

Lastsituation 7

- Wärmespeicher ist geladen
- Solarenergiegewinne beider Kollektoreinrichtungen decken vollständig den Wärmebedarf

Systembetriebs-Variante

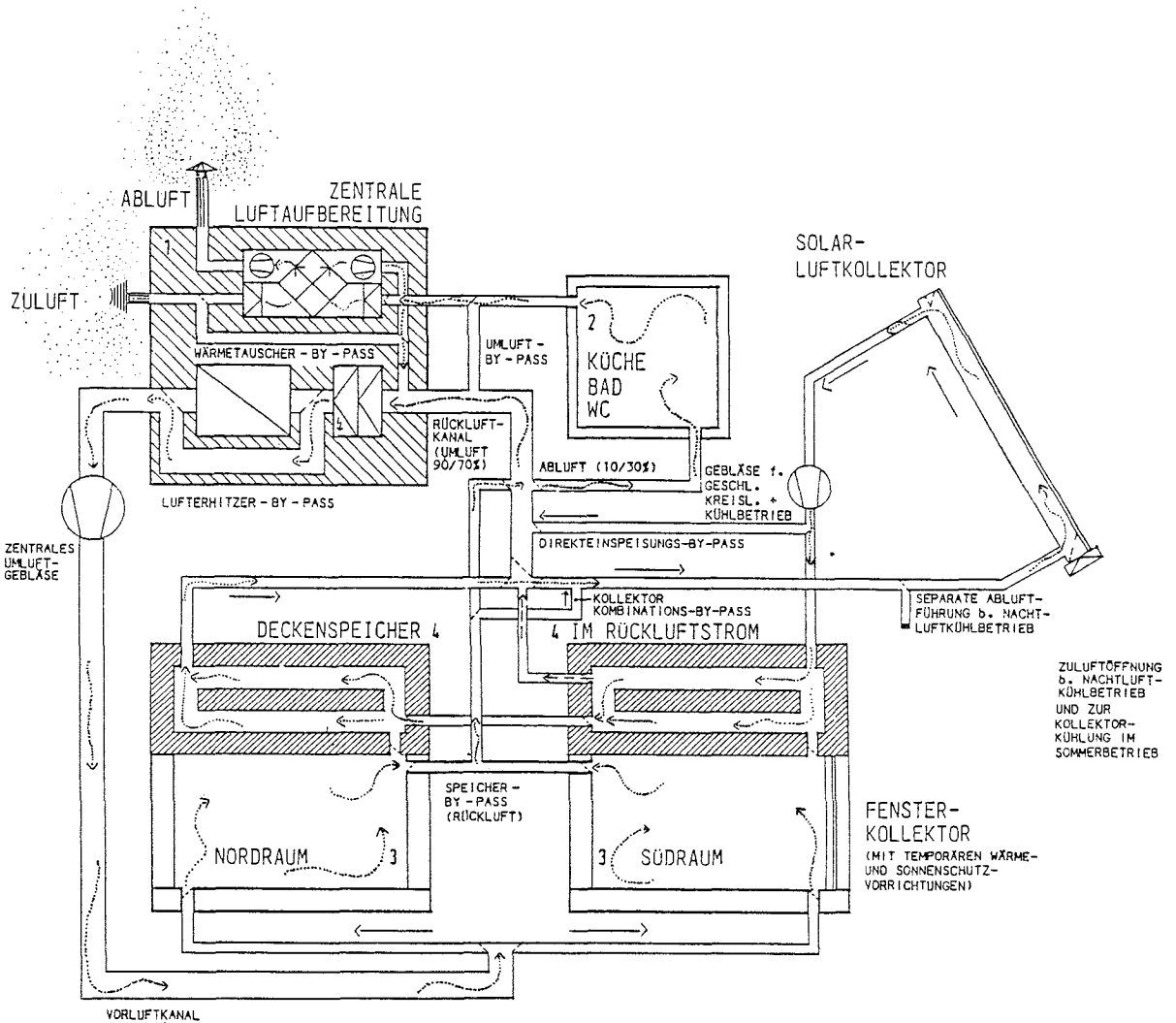
- keine Lufterwärmung durch das aktive Heizsystem; kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Speicherbauteile vom Systemkreislauf abgekoppelt
- Luftkollektor hinter den Kollektor "Fenster + Raum" geschaltet
- Wärmeverschiebung in Defizitbereiche

Lastsituation 12

- Wärmespeicher gering geladen; der Energieeinsatz für eine kontrollierte Wärmeentnahme ist größer als eine mögliche Energieeinsparung dadurch
- beide Kollektoren produzieren nur geringe Wärmemengen

- Lufterwärmung durch das aktive Heizsystem, einschl. kontrollierter Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Speicherbauteile vom Systemkreislauf abgekoppelt, kontrollierte Entladung
- Luftkollektor hinter den Kollektor "Fenster + Raum" geschaltet
- ggf. Wärmeverschiebung in Defizitbereiche

Lastsituationen 3, 8



Lastsituation 3

- Wärmespeicher ist entladen
- interne Wärmeaufkommen und die Solarenergiegewinne durch Fenster decken den gesamten Wärmebedarf des Gebäudes
- der Luftkollektor produziert Wärmeüberschüsse

Systembetriebs-Variante

- keine Luftherwärmung durch das aktive Heizsystem; kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Speicherbeladung im geschlossenen Luftkreislauf zwischen Luftkollektor und Speicherbauteil
- Vergrößerung/Verkleinerung der Speichermasse (Registorschaltung)
- Wärmeverchiebung in Defizitbereiche

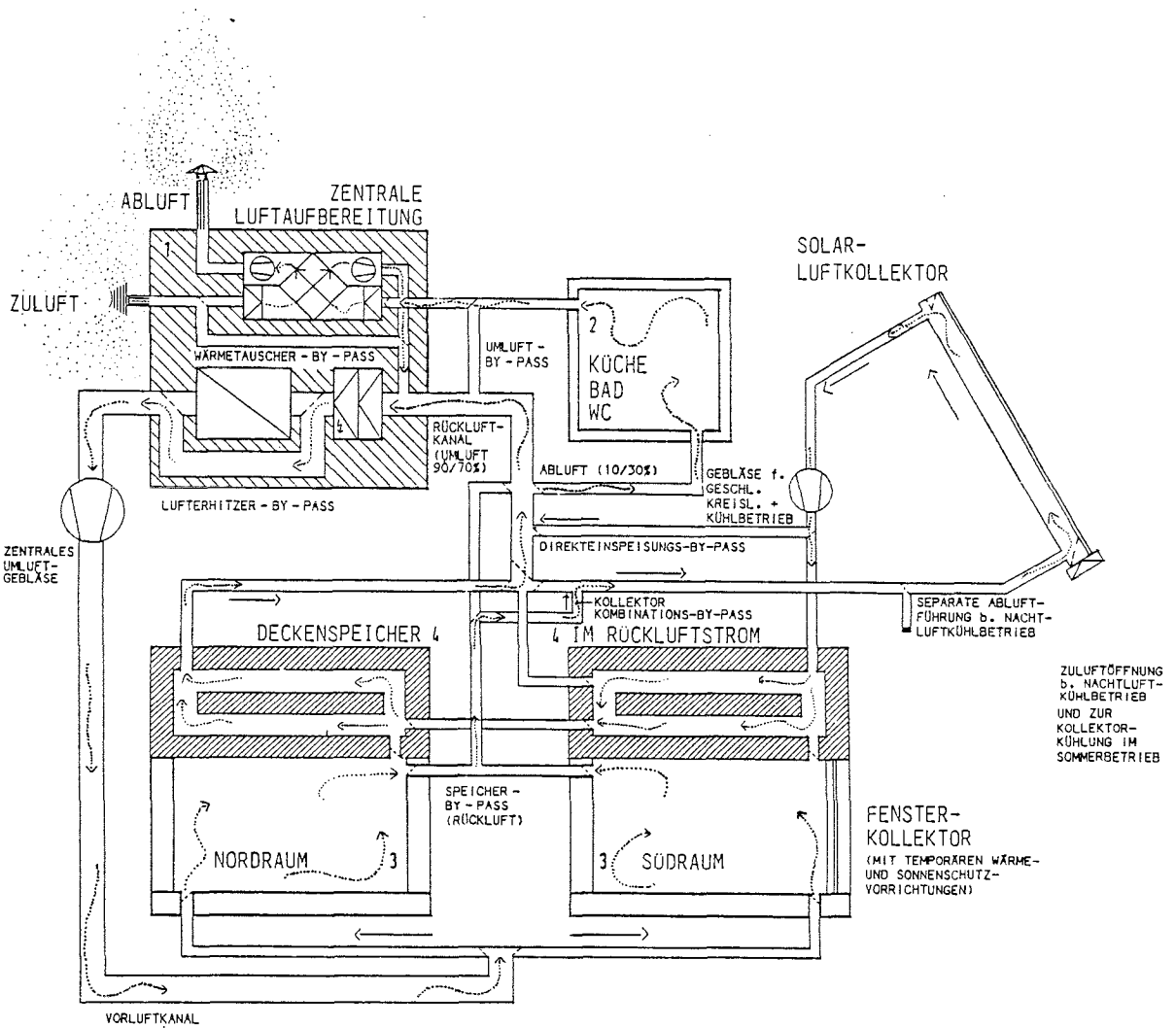
Lastsituation 8

- Wärmespeicher ist geladen
- interne Wärmeaufkommen und die Solarenergiegewinne durch Fenster decken den gesamten Wärmebedarf des Gebäudes
- der Luftkollektor produziert Wärmeüberschüsse

Systembetriebs-Variante

- keine Lufterwärmung durch das aktive Heizsystem; kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Speicherbauteile im geschlossenen Luftkreislauf zwischen Luftkollektor und Speicherbauteil bis zur vollständigen Erschöpfung der Speicherkapazität
- Vergrößerung der Speichermasse auf das Maximum
- Wärmeverschiebung in Defibereiche

Lastsituation 4



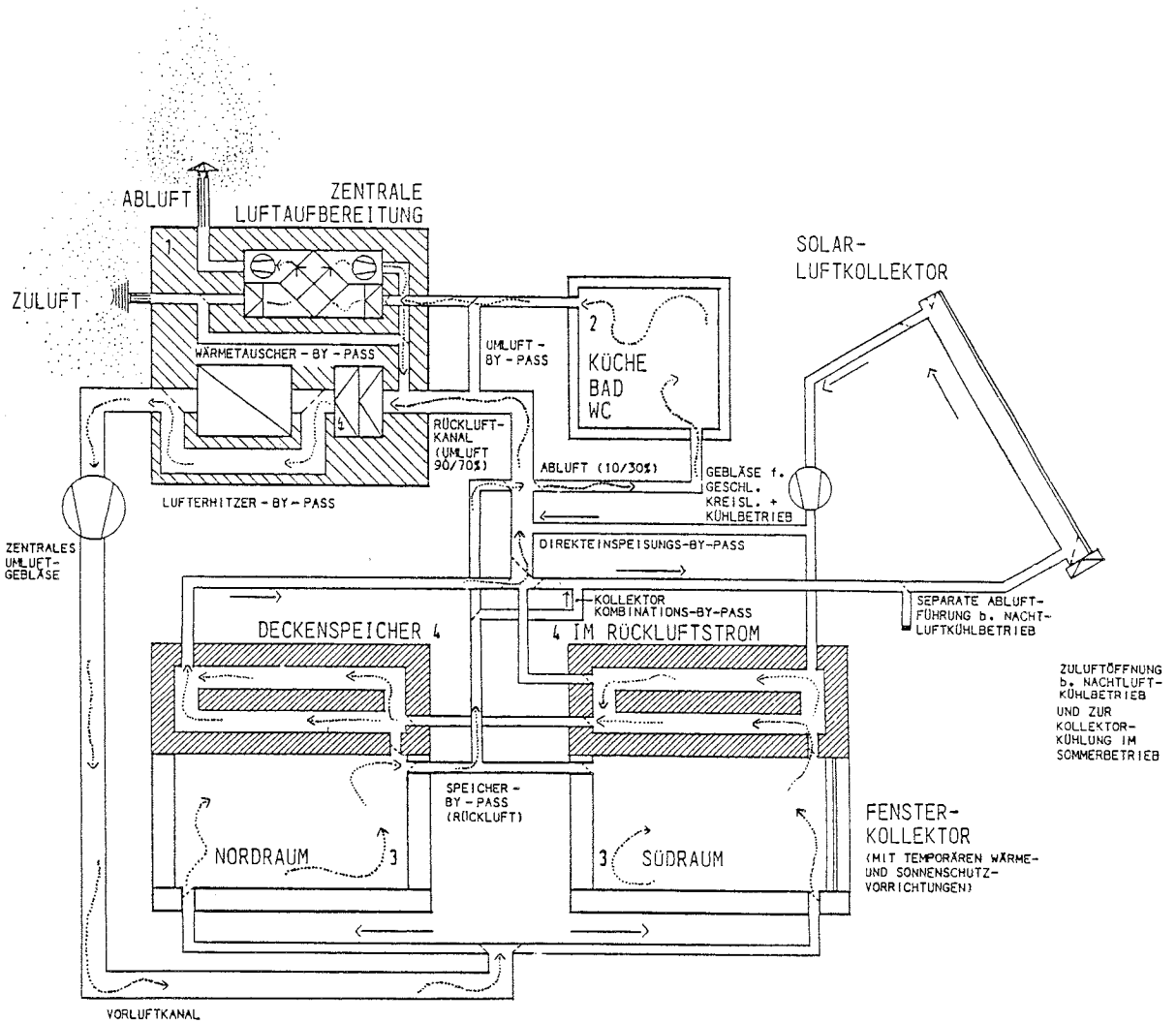
Lastsituation 4

- Wärmespeicher ist entladen
- Wärmeabgabe beider zusammenwirkender Kollektoreinrichtungen übersteigt den Wärmebedarf

Systembetriebs-Variante

- keine Lufterwärmung durch das aktive Heizsystem; kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Speicheranordnung im Rückluftstrom hinter beiden Kollektoreinrichtungen
- Vergrößerung/Verkleinerung der Speichermasse
- Luftkollektor direkt hinter den Kollektor "Fenster + Raum" geschaltet
- Wärmeverchiebung in Defizitbereiche

Lastsituation 5, 9



Lastsituation 5

- Wärmespeicher ist entladen
- internes Wärmeaufkommen und Solarenergiegewinne durch Fenster übersteigen den gesamten Wärmebedarf des Gebäudes
- Luftkollektor produziert keine nennenswerten Wärmemengen

Systembetriebs-Variante

- keine Lufterwärmung durch das aktive Heizsystem; kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Speicheranordnung im Rückluftstrom hinter der Kollektoreinrichtung "Fenster + Raum"
- Vergrößerung/Verkleinerung der Speichermasse
- Luftkollektor vom Systemkreislauf abgekoppelt
- Wärmeverschiebung in Defizitbereiche

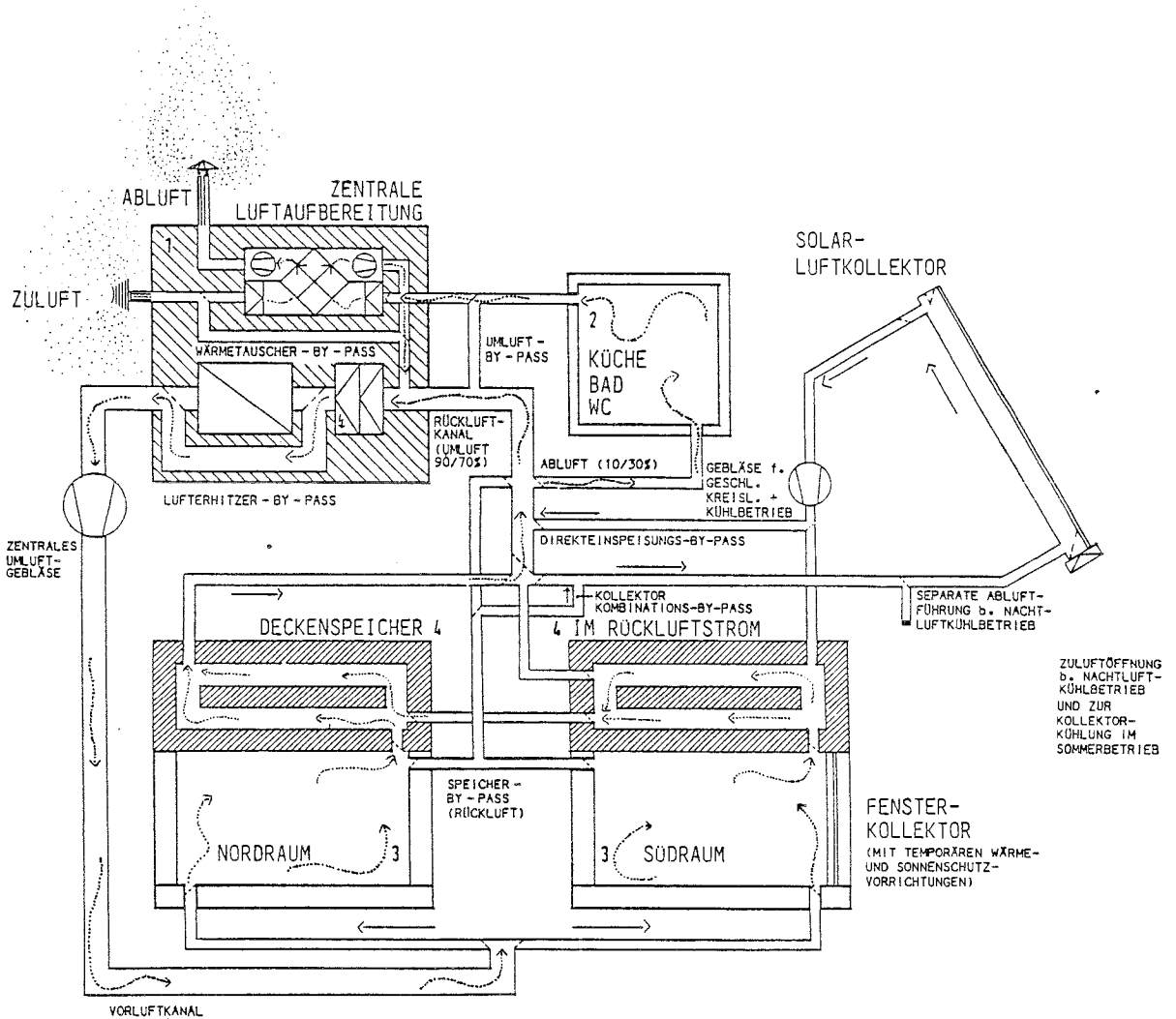
Lastsituation 9

- Wärmespeicher ist geladen
- internes Wärmeaufkommen und Solarenergiegewinne durch Fenster übersteigen den gesamten Wärmebedarf des Gebäudes
- Luftkollektor produziert keine nennenswerten Wärmemengen

Systembetriebs-Variante

- keine Luftherwärmung durch das aktive Heizsystem; kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Speicherbeladung im Rückluftstrom hinter der Kollektoreinrichtung "Fenster + Raum" bis zur vollständigen Erschöpfung der Speicherkapazität
- Vergrößerung der Speichermasse auf ein Maximum
- Luftkollektor vom Systemkreislauf abgekoppelt
- Wärmeverschiebung in Defizitbereiche

Lastsituation 6



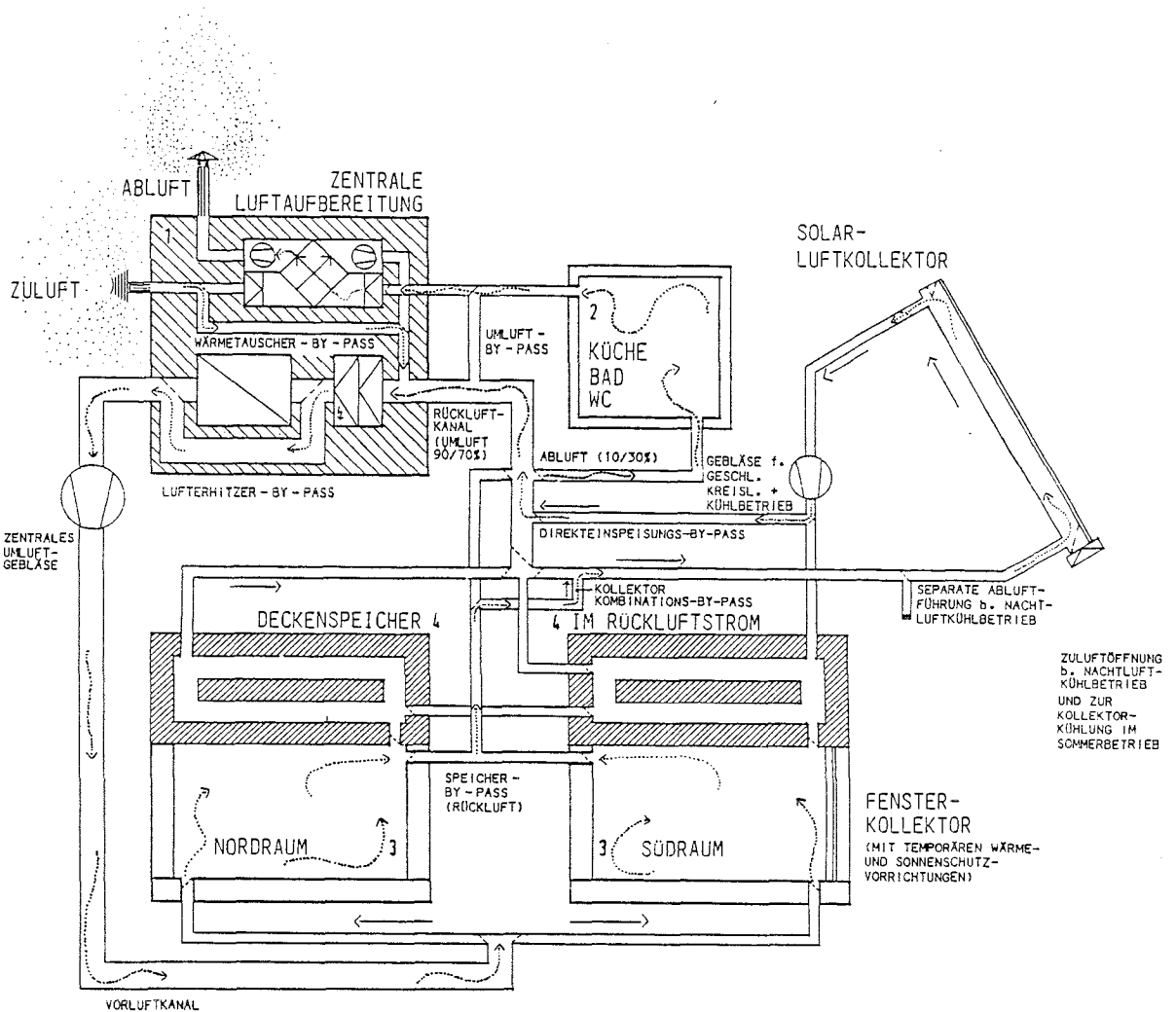
Lastsituation 6

- Wärmespeicher ist geladen
- keine Solarwärmegewinne
- Wärmebedarf im Gebäude vorhanden

Systembetriebs-Variante

- keine/eingeschränkte Luft-erwärmung durch das aktive Heizsystem;
- kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Speicheranordnung im Rückluftstrom (Wärmeentnahme)
- ggf. Vergrößerung/Verkleinerung der Speichermasse
- Luftkollektor vom Systemkreislauf abgekoppelt

Lastsituation 10



Lastsituation 10

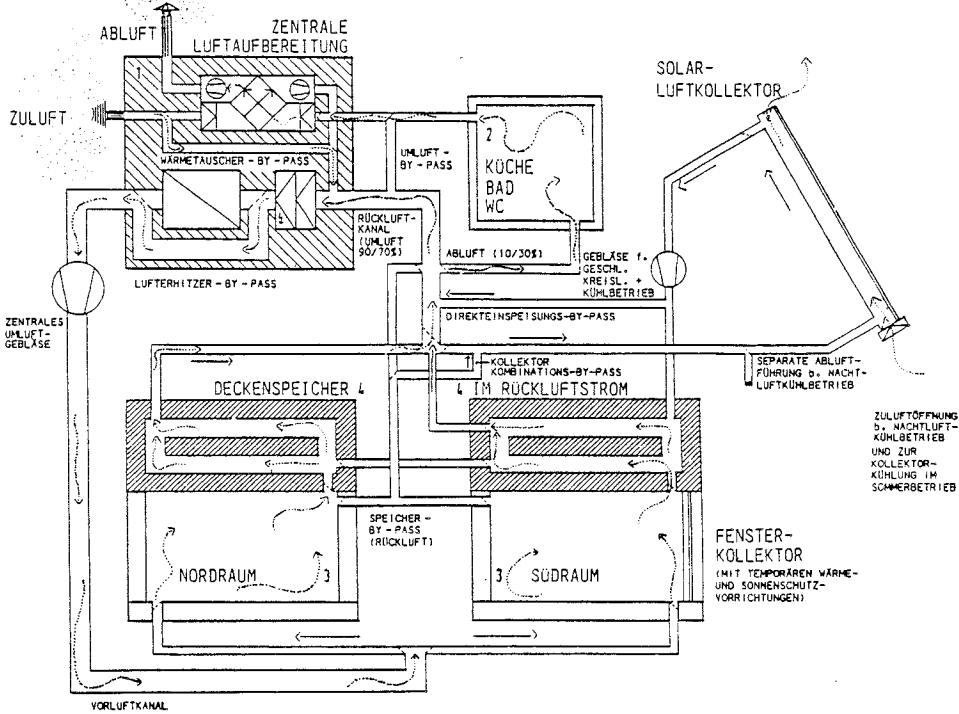
- Wärmespeicher vollständig geladen, Speicherkapazität erschöpft
- Solarenergiegewinne beider Kollektoreinrichtungen übersteigen den Wärmebedarf des Gebäudes

Systembetriebs-Variante

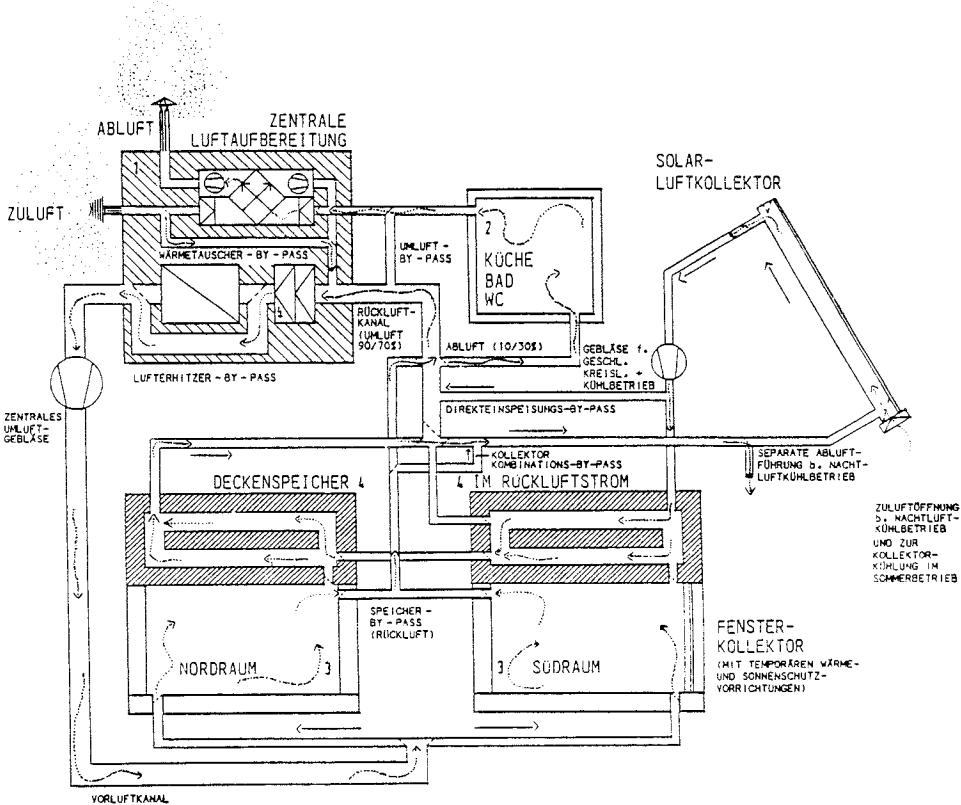
- keine Lufterwärmung durch das aktive Heizsystem
- ggf. Erhöhung der Luftwechselrate unter Umgehung der Wärmerückgewinnungsanlage
- Speicherbauteil vom Systemkreislauf abgekoppelt
- Luftkollektor hinter den Kollektor "Fenster + Raum" geschaltet
- Wärmeverschiebung in Defizitbereiche

KAP. III.3 - SYSTEMKONZEPT

Lastsituation 11



TAG



NACHT

Lastsituation 11

- Wärmespeicher ist entladen
- längerfristig kein Wärmebedarf des Gebäudes
- erhebliches Solarenergieangebot

Systembetriebs-Variante

- keine Lufterwärmung durch das aktive Heizsystem
- kontrollierte Lüftung
- ggf. Erhöhung der Luftwechselrate unter Umgehung der Wärmerückgewinnungsanlage
- Speicheranordnung im 'Zuluftstrom' am Tag
- Durchströmung der Speicher- masse mit kühler Außenluft in der Nacht
- Vergrößerung der Speicher- masse auf ein Maximum
- Luftkollektor vom System- kreislauf abgekoppelt, Zu- und Abluftöffnungen sind geöffnet, so daß dort erwärmte Luft abgeführt werden kann.

3.3 Luftdurchströmte, wärmespeichernde Bauteile

Die nachfolgende Übersicht zeigt, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, einige Bauteile, deren Verwendung zur Bildung luftdurchströmter, wärmespeichernder Bauteile denkbar ist. Alle diese Bauelemente existieren bereits seit längerer Zeit auf dem Markt und ermöglichen häufig äußerst preiswerte Bauteilkonstruktionen.

Der Aspekt der Hygiene spielte unter dem Gesichtspunkt des offenen Systembetriebs bei der Auswahl dieser Bauelemente eine besondere Rolle: zum jetzigen Zeitpunkt können mangels Erkenntnissen aus praktischen Untersuchungen lediglich aus Analogieschlüssen Angaben zur Auswahl des Speicherbauteilmaterials gemacht werden. Daher muß sich die Übersicht auf solche Bauelemente beschränken, die aus mineralischen Baustoffen mit gesinterter Oberfläche oder Beton bestehen (vgl. /B13/; die Verwendung von Glas als Speicherbauteil kann ausgeschlossen werden).

Zudem liegen Erkenntnisse/Erfahrungen bezüglich

- der thermodynamischen Eigenschaften luftdurchströmter Bauteile (z.B. Turbulenzen wegen zu hoher Rauigkeit innerhalb des Bauteils/Druckverluste) sowie
- der Konstruktion luftdurchströmter, wärmespeichernder Bauteile (z.B. Dichtung von Bauteilen, die aus einer Vielzahl von Einzelementen bestehen; wie Hohlsteindecken)

noch nicht in ausreichendem Umfang vor. Die Übersicht der Bauelemente ist daher mit den entsprechenden Vorbehalten behaftet.

Im Hinblick auf eine Systemoptimierung bzw. Vergrößerung des (Markt-) Angebotes von Bauelementen zur Luftführung und Wärmespeicherung erscheint es daher unbedingt erforderlich, die entsprechenden Erkenntnisse in praktischen Untersuchungen zu sammeln.

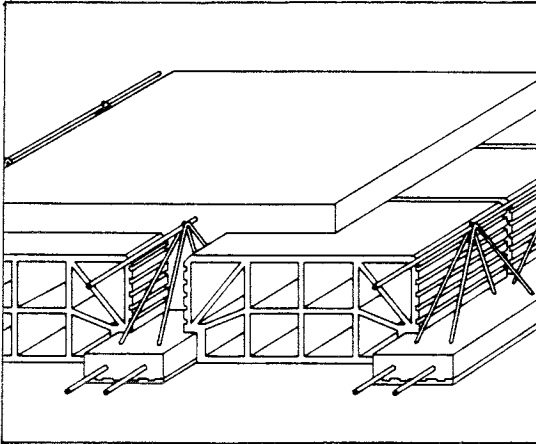
Energetisch vorteilhaft ist die Verwendung von Innenbauteilen (Innenwände, Decken) zur Luftführung und Wärmespeicherung (vgl. 1.3.2). Welche Bauteile dieses im einzelnen sein können (oder müssen), wird der konkrete Gebäudeentwurf zeigen.

Gleiches gilt für die Wirtschaftlichkeit von Speicherbauteilen, die ganz erheblich von den entwurfsspezifischen, statisch-konstruktiven Anforderungen bestimmt wird.

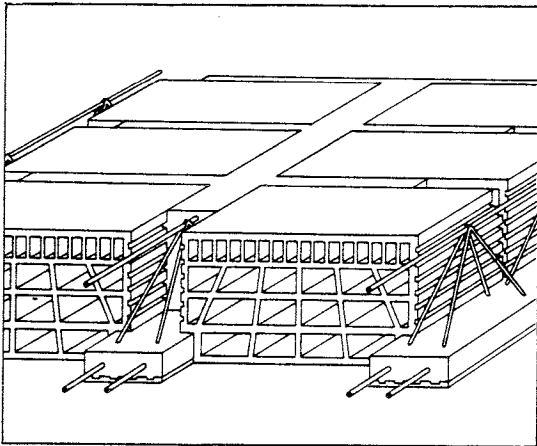
Eine beträchtliche Verbesserung der Wärmespeicherung könnte durch den Einsatz von Latent-Speichern erreicht werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurden diese Speichermassen jedoch nicht berücksichtigt, weil die Voraussetzungen für deren wirtschaftlichen Einsatz noch nicht gegeben sind. Grundsätzlich ist aber die Integration von Latent-Speichern in das Systemkonzept möglich.

Folgende Bauteile sind beispielsweise für den Einsatz als luftdurchströmte Speicherbauteile geeignet:

Ziegeldecken-Deckensysteme; Abb. n. /Z04/
Materialpreis: 32,-- bis 40,-- DM/m²

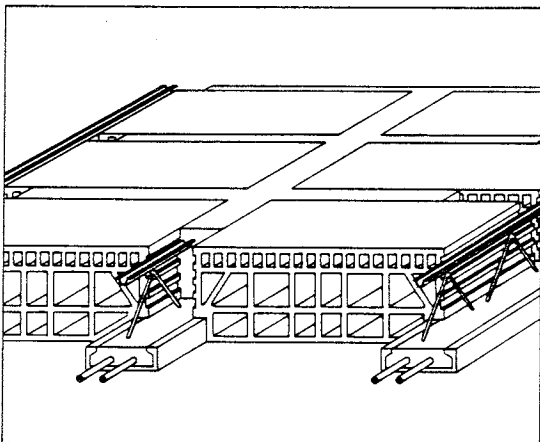


Stahlbetondecke mit mind. 5cm
Ortbetonschicht

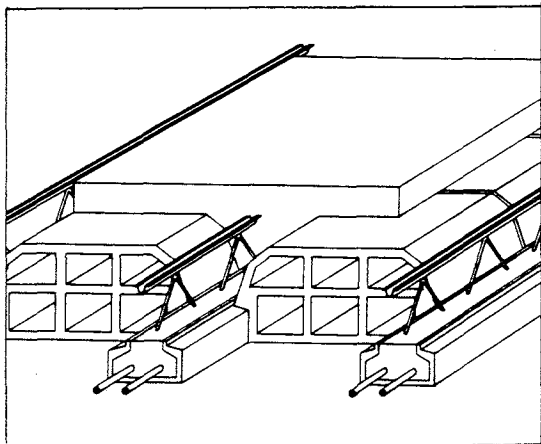


Stahlbetonrippendecke mit sta-
tisch mitwirkenden Deckenzie-
geln

Filigran-Ziegeldecke; Abb. n. /Z04/

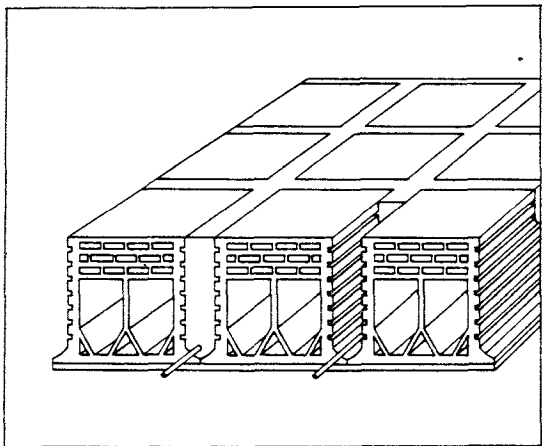


Stahlbetonrippendecke mit sta-
tisch nicht mitwirkenden Dek-
kenziegeln und mind. 5cm Ort-
betonschicht

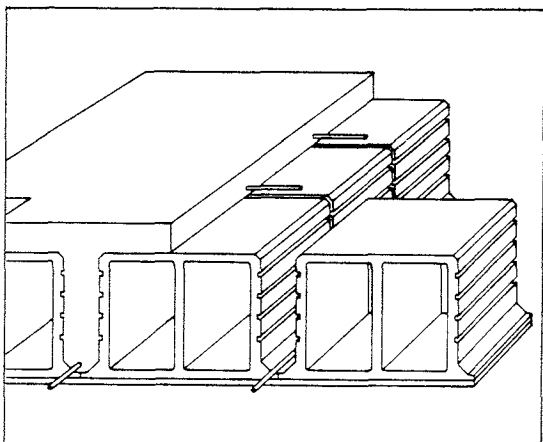


Stahlbetonrippendecken mit
statisch nicht mitwirkenden
Deckenziegeln und mind. 5cm
Ortbetonschicht

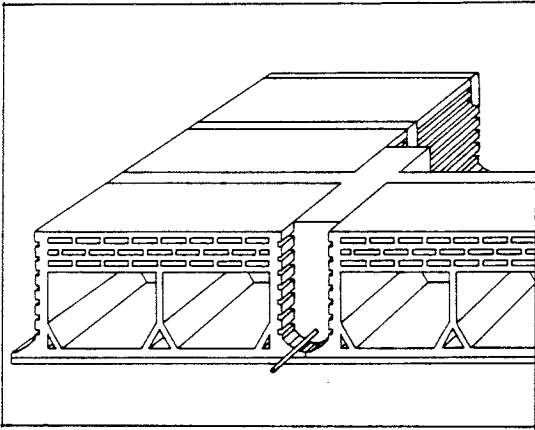
Stahlsteindecken aus Ziegeln für teilvermörtelte Stoßfugen;
Abb. n. /Z04/



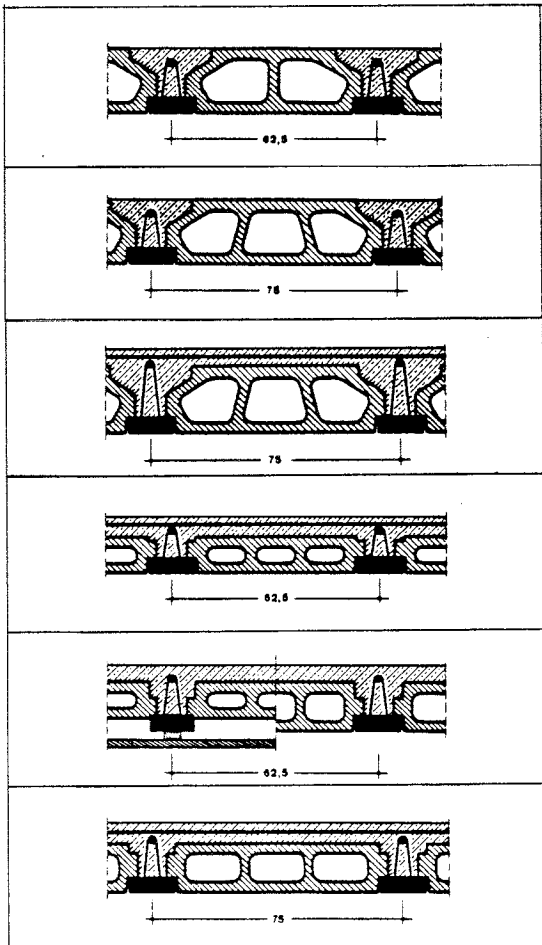
Stahlbetonrippendecken mit statisch nicht mitwirkenden Zwi-
schenbauteilen aus Ziegeln; Abb. n. /Z04/
Materialpreis als Deckenplatte: ca. DM 70,-- (aufgelegt)



mit statisch mitwirkenden Ziegelbauteilen:



Hohlsteindecken (Deckensteine aus Leichtbeton); Abb. n. /K20
 Materialpreis: ca. 35,-- DM/m²



Balkendecke

Balkendecke

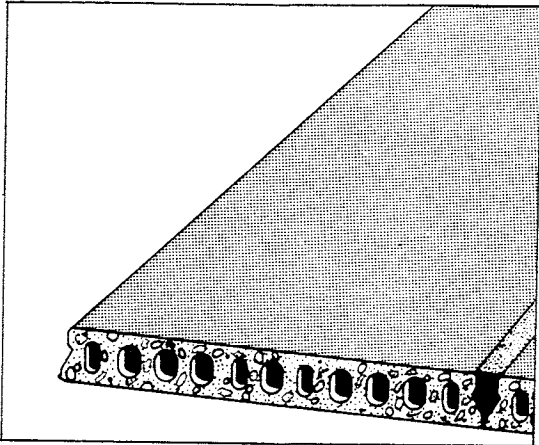
Stahlbetonrippendecke

Stahlbetonrippendecke

zweischalige Balkenlage

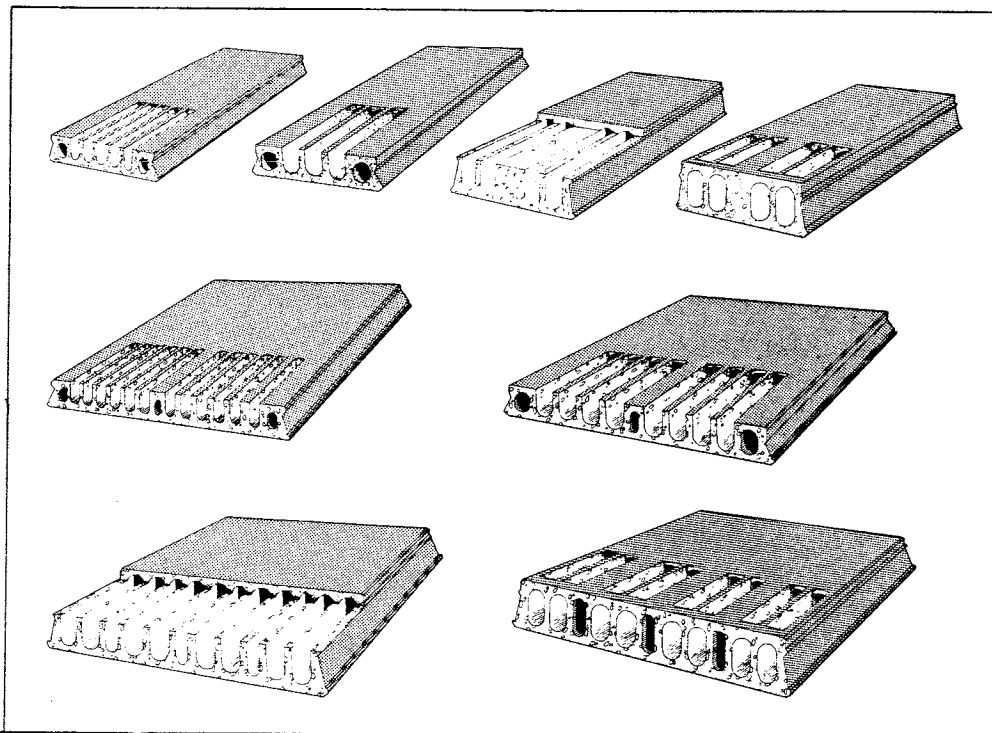
Stahlbetonrippendecke

Fertigteildecken aus Spannbeton bieten derzeit offenbar die günstigsten Voraussetzungen für den Einsatz als luftdurchströmtes, wärmespeicherndes Bauteil.



Fertigteil-Platten aus Spannbeton; Abb. n. /E07/
 Materialpreis: ca. 75,-- bis 80,-- DM/m² (aufgelegt)

Hinsichtlich der Anschlüsse an die haustechnische Peripherie bieten sie besonders viele Konstruktionsmöglichkeiten.



Die Art des Anschlusses an die haustechnische Peripherie hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Allgemeingültige Angaben können daher nicht gemacht werden; die Art der Ausbildung muß auf die konkrete Verwendung abgestimmt sein. Zudem sollten derartige Anschlüsse auch in praktischen Versuchen untersucht werden.

III.4 Zusammenfassung

Die aus der breit angelegten Grundlagenermittlung für die Entwicklung eines integrierten Modelles von Gebäudekonzeption, Lüftungstechnik und passiv/hybrider Sonnenenergienutzung bei warmluftdurchströmten Bauteilen wichtigsten Gesichtspunkte lassen sich in Form eines Anforderungsprofils darstellen:

Zusammenfassung der Erkenntnisse in Form eines Anforderungsprofils an Warmluft-Heizkreisläufe mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen

Forderung:	Maßnahme/Bemerkung:
a) Allgemeine Anforderung des Komplexes 'Bauen + Energie'	
Verringerung des Wärmebedarfs von Gebäuden durch:	<ul style="list-style-type: none"> - Reduzierung der Transmissionswärmeverluste - Reduzierung der Lüftungswärmeverluste - Substitution des aktiven Heizenergiebedarfs durch alternative Energiequellen (Sonnenenergie)
b) Anforderungen an konventionelle Gebäude-Heizungssysteme allgemein:	
Optimierung der aktiven Heizenergie-Wandlung und Wärmeübertragung	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz von Brennwertkesseln zur Nutzung der in den Abgasen enthaltenen Wärme - Niedertemperatur-Betrieb zur Minimierung von Leitungs-, Stillstands- und Übertragungsverlusten
Vermeidung von Trägheits- und Stillstandsverlusten	<ul style="list-style-type: none"> - Verwendung eines thermisch möglichst trägheitslos reagierenden Wärmeträgermediums (= Luft) - Thermisch trägheitslose Wärmeübertragung (ggf. Wärmeträger- = Wärmeübertragungsmedium)
Systemintegrierte Möglichkeit zur Nutzung solarer und interner Wärmebeiträge	<ul style="list-style-type: none"> - bauliche Konzepte zur Sonnenwärme-Nutzung (passive/hybride Nutzung)

Forderung:

Maßnahme/Bemerkung:

c) Anforderungen an Warmluftheizungssysteme mit integrierten (Solar-) Speicherbauteilen

Energetische Aspekte

- | | |
|---|--|
| Thermisch flinke Reaktionsfähigkeit des Systems | <ul style="list-style-type: none"> - Reduzierung von Stillstands- und Trägheitsverlusten (s.o.) - Vermeidung von Auf- und Nachheizzeiten - rasche Reaktionsmöglichkeit des Systems auf Änderung der äußeren Heizbedingungen - verzögerungsfreie Wärmever-schiebung |
|---|--|

Integrationsfähigkeit der Systeme in das bauliche/gebäude-technische Gesamtkonzept

- | | |
|--|---|
| Möglichst weitgehende Integration des Systems in das aktive Gebäudeheizungs- und Lüftungskonzept | <p>Kombination des Systems mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> - aktiver Zusatz- (WL-) Heizung - kontrollierter mechanischer Lüftung - Wärmerückgewinnung aus der Abluft - ggf. (aktiven/hybriden) Einrichtungen zur Gebäudedekühlung - By-Pass-Luftführungen zur An- + Abkoppelung von Peripherie und Speicherbauteilen |
|--|---|

Systeminterierte Sonnenenergienutzung

- | | |
|---|---|
| Verbesserte hybride Nutzung solarer Einstrahlungsgewinne; Tertiärspeicherung von Solarwärme in den warmluft-durchströmten Bauteilen | <ul style="list-style-type: none"> - variable Kollektorauswahl zur Nutzung unterschiedlicher Temperaturniveaus - Direktverschiebung von Solarwärme im Gebäude - Nutzbarmachung kurzfristiger Insolarisation - kontrollierte Speicherentladung |
|---|---|

Thermische Behaglichkeit - Akustik - Hygiene

- | | |
|--|--|
| Beibehaltung/Verbesserung bestehender thermischer Behaglichkeitsstandards konventioneller Heizungen: | <p>Sicherstellung des Behaglichkeitsbereichs folgender Parameter:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Konstante Raumtemperaturen |
|--|--|

Forderung:

Maßnahme/Bemerkung:

Vermeidung akustischer Beeinträchtigungen durch das System:

Verhinderung von:

- Temperatur-Verlaufsprofil
- Raumluftgeschwindigkeit
- Luftfeuchte

Gewährleistung eines hygienisch einwandfreien Systembetriebs

Vermeidung von:

- Schadstoffübertragung
- Geruchsübertragung
- Schadstoffentstehung im System
- Schadstoffemission aus Speicherbauteilen

Wirtschaftliche Aspekte der Systemherstellung und des Systembetriebs

Konkurrenzfähigkeit der Systeme mit konventionellen Vergleichslösungen bezüglich der Herstellungs- und Betriebskosten

Anzustrebende Ziele bei der Planung, Herstellung und dem Betrieb der Systeme:

- Kompensation der Initialkosten durch Mehrfunktion und -nutzung der Systemkomponenten
- Herstellung und Einbau der Speicherbauteile ohne Mehrkosten gegenüber konventionellen Bauteilen
- Reduzierung der Betriebskosten durch:
 - solare Heizbeiträge
 - integrierte kontr. Lüftung
 - Ausnutzung der thermophysikalischen Eigenschaften des Wärmeträgermediums

Dieses bildet die Grundlage für die Analyse der zu untersuchenden, auf dem Markt oder sich im Projektstadium befindenden Systeme. Es stellt jedoch - neben einer Reihe weiterer bereits genannter Gesichtspunkte - auch den Anhalt für zu entwickelnde "ideale Systemkonzepte" dar.

KAP. III.4 - ZUSAMMENFASSENDER ÜBERBLICK

Die Untersuchung der siebzehn aus einer großen Sammlung ausgewählten Projekte erfolgt nun über eine Analyse der systemcharakterisierenden Eigenschaften der Projekte:

Systemübersicht

		II.11 HAMBRO (KNAUF)	II.12 THEP-MODECK	II.13 AIR-LODR	II.14 FUGHS	II.15 HAERLAND	II.16 AUSGEN	II.17 SOU-POR	II.18 HOFFMAN	II.19 BRINK	II.20 MITCHELL	II.21 GRAEFF-SLAB	II.22 FLEXCORE	II.23 ACRON-SLAB	II.24 ARNKE	II.25 SEPPANEN	II.26 TRANSPAR. WD	II.27 BAMBEK	
1	Derzeitiger Einsatz	1 Einfamilienhaus	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		2 Mehrfamilienhaus		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		3 Büro-/Verwaltungsgeb.		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		4 sonstige Gebäude		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
2	Entwicklungsstand	1 Theoretisches Konzept	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		2 Pilotprojekt/Prototyp	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		3 Serie		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3	Funktion	1 Gebäudeneizung	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		2 Kühlung/Klimatisierung		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
4	Sonnenenergienutzung	1 passiv	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		2 hybrid	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		3 aktiv		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
5	Sonnenenergieeinrichtung	1 (Süd-) Fenster/Zone	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		2 Wintergarten		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		3 Sonnenwand		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		4 (Luft-) Kollektor		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		5 sonstige		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
6	Systembetrieb	1 offen	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		2 geschlossen		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		3 Wechselbetrieb (o/g)		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
7	Speicherbauteil	1 (Geschuß-) Decke	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		2 Innenwand		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		3 Außenwand		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		4 Zusatzspeicher		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
8	Speichermaterial	1 Beton-/werkstoff	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		2 Mauerstein (Ziegel, KS)		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		3 Naturstein		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		4 Sandwich-Konstruktion	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
9	Speicheranordnung*	1 im Zuluftstrom	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		2 im Rückluftstrom	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		3 alternierend		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
10	Oberfläche Luftführung	1 wie Speichermat. (s.8)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		2 Kunststoff		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		3 Metall		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		4 Komb.m.1; sonstige	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
11	Hohlräume im Speicherbauteil	1 vorhanden	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		2 konstruktiv ausgebildet	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
12	Vorfertigungsgrad	1 vollständig	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		2 teilweise		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
13	Bauteil-ausbildung	1 homogen (integr. Hohlraum)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		2 Komb. schwer - schwer		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		3 Komb. schwer - leicht		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
14	By-pass*	1 Speicher	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		2 elektrisch	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
15	Luftstromantrieb	1 Schwerkraft (Kamineffekt)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		2 elektrisch		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
16	Luftumwälzung*	1 Umluft	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		2 Mischluft	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		3 Frischluft		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
17	Zusatzheizung	1 Warmluft (NF)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		2 Warmwasser (NF)		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		3 Wärmepumpe		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		4 Elektro (direkt)		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		5 sonstige		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
18	Systemsteuerung + -regelung	1 Hand	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		2 teilautomatisch		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		3 vollautomatisch	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
19	integrierte* Raumluftkonditionierung	1 kontroll. Lüftung	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		2 WRG aus Abluft		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		3 Befeuchtung		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
20	Filterung*	1 Zuluft																	
		2 Fortluft																	
		3 Umluft																	
21	Nachrüstung	1 in vorh. Bausubstanz																	
		2 Spez. Systemvoraussetz.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
22	Ergänzende Systemangaben zu:	1 Energiebilanz	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		2 Wirtschaftlkt./Kosten	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		3 Akustik*	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		4 Hygiene*		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		5 Reinigung* + Wartung		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		6 interne Wärmegellen		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		7		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
23	Anwendungsübertragung	1 Nutzung	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		2 geographisch/klimat.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

* Relevanz i.d.R. nur für den offenen Systembetrieb

Die doch sehr unterschiedlichen Ansätze bedingen eine weitere Systematisierung, um eine eingehende Beurteilung zu ermöglichen. Es kristallisieren sich dabei zuzüglich einiger Varianten sechs Systemkonzepte heraus:

- Systemkonzept 1 Geschlossener Systemkreislauf, d.h., zwischen Kollektoreinrichtung und Speicherbauteil zirkuliert ein geschlossener Luftkreislauf.
- Projekt Nr. 12 Flexicor
 Nr. 13 Acorn-Slab
 Nr. 14 Arnke
 Nr. 16 Küsgen
 Nr. 17 Bambeck
- Systemkonzept 2 Variante des geschlossenen Systemkreislaufs: zur Speicherentladung wird ein offener Systembetrieb gewählt.
- Projekt Nr. 3 Airfloor
 Nr. 8 Hohlkörperdecke
 Nr. 16 Transparente Wärmedämmung
- Systemkonzept 3 Es nutzt ausschließlich das interne Wärmeaufkommen aus Solareinstrahlung und internen Wärmequellen.
- Projekt Nr. 10 Mitchell
 Nr. 11 Chaleff-Slab
 Nr. 13 Acorn-Slab
- Systemkonzept 4 Passiv/hybride Solarenergiesysteme in Verbindung mit Luftheizungssystemen im offenen Systembetrieb.
- Projekt Nr. 1 Hambro
 Nr. 2 Isfält
 Nr. 9 Brink
 Nr. 15 Seppanen
- Systemkonzept 5 Systemkonzept der Gebäudekühlung
- Projekt Nr. 4 Fuchs
 Nr. 5 Haferland
- Systemkonzept 6 Sonderfall der "Porenlüftung"
- Projekt Nr. 7 Solpor

KAP. III.4 - ZUSAMMENFASSENDE ÜBERBLICK

Um die Beurteilung vornehmen zu können wird folgender Beurteilungskatalog in die Systembewertung eingeführt.

ABB. S. TEXT VERSCHIEDENE SEITEN TEIL III.

Beurteilung vorhandener Systeme mit wärmeluftdurchströmten Bauteilen

	II 17	BAMPEK II 16	MUSGEN II 14	MONKE II 11	ACORN-SLAB II 18	MOHAKÖRPEREULEN II 13	AIRFLOOR II 16	TRANSPARENT W0 II 13	ACORN-SLAB II 10	SOLO-RE-ON- SOLO-SPEICHER II 11	CHALLEFF-SLAB II 11	KAMPBRO/ANALUF II 12	ISFALT II 15	SEOPANKEN/ODANTTI II 19	BRANK II 15	KAEGERLAND II 14	FUCHS II 17	SOLPOR II 17		
Systembetriebl	Passive/hybride Sonnenenergienutzung	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	Nutzung interner Wärmeüberschüsse (interne Wärmequellen/Einstrahlung)	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	
	Thermische Reaktionsvermögen	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Kombination mit haustechnischer Peripherie	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Wärmespeicherung	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	Lüftung	kontrolliert	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		mit WRG	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Leitung	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Wärmeabgabe im Raum (vorwiegend)	Strahlung	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○
		Strahlung	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Konvektion	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Steuerung und Regelung der Wärmeabgabe	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Wärmeverschiebung/Wärmetransport/Verteilung vom Speicher in Defizitbereiche	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Temperaturprofil	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Hygiene	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
Akustik	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
Kombination mehrerer unterschiedlicher Kollektorsysteme	Fenster	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Luftkollektor (So-Wand)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Wintergarten	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Option Gebäudekühlung	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
Speicher-Bauteil	Speicherbauteil	intern	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		in der Gebäudehülle	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Speichermaterial	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Vorfertigungsgrad	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Luftkanalausbildung	konstruktiv	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		vorhanden	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Herstellbarkeit Bauteil/Luftführung	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Oberfläche Luftführung	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Verhältnis Speicherbauteilmasse/ konstruktiv notwendige Bauteilmasse	keine	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		zusätzl. Bauteilschicht	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Wärmedämmung der Speicherbauteile (ein- und mehrseitig)	Bestandteil d. Bauteils	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	einseitig	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Aktivierung der Speichermasse (Oberfl.)	einseitig	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	mehrseitig	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Anschluß an die Systemperipherie	Ausbildung der Luft- führung von/zum Bauteil	konstruktiv	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		vorgefertigt	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Oberfläche Anschlußkanäle	konstruktiv	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		vorgefertigt	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Herstellbarkeit des Anschlusses an das Bauteil	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
Anschluß an den Luftstromantrieb	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
Anschluß an den Kollektor	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		

● positiv ○ negativ ◐ keiner Bewertung unterzogen

Danach ist festzustellen, daß zwar bei vielen Projekten einzelne Gesichtspunkte im Hinblick auf die Forschungsthematik verwendbar sind, jedoch andere wichtige Maßnahmen, die erst ein optimales System ergeben, noch ungelöst bleiben.

Um nun ein "ideales Systemkonzept" zu entwickeln, sind folgende Gesichtspunkte in die Überlegungen einzubeziehen:

- Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen des vorher aufgestellten Anforderungsprofiles.
- Anordnung der Betriebsweise nach dem Systemkonzept 4: "passiv/hybride Solarenergienutzung in Verbindung mit Luftheizungs-Systemen im offenen Systembetrieb", da diese Anordnung aufgrund der Forschungsergebnisse die günstigsten Integrationsvoraussetzungen bietet.
- Ein "Idealkonzept" muß bezüglich seiner unterschiedlichen Betriebsstufen, d.h. Lastsituationen, hinterfragt werden, da erst die Berücksichtigung aller vorkommenden Lastfälle zu einem optimalen Systemkonzept führt.
- Die Strahlungssammlung soll als Kombination der Kollektoreinrichtungen "Fenster mit dahinterliegendem Raum" und "Luftkollektor" erfolgen, da so ein höherer Wirkungsgrad bezüglich der Ausnutzung von Solarenergie in unserer Klimazone zu erwarten ist. Der Einsatz transparenter Wärmedämmungen als Kollektorabdeckung könnte dabei auch eine wichtige Rolle spielen.
- Unter den Aspekten der Wirtschaftlichkeit, der Hygiene und der Wärmespeicher-Kapazität sollte zunächst der Einsatz von Stahlbeton-Hohlplatten zur Luftführung und Wärmespeicherung angestrebt werden. Die Wärmespeicherung sollte dabei in internen Bauteilmassen erfolgen.

Aus diesen Punkten und der Analyse der vorgefundenen Projekte, die wohl repräsentativ für die verschiedenen auf dem Markt befindlichen und in der Forschung diskutierten Lösungsansätze sind, läßt sich nachfolgendes Systemprinzip entwickeln.

3.1 Systemskizze

1. Zentrale Luftaufbereitung mit:

- Haupt-(Umluft-)Filter
- Lufterhitzer
- mechan. Vorfilter, elektrost. Filter
- Mischkammer (Um-, Frischluft)
- rekuperativer Abluft-Wärmerückgewinner mit Zu- und Abluftventilator und Zu- und Abluftfilterung

2. Küche, Bad und WC

- Bad und WC ggf. mit elektrischer Nachheizeinrichtung

3. Südraum

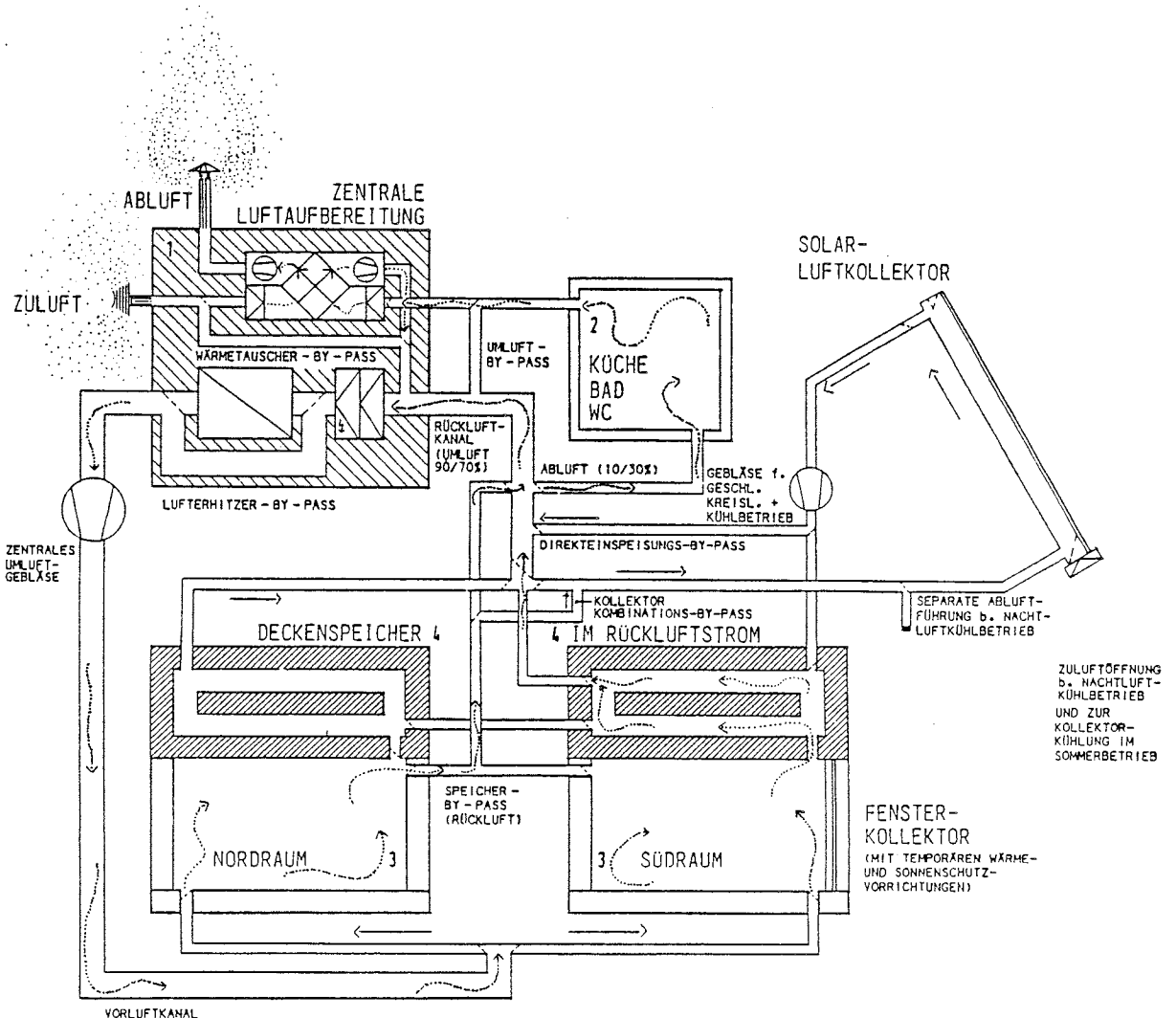
- Sonneneinstrahlungszone (Primär- und Sekundär-Speicherung)

4. Luftdurchströmtes Speicherbauteil

- Innenwände
- Geschoßdecken

5. Zusätzliche Kollektoreinrichtung

- z.B. Luftkollektor



Um diese nun bezüglich ihrer Funktionsfähigkeit hinterfragen zu können, werden aufgrund der vorangegangenen Erkenntnisse folgende Lastsituationen ermittelt.

Lastsituationen

Die möglichen Lastsituationen, denen ein Gebäude mit passiver/hybrider Sonnenenergienutzung in Verbindung mit luftdurchströmten, wärmespeichernden Bauteilen ausgesetzt ist, bedingen Systembetriebs-Varianten, die in ihrer Summe schließlich das Konzept für den optimierten Systembetrieb bilden (vgl. 3.).

Daher ist es unumgänglich, alle möglichen Lastsituationen aufzuzeigen und daraus sinnvolle Systembetriebs-Varianten abzuleiten.

Die Formulierung der nachfolgenden Lastsituationen basiert auf dem idealen, theoretischen Modell eines Gebäudes unter Berücksichtigung der Systemvoraussetzungen aus 1.1 - 1.3. Zur Strahlungssammlung soll eine Kollektorkombination aus den Einrichtungen 'Fenster mit dahinterliegendem Raum' und Luftkollektor verwendet werden.

Anmerkung: Die Kombination von mehr als zwei Kollektoreinrichtungen ist möglich. Es ergeben sich daraus prinzipiell die gleichen Bedingungen und Anforderungen wie für das dargestellte Systemkonzept.

Lastsituationen

1. - Wärmespeicher ist entladen;
- keine Solarenergiegewinne;
- Wärmebedarf im Gebäude vorhanden.
2. - Wärmespeicher ist entladen;
- Solarenergiegewinne beider Kollektoreinrichtungen liegen im Bereich des Gebäude-Wärmebedarfs.
3. - Wärmespeicher ist entladen;
- internes Wärmeaufkommen und Solarenergiegewinne durch Fenster decken den gesamten Wärmebedarf;
- Luftkollektor produziert Wärmeüberschüsse.
4. - Wärmespeicher ist entladen;
- Wärmeabgabe beider zusammenwirkender Kollektoreinrichtungen übersteigt den Wärmebedarf des Gebäudes.
5. - Wärmespeicher ist entladen;
- internes Wärmeaufkommen und Solarenergiegewinne durch Fenster übersteigen den gesamten Wärmebedarf des Gebäudes;
- Luftkollektor produziert keine nennenswerten Wärmemengen.
6. - Wärmespeicher ist geladen;
- keine Solarwärmegewinne;
- Wärmebedarf im Gebäude vorhanden.
7. - Wärmespeicher ist geladen;
- Solarenergiegewinne beider Kollektoreinrichtungen decken vollständig den Wärmebedarf des Gebäudes.

8. - Wärmespeicher ist geladen;
 - internes Wärmeaufkommen und Solarenergiegewinne durch Fenster decken den gesamten Wärmebedarf des Gebäudes;
 - Luftkollektor produziert Wärmeüberschüsse.
9. - Wärmespeicher ist geladen;
 - internes Wärmeaufkommen und Solarenergiegewinne durch Fenster übersteigen den Wärmebedarf des Gebäudes;
 - Luftkollektor produziert keine nennenswerten Wärmemengen.
10. - Wärmespeicher ist vollständig geladen, seine Speicherkapazität ist erschöpft;
 - Solarenergiegewinne beider Kollektoreinrichtungen übersteigen den Wärmebedarf des Gebäudes.
11. - Wärmespeicher ist entladen;
 - längerfristig kein Wärmebedarf des Gebäudes (Sommer);
 - erhebliches Solarenergieangebot.
12. - Wärmespeicher gering geladen; der Energieeinsatz für eine kontrollierte Wärmeentnahme ist größer als eine mögliche Energieeinsparung dadurch;
 - beide Kollektoreinrichtungen produzieren nur geringe Wärmemengen.

Anmerkung: Für alle Systembetriebs-Varianten soll zudem gelten, daß alternativ Frisch-, Misch- und Umluftbetrieb (vgl. I.3) möglich ist.

Diese ergeben im Systembetrieb variierende Schaltschemen der einzelnen Betriebsteile bei den einzelnen Lastsituationen.

Es ist festzustellen, daß das entwickelte Systemkonzept die einzelnen Lastsituationen durch seine vielfältigen Systembetriebs-Varianten beherrscht.

Somit ist die Grundlage für das Ziel der Forschungsarbeit, die Verwendung warmluftdurchströmter Bauteile unter Berücksichtigung des Einsatzes passiv/hybrider Solarenergieanlagen als energiesparende Maßnahme vorzusehen, gegeben.

Die vorgeschlagene Systemkonzeption weist als wesentlichen Lösungsansatz die Mehrfachfunktion der erforderlichen Systemperipherie sowie die weitestmögliche Ausschöpfung der Möglichkeiten einer Sonnenwärmenutzung im Sinne eines passiv/hybriden Nutzungskonzeptes auf.

Sie bedingt natürlich auch eine weitgehende Abstimmung von Nutzergewohnheiten, Randbedingungen der Grundstückslage sowie einer daraus entwickelten Gebäudekonzeption mit dem Lüftungssystem. Sie geht von einer sogenannten kontrollierten Lüftung mit Wärmegewinnung zur Reduzierung der Lüftungswärmeverluste aus.

Unter diesen Aspekten ist abzusehen, daß bei Berücksichtigung all dieser Konditionen die Investitionskosten für ein solches Konzept in wohl noch vertretbarem Maß höher als bei vergleichbaren konventionellen Anlagen, die Betriebskosten und damit die Einergieeinsparung jedoch erheblich unter bisheri-

gen Betriebskostenansätzen konventioneller Anlagen liegen werden.

Präzisere, als in der Forschungsarbeit angegebene, Angaben über die Wirtschaftlichkeit können in dieser Grundlagenarbeit nicht gemacht werden. Dazu sind konkrete Messungen unter realen Bedingungen am fertigen Objekt über längere Zeiträume erforderlich. Dies stellt aber erst den nächsten Schritt in der Verfolgung der Konzeptideen dar.

Auf die genauere konstruktive Durchbildung des Systems wurde verzichtet, da dies den Umfang der sowieso sehr breiten Grundlagenermittlung gesprengt hätte. Anhand der untersuchten Projekte ist jedoch davon auszugehen, daß dies keine große Schwierigkeit darstellt, da auch aus dem Lüftungsbau bekannte Bauteilkomponenten in das Konzept integriert werden können.

A N H A N G

A n h a n g:

- A.1 - Gutachterliche Stellungnahme über das Forschungsvorhaben des Instituts für Bautechnik und Entwerfen "Kostenreduzierung durch warmluftdurchströmte und wärmespeichernde Bauteile in Verbindung mit passiven Sonnenenergiesystemen" aus hygienischer Sicht (Prof. Beckert) A.1 - 1
- A.2 - Thermodynamische, technische und stoffliche Aussagen zum Forschungsvorhaben "Kostenreduzierung durch warmluftdurchströmte und wärmespeichernde Bauteile in Verbindung mit passiven Sonnenenergiesystemen" (Dr. Schröder) A.2 - 1
- A.3 - Literatur- und Quellenverzeichnis A.3 - 1

Anhang 1 - Gutachterliche Stellungnahme über das Forschungsvorhaben des Instituts für Bautechnik und Entwerfen "Kostenreduzierung durch warmluftdurchströmte und Wärmespeichernde Bauteile in Verbindung mit passiven Sonnenenergiesystemen" aus hygienischer Sicht

Herr Prof. Beckert, Direktor des Instituts für Hygiene der Medizinischen Hochschule Lübeck, wurde gebeten, zu den hygienischen Aspekten des Untersuchungsgegenstandes Stellung zu nehmen.

In Kapitel I.5 wurden die gutachterliche Stellungnahme und die Erkenntnisse von Prof. Beckert bereits zusammengefaßt.

Auf den folgenden Seiten werden nun die Problemstellung, die Prof. Beckert als Grundlage für seine Aussagen dienten und die gutachterliche Stellungnahme im Wortlaut wiedergeben.

Forschungsvorhaben: "Kostenreduzierung durch warmluftdurchströmte und wärmespeichernde Bauteile in Verbindung mit passiven Sonnenenergiesystemen"

Auftraggeber: Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Geschäftszeichen B I 5 - 80 01 84 - 209

Auftragnehmer: Institut für Bautechnik und Entwerfen, Abteilung für Baukonstruktion und Entwerfen, Universität Hannover (o.Prof. P. Kaup)

Forschungsansatz:

Die in der Baukonstruktion von Ein- und Zweifamilienhäusern vorhandene Masse soll dergestalt aktiviert werden, daß sie die in der Raumluft enthaltene (überschüssige) Wärmeenergie speichern und bei Bedarf (zeitlich versetzt) wieder an den Raum zurückgeben kann.

Betriebsweise als offenes System

Betrieb in der kalten Jahreszeit:

Aus den Räumen wird die dort (passiv) erwärmte Luft abgesaugt und in durchströmbare Hohlräume in Wände, Decken, Zwischenböden o.ä. geleitet. Nachdem die Luft die Wärmeenergie dort an die Bauteile abgegeben hat, gelangt sie erneut in den Raum, zirkuliert also innerhalb eines sogenannten 'offenen' Kreislaufs. Die Luftstrombewegung wird mechanisch aufrecht erhalten.

Bei auftretendem Wärmebedarf in den Räumen kehrt sich das Wirkungsprinzip dieses Vorganges um: die (nunmehr kühlere) Raumluft nimmt auf ihrem Weg durch das Bauteil die dort gespeicherte Wärmeenergie wieder auf und transportiert sie zurück in den Raum (Konvektion). Ein Teil der Wärme kann dem Raum auch über Wärmeabstrahlung des Bauteils an den Raum wieder zugeführt werden.

Betrieb in der wärmeren Jahreszeit:

In diesem Fall (Sommer) soll das System nicht zur Raum- bzw. Gebäudeheizung dienen, sondern die Übererwärmung des Gebäudes verhindern.

Dazu werden in den Nachtstunden die Bauteile von der kühlen Außenluft durchströmt und diesen somit die Wärmeenergie entzogen. Tagsüber stellt sich dann der gleiche Funktionsablauf ein wie im Winterbetrieb: die Raumluft gibt die in ihr enthaltene Wärme wiederum an das durchströmte Bauteil (= die

ausgekühlte Speichermasse) ab, wodurch die Übererwärmung der Raumluft und damit auch der Räume verhindert werden kann.

Ausbildung der durchströmbaren Bauteile

Innerhalb der wärmespeicherfähigen Gebäudemasse befinden sich Hohlräume, durch welche die Luft hindurchströmen kann. Dies können sowohl im Bauteil bereits vorhandene (Lochsteine, Hohlkammerplatten und -elemente etc.) oder eigens zum Zwecke des Durchströmens ausgebildete (abgehängte Decken, Luftspalt zwischen 2 Wänden, aufgeständerte Böden etc.) Hohlräume sein. Hinsichtlich der Hohlraumquerschnitte und der -dimensionen bestehen zunächst noch keine Vorgaben.

Es kann davon ausgegangen werden, daß die Hohlräume innerhalb der Bauteile nach Herstellung bzw. Einbau im Gebäude nicht mehr oder nicht mehr ohne weiteres zugänglich sein werden.

Materialien

Bedingt durch die Mehrfunktionalität (Tragen, Hüllen, Dämmen etc.) der zu durchströmenden Speichermassen konzentriert sich die Untersuchung bezüglich der einzusetzenden Materialien zunächst auf alle herkömmlichen, speicherfähigen ("schweren") Baustoffe und -elemente. Im Falle der Ausbildung von Hohlräumen sind jedoch auch, zumindest einseitig (s. Bsp. abgehängte Decken), leichte Baumaterialien denk- und einsetzbar.

Eine spezielle Oberflächenausbildung/-behandlung der zu verwendeten Materialien (etwa zur Verminderung des Reibungswiderstandes, zur Verhinderung mechanischen Abriebs etc.) ist bislang nicht vorgesehen; eine solche könnte jedoch, je nach Art des Materials, des Herstellungsprozesses, der Konstruktion etc., erwogen werden.

Haustechnik

Es bietet sich an, Überlegungen bezüglich der Systemintegration raumluftechnischer Einrichtungen und der aktiven Zusatzheizung anzustellen.

Da der projektierten Wirkungsweise des Systems das Wärmeträger- und Transportmedium Luft zugrunde liegt, stellt sich die Frage nach der Kombination des Systems der warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteile mit einer Warmluftheizung, mit Einrichtungen zur kontrollierten Lüftung (Mischluftbetrieb, kontrollierter Außenluftanteil) und mit einer Anlage zur rekuperativen Rückgewinnung der in der Fortluft enthaltenen Wärmeenergie.

Ebenso könnten weitere Komponenten zur Raumluftkonditionierung (Filterung, Befeuchtung) miteinbezogen werden.

Den Bewohnern sollte es über die Steuer- und Regeleinrichtungen möglich sein, die Menge der Wärme- und Luftzufuhr innerhalb bestimmter Bereiche nach individuellem Bedarf zu beeinflussen.

Kosten

Die Kosten für Herstellung, Betrieb und Wartung von mit warm-luftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen ausgerüsteten Gebäuden sollten sich in einem Rahmen halten, der die Konkurrenzfähigkeit dieser Gebäude auch unter den Vorgaben des gegenwärtigen Trends zum flächen- und kostensparenden Bauen gewährleistet.

Behaglichkeit

Durch den Systembetrieb darf das physische Wohlbefinden der Bewohner zu keinem Zeitpunkt und in keiner Weise beeinträchtigt werden. Zwar sind Toleranzen einzuräumen, die Grenzen jedoch soll der Bewohner selber bestimmen und ggf. über die Steuer- und Regeleinrichtungen entsprechend seiner subjektiven Bedürfnisse aktiv in den Systembetrieb eingreifen können.

Mögliche Beeinträchtigungen durch das System und den Systembetrieb;

Problemstellung gemäß wohnhygienischer Anforderungen

Vorbemerkung: Das Forschungsvorhaben befindet sich derzeit in der Phase der ausschließlich theoretischen Bearbeitung; konkrete Anhaltspunkte aus einem parktischen Systembetrieb liegen daher noch nicht vor.

Stellungnahmen und Aussagen bezüglich der Wohnhygiene sind, soweit möglich, erforderlich zu folgenden denkbaren Problemfällen und Fragen:

1. Schadstoffübertragung durch das System (Träger- und Transportmedium Luft)
 - Arten der Schadstoffe (Ausgangsfall: "normaler" Haushalt;
 - Arten der möglichen Beeinträchtigungen durch Schadstoffe, Konsequenzen für Systemaufbau und -betrieb;
 - Möglichkeiten zur Vermeidung ev. Schadstoffübertragungen (Arten der Vermeidung, Filterung, Resultate, technischer Aufwand).

2. Schadstoffbildung im System
 - Eignung von Materialien zur (Warm-) Luftführung aus hygienischer Sicht, organische und anorganische Baustoffe;
 - Schadstoffansammlungen/-bildungen auf der Baustoff-bzw. Bauteiloberfläche;
 - Schadstoffemissionen bestimmter Baustoffe, kritische Baustoffe;
 - Feuchtigkeitsniederschlag (Kondensatbildung) im System mit ev. daraus resultierendem vermehrten Schadstoffauftreten (mikrobielles Wachstum auf den Materialoberflächen begünstigt durch feucht-warmes Klima).

Dazu folgende Anmerkung: Es kann nicht ausgeschlossen werden, daß es in Extremfällen, insbesondere im Sommerbetrieb, s.o., innerhalb der durchströmten Bauteile zur Unterschreitung der Taupunkttemperatur kommt.

- Fragen des Langzeitbetriebs.

3. Luftfeuchte

Gibt es, bezüglich des dargestellten Systemaufbaus, Anhaltspunkte, die eine Austrocknung der zirkulierende Luft erwarten lassen (mitteleurop. Klimadaten vorausgesetzt)? Einfluß von Baumaterialien auf den Feuchtegehalt der Luft? Bauliche Maßnahmen?

Prof. Dr. med. J. Beckert

Direktor des Instituts für Hygiene
der Medizinischen Hochschule Lübeck

Ratzeburger Allee 160 22.07.
2400 Lübeck 1
Tel. (04 51) 5 00 27 95
Prof. Be. /Wg.

Herrn

Prof. Dipl. Ing. P. Kaup
Inst. f. Bautechnik und
Entwerfen der
Universität Hannover
Schlosswender Str. 1

3000 Hannover 1

Gutachterliche Stellungnahme

über das Forschungsvorhaben des Instituts für Bautechnik und Entwerfen "Kostenreduzierung durch warmluftdurchströmte und wärmespeichernde Bauteile in Verbindung mit passiven Sonnenenergiesystemen" aus hygienischer Sicht.

Fragestellung der gutachterlichen Stellungnahme:

Beantwortet werden soll die Frage, ob bei warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen hygienische Probleme auftreten werden, ob Erfahrungen bereits vorliegen und welche Untersuchungen vorzunehmen sind, durch die die erforderlichen Kenntnisse erlangt werden können.

Grundsätzliches zu den geplanten Systemen:

Aus hygienischer Sicht wesentlich sind Eigenschaften der Systeme, die wie folgt beschrieben werden können:

1. Die für die Luftführung verwendeten Bauteile bzw. Kanäle werden in der Regel nicht mehr zugänglich sein, so daß eine Reinigung unter üblichen Bedingungen nicht möglich ist.
2. Die Raumluft wird durch die Bauteile geleitet und kehrt wieder in den Raum zurück, so daß Fragen der Emissionen der Baustoffe in den Kanälen mikrobieller und nicht mikrobieller Art Bedeutung erlangen.

Beurteilung:

A. Hygienische Problematik:

1. Übertragung und Verteilung von staubartigen Verunreinigungen mikrobieller und nichtmikrobieller Herkunft durch die zirkulierende Luft
2. Kompensation von Feuchtigkeit aus der Raumluft in den durchströmten Bauteilen mit daraus resultierendem mikrobiellem Wachstum (Keime, Schimmelpilze und dgl.) auf den Bauteiloberflächen
3. Schadstoffemissionen aus den durchströmten Bauteilen mit anschließender Übertragung an die Raumluft.

B. Bereits vorliegende Erfahrungen:

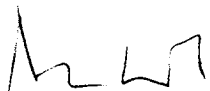
1. Aufgrund der Erfahrungen mit raumlufttechnischen Anlagen ist mit Verunreinigungen in den Kanälen zu rechnen, die auch gesundheitliche Probleme bei den Bewohnern entstehen lassen können. Bezüglich partikulärer Verunreinigungen besteht die Möglichkeit der Filterung. Dabei kommen zwei Systeme infrage, nämlich die mechanische Filterung mit der Problematik des Druckabfalles durch die Filterung und die elektrostatische Filterung ohne Druckabfall. Bei letzterer muß jedoch mit dem Ansteigen des Ozongehaltes der Luft gerechnet werden, so daß auch die Problematik der NO_x -Verbindungen in der Raumluft entsteht.
2. Aufgrund der zu erwartenden Lufttemperaturen und Luftfeuchtigkeiten ist damit zu rechnen, daß in den durchströmten Bauteilen unter extremen Bedingungen Kondensat entsteht.

Bei Verwendung organischer Baustoffe ist deshalb mit mikrobiellem Wachstum auf den Oberflächen der Bauteile zu rechnen. Bekannt ist ein Schimmelpilzwachstum, wobei Pilzsporen in die Luft gelangen können und wiederum gesundheitliche Probleme bei den Bewohnern auftreten können.

3. Bei Kondensatanfall in warmluftdurchströmten Bauteilen wird die Dauer bis zur Austrocknung wesentlich sein hinsichtlich der zu erwartenden hygienischen Probleme.
4. Im Gegensatz zu den in der Raumluft enthaltenen Partikeln ist es nicht möglich, Gase aus der Luft (wozu auch Wasserdampf zählt) herauszufiltern. Aus diesem Grunde haben Gase in Lüftungssystemen eine hervorragende gesundheitliche Bedeutung als Schadstoffe erlangt. Kenntnisse hinsichtlich der gesundheitlichen Bedeutung liegen für einige Emissionen, die von Baustoffen ausgehen können, vor.
5. Erfahrungen über die Eignung von Baustoffen hinsichtlich des mikrobiellen Wachstums liegen vor für Beton und für eine Reihe von Kunststoffen. Beton hat sich als Baustoff für Trinkwasserreservoirs als weitgehend unbedenklich erwiesen. Mikrobielles Wachstum auf den Betonoberflächen ist in der Regel nicht zu erwarten. Ähnliches Verhalten ist von den Baustoffen Glas und von anderen mineralischen Baustoffen mit gesinterter Oberfläche hinsichtlich des mikrobiellen Wachstums anzunehmen. Kunststoffe sind hinsichtlich des mikrobiellen Wachstums weitaus problematischer. Sie fördern mikrobielles Wachstum, da sie Nährbodeneigenschaften aufweisen.

C. Erforderliche Untersuchungen:

Obwohl eine Reihe von Erkenntnissen aus lüftungstechnischen Anlagen im Bereich der Industrie und im Bereich der Krankenhäuser vorliegen ist es nicht möglich, durch Analogieschlüsse verbindliche Aussagen über das Verhalten der warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteile zu machen. Dazu sind die Randbedingungen der lüftungstechnischen Anlagen im Vergleich zu warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen zu unterschiedlich. Um verbindliche Aussagen über die zu erwartenden Beeinträchtigungen der Bewohner in Gebäuden mit warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen zu ermöglichen, werden entsprechende Untersuchungen an einem Versuchsobjekt unabdingbar sein. Erforderlich wären Kanäle aus Materialien, die für derartige Anlagen in Betracht kommen. Die durch diese Kanäle geleitete Luft muß so aufbereitet werden hinsichtlich der Temperatur, der Luftfeuchte und der Strömungsgeschwindigkeit, daß auch extreme Zustände der Praxis erfaßt werden. Erforderlich ist ferner mikrobielle Verunreinigungen künstlich zu erzeugen, um das mikrobielle Wachstum bzw. das Absterben in den Kanälen zu prüfen. Zu überprüfen und etv. zu untersuchen wären die gasförmigen Emissionen der Baustoffe, unter Berücksichtigung der Klimabedingungen in den Kanälen, soweit darüber Kenntnisse noch nicht vorliegen.



(Prof. Dr. med. J. Beckert)

Anhang 2 - Thermodynamische, technische und stoffliche Aussagen zum Forschungsvorhaben "Kostenreduzierung durch warmluftdurchströmte und Wärmespeichernde Bauteile in Verbindung mit passiven Sonnenenergiesystemen"

Bezüglich der thermodynamischen, wärmetechnischen und stofflichen Aussagen zu dem Forschungsvorhaben wurde Herr Dr. Schröder, Oberingenieur am Institut für Thermodynamik der Universität Hannover, um eine Stellungnahme gebeten.

Auf den folgenden Seiten ist das Gutachten von Herrn Dr. Schröder im Wortlaut wiedergeben.

Thermodynamische, wärmetechnische und stoffliche Aussagen
zum Forschungsvorhaben:

Warmluftdurchströmte und wärmespeichernde massive Bauteile in
Verbindung mit passiven Sonnenenergiesystemen
(Institut für Bautechnik und Entwerfen, Prof. Kaup, Universität
Hannover)

Gutachten

von

Dr. Ing. Jens J. Schröder

Oberingenieur am Institut für Thermodynamik der
Universität Hannover

Hannover, Februar 1986

Prämisse:

Das Gutachten stellt keine Beurteilung des Forschungsvorhabens dar, sondern liefert lediglich Aussagen über thermodynamische, wärmetechnische und stoffliche Zusammenhänge, die bei einer solchen Beurteilung zu beachten sind.

Einleitung und Präzisierung der Problemstellung

Das Gutachten geht davon aus, daß zu relativ kurzen Tageszeiten während einer Heizperiode durch solare Einstrahlung ein Überangebot an Heizwärme $\Delta \dot{Q}$ über den zum Einhalten der Behaglichkeit notwendigen Wert existiert.

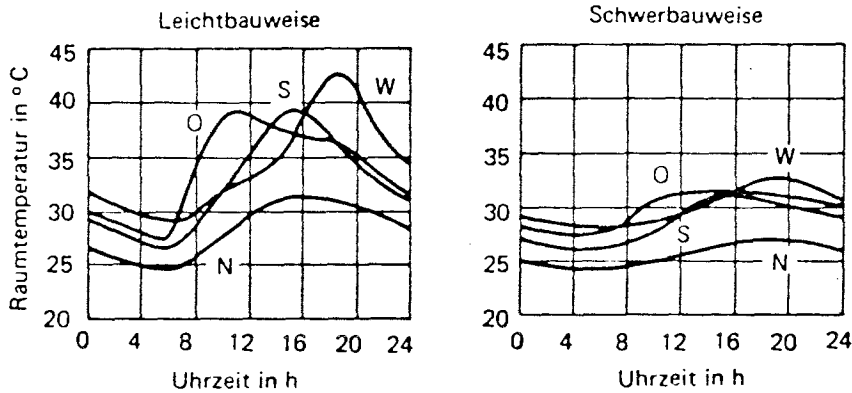
Kollektoren für diese Energie sind :

- a) Räume mit Fenstern in entsprechender Himmelsrichtung
- b) Wintergärten
- c) Dachkollektoren

Hervorzuheben ist, daß diese Energie immer zunächst auf Oberflächen absorbiert wird und von diesen durch Oberflächentemperaturerhöhung nur zum Teil sofort $\Delta \dot{Q}_L$ an die Raumluft weitergegeben wird.

Sind die Oberflächen Exponate massiver Körper, so wird von diesen ohne äußeres Zutun ein weiterer beträchtlicher Energieanteil $\Delta \dot{Q}_M$ auch nach innen geleitet und dort gespeichert.

Da auch dieser letztere Energieanteil sich bei Bedarf, also zeitlich verzögert von selbst wieder zur Verfügung stellt, stellt er sozusagen fast den Idealfall indirekter passiver Sonnenenergienutzung dar.



Temperaturgang der Raumluft an heißen Sommertagen (nach Rouvel). Kein Sonnenschutz und keine Lüftung.

Abb 1

Recknagel/Sprenger Heizung und Klimatechnik S. 31

Die Erhöhung der Oberflächentemperaturen aller Körper und als Folge davon auch der Raumluft stellt eine Beeinträchtigung der Behaglichkeit in den betroffenen Räumen dar.

Üblicherweise wird dem durch verstärktes Lüften begegnet, womit der manchmal wesentliche Teil $\Delta \dot{Q}_L$ der eingefangenen Sonnenenergie mangels momentanen Bedarfs wieder weggegeben wird.

In Gebäuden, die mit einem optimalen Wärmeschutz ausgestattet sind und bei denen die Aufnahmeleistung der aktiven Hauszentralheizung bei max. 8kW liegt, sind Leitungswärmebedarf und Transmissionswärmebedarf von gleicher Größenordnung.

In diesen Fällen wird man sich bereits ohne den Aspekt einer Sonnenenergienutzung mit den Fragen einer kontrollierten mechanischen Lüftung mit rekuperativer Energierückgewinnung beschäftigt haben und die Frage nach der Nutzung eines solar eingestrahelten Energieüberschusses bekommt ein besonderes Gewicht.

Die Frage nach der Nutzungsmöglichkeit des an die Luft übergegangenen Anteils $\Delta \dot{Q}_L$ muß insbesondere dann gestellt werden, wenn durch besondere Kollektoren b) und c) ein verstärktes Angebot dieser $\Delta \dot{Q}_L$ Energie vorliegt.

Es soll daher geprüft werden, ob und unter welchen Bedingungen ihre Abspeicherung (in Abwandlung der oben geschilderten Speicherung von "außen") über innere Hohlräume möglicherweise derselben massiven Bauteile möglich ist.

Dabei wird es sich als nicht unerheblich erweisen, in welcher Form dieses $\Delta \dot{Q}_L$ -Angebot vorliegt: ob es sich um ein $\Delta \dot{Q}_L(a)$ -Angebot handelt, dessen höchste Lufttemperatur um 8 K über der Behaglichkeitstemperatur ϑ_B liegt, oder um ein $\Delta \dot{Q}_L(c)$ -Angebot, dessen höchste Lufttemperatur um 40 K über der Behaglichkeitstemperatur ϑ_B liegt.

$$\Delta \dot{Q}_L = \Delta \dot{Q}_L(a) + \Delta \dot{Q}_L(b) + \Delta \dot{Q}_L(c)$$

$$\Delta \dot{Q}_L(a) = \dot{m}_L(a) c_p (\vartheta_a - \vartheta_B) = \dot{C}_L(a) (\vartheta_a - \vartheta_B)$$

. . .

$$\Delta \dot{Q}_L(c) = \dot{m}_L(c) c_p (\vartheta_c - \vartheta_B) = \dot{C}_L(c) (\vartheta_c - \vartheta_B)$$

Thermodynamische Aussagen

Die Zwischenspeicherung eines Energiestromes $\Delta \dot{Q}_L$ über die inneren Hohlräume von Bauteilen wird nicht ohne Arbeitsleistung P durch Gebläse möglich sein.

Um einen solchen Vorgang aus thermodynamischer Sicht zu beurteilen, sollen folgende Sachverhalte dargestellt werden.

Es entsteht eine nutzbare Heizwärme

$$Q_H = \int_0^t (\Delta \dot{Q}_L + P) dt$$

a) Vergleich mit einer Feuerheizung

Zur Lieferung einer Heizwärme Q_H ist bei einer modernen Feuerheizung ein Primärenergiebedarf

$$\int_0^t \dot{m}_B \Delta h dt = Q_H / \eta_F$$

erforderlich.

Der Wirkungsgrad der Feuerung η_F liegt heute bei etwa 0.9.

Auf der anderen Seite wird auch die Antriebsleistung P für das Gebläse aus Primärenergie erzeugt.

$$P = \eta_{kW} \dot{m}_B \Delta h$$

Dabei liegt der Kraftwerkswirkungsgrad η_{kW} bei etwa 0.35.

Setzt man die Brennstoffströme \dot{m}_B gleich, so ist die Zwischenspeicherung überschüssiger Solarenergie dann günstiger, wenn

$$(\Delta \dot{Q}_L / P + 1) \eta_{KW} / \eta_F \geq 1$$

d.h. wenn

$$(\Delta \dot{Q}_L + P) / P \geq 2.6 ; \Delta \dot{Q}_L / P \geq 1.6$$

b) Vergleich mit einer mechanisch angetriebenen Wärmepumpenheizung

Der exergetische Wirkungsgrad praktisch ausgeführter mechanischer Wärmepumpen liegt bei $\zeta = 0.45$

$$Q_H = \int_0^t P \cdot T / (T - T_u) dt$$

Setzt man in diesem Falle die der Steckdose entnommene elektrische Leistung P gleich, so ist die Abspeicherung überschüssiger Solarenergie thermodynamisch dann günstiger als der mechanische Wärmepumpenbetrieb, wenn

$$(\Delta \dot{Q}_L / P + 1) \geq \zeta T / (T - T_u)$$

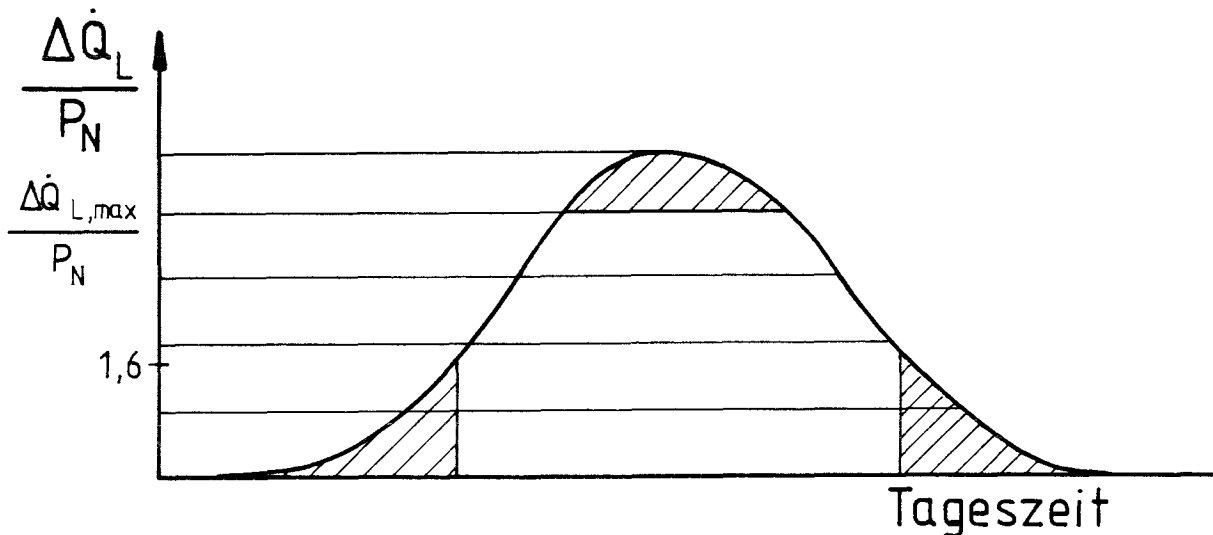
Ist z.B. $T=293\text{ K}$ und $T_u=278\text{ K}$ (entspr. $+5^\circ\text{C}$), so erhält man

$$\left(\frac{\Delta\dot{Q}_L}{P} + 1\right) \geq 8.8 ; \quad \frac{Q_L}{P} \geq 7.8$$

Die Abhängigkeit von der Gebläsenennleistungsaufnahme P_N

Aus thermodynamischer Sicht gibt es also eine untere Grenze $\frac{\Delta\dot{Q}_L}{P}$ von der ab sich eine Wärmespeicherung in Bauteilen verbietet.

Andererseits möchte man aber auch gerade die Spitze des Energieangebotes nicht ungenutzt lassen. Dazu ist jedoch eine maximale Gebläseleistung nötig. Mit einem einzigen Gebläse ohne besondere Regelung ergibt sich daraus die in der folgenden Abb. 2 dargestellte mögliche Konsequenz.



Das Schwachlastenergieangebot und ein extremes Spitzenangebot muß weiterhin hinausgelüftet werden.

Optimierungskriterium

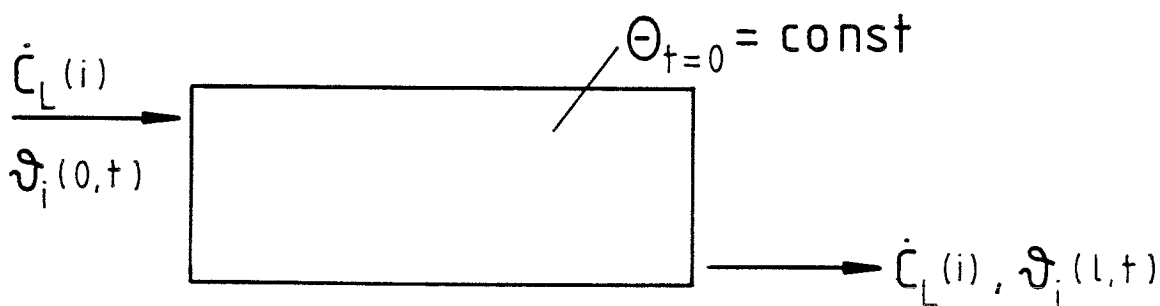
Aus thermodynamischer Sicht sollte das Leistungsverhältnis $\Delta\dot{Q}_L/P$ so groß wie möglich gemacht werden.

$$\Delta\dot{Q}_L/P_N = \text{Extr.} = \Delta\dot{Q}_{L\text{max}}/P_N$$

Es wird deshalb im Rahmen dieser Untersuchungen davon ausgegangen, daß die Ausspeicherung der Wärme ohne Arbeitsleistung auf natürlichem Wege erfolgt.

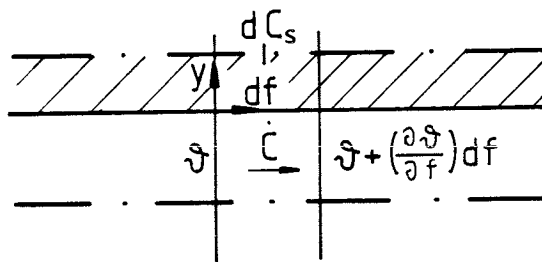
Wärmetechnische Aussagen

Im folgenden wird ein beliebiger Speicher der Kanallänge l betrachtet, in den ein Luftstrom $\dot{C}_L(i)$ mit der Temperatur $\vartheta_i(t)$ eintritt ($i=a,b,c$)



Der Speicher habe anfänglich eine konstante Temperatur $t=0$. Alle Temperaturen seien als Übertemperaturen über Behaglichkeits-temperatur aufgefaßt.

Greift man aus dem Speicher in Strömungsrichtung ein Kapazitätselement dC_S heraus, dessen freie Oberfläche df von einem Wärmekapazitätsstrom \dot{C} überstört wird, dessen Temperatur sich dabei um $(\partial\vartheta/\partial f)df$ ändert, so gelten folgende Bilanzgleichungen:



$$(0) \quad \frac{\partial\theta}{\partial t} = a \frac{\partial^2\theta}{\partial y^2} \quad \text{für den Speicher}$$

(a = Temperaturleitfähigkeit des Speichermaterialies)

$$(1) \quad \left(\frac{\partial\vartheta}{\partial f}\right) = \frac{\alpha}{\dot{C}} (\theta_0 - \vartheta) = \frac{\bar{\alpha}}{\dot{C}} (\theta_m - \vartheta)$$

$$(2) \quad \left(\frac{\partial\theta_m}{\partial t}\right) = \alpha \frac{df}{dC_S} (\vartheta - \theta_0) = \bar{\alpha} \frac{df}{dC_S} (\vartheta - \theta_m)$$

Gleichung (1) ist leicht vereinfacht und beschreibt die Änderung der Temperatur des strömenden Mediums.

Gleichung (2) beschreibt die zeitliche Änderung der mittleren Speichertemperatur θ_m hinter der Fläche df .

Die rechten Seiten von Gl.(1) und Gl.(2) stellen den Zusammenhang zwischen den dazu erforderlichen Wärmeströmen und dem treibenden Temperaturgefälle zwischen Medium und Speicheroberfläche θ_o her.

Der Proportionalitätsfaktor ist der Wärmeübergangskoeffizient α . In Anlehnung an die Regeneratortheorie von H. Hausen (H) kann man auf Gl(0) scheinbar verzichten, wenn man die Wärmeströme dem treibenden Gefälle zwischen Medium und mittlerer Speichertemperatur proportional setzt. Proportionalitätsfaktor ist dann der Wärmeübergangskoeffizient $\bar{\alpha}$, der berücksichtigt, daß auch bei der Einspeicherung ein mittlerer Wärmewiderstand zu überwinden ist, der zeitabhängig ist.

$$(3) \quad 1/\bar{\alpha} = 1/\alpha + \Delta y/\lambda \bar{\Phi}(a, \Delta y, t)$$

mit Δy als lokale Speicherdicke, der Wärmeleitfähigkeit des Speichermaterials λ und einem zeitabhängigen Korrekturfaktor $\bar{\Phi}$

$$(H) \quad (\bar{\Phi} = 1/6 - 0.0055 \Delta y^2 / (2at))$$

 (H) H. Hausen ,Wärmeübergang in Gegenstrom, Gleichstrom und Kreuzstrom; Springer-Verlag 1976

Nach Einführung einer dimensionslosen Orts- und Zeitkoordinate

$$d\xi = \bar{\alpha} df/C = \bar{\alpha}_{F/C} df/F = A df/F$$

$$d\eta = \bar{\alpha} df/dC_S dt = \bar{\alpha}_{F/C_S} T dt/T = \bar{\pi} dt/T$$

(T= Gesamtzeit)

gehen Gl.(1) und Gl.(2) über in

$$\partial \theta_m / \partial \eta = \vartheta - \theta_m \quad ; \quad \partial \vartheta / \partial \xi = \theta_m - \vartheta$$

und nach Laplace Transformation hinsichtlich der Ortskoordinaten

$$\bar{\theta}_m = \mathcal{L}\{\theta_m\}, \quad \bar{\vartheta} = \mathcal{L}\{\vartheta\}$$

$$(I a) \quad (\partial \bar{\theta}_m / \partial \eta) = \bar{\vartheta} - \bar{\theta}_m$$

$$(II a) \quad -\vartheta_1 + s \bar{\vartheta} = \bar{\theta}_m - \bar{\vartheta} \quad \text{mit } \vartheta_1 = \vartheta_1(\eta).$$

Löst man Gl.(II a) nach $\bar{\vartheta}$ auf und setzt in Gl.(I a) ein, so erhält man:

$$(I b) \quad \partial \bar{\theta}_m / \partial \eta = 1/(1+s) \vartheta_1 - s/(1+s) \bar{\theta}_m$$

$$\bar{\theta}_m = \int 1/(1+s) \vartheta_1(\eta) e^{s/(1+s) \eta} d\eta + C) e^{-s/(1+s)(\eta - \eta_n)}$$

$$\eta = \eta_n \quad : \quad \bar{\theta} = \bar{\theta}_{mn}(s)$$

$$\bar{\theta}_m = \int_{\eta_n}^{\eta} 1/(1+s) \vartheta_1(\eta) e^{s/(1+s) \eta} d\eta + \bar{\theta}_{mn}(s) e^{s/(s+1) \eta_n} e^{-\frac{s}{1+s} \eta}$$

Hiermit kann im Prinzip jede beliebige zeitlich veränderliche Eintrittstemperatur $\vartheta_1(\eta)$ und jeder Speicheranfangszustand $\theta_m(\xi)$ berücksichtigt werden.

Für den einfachsten Fall sei $\theta_{mn}(S)=0$ und $\vartheta_1(\eta) = \vartheta_1$

Selbst dieser Fall kann nur numerisch integriert werden. Er ist aus der Literatur (H) bekannt. Die Lösung ist in Abb. 5 dargestellt.

Aus den Gl.(1) und Gl.(2) ist bereits ersichtlich, daß θ_m und ϑ nur von ξ und η abhängen. Nur über diese dimensionslosen Größen ist der Ausleger einer solchen Anlage in der Lage, Einfluß auf den Speichergewinn und die momentane Ein- und Ausspeicherleistung zu nehmen.

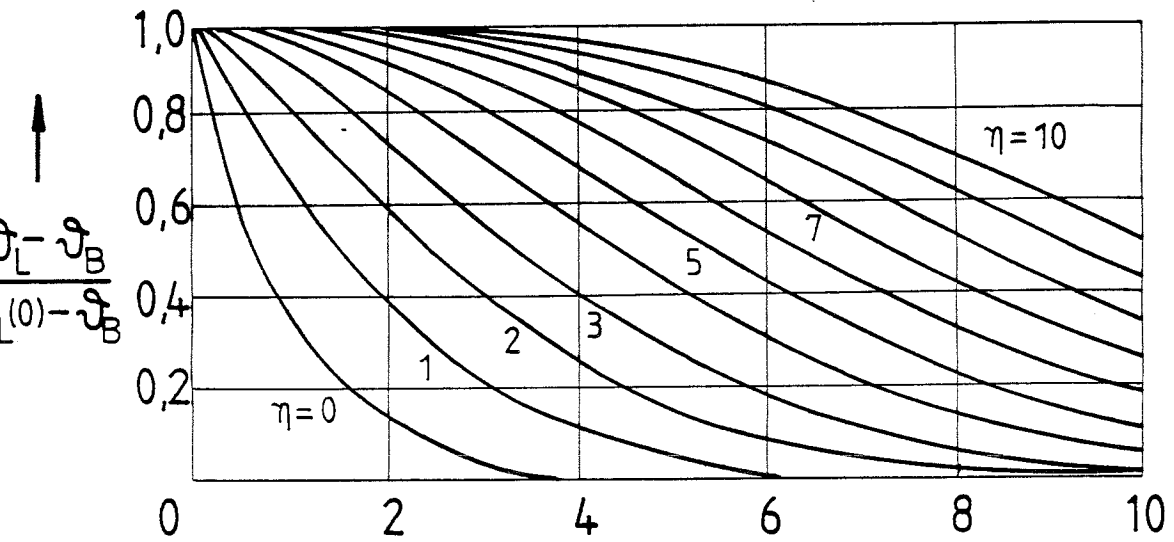
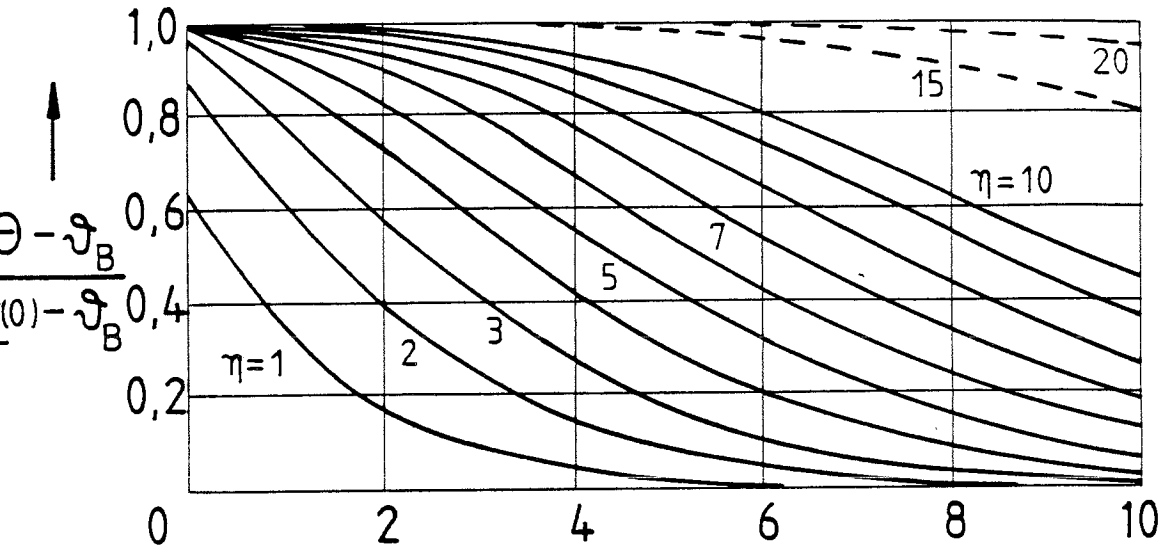


Abb. 5

Ist der Speicher z.B. so groß, daß $\xi = A = 5$ ist, so hat sich nach der Zeit $\eta = \tau = 5$ die Speichertemperatur auch am Ende schon auf ca. 40% der Fluidtemperatur genähert. Das Speicherfluid selbst kühlt sich dann jedoch nur noch um ca. 40% ab. D.h. die Einspeicherleistung ist auf ca. 40% der Anfangsleistung gesunken.

Daraus ergibt sich die Forderung, daß man die Speicherkapazität sehr groß wählen muß (kleines τ), wenn Speicherleistung und Anfangstemperatur konstant bleiben sollen. Wird τ groß, weil u.a. die Speicherdauer lang geworden ist, so kann eine konstante Leistung nur über eine Anhebung der Eintrittstemperatur erreicht werden.

Strömungstechnische Aussagen

Der Druckverlust eines warmluftdurchströmten Kanals setzt sich zusammen aus den längenproportionalen Leitungsverlusten sowie den Einzelverlusten durch Umlenkungen etc..

Den wesentlichen Anteil werden hier die Reibungsverluste in den Hohlräumen der Speicher ausmachen, die sich wie folgt berechnen lassen:

$$\Delta p = \zeta w^2 / 2 \cdot l / d_h$$

Darin ist l die Leitungslänge und d_h der hydraulische Durchmesser eines Kanales

$$d_h = 4 F_q / U$$

Bei ausgebildeter Turbulenz $Re = w d_h / \nu > 10^4$ ist der Druckverlustbeiwert ζ nur von der relativen Rauigkeit $K = \epsilon / d_h$ abhängig.

$$\zeta = 1 / (2 \log(d_h / \epsilon) + 1.14)^2$$

Bei Betonkanälen und gemauerten Kanälen ist $\epsilon \leq 3$ mm.

Die Höhe dieser angenommenen Sandrauigkeit ist von erheblichem Einfluß auf Druckverlust und Wärmeübergang im Speicher.

Die erforderliche Förderleistung P eines Gebläses für einen Luftvolumenstrom, der mit der mittleren Geschwindigkeit w strömt, errechnet sich damit zu

$$P \sim \frac{1}{\eta_G} \zeta \rho w^2 / 2 \quad 1/d_h \quad n \quad w \quad d_h^2 / 4$$

mit $\eta_G = 0.6$ bei mittleren bis großen Lüftern

$\eta_G = 0.4$ bei kleinen Lüftern

n ist die Zahl parallel betriebener gleicher Speicherkanäle

Abschätzung des Leistungsverhältnisses

Die mit dem Luftstrom in den Speicher zu schaffende überschüssige Heizwärme errechnet sich zu

$$\Delta \dot{Q}_L = n \quad w \quad d_h^2 \pi / 4 \rho c_p \Delta \vartheta \quad (*)$$

Damit ergibt sich das Leistungsverhältnis zu

$$\Delta \dot{Q}_L / P = \eta_G c_p \Delta \vartheta / (\zeta w^2 / 2 \quad 1/d_h)$$

Die dimensionslose Speicherlänge

$$\Lambda = (\bar{\alpha} d_h \pi l) / (w d_h^2 \pi / 4 \rho c_p)$$

läßt sich umwandeln in

$$\Lambda = 4 \bar{Nu} / (Re Pr) \quad 1/d_h$$

mit $\bar{Nu} = \bar{\alpha} d_h / \lambda$; $Re = w d_h / \nu$; $Pr = \nu / a$

Wäre der Wärmewiderstand der Speichermassen vernachlässigbar, dann wäre $\bar{Nu} = Nu_{th}$ und eine Theorie zum turbulenten Wärme- und Stoffaustausch lieferte

$$Nu_{theor.}/RePr \sim \xi/g \quad \text{sowie}$$

$$\Lambda_{theor.} = \xi/2 \quad 1/d_h \quad (**)$$

Eine hohe relative Rauigkeit erhöht also nicht nur den Druckverlust sondern auch den Wärmeübergang

Praktisch ist Λ immer kleiner als $\Lambda_{theor.}$ da $\bar{\alpha} < \infty$ (siehe Gl.(3)).

$$\Lambda_{theor.} = \varphi \Lambda \quad ; \quad \varphi \geq 1$$

Damit läßt sich das Leistungsverhältnis auch wie folgt schreiben

$$\Delta \dot{Q}_{L/P} = \eta_G c_p \Delta \vartheta / w^2 \quad 1/\varphi \Lambda \quad (***)$$

Die dimensionslose Speicherzeit ergibt sich zu

$$\bar{\pi} = \bar{\alpha} F / c_s \quad t = \bar{\alpha} U / (F_S \rho_s c_s) \quad t$$

(U=Umfang des Strömungsquerschnittes; F_S =Materialquerschnitt quer zur Strömungsrichtung)

oder nach Erweiterung zu

$$\bar{\pi} \sim Bi \quad a \bar{\pi} t / \delta d_h \sim Bi Fo$$

Darin ist δ eine mittlere Speichermaterialdicke und

$$\overline{Bi} = \overline{Nu} \lambda_L / \lambda_S \quad \text{die Biot-Zahl}$$

Überschlägliche Auslegung eines Speichers (Beispiel)

Kollektor: Typ a)

Eingabe : $\Delta \dot{Q}_{Lmax} = 3 \text{ kW}$; $\Delta \vartheta = (28-20) \text{ K} = 8 \text{ K} = \text{const}$

Vorgabe : dimensionslose Regeneratorlänge (Abb. 5) $\Lambda = 5$

Geschätzt : $\varphi = 1.4$; $\Lambda_{\text{theor.}} = 7$

Geschätzt : Druckverlustbeiwert $\zeta = 0.058$ (= 0.05)
Die Rauigkeit sei $\epsilon = 3 \text{ mm}$.

Gl.(**) liefert: $L/d_h = 2 \Lambda_{\text{theor.}} / \zeta = 244$ (280)

Forderung: Leistungsverhältnis $\Delta \dot{Q}_{max} / P_N = 8$ (32)
Gebläsewirkungsgrad $\eta_G = 0.6$

Gl.(***) liefert: $\Delta \dot{Q}_{max} / P_N = 0.6 \cdot 1 / \Lambda_{\text{theor.}} \cdot c_p \Delta \vartheta / w^2 = 8$ (32)

$$w = 9.3 \text{ m/s} \quad (4.6 \text{ m/s})$$

Gl.(*) liefert: $\Delta \dot{Q}_{max} = n \cdot d_h^2 w \cdot \pi / 4 \cdot \rho \cdot c_p \Delta \vartheta = 3000 \text{ W}$

$$n \cdot d_h^2 = 0.04 \text{ m}^2 \quad (0.02 \text{ m}^2)$$

Schlußbetrachtung

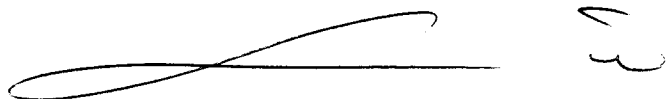
Alle Auslegungsdaten wären merklich anders ausgefallen , wenn man wie gehabt von $\Delta \dot{Q}_{\max.} = 3 \text{ kW}$ aber $\Delta \dot{V} = 40 \text{ K}$ ausgegangen wäre.
(Kollektor Typ c)

Halbiert man in Gl.(**) die Strömungsgeschwindigkeit ,so wird das Leistungsverhältnis vervierfacht. Der hydraulische Durchmesser muß um den Faktor 2 steigen.
Die Speicherlänge verdoppelt sich fast und bei sonst gleich gehaltenen Bedingungen sinkt \bar{T} auf weniger als die Hälfte.

Damit ist der Weg zu einem thermodynamischen und wärmetechnischen Optimum aufgezeigt.

Eine letztlich entscheidende Optimierung kann jedoch nur unter gleichzeitiger Berücksichtigung bauphysikalischer, wirtschaftlicher und hygienischer Gesichtspunkte erfolgen.

Hannover 28.2.86



n	d_h	L
1	0.2 m	48 m
2	0.14	34
4	0.1 (0.14)	24 (40.0)
8	0.07	17
16	0.05	12

Gewählt wird $n=4$

$$Re = w d_h / 15.6 \cdot 10^6 = 6 \cdot 10^4 \quad (4.1 \cdot 10^4)$$

$$RePr = 4.2 \cdot 10^4 \quad (2.9 \cdot 10^4)$$

$$Nu = \zeta / \varrho \cdot 4.2 \cdot 10^4 = 305 \quad (181)$$

Es wird ein Betonspeicher gewählt, da sich dessen Material als am geeignetsten erweist.

$$a = 0.65 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (\text{siehe Tabelle})$$

$$\lambda_S = 1.28 \text{ W/mK}$$

$$B_i = 305 \cdot 0.024 / 1.28 = 5.7 \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} \overline{\Pi} &= a \overline{\pi} t / \varrho d_h B_i / \varrho = (0.65 \cdot 10^{-6} \cdot 3.14 \cdot 5.7) / (\varrho \cdot 0.1 \cdot 1.4) \text{ t} \\ &= 0.3 / \varrho \cdot \text{t(h)} \quad (= 0.12 / \varrho \cdot \text{t(h)}) \end{aligned}$$

Es wird $\varrho = 0.15 \text{ m}$ gewählt.

Nach 2.5 h ist $\overline{\Pi} = 5 \quad (= 2)$

Tabelle

Wärmespeicherfähigkeit von Baustoffen bei 20 °C (trocken)

Stoff	kg/m ³	c kJ/kgK	W/mK	a 10 ⁶ m ² /s
Beton	1.9 10 ³	880	0.8	0.5
(Beispiel)	(2.3 10 ³)	(880)	(1.28)	(0.665)
	2.3 10 ³		1.4	0.695
Ziegelstein	1.4 10 ³	835	0.58	0.49
	1.8 10 ³		0.81	0.54
Verputz	1.7 10 ³	800	0.79	0.58
Mörtel	1.9 10 ³	800	0.93	0.61

Anhang 3 - Literatur- und Quellenverzeichnis

- /A01/ Aktionsgemeinschaft: 'Glas im Bau' (Hrsg.): "Erlebnissräume und Raumerlebnisse", 1985, S.27
- /A02/ Allen, M.A., Ribando, R.J.: "Computational Analysis of a Double-Shell Solar House", 'Energy' 1983, v8, n11, p871
- /A03/ Anadere, C., Kerschkamp, F.: "Wirtschaftlichkeit von Energieisparmaßnahmen", 'DBZ' 6/1985, S.795
- /A04/ Arnke, P.: "Persönliche Mitteilungen", 1985
- /A05/ Anderson, L.O. et al.: "Storage of Heat and Coolth in Hollow Core Concrete Slabs. (...)", 'Lawrence Berkeley Laboratory', LBL-8913, 1979
- /A06/ AMK GmbH (Hrsg.): bautec-Kongress: "Altbau und Neubau in der Stadterneuerung" (Referate), 'AMK Berlin GmbH', 1982
- /A07/ Aydinli, S. et al: "Globalstrahlung auf geneigte Flächen", 'Bauphysik' 1/1981, S.18
- /B01/ Bach, H. et al.: "Einfluß der Lüftungsart auf den Energieeinsatz bei raumluftechnischen Anlagen", 'HLH' 32, (1981) Nr.7, S.253
- /B02/ Bähr, H.: "Porenlüftungssysteme zur Wärmeschutzoptimierung", 'Bauzeitung' (DDR) 12, 1982, S.656
- /B03/ Bähr, A., Piwecki, H.: "Passive Solar Heating with Heat Storage in the Outside Walls", 'energy' EUR 7077, 1981
- /B04/ Bambek, B.: "Persönliche Mitteilungen", Dez. 1985
- /B05/ Barnaby, C. et al.: "Utilizing the Thermal Mass of Structural Systems in Buildings for Energy Conservation and Peak Power Reduction", 'Lawrence Berkely Laboratory', LBL 11 332, 1980
- /B06/ Bartussek, H.: "Belüftung von Wohnräumen durch luftdurchlässige Konstruktionen", 'Sonnenenergie & Wärmepumpe' 5, 1980, H.3, S.29
- /B07/ Bartussek, H.: "Gesteuerter Luftwechsel durch die Gebäudehülle", 'Kurzberichte a.d. Bauforschung' (1982) F 511 (AU)
- /B08/ Bartussek, H.: "Von der zugfreien Stall-Lüftung zur passiven Wohnraumheizung", 'Sonnenenergie & Wärmepumpe' 5, 1980, H.1, S.28
- /B09/ Bartussek, H.: "Porenlüftung", Monographie, Österr. Kurat. f. Landtechnik, 1981
- /B10/ Beck, K.: "Wärmerückgewinnung bei raumluftechnischen Anlagen in Krankenhäusern", 'Das Krankenhaus' 70, 11/1978, S.420
- /B11/ Beckert, J.: "Gutachten über die aus hygienischer Sicht wichtige Frage der Teilchenübertragung (...)", Kraftanlagen Heidelberg, Auftragsgutachten (1979)
- /B12/ Beckert, J. (Hrsg.): "Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit von Krankenhaus- und Umwelthygiene", 'Rohrberg + Mildner', Hamburg, 1984
- /B13/ Beckert, J.: "Gutachterliche Stellungnahme zur Problematik der Wohnraumhygiene beim Einsatz von warmluftdurchströmten und wärmespeichernden Bauteilen", Lübeck/Hannover, 1985
- /B14/ Belz, W. et al.: "Mauerwerk Atlas", 'Institut für Internationale Architektur-Dokumentaion', München, 1984
- /B15/ Bierling, H.J.: "Klimazentralheizung und Wärmerückge-

- winnung im Einfamilienhaus", 'eta' 39 (1981) A5, Sept., S.A275
- /B16/ Bierling, H.J.: "Kontrollierte Wohnungslüftung - eine Notwendigkeit zur Energieeinsparung und zur Vermeidung von Feuchteschäden, 'Bauphysik' 1/1982, S.8
- /B17/ Bierling, H.J.: "Die mechanische Wohnungslüftung", 'Süddeutsche Bauwirtschaft' 29 (1979), Nr.4/5, S.129
- /B18/ Bierling, H.J.: "Praktische Erfahrungen bei der Installation von Luftheizungsanlagen", 'Klima-Kälte-Heizung' 10/1981, S.453
- /B19/ Bierling, H.J. "Zentrale Be- und Entlüftung für das Einfamilienhaus", 'sbz 24/1976, S.1667
- /B20/ Bley, H., Dittert, B.: "Programmstudie 'Lüftung im Wohnungsbau'", BMFT (Hrsg.) 1979
- /B21/ BMBau (Hrsg.): "Energetisches Bauen" (Reihe: Bau- und Wohnforschung), 'Reihe Bau- und Wohnforschung' 04.086 (1983)
- /B22/ BMBau (Hrsg.): "Rationelle Energieverwendung in Wohnungsbau und Stadtentwicklung", 'Reihe Bau- und Wohnforschung', 04.080 (1983)
- /B23/ BMBau (Hrsg.): "Passive Nutzung der Sonnenenergie" 'Reihe Bau- und Wohnforschung', 04.097 (1984)
- /B24/ BMBau (Hrsg.): "Praxisinformation Energieeinsparung" Reihe Bau- und Wohnforschung', 04.093 (1983)
- /B25/ BMFT (Hrsg.): "Erprobung und Vergleich verschiedener Lüftungssysteme im Solarhaus Freiburg", 'Forschungsbericht BMFT' T83-260 (Nov. 1983)
- /B26/ BMFT (Hrsg.): "Rationelle Energieverwendung" - Statusbericht 1982 - Teil 1, 'Schriftenreihe Statusberichte' BMFT (1982)
- /B27/ BMFT (Hrsg.): "Rationelle Energieverwendung" - Statusbericht 1982 - Teil 2
- /B28/ Boardman, H.: "Collector-Storage Wall Systems", 'Proc of the Natl Pass Sol Conf' 5th, 1980, v1 p368
- /B29/ Bogoslovskij, V.N.: "Wärmetechnische Grundlagen", 'Bauverlag', Wiesbaden/Berlin, 1982
- /B30/ Borchert, K.-L. et al.: "Luftdurchströmte Außenbauteile als Wärmetauscher", 'Landbauforschung Völkenrode' 35 (1985), H.1, S.20
- /B31/ Bossel, U.: "Heizen mit Sonnenenergie", 'db' 2/1982, S.64
- /B32/ Bossert, P.: "EVA - Energieverbrauchsanalyse", 'db' 11/1981
- /B33/ Bouwman, H.B.: "Optimum Air Duct System Design", 'TNO Research Inst.', Report no. C 512 (1982)
- /B34/ Boy, E., Schall, K.-D.: "Studie über Luftheizungen im Wohnungsbau", 'Mitteilungen d. Fraunhofer-Instituts f. Bauphysik', 1984
- /B35/ Brink (Hersteller): "Planungsunterlagen", 'Herstellerinformation' (1984)
- /B36/ Brög, W., Wichmann, B. "Sparpotentiale und die Möglichkeiten und Grenzen ihrer Ausschöpfung", 'Schriftenreihe der Forschungsstelle für Energiewirtschaft' Bd.15/82
- /B37/ ö.BMBau +Tech. (Hrsg.): "Luftdurchlässige Wand- u. Deckenkonstruktionen. Ein Beitrag z. Hygiene u. Wärmeökonomie i. Wohnbau", 'Kurzber. a.d. Bauforschg.', Nr.7/82-88 S.589, 1982

- /B38/ Buderus (Hrsg.): "Handbuch für Heizungs- und Klimatechnik", 'VDI-Verlag', Düsseldorf 1975
- /C01/ Carter, C.: "Predicting Passive Solar Performance Using Modal Expansion", 'Proc of the Natl Pass Sol Conf' 3rd (1979) p.309
- /C02/ Chaleff, B.: "Air Floor Construction for Auxiliary and Solar Convective Heat Storage and Distribution", 'Proc of the Natl Pass Sol Engy Conf', 1982, p861
- /C03/ Chaleff, B.: "Persönliche Mitteilungen", 10/1985
- /C04/ Chown, G.A.: "Thermal Envelope Houses", 'Building Practice Note' No.31 (1982)
- /C05/ Connemann, L. et al.: "Einfluß der Wärmespeicherfähigkeit auf den Energieverbrauch ganzer Gebäude", Uni Dortmund, Institut für thermische Verfahrenstechnik, 1981
- /C06/ Christensen, S.: "Kosten und Nutzen energiesparender Baukonstruktionen", 'Bauverlag', Wiesbaden, Berlin 1981
- /C07/ Cziesielski, E. et al.: "Ruhrgas Handbuch", Karl Krämer Verlag, Stuttgart 1985
- /D01/ Dehli, F.: "Wärmerückgewinnung in Lüftungs- und Klimaanlage durch Regenerativ-Wärmeaustauscher", 'Heizung-Lüftung-Haustechnik' Heft 3/1969
- /D02/ Denzler, H.: "Denzler-Heizung mit Wärme-Rückgewinnung", 'Info Denzler-Engineering' (1983)
- /D03/ Denzler, H.: "Reathermhaus Moers - Messungen am Haus u. Laborvers. z. Bestimmung d. Wärmebedarfs (...)", 'Gutachten Uni Duisburg' 1984
- /D04/ Diederichs, C.J.: "Wirtschaftlichkeitsberechnungen", 'DBZ' 6/1985, S.805
- /D05/ Dietrich, B.: "Die energetische Optimierung des Niedrig-Energie-Fertighauses", 'RWE informiert' 194 (o. Jahr)
- /D06/ Dirkse, R.J.A., Löwenstein, H.: "Energieverbrauch einer Luftheizungsanlage in einem Wohnhaus", 'Die Kälte- und Klimatechnik' 3/1980, S.104
- /D07/ Dobler, P.: "Raumheizung in Verbindung mit NT- Heizungssystemen", 'sbz' 7/1978, S.610
- /D08/ Dreher, E.: "Theorie und Praxis rotierender Wärmerückgewinner", 'KI' 2/1978, S.63
- /D09/ Dreher, E.: "Wärmerückgewinnung in der Luft- und Klimatechnik", 'Schweizer. Bl. f. Hgz. u. Lüftung' 39 (1972) S.92
- /D10/ Dütz, A.: "Rationelle Energieverwendung in Gebäuden", 'TAB' 5/1980, S.401
- /E01/ Eberspächer, J. (Hrsg.): "Licht Luft Schall", 'Forum Verlag', Stuttgart 1977
- /E02/ Eckener, U.: "Erprobung in Versuchshäusern - Zum Forschungsprogramm Lüftung im Wohnungsbau", 'Sanitär- und Heizungstechnik' 10/1981
- /E03/ Eckener, U.: "Mehr Erfahrungswerte für die Praxis - Forschungsprogramm Lüftung im Wohnungsbau", 'Sanitär- und Heizungstechnik' 10/1982, S.677
- /E04/ Eisenschink, A.: "Falsch gespart", 'db' 3/85, S.66
- /E05/ Erhorn, H.: "Zukünftige Wohnungslüftung", 'TAB' 9/1981, S.749
- /E06/ Esdorn, H., Wentzlauff, G.: "Zur Berücksichtigung der Sonnenstrahlung bei der Berechnung des Jahreswärmeverbrauchs", 'HLH' 32 (1981) Nr.9
- /E07/ "Echo-Fertigteildecken" Produktinformation, 1986

ANHANG 3 - LITERATUR- + QUELLENVERZEICHNIS

- /F01/ Fanger, P.O.: "Innenklima, Energie und Behaglichkeit", 'Tagungsbericht 4. Int. Velta-Kongreß' 1982
- /F02/ Fanger, P.O.: "Verunreinigung in geschlossenen Räumen - Luftqualität und Anforderungen an Lüftungssysteme", 'Ki' 2/1982, S.437
- /F03/ Filigran GmbH: "Pecafil-Bausystem", 'Planungsunterlagen' (1984)
- /F04/ Fisch, N.: "Leistungsmessung an einem Sonneneinstrahlungskollektor mit Luft als Wärmeträger", 'Forschungsinstitut f. Wärmetechnik e.V.', Stuttgart 1982
- /F05/ Fläkt: "Planungsunterlagen Luftheizungssysteme", 'Herstellerinformation' (1984)
- /F06/ Flamm, H.: "Gutachten: Hygienische Beurteilung von Econovent ET", 'Kraftanlagen Heidelberg' (Ndl. Wien, 1979)
- /F07/ Frank, W. et al.: "Raumklima und thermische Behaglichkeit", 'Institut für Bauphysik', Stuttgart, 1974
- /F08/ Früh, A. "Wie wohnt es sich im Kollektor?", 'Wohnbau' (Wien), 9/1984, S.13
- /F09/ Fuchs, W.: "Beeinflussung d. thermischen Raumklimas durch Ausnutzung d. Wärmespeicherfähigkeit interner Massen", 'Dissertation', Stuttgart, 1980
- /G01/ Geisler, K.W. "Regelung von Heiz- und Klimaanlage", 'Marhold-Verlag', Berlin 1969
- /G02/ Gertis, K.: "Wirtschaftlich optimaler Wärmeschutz", 'VDI-Berichte' Nr. 273, 1979
- /G03/ Gertis, K.: "Energieeinsparung infolge Sonneneinstrahlung durch Fenster", 'Ki' 3/1979, S.283
- /G04/ Gertis, K. et al.: "Wärmegewinn durch Fenster", 'db' 2/1980, S.66
- /G05/ Gertis, K.: "Bauphysikalische Grundlagen der Solarenergienutzung - Passive Maßnahmen", 'ETA' 38, 5/1980
- /G06/ Gertis, K., Erhorn, H.: "Superdämmung oder Wärmerückgewinnung? Wo liegen die Grenzen des energiesparenden Wärmeschutzes?", 'Bauphysik' 2/1981, S.50ff
- /G07/ Gertis, K., Fuchs, W.: "Massivdecke eines Großraumbüros als Wärmespeicher", 'IABSE-Proceedings P-45/81', 3/1981 S.113
- /G08/ Gertis, K.: "Wie muß die Heizenergie-Einsparung in Wohnungen künftig vor sich gehen?", 'Bundesbaublatt' 30 (1981), 7, S.461-474
- /G09/ Gertis, K.: "Passive Solarenergienutzung - Umsetzung von Forschungserkenntnissen i. d. praktischen Gebäudeentwurf", 'Bauphysik' 5 (1983), Nr.6
- /G10/ Gertis, K.: "Grundlagen der Wohnungslüftung", 'Sonnenergie & Wärmepumpe' 8 (1983), H.5, S.33
- /G11/ Gertis, K.: "Das hochgedämmte massive Haus", 'DBZ' 10/1984
- /G12/ Gertis, K., Erhorn, H.: "Wohnfeuchte und Wärmebrücken" 'HLH' 36, 1985, S.130
- /G13/ Gertis, K., Erhorn, H.: "Neue Überlegungen zum Mindestwärmeschutz", 'wksb', Mai 1985
- /G14/ Gertis, K., Rath, J.: Forschungsaufgabe: "Solar-Hybrid-Haus Witten", KB-B2 (1985), n. veröffentlichte Mitteilungen, 1985
- /G15/ Gilli, P.: "Wärmerückgewinnung mittels poröser durchströmter Außenbauteile, Berechnungsverfahren u. Fallstudie", 'Bauphysik' 5/1982, S.173; 6/1982, S.203

ANHANG 3 - LITERATUR- + QUELLENVERZEICHNIS

- /G16/ Geiger, B.: "Verbraucherverhalten angesichts baulicher und technischer Rahmenbedingungen", 'Schriftenreihe der Forschungsstelle für Energiewirtschaft', Bd.15/82
- /G17/ Goretzki, P.: "Solar-Load-Ratio Verfahren, Berechnung passiver Solargewinne", 'Bauök-Papiere' (43), Inst. f. Bauökonomie, Uni Stuttgart 1982
- /G18/ Grammer: "Warmfluftheizung mit Solar-Luftkollektoren - Planungsunterlagen", Herstellerinformation (1984)
- /G19/ Grandjean, E.: "Wohnhygiene und Raumklima", o. Quelle
- /G20/ Grandjean, E.: "Wohnphysiologie - Grundlagen des gesunden Wohnens", 'Verlag f. Architektur, Artemis', Zürich 1973
- /G21/ Grandjean, E., Gilgen, A.: "Umwelthygiene in der Raumplanung", 'OH-Verlag', Thun u. München, 1973
- /G22/ Grimm, J.: "Wohnhaus als Energie-Selbstversorger", 'beton' 34, (1984), Nr.3, S.99
- /G23/ Grimm, W.: "Messungen an Solarkollektoren für die Landwirtschaft", 'Grundlagen d. Landtechnik' (VDI), 30 (1980), Nr.5
- /G24/ Gruber, E., Meyer, Th.: "Energiesparende Innovationen im Eigenheim", 'Verlag TÜV Rheinland', Köln 1983
- /G25/ Grün, I.: "Wärmerückgewinnende Fenster- und Fassadenkonstruktionen", 'DBZ' 28 (1980), Nr.3, S.401
- /G26/ Gruson, Chr., Küsgen, N.: "Das kleine Solarhaus", 'Bauök-Papiere' (44), Institut für Bauökonomie, Uni Stuttgart 1983
- /G27/ Gruson, Chr., Kerschberger, Chr., "Berechnung des Heizenergiebedarfs von Gebäuden - ein Vergleich", 'Bauök-Papiere' (46), Inst. f. Bauökonomie, Stuttgart, 1984
- /H01/ Hämekoski, J.: "Sandwich- Fassadenelemente aus Hohlplatten", 'Element und Fertigbau' 1/21 (1984) S.39
- /H02/ Haider, E. et al. (Arge Passiv Solar): Forschungsvorhaben F 863: "Bewohnereinfluß auf passive Solarsysteme", 3. Zwischenbericht, Juni 1985, 'Arge Passiv Solar', Purkersdorf (Au), 1985
- /H03/ Haferland, F.: "Durchlüftete Baukonstruktionen zur natürlichen Regulierung des thermischen Raumklimas in warmen Klimaten", 'Betonwerk und Fertigteil- Technik', 2 u. 3/1980
- /H04/ Haferland, F.: "Flexible Wärmespeicher", 'db' 10/1981
- /H05/ Haferland, F.: "Natürliche Klimatisierung", 'db' 8/1981
- /H06/ Hambro: "Die Integration d. HAMBRO-Masse-/Luftkammer-Deckensystems zur erhöhten Nutzung pass. Sonnenenergie", 'Forschungsbericht' (Herstellerinformation), 1984
- /H07/ Hauser, G.: "Heizenergieverbrauch u. Temperaturverhalten von Einfamilienhäusern in Leicht- u. Schwerbauweise während d. Übergangszeit", 'HLH' 29 (1978) Nr.3, S.125
- /H08/ Hauser, G.: "Einfluß der Lüftungsform auf die Lüftungswärmeverluste von Gebäuden", 'HLH' 30, 1979, S.263
- /H09/ Hauser, G.: "Der k-Wert im Kreuzfeuer - Ist der Wärmedurchgangskoeffizient ein Maß für Transmissionswärmeverluste?", 'Bauphysik' 1/1981, S.3
- /H10/ Hauser, G.: "Passive Sonnenenergienutzung durch Fenster, Außenwände u. tempor. Wärmeschutzmaßnahmen" Teile 1,2,3, 'HLH' 34 (1983) Nr.4,5 und 6
- /H11/ Hauser, G.: "Verglaste Baukörper zur passiven Sonnenenergienutzung", 'Bauphysik' 5/1983, S.147

- /H12/ Hauser, G.: "Einfluß des Wärmedurchgangskoeffizienten und der Wärmespeicherfähigkeit auf den Heizenergieverbrauch von Gebäuden", 'Bauphysik' 5/1984
- /H13/ Hauser, G.: "Vergleich d. jährl. Wärme- u. Energieverbrauchs von 1-Fam.-Häusern in Leicht- u. Schwerbauweise", 'Bundesbaublatt' 33 (1984), H.2, S.120-124
- /H14/ Hauser, G.: "Fenster und Heizwärmeverbrauch - Einfluß der Fenster auf den Heizwärmeverbrauch von Wohngebäuden", 'TAB' 6/1984 S.429
- /H15/ Hauser, G.: "Energetische Auswirkungen und sommerliches Temperaturverhalten eines Wintergartens", 'Kunststoffe im Bau' 19 (1984), H.4
- /H16/ Hausladen, G.: "Wohnungslüftung", 'HLH' 31/1980, Nr.9 S.347
- /H17/ Hausladen, G.: "Wohnungslüftung - Untersuchung der versch. Lüftungsarten (...)" (Diss.), 'Fortschritt-Ber. d. VDI-Zeitschr.', 6, Nr.73, 1980
- /H18/ Hebgen, H.: "Bauen mit der Sonne", 'Energie-Verlag', Heidelberg 1983
- /H19/ Heidt, F.-D.: "Passive Nutzung von Sonnenenergie zur Gebäudeheizung", 'arcus', 1+2/1984
- /H20/ Hillmann, G. et al.: "Klimagerechte und energiesparende Architektur", 'C.F.Müller', Karlsruhe, 1982
- /H21/ Hintermann, K.: "Wärmedämmung durch Fensterläden", 'Bauphysik' 3/1981
- /H22/ Hinterneder, H.: "Luftkollektoren mit Warmluft- und Warmwasser-Heizungen kombiniert", 'Sonnenenergie & Wärmepumpe' 7(1982) Nr.5/6
- /H23/ Hinterneder, H.: "Reihenhäuser werden mit Luftkollektoren beheizt", 'Solar + Wärmetechnik' 4(1982) Nr.6
- /H24/ HMWT (Hrsg.): "Modernes Heizen - Dokumentation zur Informationsschau d. Hess. Min. f. Wirtschaft u. Technik", 'HMWT', 1985
- /H25/ Hofbauer, W.: "Wohnhaus Zöchbauer, Herzogenburg" (Au), 'Bauforum' 109, S.50, Wien, 1985
- /H26/ Hoffman, M. et al.: "Solar Heating Using Common Building Elements as Passive Systems", 'Solar Energy' v30 (1983) n3 p275
- /H27/ Hoffmann, W.: "Ziegelelemente für passive Solarenergienutzung", 'Zi international' 6/1983
- /H30/ Horstmann, C.: "Berechnung von Wärmespeicherungsvorgängen in Räumen", 'BMFT-Forschungsbericht T78-14'
- /H31/ Hübinger, M.: "Die richtige Auslegung einer Hausheizung", 'SWT' 2/1982 S.11
- /I01/ Ihle, C.: "Klimatechnik für Heizungsbauer", 'Werner-Verlag' 1975
- /I02/ Ihle, C.: Der Heizungsingenieur, Band 5A: "Lüftung und Luftheizungen", 'Werner-Verlag', Düsseldorf, 1982
- /I03/ Ihle, C.: "Luftheizungen", 'Oel- + Gasfeuerung' 6/1980, S.368
- /I04/ Institut f. Bauforschung (Hrsg.): "Gebäudetypologisch-gestalterische Maßnahmen zur passiven Nutzung von Umweltenergien bei der Planung von Einfamilienhäusern", Bericht F 621, Hannover, 12/1982
- /I05/ IRB (Hrsg.): "IRB-Literaturauslese Nr. 168: Heizungssysteme im Vergleich", 'IRB-Verlag', Stuttgart, 1984
- /I06/ IRB (Hrsg.): "IRB-Literaturauslese Nr. 207: Solarhäuser", 'IRB-Verlag', Stuttgart, 1984

- /I07/ IRB (Hrsg.): "IRB-Themendokumentation Nr.3 - Energiesparen in Wohnhäusern, Wärmedämmung", 'IRB-Verlag', Stuttgart, 1983
- /I08/ IRB (Hrsg.): "IRB-Themendokumentation Nr.4: Heizung - Lüftung - Klima", 'IRB-Verlag', Stuttgart 1984
- /I09/ Isfält, E.: "Wärmespeicherungswirkung in Gebäuden", 'Klima- und Kälteingenieur' Ki 10/73, S.29
- /J01/ Jahn, A.: "Energiesparende Bauweisen - Auswirkungen auf Gebäudegestaltung, Raumklima, heiz- u. raumluftechnische Anlagen", 'Gesundheits-Ingenieur' 100 (1979), Nr.6
- /J02/ Jank, R.: "Wie werden künftig Einfamilienhäuser beheizt?", 'arcus' 2/1984, S.61
- /J03/ Jasper, W.: "Gesundes Raumklima", arch+ 51/52, 7/1980
- /J04/ Jeschar, R.: Skript "Vorlesung über technische Thermodynamik", Uni Clausthal, 1980
- /J05/ Jobst, A.: "Zur Frage d. Wärmedämmung u. Wärmespeicherung eines Gebäudes (...)", 'Haustechnische Rundschau' Sept. 1982, S.413
- /J06/ Jüttemann, H.: "Wärmerückgewinnung in lüftungstechnischen Anlagen", 'C.F. Müller', Karlsruhe 1977
- /K01/ Kelley, M., Slote, J.: "Design, Construction and Performance of a Low Cost, Remote Thermal Storage System", 'Progress in Pass Solar Energy Systems', 1982, p849
- /K02/ Kiraly, J.: "Architektur mit der Sonne", Band 1, 'C.F. Müller', Karlsruhe, 1981
- /K03/ Kiraly, J.: "Architektur mit der Sonne", Band 2, 'C.F. Müller', Karlsruhe, 1982
- /K04/ Kiraly, J.: "Dimensionierung passiver Sonnenheizungssysteme", 'arch +' 14 (1982) Nr.62 S.42
- /K05/ Kojan, F.: "Warme Luft im Reihenhaus", 'Wohnbau' (Wien) 9/1984, S.26
- /K06/ Koblin, W.: "Wärmespeicherung und Kühlung in Wohngebäuden", 'Bauwelt' 18/1977, S. 607
- /K07/ Komiya, H.: "Können Ergebnisse von passiven Solarsystemen in andere Klimagebiete übertragen werden?", 'Bauphysik' 6/1983
- /K08/ Kraftanlagen Heidelberg: "Heidelberger Wärmerückgewinner - Energiesparen in der Lufttechnik", 'Planungsmappe' - Herstellerinformationen 1984
- /K09/ Kröling, P.: "Gesundheits- und Befindensstörungen in klimatisierten Gebäuden", 'Zuckschwerdt-Verlag', München, Bern, Wien 1985
- /K10/ Kühn, M., Vicktor, H.: "Klimatisierung von Bürogebäuden bei allelektrischer Versorgung", 'Heizung-Lüftung-Haustechnik' 25 (1974), Nr.4/5
- /K11/ Künzel, H.: "Einfluß der Wärmespeicherfähigkeit auf den Heizenergieverbrauch", 'arcus' 1, 1983, S.30
- /K12/ Künzel, H.: "Repräsentativumfrage über das Heizen und Lüften in Wohnungen", 'Gesundheits-Ingenieur' 100, 1979, H.9, S.261
- /K13/ Küsgen, H.: "Minimalenergiehäuser", 'arcus' 3, 1983, S.137
- /K14/ Küsgen, H.: "Ökologische Experimentalbauten an deutschen Universitäten", 'arch+' 77, Nov. 1984, S.16
- /K15/ Küsgen, H.: "Persönliche Mitteilungen", 5/1985
- /K16/ Kummler & Matter AG, Zürich: "Wärmedämmung und Wohnungslüftung", 'planen + bauen', 7/80, S.73
- /K17/ Kurer, Th.: "Massiv- oder Leichtbauweise?", 'Sonnen-

- energie & Wärmepumpe' 6 (1981) H.3
- /K18/ Kurer, T.V., Filleux, C.: "Solar Trap - ein Sonnenheizsystem für mitteleuropäisches Klima", 'arcus' 1/1984, S.24
- /K19/ Klaus, G.: "Persönliche Mitteilungen", 1986
- /K20/ Kaiser Omnia: Produktinformation Hohlsteindecken, 1986
- /L01/ Läge, F.K.: "Wohnmedizinische Forschung und Wohnungsheizung", 'Wohnmedizin' 17 (1979) Nr.1 S.10-15
- /L02/ Läge, F.K.: "Vom übermäßigen Genuß an Raumwärme - Energieeinsparung als psychologisches Problem", 'Sanitär- u. Heizungstechnik' 2/1982, S.99
- /L03/ Lampe, G. et al.: "Lüftungs- und Klimaanlageanlagen in der Bauplanung", 'Bauverlag GmbH', Wiesbaden, Berlin 1974
- /L04/ Lenz, H.: "Heizung, Klima, Lüftung", 'Verlagsanstalt A. Koch GmbH' 1977
- /L05/ Levine, R.S.: "The Coupled Pan Space Frame: A Structural Framework for Solar Conserving Buildings", 'Proc of the Natl Pass Sol Engy Conf', 1982, p594
- /L06/ Lewis, D. et al.: "Rockbeds", 'Solar Age', 3/1982, S.44
- /L07/ Lewis, S.: "Radiant Floors", 'Solar Age', 5/1982
- /L08/ Lewis, S.: "Solar Home Journal", 'Newsletter of the Metropolitan Solar Energy Society', April 1981
- /L09/ Lewis, S.: "Radiant Slab Heat Recovery", 'Newsletter of the Metropolitan Solar Energy Society', Juni 1981
- /L10/ Lewis, S.: "Radiant Slab Heat Recovery", unveröffentlichtes Manuskript, 8/1981
- /L11/ Löf, G.O.G.: "Solar Air Systems", 'Solar Energy Conversion. Course.' 1979, p331
- /L12/ Loewe: Produktinformation "Wärmetauscher - Wärmepumpen", 'Herstellerinformation'
- /L13/ Loewer, H.: "Klimatechnik", 'C.F. Müller', Karlsruhe, 1982
- /L14/ Loewer, H.: "Mensch und Raumluft - Gedanken zum wirtschaftlichen Einsatz lüftungstechnischer Maßnahmen", 'Ki' 5/1983, S.223
- /L15/ Lohr, A.W.: "Werkzeug für Architekten: Eine einfache Berechnungsmethode für passiv-sonnenbeheizte Wohnräume" 'Bauphysik' 3/1981
- /L16/ Lorch, W. et al.: "Warmluftheizungen", 'Solar- u. Wärmetechnik' 2+4/1980
- /L17/ Lüscher, E.: "Physikalische Grundlagen zum Thema 'Sonnenenergie'", 'arcus' 1/1984, S.5-7
- /L18/ Luther, Chr.: "Der bauökonomische Ansatz des Wärmedurchgangskoeffizienten", 'Mitteilungsblatt d. AG f. zeitgem. Bauen' o. Ort und Jahr
- /L19/ Lutz, R.: "Sanfte Alternativen", 'Beltz', Weinheim, 1981
- /L20/ Luz, E., Wickel, M.: "Bescheiden Bauen" - Zum Thema des kosten- und flächensparenden Wohnungsbaus, 'Diplomarbeit', Universität Hannover, 1984
- /L21/ Luz, E.: "Offene und geschlossene Warmluft-Heizkreisläufe mit warmluftdurchströmten Speicherbauteilen", Dissertation, Universität Hannover, 1986
- /M01/ Mährlein, K.: "Energiebewußte Gebäudeplanung", 'db' 2/1985, S.50
- /M02/ Mährlein, K.: "Haustechnik und Gebäudeplanung", 'db' 11/85, S.48
- /M03/ Malatidis, N.A., Bertsch, K.: "Latentspeicher für So-

- larenergie - derzeit lohnend?" 'IBP-Mitteilungen' 96, 12/1985
- /M04/ Masuch, J.: "Wärmespeichernde Bauweisen und Klimaanlage", 'HLH' 27 (1979), Nr.8, S.278
- /M05/ Mayer, E. et al.: "Luftbewegung und Luftwechsel in Räumen bei verschiedenen Arten der Lüftung", 'FBW - Blätter' 5/1978
- /M06/ Mayer, E.: "Untersuchungen von Zugerscheinungen mit Hilfe physikalischer Meßmethoden", 'Gesundheits-Ingenieur' 106, 1985, H.2, S.65-73
- /M07/ Mazria, E.: "The Passive Solar Energy Book", 'Rodale Press', Emmaus, Pa., 1979
- /M08/ Meier, C.: "Wirtschaftlichkeit von Wärmedämm-Maßnahmen" 'RG-Bau-Merkblatt' 62 (1984)
- /M09/ Meier, C.: "Effektivität von Wärmedämm-Maßnahmen", 'RG-Bau-Merkblatt' 65 (1984)
- /M10/ Mettler-Meibom, B., Wichmann, B.: "Informationsstand und Einstellung als Verhaltensregulative", 'Schriftenreihe d. Forschungsstelle f. Energiewirtschaft', 15/82
- /M11/ Mettler-Meibom, B.: "Soziale und ökonomische Bestimmungsgrößen für das Verbraucherverhalten", 'Schriftenreihe d. Forschungsstelle f. Energiewirtschaft', Bd.15/82
- /M12/ Meyer-Abich, K.M. (Hrsg.): "Energieeinsparung als neue Energiequelle. Wirtschaftspolitische Möglichkeiten u. alternative Technologien", 'Hanser', München, 1979
- /M13/ Meyringer, V.: "Einige grundsätzliche Überlegungen zu den Möglichkeiten u. Grenzen passiver Solarenergie-Nutzung", 'Dornier GmbH' - Mitteilungen, o. Jahr
- /M14/ Mietke, B.: "Lüftungsanlagen - Handbuch", 'Udo Pfriemer Verlag' München 1978
- /M15/ Mikelskis, H.: "Haushalten mit Energie", 'Natur extra', 7/85, S.48
- /M16/ Mikkonen, M.: "Schlaff bewehrte Hohldeckenplatten, Herstellung, Transport und Montage", 'Element + Fertigungsbau' 1/21 (1984) S.34
- /M17/ Mitchell, R., Giansante, J.E.: "The Use of Concrete Block Directly under a Concrete Slab as a Heat Storage System in a Passive Heated Building", 'Alt Engy Sourc': Proc of the Miami Int Conf, 1979
- /M18/ Mitchell, R.: "A Unique Use of Concrete Block for Cooling Application", 'Progress in Solar Energy', Vol.5, o. Jahr
- /M19/ Müller, H.: "Computerprogramm hilft Energie sparen", 'db' 10/1981
- /M20/ Mürmann, H.: "Neuzeitliche Wohnungslüftung", 'Die Kälte u. Klimatechnik' 5/1980 S.194
- /M21/ Mürmann, H.: "Klimazentralheizungen für Wohnungen", 'Die Kälte u. Klimatechnik' 10/1982 S.448
- /M22/ Mürmann, H.: "Wohnungslüftung", 'Verlag C.F. Müller' Karlsruhe 1982
- /N01/ Nikolic, V.: "Handbuch des energiesparenden Bauens", 'Deutscher Consulting Verlag' Wuppertal 1978
- /N02/ Nikolic, V.: "Bau und Energie - Bauliche Maßnahmen zur verstärkten Nutzung der Sonnenenergie", 'Verlag TÜV Rheinland' 1983 (Hrsg. BMFT)
- /N03/ Norton, B., Probert, S.D.: "Open-Loop Thermosyphon Solar-Energy Space Heating", '1st E.C. Conf. on Solar

- Heating' Amsterdam 1984
- /001/ Ohlwein, K.: "Energiebedarf und Gebäudeform", 'DBZ' 11/1979 S.1733
- /002/ Olsen, B.W.: "Wie wird das thermische Raumklima gemessen?", 'Tagungsbericht 4.Int. Velta Kongreß', März 1982
- /003/ Oster, H.: "Möglichkeiten der Be- und Entlüftung", 'sbz' 2/1977 S.99
- /004/ Oswald, D.: "Monovalente Wärmepumpenheizung in einem Einfamilienhaus mit massivem Dachabsorber und einem kleinen Erdkollektor", 'Bauphysik,' H.1, 1985, S.16-24
- /P01/ Panzhauser, E. "Klimatisierung durch Bodenspeicher", 'Sonnenenergie & Wärmepumpe' 6 (1981) Nr.6
- /P02/ Petzold, K.: "Ökonomisch optimaler Wärmeschutz bei durchlüfteten Außenbauwerksteilen", 'Luft- u. Kältetechnik' 2/1982 S.63
- /P03/ Ploss, W.: "Wärme aus der Umwelt", 'Das Haus' 5/1981 S.41
- /P04/ Polenske, G.: "Lüftung von Wohnbauten", 'HLH' 32 (1981) Nr.11 S.447
- /Q01/ Quenzel, K.-H.: "Meteorologische Daten", 'Forster-Verlag AG' Zürich 1969
- /Q02/ Quelch, J.A., Thirkell, P.: "Builders as Consumers: Their Role in Residential Sector Energy Conservation", 'Proc of the Intl Conf on Engy Use Conserv', 1979
- /R01/ Rassafi, M. et al.: "Experimental Results of Air Solar Collector Storage in Soil Heating System for an Industrial Building", '1st E.C. Conf. on Solar Heating', Amsterdam 1984
- /R02/ Rath, J.: "Ein vereinfachtes Rechenverfahren zur Bestimmung d. Tagesgänge d. Gesamt-Strahlung auf verschieden orientierte Flächen (...)", 'Bauphysik' 4, H.1, 1982
- /R03/ Recknagel, H., Sprenger, E.: "Heizung und Klimatechnik", 'R. Oldenbourg Verlag', München u. Wien 1983
- /R04/ Rouvel, L.: "Berechnung der Heiz- u. Kühllast von Bürogebäuden bei allelektrischer Versorgung", 'Heizung-Lüftung-Haustechnik' (25) Nr.4/5 1974
- /R05/ Rouvel, L.: "Energiebilanz von Gebäuden - Vereinfachtes Rechenverfahren", 'Deutsches Architektenblatt' 3/4 1982
- /R06/ Rouvel, L.: "Einfluß von Nutzungsgewohnheiten und Abrechnungsart auf den Heizenergieverbrauch", 'Schriftenreihe der Forschungsstelle für Energiewirtschaft', 15/82
- /R07/ Rusjan, B.: "Nachbildung u. Erfahrungen mit dynamischen thermischen Verhältnissen in Räumen schwerer Bauart", 'gi' 104 (1983) Heft 2 S.68
- /R08/ RWE (Hrsg.): "RWE Bau-Handbuch" Technischer Ausbau 1985/86, 'Energie-Verlag GmbH' Heidelberg 1985
- /S01/ Seppanen, O., Ripatti, H.: "Energy Conservation with Hollow Core Concrete Slabs", 'Proc of the Natl Pass Sol Engy Conf', 1982, p485
- /S02/ Saalfeld, W.: "Air-Therm Wärme-Rückgewinnungs-Heizsystem", 'Herstellerinformation' 1984
- /S03/ Sabady, P.R.: "Solar-Architektur Praxis", 'Helion Verlag', Zürich 1981
- /S04/ Sagelsdorff, R. et al.: "Langzeit-Untersuchungen über Luftdurchlässigkeit und Luftwechsel eines Einfamilienhauses", 'Bauphysik' 2/1982 S.56
- /S05/ Saunders, N.B. et al.: "The Double Shell House: Quanti-

- tative Thermal Analysis with Measured Verification",
'Proc of the Natl Pass Sol Conf 5th' (1980) v1 p498
- /S06/ Scheirle, N. et al.: "Energetische Beurteilung des
Sonnenglashauses Aichwald", (2TF - 76), IKE Stuttgart,
Nov. 1985
- /S07/ Schrag: "Planungsunterlagen", 1984
- /S08/ Schreck, H. et al.: "Klimagerechtes und ökologisches
Bauen - 'passive' Systeme in den USA und in Deutsch-
land", 'Bauwelt' 29/1980, S.1248
- /S09/ Schuh, R., Seunig, G.W.: "Bauen und Energiesparen" Teil
1 u. 2, 'Baumeister' 1/1982
- /S10/ Schuh, R., Seunig, G.W.: "Energiegerechte Bauleitpla-
nung", 'Sonnenenergie & Wärmepumpe' 1981, Heft 3
- /S11/ Schwab, D.: "Die zweite Haut fürs Eigenheim", 'Umschau
Wiss.u.Tech.' 81 (1981) Nr.22 S.690
- /S12/ Schwarz, B.: "Massivabsorber - neuartiges Heizsystem
für den Beton-Fertigteilebau", 'Baumaschine u. Bau-
technik' 28 (1981) Nr.4 S.208
- /S13/ Scudo, G.: "Mass Produced Passive Components for Low-
Cost Multistory Building", '1st E.C. Conf. on Solar
Heating' Amsterdam 1984
- /S14/ Sieber, H.G., Pabel, F.: "Zwei Konzepte für passive
Solarhäuser", 'db' 4/1981
- /S15/ Siepmann, J., Wehrmann, H.: "Abluftfassade", 'DAB'
4/1984 S.457
- /S17/ Spath, R.: "Nostalgie oder Herausforderung unserer
Zeit?", 'Bau & Energie' 5/1982
- /S18/ Der Spiegel (Hrsg.): "Spiegel-Dok.: Energie-Bewußtsein
u. Energie-Einsparung b. priv. Hausbesitzern u. Woh-
nungseigentümern", 'Spiegel-Verlag', Hamburg, 1981
- /S19/ Der Spiegel (Hrsg.): "Umweltberater für Privathaus-
halte", 'Der Spiegel' Nr.43 (21. Okt. 1985), S.94
- /S20/ Steiger, P., Hauri, H.H.: "Klimatisierung mit natür-
lichen Mitteln", 'Bauphysik' 2/1979 S.43
- /S21/ Steimle, F.: "Behaglichkeit in Wohnräumen", 'Staub-
journal' 1983 (Juni/6) Nr.100
- /S22/ Steimle, F.: "Klimakurs", 2. Auflage, 'C.F.Müller',
Karlsruhe, 1970
- /S23/ Stein, B.J.: "Energiebewußte Architektur und Städte-
bau", 'Energiespar-Technik' 11/1981
- /S24/ Stein, B.J.: "Ganzjahresheizung zu Sonnentarif?", 'Bau
und Energie' 5/1982
- /S25/ Stork, A.: "Wärmeträgermedium Luft", 'Heizen mit Sonne'
(Hrsg.: DGS), Bd.2, 1977
- /S26/ Stricker, R., Erhorn, H.: "Wintergärten - Energetisch
sinnvoll?" 'IBP-Mitteilungen' 97, 12/1985
- /S27/ Struve, H.-D., Volhard, F.: "Fachgespräch Hypokausten-
heizung des Bundes für Architektur und Baubiologie",
'Bauwelt' o. Jahr
- /S28/ Struve, H.-D.: Anmerkungen zur Auswahl gesunder Heizun-
gen", 'Wohnung + Gesundheit' Nr.9, 1981, S.20
- /S29/ Schröder, J.J.: "Thermodynamische, wärmetechnische und
stoffliche Aussagen zum Forschungsvorhaben: Warmluftdurch-
ströme und wärmespeichernde massive Bauteile in Verbindung
mit passiven Sonnenenergiesystemen", 'Gutachten', Institut
für Thermodynamik der Universität Hannover, 2/1986
- /T01/ Teerhaag, L.: "Thermische Behaglichkeit - Temperatur
und Feuchte" Tagungsbericht Gesundes Wohnen, 'Bundes-

ANHANG 3 - LITERATUR- + QUELLENVERZEICHNIS

- verb. d. dtsh. Zementindustrie e.V.' 1984
- /T02/ Tischendorf, J.: "Heizzeit-Energiebilanz eines Nordfensters", 'Glasforum' 4/1983 S.36
- /T03/ Treberspurg, M. et al.: "F863 - Bewohnereinfluß auf passive Solarsysteme" (Projektskizze), 'Wohnbauforschung', Wien, 1983
- /T04/ Trepte, L.: "Das Forschungs- und Entwicklungsprogramm 'Lüftung im Wohnungsbau'", 'Dornier System GmbH', (O3E-5361 A+B) o. Jahr
- /T05/ Trümper, H.: "Wohnungslüftung", 'TAB' 7, 1976 Nr.8 S.793
- /U01/ Urbanek, A.: "Wohnungslüftung, Wärmerückgewinnung, Warmluftheizung", 'Sonnenenergie u. Wärmepumpe' 6 (1981) Nr.5 S.17
- /V01/ VDI (Hrsg.): "VDI - Wärmeatlas" 4.Auflage 1984, 'VDI - Verlag GmbH' Düsseldorf 1984
- /V02/ VDI (Hrsg.): "VDI - Richtlinie 2078" Wärmespeicherfaktoren, 'VDI - Richtlinien 2078' 1984
- /V03/ Vidal, M.: "Niedertemperatur-Luftheizung und kontrolliertes Mikroklima", 'Die Kälte- u. Klimatechnik' 10/1980 S.402
- /W01/ Wacker, U. "Das Warmluft-Heizungssystem Brink", 'Solar + Wärme-Technik', 3/1980
- /W02/ Weber, H.: Skript zur Vorlesung "Industrialisierung des Bauens", Uni Hannover, 1985
- /W03/ Weise, E.: "Strahlungsheizung", 'Vulkan-Verlag' Essen, 1973
- /W04/ Wellpott, E.: "Technischer Ausbau von Gebäuden", 'Verlag W. Kohlhammer' 1979
- /W05/ Wensierski, P.W.: "Analyse u. Optimierg. solarer Warmwasser- und Raumheizgssyst. v. Wohnbauten m. versch. Wärmeschutz", 'Angewandte Systemanalyse Nr.42', KFA Jülich, 1985
- /W06/ Werner, H., Koch, S.: "Lüftungseinrichtungen im Wohnungsbau", 'FBW - Blätter' 3/1984
- /W07/ Werner, H.: "Lüftungssysteme, getestet in Versuchshäusern", 'IBP-Mitteilungen' 100, 12/1985
- /W08/ Wick, B.: "Bauphysik-Leserforum: Bemerkungen zum Artikel von Gerd Hauser", 'Bauphysik' 3/1981
- /W09/ Wick, B.: "Einfluß v. Hülle, Heizung u. pass. Sonnenenergienutzung auf den Energieverbrauch von Gebäuden", 'Bauphysik' 1/1983
- /W10/ Wiegerinck, P., Haferland, F.: "Natürliche Kühlung von Räumen bei Gebäuden leichter Bauart in warmtrockenen Klimagebieten", 'Bauphysik' 2, 1985, S.39
- /W11/ Wolf, R.: "Solarluftheizung zum Selbstbau", 'IDEA Verlag GmbH' Puchheim 1983
- /W12/ Würstlin, D.: "Das Regeln heizungs-, lüftungs-, und haustechnischer Anlagen", 'VDI-Verlag GmbH' Düsseldorf 1974
- /Y01/ Yellott, J.I.: "Passive Solar Progress", 'Heating/Piping/Air Conditioning', Jan. 1980
- /Z01/ v. Zabeltitz, C.: "Gewächshäuser", 'Ulmer', Stuttgart, 1978
- /Z02/ Zapke, W.: "Auswertung ausländischer Forschungsberichte des Sachgebiets Heizung", 'Kurzberichte aus der Bauforschung', Nr.12, 1981
- /Z04/ Fachverband Ziegelindustrie Nord e.V.: Produktinformation

- o. Jahr
- /Z03/ Zapke, W.: "Konventionelle und alternative Heizungs-systeme - Ein Überblick", 'Bundesbaublatt', H.2, 1985
 - /001/ o. Verf.: "Dänisches Einfamilienhaus ohne Heizungs-kosten", 'Heizungstechnik' 1/1976
 - /002/ o. Verf.: "Luftheizungsanlagen mit Sonnenenergie", 'SonnenEnergie-Technik', SET 1976, Nr.5, S.8
 - /003/ o. Verf.: "Lüftungsanlagen in Frankreich - Wohnungslüf-tung auch im sozialen Wohnungsbau", 'sbz' 10/1977, S.885
 - /004/ o. Verf.: "Wohnsiedlung als Forschungsprojekt - Ener-gieforschung in Schweden", 'Plan' 35, 7/8, 1978
 - /005/ o. Verf.: "Heizungsanlagen: Welchen Einfluß haben Architekten und IngDenieure?", 'Sanitär- und Heizungs-technik' 7, 1979, S.609
 - /006/ o. Verf.: "Modellversuch Sonnen-Glashaus - natürlich und energiesparend wohnen", 'bba-Informationen', 7/8, 1981
 - /007/ o. Verf.: "Sonnenenergie", 'top-agrar', Sonderheft 1981
 - /008/ o. Verf.: "Energiesparhaus in Massivbauweise", 'Wohn-medizin' 5, 1981, S.17
 - /009/ o. Verf.: "Verunreinigung der Raumluft durch Bau-stoffe", 'Wohnmedizin' 5, 1982, S.7
 - /010/ o. Verf.: "Ein 'Straußenei' im Fertighausbau (Niedrig-Energie-Fertighaus)", 'Bauwirtschaft', H.4, 1983, S.100
 - /011/ o. Verf.: "Außenluft wird kontrolliert zugeführt", 'VDI-Nachrichten' 37, 1983, Nr.7, S.19
 - /012/ o. Verf.: "Sunstrip-Selbstabsorber", 'Sanfte Technolo-gie', Verlagsges., Springe, 1983
 - /013/ o. Verf.: "Bedeutung der passiven Solararchitektur in Deutschland", 'arcus' 1, 1984, S.2
 - /014/ o. Verf.: "Unterlagen zum '2.europäischen Ideen-Wett-bewerb passive Solararchitektur 1982'", Ausschreibungs-unterlagen, o. Jahr

Anmerkung:

Nicht aufgeführt sind die jeweils zu berücksichtigten Normen und Richtlinien (DIN, VDI etc.); auf diese wird an den betreffenden Stellen in den Ausführungen direkt verwiesen.