

Optimale Wärmedämmung von Gebäuden

30 bis 50 Prozent der Heizenergie gehen im Durchschnitt verloren, weil die bestehenden Gebäude bloss über einen minimalen Wärmeschutz verfügen. Etwa 10 Prozent des schweizerischen Gesamtenergiebedarfes kann eingespart werden, wenn die bestehenden Bauten mit einer guten Wärmedämmung versehen werden, wo dies mit vertretbarem Aufwand möglich ist. Im vorliegenden Bericht sind die technischen Möglichkeiten, sowie die physikalischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Aspekte optimaler Wärmedämmung aufgezeigt.

SES

Schweizerische Energie-Stiftung

HERAUSGEBER: Schweizerische Energie-Stiftung
Sihlquai 67, 8005 Zürich (ab 1.4.1981)

→ SACHBEARBEITER: A. Binz, dipl. Arch. ETH

DRUCK: Genossenschaft
ARPA Druck, Langnau a/A

AUSLIEFERUNG
UND VERTRIEB: AVA (buch 2000), Postfach 89, 8910 Affoltern

PREIS: Fr. 25.--

4. überarbeitete Auflage, März 1981

ISBN 3 85675 004 5

Diese Studie wurde ermöglicht durch die Unterstützung und Mitarbeit der Firmen Bau- und Industriebedarf AG Oberwil BL, Dämmbau Handels AG Luzern, Fibriver Niederhasli, Flumroc AG Flums, Sager AG Dürrenäsch, Sarna Kunststoff AG Sarnen, Schneeberger Kork AG Dulliken, Wancor AG Regensdorf, sowie der Mustermesse Basel und des Schweizerischen Baumeisterverbandes. Zahlreiche weitere öffentliche und private Stellen haben uns bereitwillig mit Informationen weitergeholfen. Wir danken all diesen Mitarbeitern für ihre Hilfe!

März 1978

Armin Binz

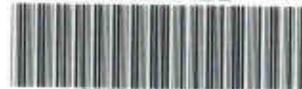
B 69/52
N. 4 ED 4

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	1
VORBEMERKUNG	13
BEGRIFFE	14
1. <u>ENTWICKLUNG UND STAND DER WAERMEDAEMM-TECHNIK</u>	
1.1 Baugeschichtliche Entwicklung	15
1.2 Mindestwärmeschutz	16
1.3 Optimaler Wärmeschutz	20
1.4 Wärmehaushalt von Gebäuden	23
1.4.1 Konzeptionelle Massnahmen	26
1.4.2 Baulich-konstruktive Massnahmen	27
1.4.3 Gerätetechnische Massnahmen	28
1.4.4 Betriebliche Massnahmen	28
1.4.5 Folgen und Wechselwirkungen verschiedener Energiesparmassnahmen	29
1.5 Wärmetechnische Sanierung von bestehenden Bauten	31
1.6 Wärmedämmung bei Neubauten	35
1.7 Technologie	36
1.7.1 Aeussere Wärmedämmung und Zweischalen- konstruktion	36
1.7.2 Innere Wärmedämmung	38
1.7.3 Uebrige Verfahren	
2. <u>DIE BAUPHYSIK DES WAERMESCHUTZES</u>	
2.1 Die bauphysikalische Funktion der Gebäudehülle	41
2.2 Physikalische Auswirkungen der Wärmedämmung	45
2.3 Wohn- und arbeitsphysiologische Aspekte	46
2.4 Wärmedämmung und Behaglichkeit	49
2.5 Das dynamische Temperaturverhalte:	51
3. <u>WIRTSCHAFTLICHKEIT</u>	
3.1 Aufwand und Ertrag	54
3.2 Kosten - Nutzen - Verhältnis	57
3.2.1 Die Berechnung nach F. Venosta	58
3.2.2 Wärmeschutzinvestition versus Brennstoff- einsparungen	59
3.2.3 Energiekostengünstigste Gebäudehüllen- konstruktion	63

Ingenieurschule beider Basel (IIB)
Bibliothek
Gründenstrasse 40
4132 MUTTENZ

ETHICS IBB



04400003102321

3.3	Die Bedeutung der wirtschaftlich optimalen Wärmedämmung	66
3.4	Die Wirtschaftlichkeit von nachträglicher Wärmedämmung an bestehenden Gebäuden	68
3.5	Das wirtschaftliche Optimum bezüglich Baukosten und bezüglich Gebrauchskosten	70
4.	<u>ENERGIEERSPARNIS</u>	
4.1	Theorie und Praxis	74
4.2	Energiekennziffer	78
4.3	Energieersparnis im Gebäude	81
4.4	Einsparungen bei Neubauten	82
4.5	Einsparungen bei bestehenden Gebäuden	83
4.6	Schweizerisches Energiesparpotential	84
4.7	Energiebilanz	89
5.	<u>GESAMTWIRTSCHAFTLICHE UND GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE</u>	
5.1	Bedürfnisgerechte Energiesparmassnahmen	93
5.2	Gesellschaftliche Auswirkungen der Wärmedämmung	94
	5.2.1 Energiekosten und Handelsbilanz	94
	5.2.2 Auslandabhängigkeit	95
	5.2.3 Konjunktur- und Beschäftigungslage	95
	5.2.4 Umweltschutz	96
	5.2.5 Schonung der Ressourcen	97
	5.2.6 Qualität der Bausubstanz	97
5.3	Dezentralisierungsgrad der Energieversorgung	97
6.	<u>FOERDERUNG UND DURCHSETZUNG VERBESSERTER WAERMEDAEMMUNG</u>	
6.1	Mittel zur Verwirklichung verbesserten Wärmeschutzes	99
6.2	Vorschriften	100
	6.2.1 Vorschriften betreffend Neubauten	101
	6.2.2 Vorschriften betreffend bestehende Gebäude	105
	6.2.3 Vorschriften auf Bundesebene	106
6.3	Finanzielle Anreize	107
	6.3.1 Subventionen	107
	6.3.2 Steuererleichterungen	109
	6.3.3 Finanzierungshilfen	111
6.4	Die Handhabung gesetzlicher Regelungen	112
6.5	Technologiekontrolle und Qualitätsgarantie	113
6.6	Indirekte Förderung verbesserter Wärmedämmung durch umfassendere Energiesparbestrebungen	115
	6.6.1 Information und Ausbildung	115
	6.6.2 Die öffentliche Hand als Bauherrin und Eigentümerin von Liegenschaften	116
	6.6.3 Energiesteuer	117
	6.6.4 Energieplanung	118
	LITERATUR	120

Zusammenfassung

VOM MINDESTWAERMESCHUTZ ZUM OPTIMALEN WAERMESCHUTZ

Wärmeschutz wurde notwendig, als in den dreissiger Jahren Baustoffe mit sehr guten statischen Eigenschaften Wandkonstruktionen ermöglichten, die nicht mehr die nötige thermische Dämmfähigkeit besaßen, um ein behagliches und hygienisches Innenklima zu gewährleisten. An Beton- und dünnen Backsteinwänden bildete sich Kondenswasser an der kalten inneren Oberfläche. Aus konstruktiven und baubygienischen Gründen musste daher ein Mindestwärmeschutz beachtet werden: Die Backsteinwand wurde etwas dicker, als aus statischen Gründen notwendig dimensioniert, und Betonkonstruktionen konnten durch Kork und später durch die modernen Dämmstoffe (Glasfaser, Steinwolle, Polystyrolschaum, PU-Schaum usw.) wärmedämmender gestaltet werden.

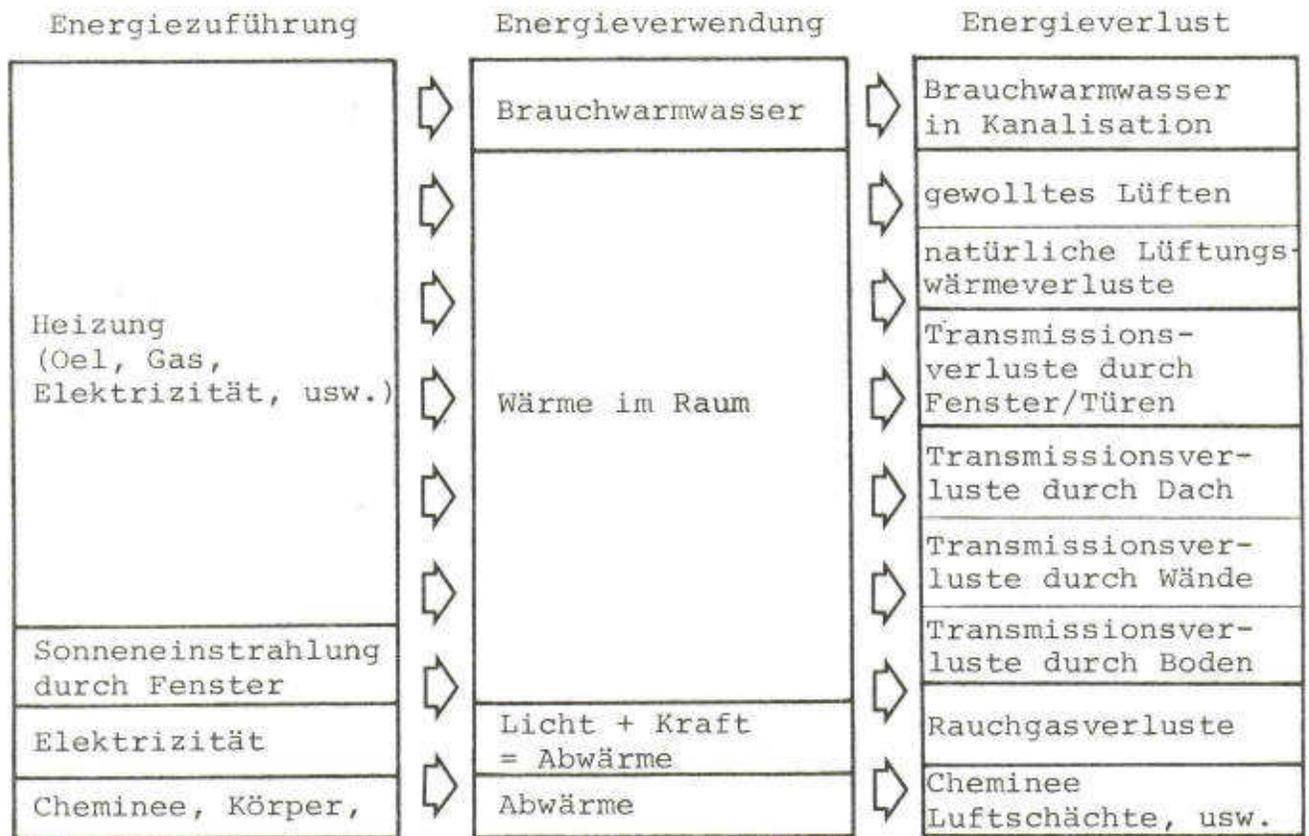
Während mit dem Mindestwärmeschutz vor allem darauf abgezielt wird, Kondenswasser im Bau zu verhindern, besteht ein optimaler Wärmeschutz darin, dass alle Aspekte berücksichtigt werden. Zur Festlegung eines Optimums müssen also alle Haupt- und Nebenfolgen von Wärmeschutzmassnahmen in Betracht gezogen werden:

- Die Möglichkeiten, Energie einzusparen
- Die Beeinflussung des Wärmekomforts
- Schutz der Konstruktion vor übermässigen Temperaturspannungen und vor Kondenswasser
- Die Beeinflussung des Schallschutzes
- Die Erstellungs- und Betriebskosten

Optimaler Wärmeschutz kann also nicht nur das Resultat betriebswirtschaftlicher Ueberlegungen sein, die auf minimale Gesamtkosten für den Hauseigentümer abzielen. Es muss berücksichtigt werden, dass Energiesparen ein nationales Interesse darstellt, dass Wärmeschutz einen erhöhten Wärme komfort mit sich bringt und die Konstruktion schützt, und dass Wärmeschutz oft gleichbedeutend mit Schallschutz ist.

DER WAERMEHAUSHALT VON GEBAEUDEN

Der Wärmehaushalt von Gebäuden wird einerseits durch den Gesamt-Wärmeverlust bestimmt, dem auf der anderen Seite die Zuführung der Energie gegenübersteht.

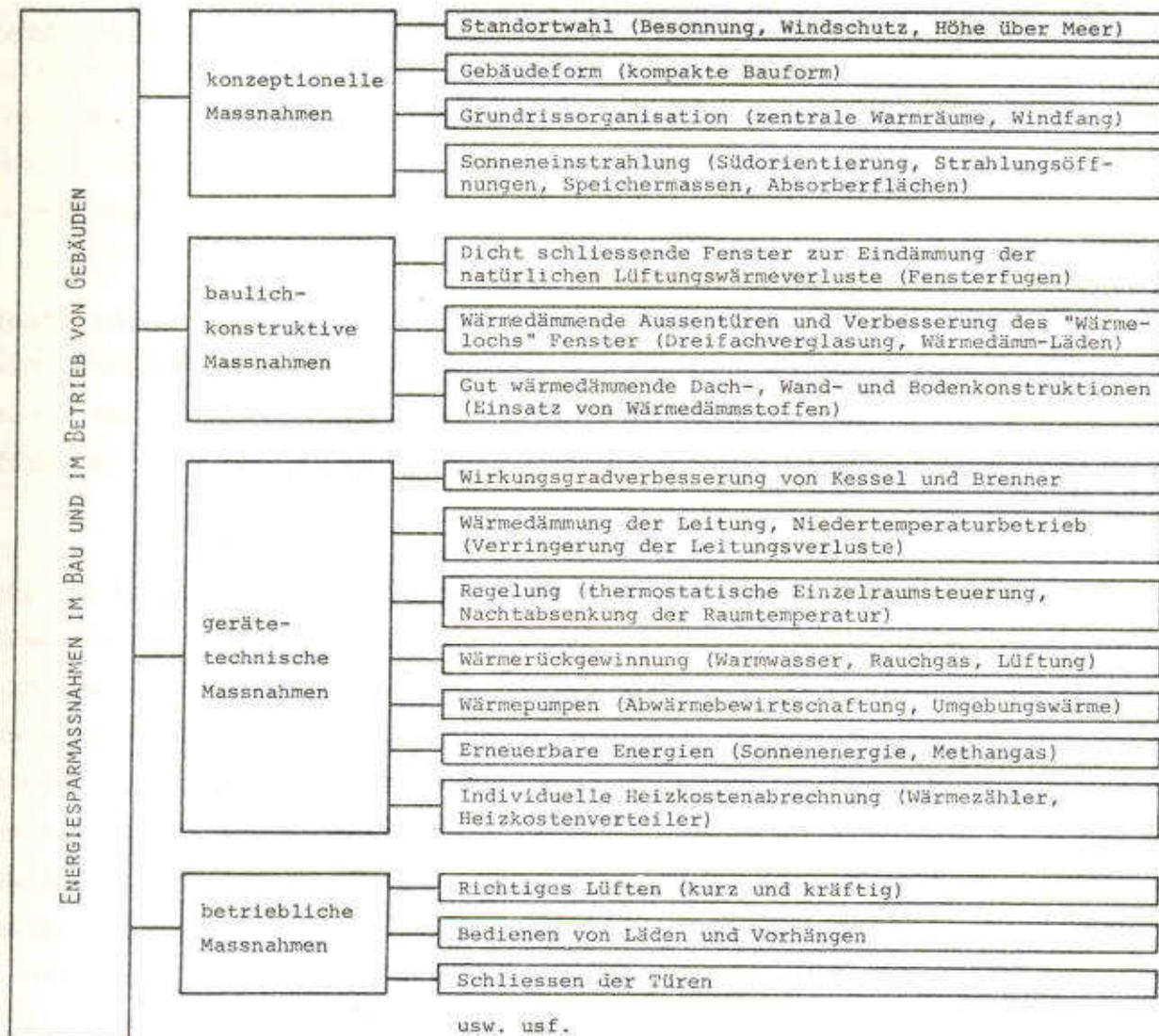


Schematisches Beispiel für den Energiefluss im Gebäude.

Alle Elemente der drei Bereiche Energiezuführung, -verwendung und -verluste stehen in enger Wechselwirkung zueinander, und alle Elemente sind durch Massnahmen verschiedenster Art beeinflussbar. Man kann daher nicht von einem feststehenden Energiebedarf sprechen, weil die menschlichen Grundbedürfnisse nach Wärme, Licht und Kraft mit ganz unterschiedlichen Mengen an Energie befriedigt werden können. Durch intelligente Nutzung der Energie und durch sorgfältige Beachtung der Verluste kann der Anteil an hochwertiger Energie, der zugeführt werden muss, auf ein Minimum gesenkt werden.

ENERGIESPARMASSNAHMEN

Energiesparmassnahmen im Bau lassen sich in vier Kategorien gliedern:



Obenstehende Darstellung illustriert, dass die im Rahmen dieses Berichtes näher dargestellte Massnahme der verbesserten Wärmedämmung von Wand, Dach und Boden nur einen kleinen Teil der möglichen Energieeinsparungen ausmacht. Es muss vor allem beachtet werden, dass kaum Energiesparmassnahmen existieren, die nicht flankierende Massnahmen notwendig machen. Die nachträgliche Wärmedämmung von Gebäuden etwa bewirkt, dass die Heizungsanlage der neuen Situation angepasst werden muss: Gut wärmegeämmte Räume müssen relativ fein geregelt werden können, da Fremdenergien wie etwa die Sonneneinstrahlung eine wichtige Rolle zu spielen beginnen und sonst leicht zu unangenehmer Ueberwärme führen. Im weiteren ist die alte Heizungsanlage im nachhinein stark überdimensioniert, sodass sie mit schlechterem Wirkungsgrad arbeitet, was nebst Energieverschwendung auch eine erhöhte Belastung der Umwelt durch unverbrannte Kohlenwasserstoffe bedeutet. Das Fazit aus diesen Ueberlegungen muss sein, dass Energiesparen immer eine Vielzahl von aufeinander abgestimmten Massnahmen sein muss.

DIE NACHTRAEGLICHE WAERMEDAEMMUNG BESTEHENDER GEBAEUDE

Im Jahr 2000 werden die heute bereits bestehenden Wohnungen immer noch über drei Viertel des Gesamtwohnungsbestandes ausmachen. Die nachträgliche Wärmedämmung bestehender Gebäude ist also von grösster Wichtigkeit, wenn das Energiesparpotential im Raumheizungssektor ausgeschöpft werden soll.

Jedes Gebäude wird im Lauf der Zeit sanierungsbedürftig. Insbesondere die der Witterung ausgesetzte Bauhülle muss gepflegt werden. Verputzte Aussenwände beispielsweise müssen etwa nach 25 Jahren durchschnittlich erneuert werden. Nachträgliche Wärmedämmungen sollten im Zuge solcher Sanierungsarbeiten durchgeführt werden. Die für die Wärmedämmung notwendigen Nebenarbeiten wie Gerüst aufstellen, Verputz abschlagen usw. fallen dann ohnehin an und verbilligen die Massnahme erheblich. Es muss allerdings nicht unbedingt das ganze Haus in einem Zug gedämmt werden. So kann beispielsweise in vielen Fällen das Dach ohne grossen Aufwand von der Innenseite her mit

Wärmedämmung versehen werden. Oftmals kann in diesem Bereich auch der Heimwerker tätig werden.

Aus bauphysikalischer Sicht wäre es wünschenswert, wenn die nachträgliche Wärmedämmung das Gebäude als Mantel umhüllen würde. Oft zwingen technische Schwierigkeiten oder Gründe des Ortsbildschutzes und der Aesthetik aber andere Konstruktionen auf. Die moderne Bautechnologie ist aber in der Lage, in praktisch allen Fällen geeignete Wärmedämm-Massnahmen durchzuführen.

WAERMEDAEMMUNG BEI NEUBAUTEN

Optimaler Wärmeschutz ist in der Regel bei Neubauten ohne grosse technische Probleme zu lösen. Der Einbau ausreichender Wärmedämmung in die Gebäudehülle verursacht auch nicht nur Mehrkosten. Oft kann gerade deswegen die Tragkonstruktion auf das statische Mindestmass reduziert werden, was wesentliche Verbilligungen mit sich bringen kann. Auch die geringere Dimensionierung der Heizungsanlage kann eine erhebliche Kostensenkung bewirken.

DIE TECHNISCHEN MOEGlichkeiten

Die äussere Ummantelung der Konstruktion trägt den bauphysikalischen Vorgängen in der Bauhülle am besten Rechnung. Da Wärmedämmstoffe aber sehr verletzlich und nicht wasserdicht sind, müssen sie oft vor mechanischer Beschädigung und der Witterung geschützt werden. Dies kann durch eine vorgehängte, hinterlüftete Fassade aus Asbestzement, Backstein, Kunststein, Blech, Holz usw. geschehen. Konstruktionen dieser Art sind altbewährt und bauphysikalisch einwandfrei. Der Wetterschutz kann aber auch in Form eines Verputzes direkt auf die Wärmedämmung aufgebracht werden. Einige dieser Kompaktfassadensysteme haben bereits eine mehrjährige Entwicklungsphase hinter sich und können als bewährt gelten. Die Qualität des verwendeten Materials und insbesondere der Ausführung spielt eine wichtige Rolle: unsachgemässe und unsorgfältige Verarbeitung am Bau führt un-

weigerlich zu schweren Bauschäden.

Die Anbringung der Wärmedämmung auf der Innenseite der Gebäudehülle ist möglich, muss aber wegen bauphysikalischer Risiken sehr sorgfältig konzipiert werden. Immerhin ist mit der inneren Wärmedämmung der Vorteil gegeben, dass auch auf einfache Art nur partiell gedämmt werden kann, geschossweise oder z.B. nur die Nordseite. Da Wärmebrücken nicht zu umgehen sind, die Konstruktion exponiert wird und die Wärmespeicherfähigkeit der Fassadenkonstruktion nicht für das Raumklima ausgenutzt wird, kommen innere Wärmedämmungen für Neubauten nicht in Frage und sollten auch nicht eingesetzt werden, wo die Möglichkeit besteht, auf der Aussenseite nachträglich zu dämmen.

Es gibt zur Zeit auf dem Markt eine ganze Reihe weiterer Produkte, die dem Gedanken des erhöhten Wärmeschutzes Rechnung zu tragen versuchen. So existieren etwa Betonschalungselemente aus Polystyrolschaumstoff oder es wird versucht, durch das Ausschäumen von allenfalls vorhandenen Mauerwerkszwischenräumen die Wärmedämmung der Konstruktion zu erhöhen.

In grober Näherung kann gesagt werden, dass die billigen Dämmsysteme deshalb günstig sind, weil oft mehrere Funktionen zusammengelegt werden konnten und weil mit billigeren Materialien gearbeitet wird. Oft ist damit aber ein erhöhtes Bauschadenrisiko verbunden und wird ein qualitativ einwandfreies Verarbeiten am Bau unbedingt erforderlich.

DIE STAUUNG DES WAERMEFLUSSES AN DER GEBAEUDEHUELLE

Wärmedämmstoffe halten die Wärme etwa 12 mal besser als Backstein und etwa 50 mal besser als Beton von gleicher Dicke zurück. Stellt man noch in Rechnung, dass der Volumenpreis der Wärmedämmstoffe äusserst tief ist, sodass es kostenmässig kaum eine Rolle spielt, ob knapp oder reichlich gedämmt wird, dann wird die Bedeutung dieser Stoffe für den optimalen Wärmeschutz klar ersichtlich.

Durch den Einsatz solcher Wärmedämmstoffe wird einerseits sehr wirksam der Wärmeabfluss in die Umwelt verhindert, also Energie gespart. Daneben treten aber auch Effekte auf, die ebenfalls beachtet werden müssen: Die warmseitigen Bauteile sind nur noch geringen Temperaturschwankungen ausgesetzt, die Wärmespeicherfähigkeit der Baumasse erhält ein grösseres Gewicht durch den verkleinerten Wärmebedarf des Raumes und die innere Wandoberflächentemperatur steigt.

WAERMEKOMFORT

Die drei obgenannten physikalischen Nebeneffekte verbesserter Wärmedämmung beeinflussen in starkem Masse das thermische Behaglichkeitsempfinden des Raumbenützers. Durch die erhöhte Oberflächentemperatur empfängt der Körper mehr Wärmestrahlung (Infrarot) aus der Umgebung. Das bewirkt, dass der Raumbenützer sich bei tieferen Raumlufttemperaturen wohlfühlt. Dies bringt einerseits eine weitere Energieersparnis und bedeutet andererseits, dass die kältere Luft bei gleichem Wassergehalt feuchter und nach neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen auch der Gesundheit zuträglicher ist. Im weiteren treten weniger Zugerscheinungen auf, weil sich nicht überhitzte Raumluft an unterkühlten Oberflächen drastisch abkühlt, als Fallströmung Staub aufwirbelt und unangenehme Kältegefühle erzeugt. Die verstärkte Bedeutung der in den Bauteilen gespeicherten bzw. speicherbaren Wärme kommt darin zum Ausdruck, dass kein unangenehm abruptes Temperaturverhalten des Raumklimas stattfinden kann. Fehlende Speichermassen bewirken ein "Barackenklima". Insbesondere im Sommer kann es sehr wichtig sein, dass Hitzeschübe durch Speichermassen abgefangen werden können.

Fazit: Eine wärmetechnisch komfortable und gesunde Wohnung (sowie Arbeitsplatz) muss notwendigerweise über eine gute Wärmedämmung verfügen.

HEIZENERGIEERSPARNIS IM GEBÄUDE

Jedes Gebäude stellt in wärmetechnischer Hinsicht einen Einzelfall dar. Es ist deshalb ausserordentlich schwierig, generelle Aussagen über die zu erwartende Heizenergieersparnis durch verbesserte Wärmedämmung zu machen. Vor allem schwanken die relativen Verluste der Fassadenwand gegenüber dem Dach ziemlich stark. Andererseits kompensieren sich diese beiden Verlustarten recht gut, sodass also bei kleiner Fassadenfläche das Dach einen umso grösseren Teil der Gebäudehülle ausmacht. Die Summe der Transmissionsverluste durch Wand, Dach und Boden variiert daher weniger stark. Als grobe Näherung kann gesagt werden, dass im Durchschnitt rund die Hälfte der Heizenergie durch Wände, Dach und Boden verloren geht. Je nach Wirkungsgrad der Heizung, Qualität der Fenster, Lüftungspraktiken usw. kann im Einzelfall der Transmissionsverlust durch Wände, Dach und Boden auch eine wesentlich grössere oder auch kleinere relative Bedeutung haben.

Optimale Wärmedämmung senkt den Wärmeabfluss durch die nichttransparenten Bauteile der Gebäudehülle durchschnittlich um etwa zwei Drittel, geht man vom heutigen Baustandard aus. Dies entspricht beispielsweise einer unverputzten Backsteinwand von 32 cm Stärke ($k = 1,0 \text{ W/K m}^2$), auf welcher 8 cm Wärmedämmstoff befestigt wird (k -Wert-Verbesserung auf $0,33 \text{ W/K m}^2$). Diese Reduktion der Transmissionsverluste um zwei Drittel bedeuten eine Ersparnis bezüglich Gesamtwärmeverlusten des Gebäudes von einem Drittel (zwei Drittel der Hälfte).

Die gesamte im Raum erzeugte Wärme stammt nur zum Teil von der Heizung. Durch Fenster einstrahlende Sonnenenergie und innere Abwärme von Haushaltgeräten, Kochplatten, Beleuchtung, menschlichen Körpern, Cheminees usw. können vor allem in den Uebergangszeiten einen ansehnlichen Teil der Wärmeversorgung des Gebäudes übernehmen. Die Reduktion des Wärmeverlustes durch verbesserte Wärmedämmung kommt vollumfänglich dem von der Heizung gelieferten Wärmeanteil zugute, da Abwärme und Sonneneinstrahlung bei guter wie schlechter Wärmedämmung gleichermassen vorhanden sind. Einsparungen von einem Drittel der Gesamtwärmeverluste stellen deshalb in Bezug auf Heizenergie

eine noch grössere relative Ersparnis dar.

Je nach baulichem Zustand, Besonnung, Windexponiertheit, Fensterflächenanteil, Oberflächen-Volumen-Verhältnis usw. schwankt daher das Ersparnispotential verbesserter Wärmedämmung für das einzelne Gebäude in der Mehrzahl aller Fälle zwischen 30 und 50% der Heizenergie (gegenüber Mindestwärmeschutz-Standard).

SCHWEIZERISCHES ENERGIESPARPOTENTIAL

Die schweizerische Bausubstanz kann nicht von heute auf morgen nachträglich mit Wärmedämmung versehen werden. Es wird vielmehr notwendig sein, im Lauf der nächsten Jahre in Verbindung mit ohnehin fälligen Fassaden- und Gesamtsanierungen optimalen Wärmeschutz anzuwenden. Bis ins Jahr 2000 dürfte auf diese Weise der wärmetechnisch sanierungsfähige Teil der Bausubstanz erfasst sein. Der Heizenergieverbrauch wird dann etwa um einen Viertel geringer sein, als gemäss heutigem Baustandard zu erwarten wäre. Das Ersparnispotential optimaler Wärmedämmung liegt damit etwa bei 10% des gesamten schweizerischen Endenergiebedarfs. Diese 10% könnten allein durch verbesserte Wärmedämmung von Wänden, Dächern und Böden eingespart werden. Es sind ausserdem viele weitere Energiesparmassnahmen möglich im Bereich der Fenster (Transmission und Lüftungswärmeverluste), der Heizanlage usw., die im Rahmen des vorliegenden Berichts nicht näher dargestellt werden.

WIRTSCHAFTLICHKEIT

Bereits in der seit einigen Jahren gültigen Empfehlung SIA 180 für Wärmeschutz im Hochbau wird die Forderung formuliert, dass unter anderem auch wirtschaftliche Ueberlegungen der Dimensionierung der Wärmedämmung zugrunde gelegt werden sollen. In der Praxis wurde es jedoch nie üblich, solche Berechnungen anzustellen. Bereits vor 30 Jahren errechnete F. Venosta für seine Bauten die wirtschaftlich optimale Dicke der Wärmedämmschicht mit 10cm. Auch

die überwiegende Mehrzahl aller Vorschläge für wirtschaftliche Optimierungsberechnungen der letzten Jahre liefern Resultate zwischen 8 und 14 cm als günstigste Dicke der Wärmedämmschicht.

Die Berechnungen beziehen sich alle, wie die Empfehlung SIA 180, auf Neubauten, gelten also für den Fall, dass die Wärmedämmung in der Entwurfsphase in die Konstruktion integriert werden kann. Die nachträgliche Wärmedämmung bestehender Gebäude muss kostenmässig sehr differenziert angegangen werden. Nebst sehr rentablen Wärmedämmungen von Schrägdächern gibt es sehr viele Massnahmen, die im Zug allgemeiner Sanierungsarbeiten wirtschaftlich ausgeführt werden können. Daneben bleiben aber bei heutigen Energiepreisen auch viele Wärmedämm-Massnahmen unwirtschaftlich und können allenfalls durch schlecht quantifizierbare Ertragskomponenten gerechtfertigt werden, wie etwa die Erhöhung der Wohnqualität oder den Schutz der Bausubstanz.

GESAMTWIRTSCHAFTLICHE UND GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE

Energiesparmassnahmen sind von nationaler Bedeutung. Auch dies kann am Beispiel verbesserter Wärmedämmung verdeutlicht werden: Durch verminderte Brennstoffimporte wird die Zahlungsbilanz verbessert, unnötiger Devisenabfluss verhindert und die Auslandabhängigkeit verringert. Die Durchführung verbesserter Wärmedämmung ist aus konjunktur- und beschäftigungspolitischer Sicht zu begrüßen, da auch vor allem das von der Rezession stark betroffene Baumeistergewerbe beschäftigt wird. Je weniger Brennstoff verheizt werden muss, desto geringer wird die Belastung der Umwelt durch Schadstoffe und Abwärme. Im übrigen stellen wirksame Energiesparmassnahmen die notwendige Vorbedingung für den sinnvollen Einsatz neuer Energiequellen und -nutzungssysteme wie Wärmepumpen, Sonnenenergie usw. dar.

DIE EMPFEHLUNGEN DER SCHWEIZERISCHEN ENERGIE-STIFTUNG

Auf die im letzten Kapitel des Berichts zusammengestellten Empfehlungen zur Förderung und Durchsetzung verbesserter Wärmedämmung soll hier nur sehr allgemein eingetreten werden.

Für Neubauten soll in verbindlichen Normen ein Wärmeschutzniveau festgelegt werden, das gewährleistet, dass nichttransparente Bauteile der Gebäudehülle optimal gedämmt werden, was unseres Erachtens den Einsatz von Wärmedämmstoffen erforderlich macht.

Nachträgliche Wärmedämmungen bestehender Gebäude sollen durch finanzielle Anreizsysteme gefördert werden. Subventionierungsprogramme, Steuererlass-Systeme usw. sind in vielen Ländern bereits eingeführt oder geplant und stellen auch für die Schweiz ein adäquates Mittel zur Förderung verbesserter Wärmedämmung dar.

Qualitätsüberwachung und Garantiepflcht müssen in wirksamer Weise institutionalisiert werden, damit nicht unsachgemässes und unsorgfältiges Arbeiten zu schwerwiegenden Bauschäden führt.

Im weiteren sind viele energiepolitische Massnahmen notwendig, die auf verbesserte Wärmedämmung lediglich indirekten Einfluss ausüben. So sollte etwa durch eine Energiesteuer das Preis-Wert-Verhältnis der Energie verbessert werden und gleichzeitig die Mittel für Förderungsmassnahmen bereitgestellt werden. Aus Steuer- und Baugesetzgebungen sollten Artikel gestrichen werden, die verbessertem Wärmeschutz hinderlich sind; auf kommunaler Ebene sollten eigentliche Energieplanungen an die Hand genommen werden; Ausbildung und Information sollten den Energiespardgedanken weitertragen usw.usf.

Die Empfehlungen in Kapitel 6 sind sehr konkret gehalten und beschränken sich im wesentlichen auf die Wärmedämmung von Gebäuden. Für ein politisches Programm müssen diese Massnahmen zu einem Paket sinnvoll aufeinander abgestimmter Massnahmen ergänzt werden.

Vorbemerkung

Optimal wärmegeämmte Bauten sind nichts Neues. Auch in der Schweiz lassen sich Beispiele finden, die sich über Jahrzehnte bewährt haben. Seit wenigen Jahren allerdings wird die Bedeutung des Wärmeschutzes als Energiesparmassnahme in weiten Kreisen erkannt. In diesen Jahren wurden neue Techniken entwickelt und ständig verbessert, erlangte man präzisere bauphysikalische Erkenntnisse über den Wärmeschutz und wurden die Massnahmen des Wärmeschutzes auf ihre Wirtschaftlichkeit, Leistungsfähigkeit und gesellschaftliche Nützlichkeit hin unter die Lupe genommen.

In dieser Situation möchten wir mit unserem Bericht einen Ueberblick geben und politische Gremien, Parteien und Organisationen sowie Verwaltungsstellen des Bundes, der Kantone und Gemeinden und allen an Energiesparmassnahmen interessierten Personen Informationen und konkrete Anregungen zur Förderung verbesserter Wärmedämmung vermitteln.

Das Feld der möglichen Energiesparmassnahmen in Gebäuden ist sehr gross (vgl. dazu Abschnitt 1.4). Im Rahmen dieser Arbeit konnte deshalb nur die verbesserte Wärmedämmung von Aussenwänden, Dach und Boden gründlich dargestellt werden. Und auch für diese Massnahme wurde der Schwerpunkt auf einen Teil der gesamten Bausubstanz gelegt: Viele Ueberlegungen gelten in erster Linie für den Wohnungsbau (wo allerdings ca. 70% der Raumheizungs-Energie verbraucht werden). Dass bereits durch die Wärmedämmung allein viel Energie eingespart werden kann, zeigt, wie wichtig es ist, durch den Einsatz aller Energiesparmöglichkeiten das Potential voll auszuschöpfen. Wärmedämmung ist daher nicht mehr als ein (zwar wichtiges) Element einer sinnvollen Strategie für Energieeinsparungen an Gebäuden.

Begriffe

Zum besseren Verständnis des Berichts sollen hier kurz die wichtigsten Begriffe erläutert werden, sofern sie nicht in der Studie selbst näher dargestellt werden.

k-Wert	Die Wärmedurchgangszahl k gibt an, welche Wärmemenge pro Stunde (in Watt) durch 1 m^2 eines Bauteils von der Dicke d (in m) im stationären Zustand hindurchgeht, wenn der Temperaturunterschied zwischen der Luft der beiderseits angrenzenden Räume (z.B. der Raumluft und der Aussenluft) 1 K (entspricht $1 \text{ }^\circ\text{C}$) beträgt (Wärmefluss senkrecht zu den Oberflächen).
Volumenziffer	Das Verhältnis der Oberfläche des beheizten Volumens zum beheizten Volumen selbst, in m^2/m^3 . Für Einfamilienhäuser liegt dieser Wert bei etwa $0,7$ bis $1,1$. Für Mehrfamilienhäuser bei $0,4$ bis $0,8$ und kann für Grossblöcke bis $0,3$ absinken.
Wärmetransmission	Wärmeleitung durch feste und flüssige Materialien, also etwa durch die Bauteile der Gebäudehülle von der warmen Innenseite zur kalten Aussenseite. Im Gegensatz zu den Lüftungswärmeverlusten, wo warme Raumluft verloren geht.
Endenergie	Die Energie, die dem Verbraucher zugeführt wird. Also z.B. Heizöl, Gas, Elektrizität, Holz, usw.
Nutzenergie	Der Anteil der Endenergie, der vom Verbraucher für seine Bedürfnisse genutzt werden kann: Licht, Kraft, Kochwärme, Heizwärme, usw.

1. Entwicklung und Stand der Wärmedämm-Technik

1.1 BAUGESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG

Wärmeschutz ist ein baugeschichtlich relativ neuer Begriff. Bis in die 30-er Jahre dieses Jahrhunderts übernahmen die traditionellen Baumaterialien alle klassischen Funktionen der äusseren Gebäudehülle in Einem: Statik, Klimaschutz und Schaffung von Individual-sphäre. Erst mit der verbreiteten Verwendung von Eisenbeton in den 30-er Jahren konnten Räume geschaffen werden, die einen zusätzlichen Wärmeschutz unbedingt erforderlich machten. Zur Verfügung stand zu jener Zeit Kork, der aber aus Kostengründen nur in minimalen Mengen angewendet wurde. Noch vor dem 2. Weltkrieg kamen allerdings die ersten Baustoffe auf den Markt, die eigens aus Gründen des Wärmeschutzes entwickelt wurden: Glas- und Mineralfaserstoffe, sowie Kieselgurgranulat. In den ersten Nachkriegsjahren wurden Konstruktionen propagiert, die die Wärmedämmung noch deutlich als Zusatzmassnahme im eigentlichen Baugeschehen erkennen liessen. So wurden z.B. auf der Innenseite des tragenden Fassadenmauerwerks aus Backsteinen Wärmedämmstoffe befestigt und diese durch eine innere Vormauerung vor Beschädigung geschützt. Die extrem gut wärmeleitende Eisenbetondecke führte nach wie vor bis zum äusseren Verputz, und leitete deshalb viel Wärme ab.

In den 50-er und 60-er Jahren fanden statisch ausserordentlich leistungsfähige Baustoffe immer stärkere Verwendung im Hochbau. Vor allem tauchten Ortbeton und Stahl als Fassadenmaterial auf. Diese Fassadenkonstruktionen besitzen eine derart hohe Wärmeleitfähigkeit, dass die Verwendung von Wärmedämmstoffen aus hygienischen und baulich-konstruktiven Gründen unumgänglich wurden. Die Phänomene der Wärmetransmission und der Dampfdiffusion wurden Gegenstand intensiver Forschung, und die Bauwirtschaft suchte und fand konstruktive

Möglichkeiten unter Verwendung der mittlerweile zahlreichen leistungsfähigen und preisgünstigen Wärmedämmstoffe, die angeboten wurden. Vor diesem Hintergrund entwickelte die Bauindustrie auch Baustoffe wie Gasbeton und Blähton-Beton, sowie etwas später die Fertigbauteile mit integrierter Wärmedämmschicht. Zwar wurde von Anfang an erkannt, dass mit verbesserter Wärmedämmung auch eine Brennstoffersparnis einherging. Da nach dem Krieg aber eine stetige relative Verbilligung der Brennstoffe stattfand, wurde dieser Aspekt nicht weiter beachtet. Der Wärmeschutz wurde ausschliesslich unter dem Gesichtswinkel der Hygiene und der konstruktiven Erfordernisse betrachtet. Der Nachweis der privaten Wirtschaftlichkeit war unüblich und es wurden deshalb auch von keiner Seite einfach zu handhabende Formeln zur Abschätzung des wirtschaftlichen Optimums entwickelt. Ausnahmen stiessen in der gesamten Bauwelt auf ein erstaunliches Desinteresse.

Erst seit Anfang der 70-er Jahre und insbesondere seit dem sprunghaften Ansteigen der Oelpreise im Herbst 1973 rückten Ueberlegungen in den Vordergrund, die die Möglichkeiten des Wärmeschutzes als Energiesparmassnahme erfassen wollen. Heute ist der Wert und die Notwendigkeit von Energiesparmassnahmen in der Fachwelt erkannt, und es wird weltweit auf allen Ebenen geforscht.

1.2 MINDESTWAERMESCHUTZ

Die Bauteile der Gebäudehülle sind einem ständigen Temperatur- und Dampfdruckgefälle ausgesetzt. Im Tagesrhythmus und mit dem jahreszeitlichen Wechsel der äusseren klimatischen Gegebenheiten findet in und an diesen Bauteilen ein komplexes physikalisches Geschehen statt. Einige der dabei möglichen Phänomene führen zu Bauschäden oder beeinflussen das Innenklima in unerträglicher Weise. In diesem Zusammenhang ist vor allem das Auftreten von Kondenswasser zu nennen.

Die Bauphysik des Wärmeschutzes liefert heute taugliche Instrumente, um wirksame Massnahmen gegen unerwünschte Erscheinungen in und an der

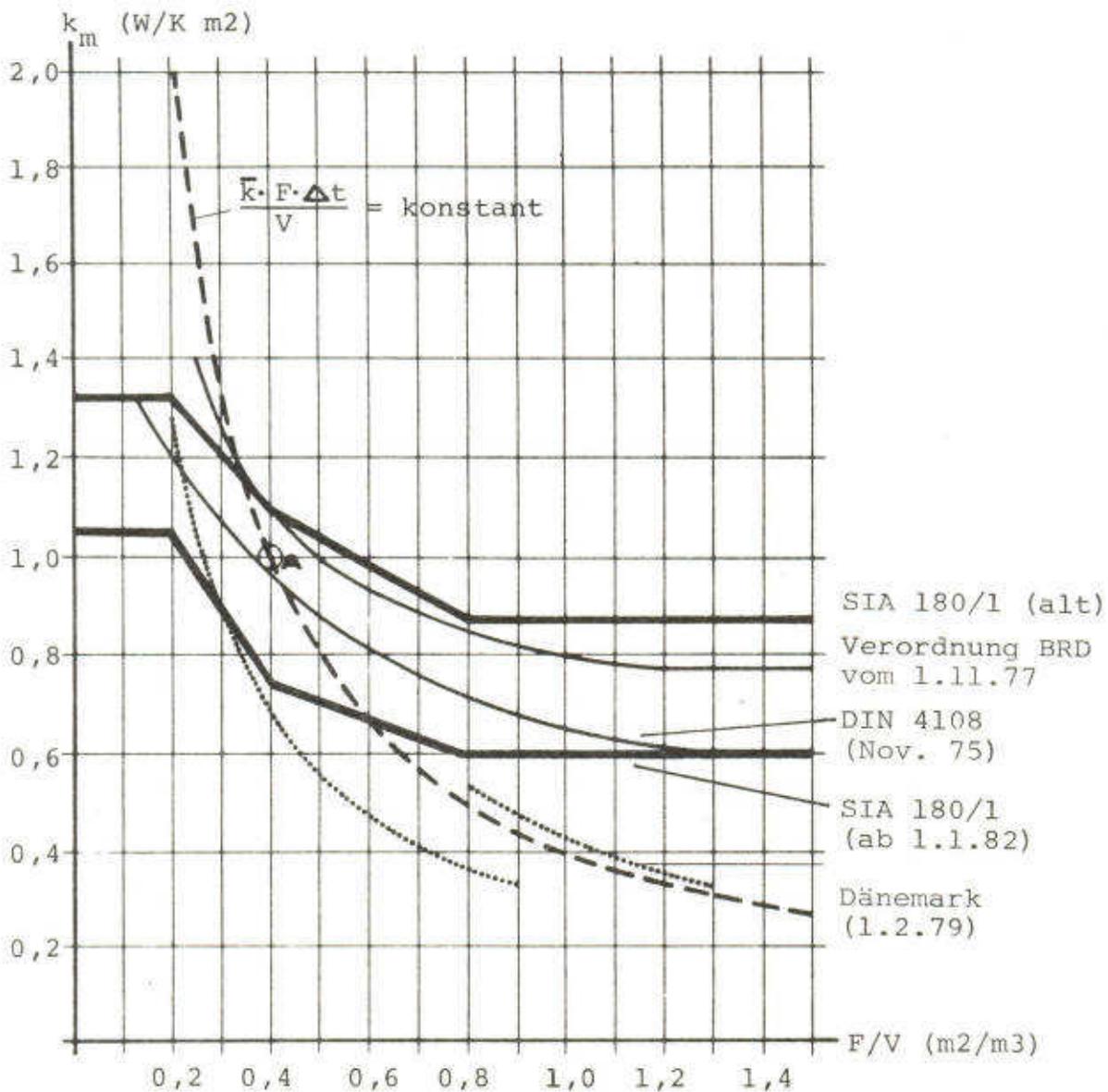
Gebäudehülle zu ergreifen. Zwar bereiten vor allem die bauphysikalischen Vorgänge in Abhängigkeit der Temperatur- und Dampfdruckschwankungen weiterhin grosse Mühe, will man sie theoretisch erfassen. Doch haben sich viele Wärmeschutzmassnahmen in der Praxis bewährt, sodass der Bau fachmann heute den Problemen der Kondenswasserbildung und ungenügender Oberflächentemperatur der inneren Wandoberfläche nicht hilflos gegenübersteht. Durch die bauphysikalisch richtige Verwendung von Wärmedämmstoffen können diese minimalen Anforderungen erfüllt werden. Massnahmen dieser Art werden unter dem Begriff "Mindestwärmeschutz" subsummiert.

Fachvereine erfüllen unter anderem die wichtige Aufgabe, durch das Zusammenstellen von "Regeln der Kunst", positiv auf die Qualität der Endprodukte einzuwirken. Es ist deshalb sehr zu begrüessen, dass der Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein (SIA) dem Stand der bauphysikalischen Forschung Rechnung trägt und durch Empfehlungen und Normen mithilft, dass möglichst bauschadenfrei gebaut wird. In diesem Zusammenhang soll kurz auf die Empfehlung 180 und 180/1 des SIA eingegangen werden:

Die Empfehlung legt einen über die ganze Gebäudehülle gemittelten maximalen k-Wert in Abhängigkeit des Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen fest. Mittels weiterer Parameter werden die Höhe über Meer und die gewählte Raumtemperatur berücksichtigt. Für den Hauptteil schweizerischer Bauvorhaben (Mittelland, durchschnittliche Wohnungstemperaturen) gelten die Werte, wie sie Figur 1 zeigt. Als Vergleich sind die seit November 1977 rechtsverbindlichen Anforderungen der Wärmeschutzverordnung der BRD und die im Beiblatt vom November 1975 zur DIN-Norm 4108 festgelegten Werte eingetragen. Die gestrichelte Linie gibt an, welche Anforderungen gestellt werden müssten, wenn bei Gebäuden mit unterschiedlichen Volumenziffern gleich grosse Wärmeverluste pro Volumeneinheit zugelassen sind.

Anhand der nachstehenden Graphik (Figur 1) können die grundsätzlichen Ueberlegungen des Wärmeschutzes aufgezeigt werden:

Geht man von der willkürlichen Annahme aus, bei einer Volumenziffer = 0,4 sei ein k-Wert von 1,0 W/Km² erforderlich (Punkt A),



Figur 1: Mindestanforderungen (k-Werte), in Abhängigkeit von der Volumenziffer.

dann interessieren die k-Werte, die bei veränderter Volumenziffer einen gleichbleibenden Wärmeverlust bewirken. Dieser Zusammenhang wird durch die gestrichelte Linie beschrieben. Je nach zulässiger Wärmemenge, die pro Volumen- und Zeiteinheit abfließen darf, liegt die Kurve höher oder tiefer im Diagramm. Alle Kurven dieser Kurvenschar weisen aber die gleiche Verlaufscharakteristik auf.

Wie viele Wärmedämmvorschriften orientiert sich auch die SIA 180/1 an diesem Sachverhalt, indem an kleine Bauten (grosse Oberfläche, bezogen auf das beheizte Volumen) strengere Anforderungen als an grosse Bauten gestellt werden. Aus der gleichen Ueberlegung heraus werden die Bestimmungen verschärft, je höher über Meer das Gebäude steht und je wärmer es beheizt werden soll. Das grundlegende Dilemma dieser Art von Vorschrift besteht darin, dass die Bestimmung auch für den krassesten Fall, also das sehr kleine Haus auf 1'500 m. ü. M., zumutbar sein muss, dass auch in diesem Fall beispielsweise keine übermässigen Kosten verursacht werden. Das heisst aber gleichzeitig, dass in der überwiegenden Mehrzahl aller Fälle nämlich bei allen Häusern im Mittelland und vor allem bei allen grösseren Bauten, Wand-, Dach- und Bodenkonstruktionen gewählt werden, die unteroptimal isoliert sind.

Die ursprüngliche Version der Empfehlung SIA 180/1 (1977) erfüllt den Zweck, einen Mindestwärmeschutz festzulegen, der im Sinne der Wohnhygiene und des schadenfreien Bauens nötig war. Das Energiesparpotential wurde damit in keiner Weise angegangen. In der Ausgabe von 1980 wird die Empfehlung erheblich verschärft, z.T. leicht abgeändert und leider noch etwas kompliziert. Im wesentlichen wird der C_o -Wert von 1,1 auf 0,75 abgesenkt, was für die durchschnittliche Mittellandsituation Werte ergibt, wie sie in Figur 1 dargestellt sind (gültig ab 1.1.1982). Gleichzeitig wurde die Bestimmung allerdings insofern wieder etwas gemildert, dass die verglasten Flächen je nach Orientierung nur zum Teil in die Berechnung eingesetzt werden müssen (Besonnungskoeffizient).

Damit dürfte ab dem 1.1.1982 eine Empfehlung in Kraft sein, die das Energiesparpotential zwar nicht ausschöpft, aber doch immerhin Einiges in dieser Richtung bewirken wird. Die Gestaltungsfreiheit des Architekten ist mit dieser Empfehlung wenig eingeschränkt, was gleichzeitig allerdings auch bedeutet, dass bis zu einem gewissen Grad auf die verschärften Bestimmungen lediglich mit einer Verkleinerung der Fensterfläche reagiert werden kann und Wand-,

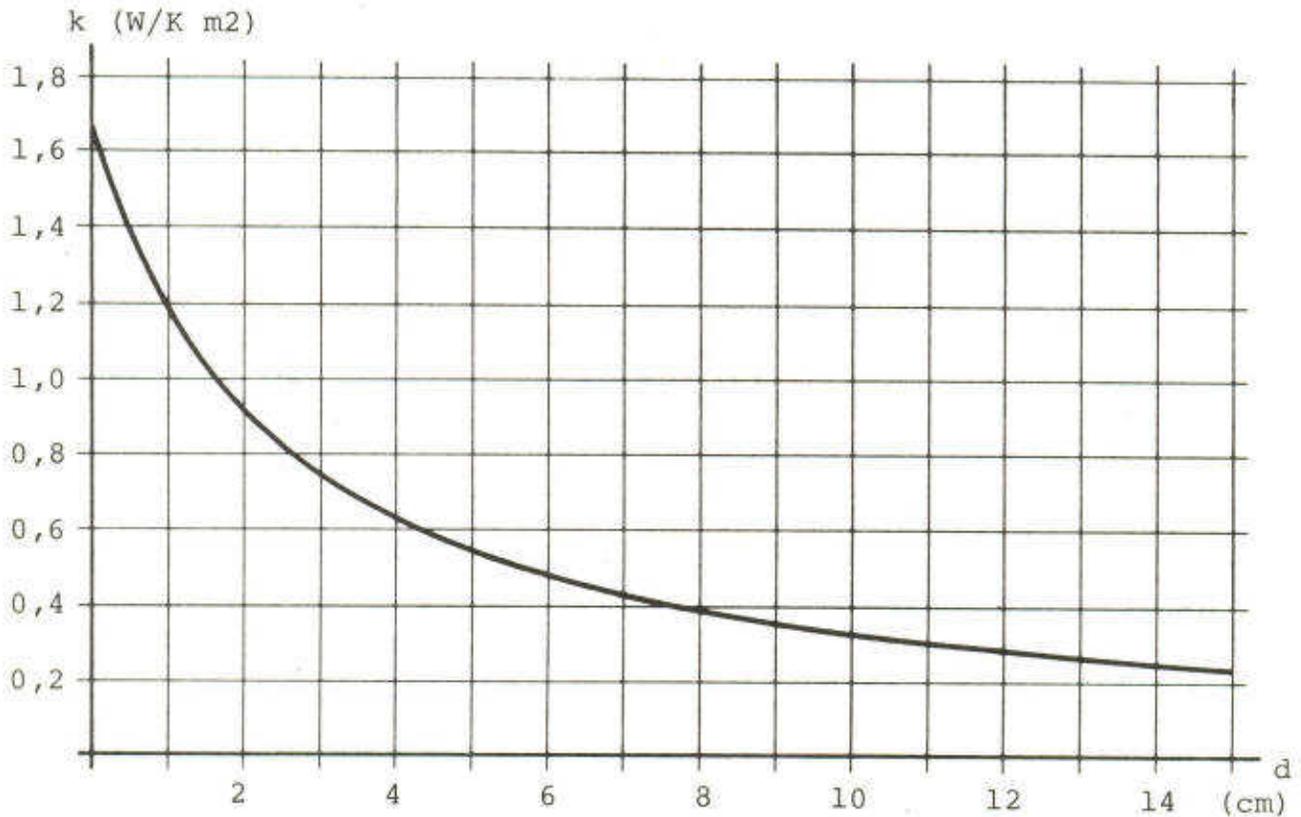
Dach- und Bodenkonstruktionen unverändert bleiben. Insbesondere für die Wände wird ein gemittelter k-Wert erst wirksam, wenn er nur durch den Einsatz aller Möglichkeiten erreichbar wird. Das Anforderungsniveau der Empfehlung sollte daher so hoch gewählt werden, dass auch im Wandbereich eigentliche Wärmedämmstoffe zum Einsatz kommen.

Konstruktionen mit eigentlicher Wärmedämmschicht sind heute sehr verbreitet. Es bedeutet keine übermässige Zumutung, wenn durch k-Wert-Anforderungen Konstruktionen ohne Wärmedämmschicht verhindert werden. Die thermische Dämmfähigkeit von Wärmedämmstoffen wird in Figur 2 illustriert: bereits mit einer Wärmedämmschicht von bloss 5 cm erreicht eine Backsteinmauer von 18 cm Stärke einen k-Wert von 0,54 W/K m². Für diesen relativ bescheidenen Grad an Wärmedämmung müssten leicht wärmedämmende homogene Tragwände, beispielsweise Gasbeton, über das wirtschaftliche Mass dimensioniert werden.

Der Empfehlung 180/1 des SIA wird erst richtiges Gewicht verliehen, wenn sie als rechtsverbindliche Norm in die einzelnen kantonalen Baugesetze bzw. in die kommunalen Bauordnungen aufgenommen wird, wie dies bereits mehrfach geschehen ist. Damit ist im Bereich Neubauten zweifellos ein wichtiger Schritt getan. In den nächsten 20 Jahren wird der Energieverbrauch allerdings überwiegend durch die heute bereits bestehenden Bauten bestimmt werden. Somit ist die sinngemässe Uebertragung der Wärmedämmvorschriften auf bewilligungspflichtige Umbauten heute ein vordringliches Problem.

1. 3 OPTIMALER WAERMESCHUTZ

Wärmedämmung ist mit Aufwand verbunden. Figur 2 zeigt deutlich, dass k-Werte unter 0,3 oder gar unter 0,2 W/K m² nur mit grossem Aufwand erreicht werden können. In der Praxis ergeben sich ausserdem technische Schwierigkeiten und bauphysikalische Probleme, die die Dauerhaftigkeit der Bausubstanz gefährden. Die Anwendung von Wärmedämmstoffen weist also ab einem gewissen Grad ein ausgesprochenes Grenznutzenverhalten auf.



Figur 2: k -Wert in Abhängigkeit der Wärmedämmschichtdicke auf einer Backsteinwand von 18 cm Dicke.

Zur Festlegung eines Optimums müssen nach Möglichkeit alle Haupt- und Nebenfolgen von Wärmeschutzmassnahmen in Betracht gezogen werden:

● Energieersparnis.

Nebst den günstigen Auswirkungen auf die Betriebskosten des Gebäudes sind die volkswirtschaftlichen Aspekte eines verminderten Brennstoffverbrauchs in Betracht zu ziehen. (Entlastung der Zahlungsbilanz, Auslandsabhängigkeit, Umweltbelastung usw.)

● Schutz der Konstruktion.

Bei bauphysikalisch korrekter Ausführung von Wärmeschutzmassnahmen wird die Bausubstanz wirksam vor übergrossen Materialspannungen durch Temperaturdifferenzen sowie vor Kondenswasser- und Frostschäden geschützt.

- Behaglichkeit im Rauminnern

Alle wesentlichen Parameter des Wärmekomforts wie Wandoberflächentemperatur, Luftfeuchtigkeit, Strömungsgeschwindigkeit der Raumluft und Raumlufttemperatur werden massgeblich durch Massnahmen des Wärmeschutzes beeinflusst.

- Schallschutz

Bedingt durch die materialtechnischen Eigenschaften der Wärmedämmstoffe können durch die Anwendung von Wärmeschutzmassnahmen meist gleichzeitig und ohne zusätzlichen Aufwand grosse schallschutztechnische Verbesserungen erreicht werden. Beispielsweise sind schwimmende Böden einerseits eine gute Wärmedämmung und andererseits aber auch das beste Mittel gegen Trittschall.

(Gleichzeitig wird durch diese Art von Wärmedämmung das Problem des "Wärmediebstahls" gemildert, was die individuelle Heizkostenabrechnung begünstigt. Vgl. dazu SES-Report Nr. 3: "Individuelle Heizkostenabrechnung".)

- Baukosten

Verbesserte Wärmedämmung beeinflusst die Baukosten in verschiedenen Bereichen (Material- und Montagekosten, Nutzflächengewinn oder -verlust, Dimensionierung des Heizungssystems usw.), die in enger Wechselwirkung zueinander stehen.

Je nach Wertung und Gewichtung der oben aufgeführten Elemente wird das Abwägen von Aufwand und Ertrag einen höher- oder tieferliegenden Wert für den optimalen Wärmeschutz ergeben. Es ist das zentrale Anliegen dieser Arbeit, Aussagen über den optimalen Wärmeschutz zu machen und Wege zu seiner Realisierung aufzuzeigen. In den folgenden Kapiteln wird daher ein Optimalbereich unter Berücksichtigung aller aufgezählten Elemente lokalisiert.

Durch Gegenüberstellung der Baukosten und der Betriebskosten eines Gebäudes oder einer Ueberbauung lässt sich die betriebswirtschaftlich optimale Wärmedämmung ermitteln. In der betriebswirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Analyse werden weder die volkswirtschaftlichen Aspekte noch die Beeinflussung der Lebensqualität (WärmeKomfort, Schallschutz, usw.) gebührend

berücksichtigt. Trotzdem kann gesagt werden, dass mit dem wirtschaftlichen Optimum ein Wert gegeben ist, der auch aus volkswirtschaftlicher Sicht eine zentrale Grösse darstellt. Vor allem ist zu berücksichtigen, dass die Kostenwirksamkeit der Wärmedämmung durch finanz- und energiepolitische Massnahmen stark beeinflusst wird und beeinflussbar bleibt.

1.4 WAERMEHAUSHALT VON GEBAEUDEN

Optimaler Wärmeschutz ist ein Begriff, der sich auf den Gesamtwärmehaushalt von Gebäuden bezieht. Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit liegt bei den Möglichkeiten verbesserter Wärmedämmung der nicht-transparenten Bauteile der Gebäudehülle, einer zwar wichtigen, aber doch speziellen Massnahme. Erst ein Bündel von sorgsam aufeinander abgestimmten Energiesparmassnahmen verdient die Bezeichnung optimaler Wärmeschutz

Um Strategien zu entwickeln, den Wärmeverbrauch im Gebäude möglichst klein zu halten, muss vom Gesamtwärmehaushalt ausgegangen werden. Dieser lässt sich in die drei Bereiche

- Wärmeerzeugung bzw. -zuführung
- Wärmenutzung und -verwendung
- Wärmeverlust an die Umwelt

gliedern.

Der Wärmehaushalt von Gebäuden wird im wesentlichen bestimmt durch die Grösse des Gesamtwärmeverlustes und dessen Aufteilung in die einzelnen Verlustkomponenten:

- Lüftungswärmeverlust

Je nach Qualität der Fenster- und Türfugen gehen bei einem Druckunterschied von 1 mm Wassersäule stündlich zwischen 1 und 3 m³ warme Luft pro m Fugenlänge verloren. Bei alten, schlecht schliessenden Fenstern kann dieser Wert sogar noch beträchtlich überschritten werden. Zu diesen natürlichen Lüftungswärmeverlusten kommen

noch die Warmluftverluste durch gewolltes Lüften. Je nach Nutzungsart und je nach Verhalten der Benutzer (Raucher - Nichtraucher), schwanken diese zusätzlichen Lüftungswärmeverluste in einem weiten Bereich. Weitere Verluste werden durch offene Cheminee-Klappen und durch Lüftungsschächte und Ventilatoren (innenliegende Badezimmer) verursacht.

- Transmission durch Fenster und Türen

Fenster sind sehr gut wärmeleitende Bauelemente. Ein bei uns gebräuchliches doppelverglastes Fenster weist etwa einen k-Wert von 2,8 W/K m² auf. Dies ist besser als die sogenannte Isolierverglasung (k = 3,1 W/K m²). Der optimale Scheibenabstand bei Zwei- und Mehrfachverglasung liegt bei 4 bis 5 cm.

- Transmission durch Aussenwand (ohne Fenster), Dach und Boden

Je nach Wärmedurchgangszahl (k-Wert) der gewählten Konstruktion fliesst bei gegebenem Temperaturgefälle immer ein Wärmestrom durch den Bauteil. Mit den modernen Wärmedämmstoffen sind uns preisgünstige Materialien gegeben, mit denen dieser Wärmefluss äusserst wirksam behindert werden kann. Eine Wärmedämmplatte von 1 cm Dicke dämmt die Wärme bereits besser als die oben erwähnte Stahlbetonplatte von 40 cm Stärke.

- Brauchwarmwasser

Wasser hat eine sehr hohe spezifische Wärme. Das bedeutet, dass es sich ausgezeichnet als Wärmemedium eignet: als Heizungswasser transportiert es grosse Wärmemengen pro Volumeneinheit zu den Radiatoren. Als warmes Abwasser transportiert es aber ebenso wirksam grosse Wärmemengen in die Kanalisation. Massnahmen zur effizienteren Nutzung des Brauchwarmwassers (Wärmerückgewinnung, Gebrauchstemperaturen, optimale Apparaturen, usw.) sind ein wichtiges Instrument gebäudeinterner Wärmebewirtschaftung.

Auf der anderen Seite wird die gleiche Wärmemenge dem Haus durch verschiedene Quellen zugeführt:

- Heizung

Im Normalfall liefert eine eigentliche Heizanlage den überwiegenden Teil der erforderlichen Heizwärme. Dabei fällt auf, dass Träger hoch-

wertiger Energie (Oel, Elektrizität) zur Erzeugung von Niedertemperaturwärme missbraucht werden.

Je besser der Wärmeschutz eines Gebäudes ist, desto kleiner wird der Anteil an Heizenergie, der durch die Heizung übernommen werden muss. Für kleine Heizlasten werden aber einige Heizsysteme konkurrenzfähig, die für grosse Heizlasten aus Kosten- oder Komfortgründen nicht eingesetzt werden: Sonnenenergie, Holzheizung, Cheminee.

● Einstrahlung durch Fenster

Die durch die Fenster einfallende Sonnenstrahlung kommt dank dem Treibhauseffekt der Verglasung zu grossen Teilen dem Wärmehaushalt des Gebäudes zugute. Ueber die genaue Energiebilanz von Fenstern ist man sich in der bauphysikalischen Forschung noch nicht ganz im Klaren.

Die Sonneneinstrahlung fällt sehr unregelmässig an und kann je nach Speicherfähigkeit der Raummaterialien sehr schnell wirksam werden. Bei träge reagierenden Heizsystemen kann dies sogar einen Temperaturanstieg über die Komfortgrenze in einzelnen Räumen zur Folge haben.

● Abwärme

Bei gut wärmedämmender Bauhülle kann die durch den Betrieb von Geräten und Maschinen sowie durch die Beleuchtung erzeugte Abwärme selbst in Wohnbauten merkliche Anteile der Heizlast übernehmen. In der Industrie fällt oft mehr Wärme an, als zu Heizzwecken verwendet werden kann.

Auch der Mensch dient als Abwärmequelle. Im Ruhezustand gibt er etwa 100 W an die Umwelt ab, bei reger Tätigkeit etwa das Doppelte. (Lit. 2 und 3)

In allen aufgezählten Bereichen kann mit Energiesparmassnahmen angesetzt werden. Die folgende Aufzählung soll einen kurzen Ueberblick über die vier Kategorien von Heizenergieeinsparungen geben:

- konzeptionelle Massnahmen
- baulich-konstruktive Massnahmen
- gerätetechnische Massnahmen

- betriebliche Massnahmen

Vgl. dazu auch die Uebersichtsdarstellung in der Zusammenfassung, Seite 3).

1.4.1 Konzeptionelle Massnahmen

Begreift man das Haus als wärmeenthaltendes, mehr oder weniger dichtes Gefäss, werden die konzeptionellen Energiesparmassnahmen deutlich:

- Standortwahl

Negative Einflüsse von Beschattung, Windexponiertheit, grosse Höhe über Meer.

- Gebäudeform

Je grösser und je kompakter die Bauform, desto kleiner ist die wärmeübertragende Oberfläche pro Volumeneinheit.

- Grundrissorganisation

Zusammenfassen der Warmräume im Zentrum, geschützt durch umliegende Halbwarm- oder Kalträume. Windfang.

- Sonneneinstrahlung

Auf das Gebäude fallen jährlich grosse Energiemengen in Form von Sonneneinstrahlung. Ein Teil davon kann durch transparente (und bedingt auch durch nichttransparente) Bauteile aufgenommen und im Bau gespeichert werden.

Beispiele auf der ganzen Welt demonstrieren eindrücklich, dass die sorgfältige Berücksichtigung der Klimafaktoren und des physikalischen Verhaltens des Gebäudes einen enormen Minderverbrauch an Heizenergie zur Folge haben. (Lit. 4 und 5). Konzeptionelle Massnahmen sind im wesentlichen nur bei Neubauten anwendbar. Und auch für diesen Fall engen oft äussere Umstände (vorgegebener Standort, Nutzungsanforderungen, usw.) den Spielraum ein.

1.4.2 Baulich-konstruktive Massnahmen

Die Bauausführung bietet Gelegenheit, die Gebäudehülle dicht und gut wärmedämmend zu gestalten. Alle Heizenergieverluste verlaufen letztlich durch die Gebäudehülle. Es lohnt sich also, die einzelnen Verlustkomponenten auf ihre Eindämmbarkeit hin zu untersuchen.

● Lüftungswärmeverlust

Aus hygienischen Gründen ist es nicht erwünscht, dass die Fenster vollkommen dicht schliessen. Das Raumklima kann sonst leicht muffig und zu feucht werden. Gerade bei Abwesenheit (z.B. tagsüber) muss ein minimaler natürlicher Luftwechsel stattfinden, um Feuchtigkeit und Gerüche von Pflanzen, Nassräumen usw. abzuführen.

Die eigentliche Frischluftzufuhr sollte allerdings durch die Bedienung des Fensters bewusst und gewollt erfolgen. Diesen Ansprüchen werden die heutigen Holz- und Kunststoffenster in nicht übermässig windexponierten Lagen durchaus gerecht, sodass der Einsatz von Fugendichtungsprofilen oder teuren Metallfenstern nicht überall sinnvoll ist.

● Transmission durch Fenster und Türen

Fenster mit k-Werten unter $2,0 \text{ W/K m}^2$ sind zur Zeit noch teuer und deshalb wenig gebräuchlich (Dreifachverglasung mit $k = 2,0 \text{ W/K m}^2$ und Doppelverglasung mit Metalloxidbeschichtung und Edelgasfüllung mit bis zu $k = 1,0 \text{ W/K m}^2$).

Um vor allem die Wärmelochwirkung des Fensters während der Nacht (höchste Temperaturdifferenz innen-aussen) herabzumindern, ist die Verwendung von eigentlichen Wärmedämmblenden sinnvoll. Ein erster Schritt wird gemacht, wenn ein wärmestrahlungsreflektierender Rolladen (z.B. Aluminium) bedient wird und auf der Innenseite allenfalls ein schwerer, wärmedämmender Vorhang gezogen werden kann. Heizkörper dürfen allerdings auf diese Weise nicht abgedeckt werden, damit sich kein Wärmestau zwischen Vorhang und Fenster bildet.

- Transmission durch die nichttransparenten Bauteile der Gebäudehülle (Wand, Dach, Boden)

Der Begriff Wärmedämmung wird im Rahmen dieses Berichts im engen Sinn der thermischen Isolierung von Wand, Dach und Boden gebraucht. Die ganze Arbeit ist auf diese Verlustkomponente ausgerichtet.

1.4.3 Gerätetechnische Massnahmen

Das Feld der gerätetechnischen Möglichkeiten ist gross und zur Zeit gekennzeichnet durch das ständige Auftauchen neuer, verbesserter Ansätze. Der Bereich soll an dieser Stelle nur ganz grob in Stichworten abgegrenzt werden:

- Wirkungsgradverbesserung von Brenner und Kessel
- Verringerung der Leitungsverluste (Leitungsisolierung Niedertemperaturbetrieb)
- Regelung (thermostatische Einzelraumsteuerung, Nachtabenkung)
- Wärmerückgewinnung (Rauchgas, Warmwasser, Lüftung über Wärmerekuperatoren bzw. -regeneratoren)
- Wärmepumpen (Abwämebewirtschaftung, Umgebungswärme)
- Erneuerbare Energien (Sonnenenergie, Methangas, Holz usw.)
- Individuelle Heizkostenabrechnung (Wärmezähler bzw. Heizkostenverteiler)

1.4.4 Betriebliche Massnahmen

Energiebewusstes Verhalten und sachgemässe Bedienung sind die ersten Schritte und die Vorbedingung für ein sinnvoll aufgebautes Energiesparprogramm. Betriebliche Massnahmen sind auf den Einzelfall zugeschnitten und können sehr vielfältig und auch sehr verschiedenartig in der Auswirkung sein. Einige zentrale Bereiche sind:

- Richtiges Lüften (kurz und intensiv)
- Bedienen von Läden und Vorhängen

- Schliessen der Türen
- Regulierung oder allenfalls sogar Absenken der Raumtemperatur

1.4.5 Folgen und Wechselwirkungen verschiedener Energiesparmassnahmen

Aus der losen Aufzählung der Einzelmassnahmen wird nicht ersichtlich, dass eine enge Wechselwirkung zwischen den verschiedenen Energiesparbereichen besteht. Ausgehend von einer verbesserten Wärmedämmung der nichttransparenten Gebäudehülle soll dieser Sachverhalt kurz illustriert werden:

Durch das Anbringen einer Wärmedämmschicht auf oder in der Aussenwand, dem Dach und dem Boden wird ein geringerer Wärmeabfluss durch diese Bauteile bewirkt. Die Wärme wird also besser zurückgehalten. Dies hat aber Konsequenzen für einige weitere Elemente des Wärmesystems:

- Regelung der Heizanlage

Fremdenergien wie Abwärme oder Sonneneinstrahlung beginnen eine wichtige Rolle zu spielen, wenn die Wärme langsamer abfliesst. Das Heizsystem darf also nicht allzu träge reagieren und durch Einzelraumsteuerung oder Thermostatventile muss gewährleistet werden, dass die Raumtemperatur nicht unbehaglich hoch wird, bzw. dass Unterschiede zwischen Nord- und Südräumen ausgeglichen werden können.

- Dimensionierung der Heizanlage

Durch die verbesserte Regelung der Heizanlage wird zusätzlich zur besseren Wärmedämmung Energie eingespart. Die Heizanlage kann also auf eine kleinere Heizlast angelegt werden. Bei Neubauten ist dies ein willkommener Effekt, da die Kosten sinken. Bei Sanierungsvorhaben hat oft die alte Heizanlage noch nicht ausgedient und heizt unter den neuen Bedingungen im Schwachlastbetrieb, also mit niedrigem Wirkungsgrad. Das bedeutet eine schlechte Ausnutzung des Brennstoffes und dabei gleichzeitig eine verstärkte Belastung der Umwelt durch den erhöhten Ausstoss an unverbrannten Kohlenwasserstoffen. Dieses Beispiel zeigt,

dass durch Energiesparbestrebungen in einzelnen Bereichen unerwünschte soziale Folgekosten resultieren können, wenn von seiten des Gesetzgebers nicht frühzeitig vorgebeugt wird.

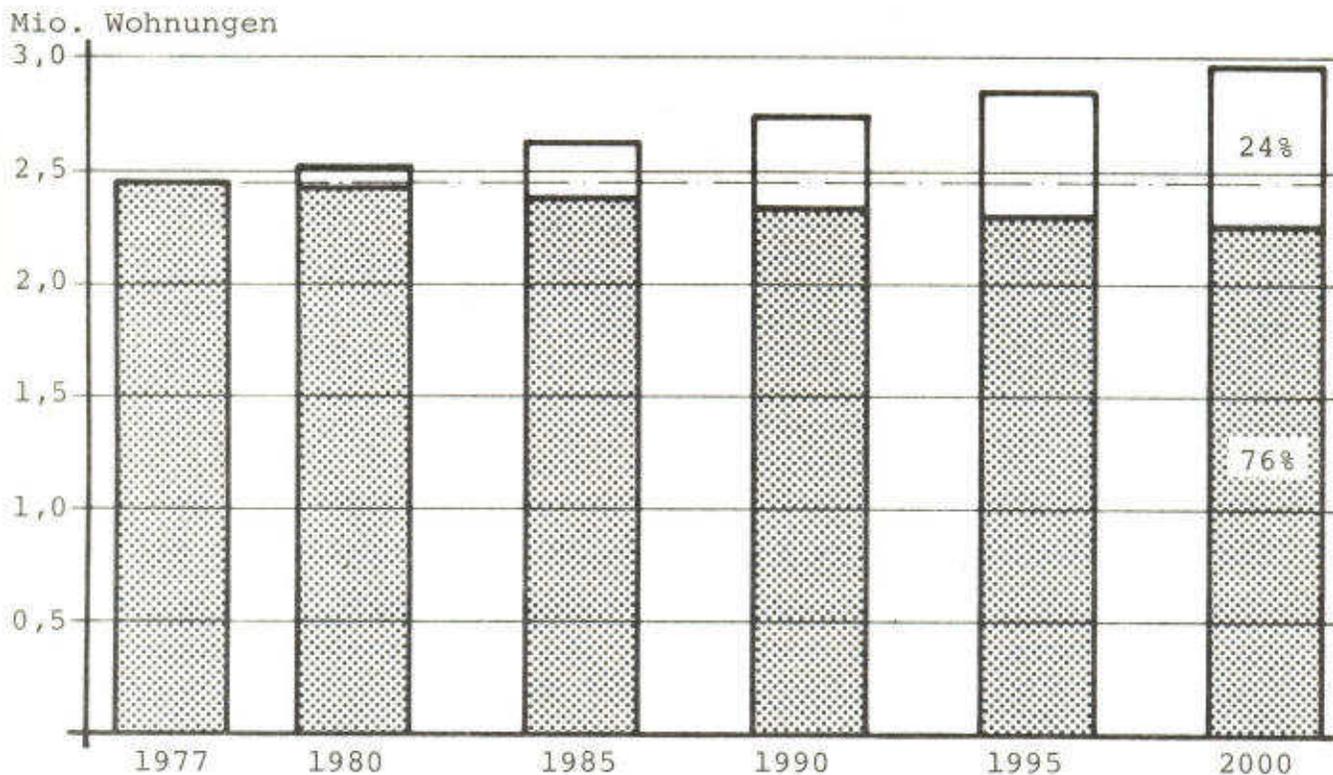
● Lüftungsverluste

Der Wärmeverlust (und damit auch der Brennstoffverlust) durch Wand, Dach und Boden hängt ab von der Grösse und Dauer des Temperaturgefälles Innen-Aussen. Die Brennstoffmenge, die durch verbesserte Wärmedämmung eingespart wird, bleibt sich gleich, unabhängig von den Lüftungswärmeverlusten. D.h. Qualität und Dichtigkeit der Fenster beeinflussen weder den absoluten Wärmespareffekt der Wärmedämmung noch deren Wirtschaftlichkeit. Je nach Grösse der einzelnen Verlustkomponenten wird allenfalls der relative Energiespareffekt beeinflusst: Sind Fenster und Heizanlage in extrem schlechtem Zustand, können diesbezügliche Sparmassnahmen im Vergleich zu verbesserter Wärmedämmung erheblich bessere Resultate bringen.

Die komplexe Wirkungsweise von Energiesparmassnahmen auf den Gesamtwärmehaushalt eines Gebäudes kann nicht generell beschrieben werden. Die Neben- und Rückwirkungen sind von Fall zu Fall verschieden und abhängig von Variablen wie Nutzungsart, Standort, Orientierung, Zustand usw. Auch wenn im Folgenden die Wärmedämmung von Wand, Dach und Boden im Rahmen dieser Arbeit in den Vordergrund gestellt wird, sollten in der Praxis die Energiesparmöglichkeiten im Bauwesen durch integratives Planen optimal ausgeschöpft werden. D.h. die einzelnen Elemente des Wärmesystems (Erzeugung, Nutzung und Konservierung) müssen sowohl bei der Planung von Neubauten wie bei der Sanierung von bestehenden Gebäuden aufeinander abgestimmt werden.

1.5 WAERMETECHNISCHE SANIERUNG VON BESTEHENDEN BAUTEN

Nach T. Angelini (Lit. 6) beträgt der Bestand an bewohnten Wohnungen in der Schweiz 1977 2,23 Millionen. Als groben Richtwert für die Wohnungsproduktion der nächsten Jahre werden 30'000 Einheiten pro Jahr angenommen (leicht über der gegenwärtigen Produktion). Die Abbruchquote wird für die nächsten Jahre mit durchschnittlich 8'000 Einheiten angenommen. Aufgrund dieser Annahmen wird sich die schweizerische Bausubstanz wie in Figur 3 ersichtlich entwickeln.



Figur 3: Anteil der Neuwohnungen (erbaut nach 1977) am Gesamtwohnungsbestand.

Figur 3 illustriert einen wichtigen Sachverhalt: Der Anteil der Neuwohnungen am Gesamtwohnungsbestand wird auf lange Jahre hinaus relativ bescheiden sein. Damit wird deutlich, wie wichtig die wärmetechnische Sanierung der bestehenden Bausubstanz ist. In diesem Zusammenhang soll kurz auf den Begriff Mindestwärmeschutz zurückgekommen werden: Noch immer werden Fassadenrenovationen durchgeführt, die dem Wärmeschutzgedanken keinerlei Rechnung tragen. Die sinngemässe Ausdehnung der Empfehlung SIA 180/1 auf Altbausanierungen und Renovationen würde zweierlei bewirken:

- Ein minimaler Wärmeschutz wäre auch in renovierten Bauten gewährleistet. Der Käufer und Benützer des Renovationsobjektes könnte dadurch ein mit Neubauten vergleichbares Wärme- und Bauhygiene-Niveau erwarten.
- Der Aufbau der Gebäudehülle müsste nach wärmeschutztechnischen Überlegungen konzipiert werden. Für die überwiegende Anzahl aller Renovationsvorhaben gilt aber, dass eine sehr gute Wärmedämmung mit vergleichsweise geringem zusätzlichem Aufwand erreicht werden kann, wenn bereits aus Gründen des Mindestwärmeschutzes der Einsatz wärmedämmender Materialien vorgesehen werden muss.

Es sind heute eine Vielzahl erprobter Wärmedämmsysteme auf dem Markt, die eine wärmetechnische Sanierung der Gebäudehülle für die meisten Gebäude ermöglichen. In der Praxis gliedert sich der gesamte schweizerische Baubestand in drei Teile, die aus wärmetechnischer Sicht gesondert zu behandeln sind:

- Bauten mit ausreichendem Wärmeschutz

Ein verschwindend kleiner Prozentsatz des schweizerischen Gebäudebestandes kann als "wärmetechnisch genügend geschützt" bezeichnet werden. Auch viele der in den letzten Jahren vorgenommenen Wärmeschutzmassnahmen genügen den Anforderungen des optimalen Wärmeschutzes nicht. Die Anbringung von 3 cm Wärmedämmstoff oder die Verwendung eines Wärmedämmverputzes sind aus dieser Sicht ungenügend, sodass zumindest ein Teil dieser renovierten Bauten ebenfalls dem Potential wärmetechnisch sanierungsbedürftig

tiger Bauten zugerechnet werden muss.

● Ungenügend wärmegeschützte Renovations- und Umbauprojekte

Im Zuge von Gesamt- oder Fassadenrenovierungen können Wärmeschutzmassnahmen unter günstigen Bedingungen vorgenommen werden. Die Verbesserung der Wärmedämmung eines Gebäudes (Wand, Dach und Boden, ohne Fenster) bedingt einigen Aufwand an Vor- und Nebenarbeiten: Gerüst erstellen, Verputz abschlagen bzw. innere Wandoberfläche herrichten, Wand-, Fenster-, Dachanschlüsse usw. Werden die Wärmeschutzmassnahmen in ohnehin fällige Renovations- und Umbauarbeiten einbezogen, entstehen sehr viel weniger dem Wärmeschutz anzulastende Folgekosten, was sich natürlich günstig auf dessen Kostenwirksamkeit auswirkt.

Nach dem Bauboom der sechziger und frühen siebziger Jahre erhalten nun Pflege-, Sanierungs- und Erneuerungstätigkeit im Bauwesen eine stärkere Bedeutung. Im Lauf der Jahre gerät jedes Gebäude in den Zustand der Sanierungsbedürftigkeit. Dabei ist meist die Gebäudehülle wegen ihrer Exponiertheit gegenüber der Witterung der ausschlaggebende Faktor. Im Verlaufe dieser natürlichen Erneuerung der Bausubstanz sollte auch die wärmetechnische Sanierung der bestehenden Gebäude stattfinden. Eine solche Entwicklung, die energie-, beschäftigungs- und wirtschaftspolitisch wünschbar wäre, würde innert nützlicher Frist ein beachtliches Energiesparpotenzial ausschöpfen.

● Nicht sanierungsbedürftige Bauten mit ungenügendem Wärmeschutz

Eine Fassadenrenovation durchzuführen allein aus wärmetechnischen Gründen dürfte in keinem Fall lohnend und für niemanden zumutbar sein. Viele Elemente einer umfassenden wärmetechnischen Sanierung sind jedoch jederzeit bei vernünftigem Aufwand anwendbar. Insbesondere braucht für eine nachträgliche Wärmedämmung des Daches (oft auch des Bodens) sowie eine Abdichtung der Fensterfugen in den meisten Fällen eine umfassende Renovation nicht abgewartet zu werden, da sie den Aufwand nicht beeinflussen würde.

Die wärmetechnische Sanierung von bestehenden Gebäuden ist anspruchsvoll für den Projektierenden, wenn alle technischen, bauphysikalischen, wirtschaftlichen und ästhetischen Aspekte berücksichtigt werden. Es gibt keine Patentrezepte. Jedes Bauwerk hat eine Vielzahl standort- und konstruktionsbedingter Merkmale, die ein auf den Einzelfall ausgerichtetes Vorgehen erfordern. Nur unter diesem Vorbehalt kann daher eine Aussage über die Kostenwirksamkeit der einzelnen Wärmedämmschritte gemacht werden.

Es wird im übrigen auch eine Rolle spielen, ob der Hauseigentümer auch selbst Benutzer ist und somit direkt von der Heizabrechnung betroffen ist, und ob er als Heimwerker gewisse Wärmedämmarbeiten selbst ausführt.

Insbesondere das weit verbreitete Giebeldach befindet sich oft in einem desolaten wärmetechnischen Zustand. Der Heimwerker kann in solchen Fällen mit bescheidenem Aufwand und geringen Mitteln wesentliche Verbesserungen selbst herbeiführen. Bereits die Innendämmung von Wänden und Decken ist bauphysikalisch relativ anspruchsvoll und sollte vom Heimwerker nur angegangen werden, wenn ihm gute Arbeitsunterlagen (etwa Lit. 39 und Firmenangaben) zur Verfügung stehen und ihm die grundsätzlichen Gefahren der Dampfdiffusion bekannt sind. Aussendämmungen sollten in jedem Fall vom Fachmann ausgeführt werden.

Es gibt bei bestehenden Gebäuden viele äussere Umstände, die die Wahl eines Wärmedämm-Systems beeinflussen können. Nicht immer ist beispielsweise die bauphysikalisch optimale äussere Ummantelung des Gebäudes möglich und sinnvoll:

- Ortsbildschutz

Zu Recht sind heute viele historische Bauten und Bauten, die in eine mehr oder weniger stilreine Umgebung passen, durch Heimatschutzauflagen geschützt. Vor allem ist meist gerade eine Veränderung der äusseren Fassadenoberfläche nicht gestattet

- Aethetische Aspekte

● Technische Schwierigkeiten

Das Aufbringen einer äusseren Wärmedämmschicht bedeutet in jedem Fall, dass verhältnismässig umständliche Anpassungsarbeiten im Bereich der Fenster-, Tür- und Dachanschlüsse geleistet werden müssen. Bei ungünstigen Voraussetzungen wird schnell eine Grenze erreicht, wo der Aufwand für eine Aussendämmung zu gross wird und ein anderes System gewählt werden muss. Im übrigen eignen sich aus konstruktionstechnischen Gründen nicht alle modernen Fassadenkonstruktionen für eine nachträgliche Wärmedämmung auf der Aussenseite (Paneele, Metallverkleidung).

1.6 WAERMEDAEMMUNG BEI NEUBAUTEN

Optimaler Wärmeschutz ist in der Regel bei Neubauten ohne grosse technische Probleme zu lösen. Mit Hilfe sorgfältiger Planung gelingt es, einen fast lückenlosen Mantel zu erstellen, d.h. Wärmebrücken weitgehend zu vermeiden.

Optimaler Wärmeschutz als Projektierungsziel bewirkt oft Kosteneinsparungen an anderen Orten: Die Tragkonstruktion kann auf das statische Mindestmass reduziert werden, was sogar die Fundamentgrösse beeinflussen kann. D.h. optimaler Wärmeschutz bedeutet auch vom rein baulichen Standpunkt nicht a priori grosse zusätzliche Kosten. Fragen der Wärmedämmung können vom Bauphysiker kompetent geklärt werden. Allerdings ist es leider auch unter Bauphysikern zur Zeit noch nicht üblich, den Grad der Wärmedämmung wirtschaftlich zu optimieren. So beschränkt man sich oft auf einen Mindestwärmeschutz, wo sogar aus Rentabilitätsgründen ein optimaler Wärmeschutz sinnvoll wäre. Oft verzichten die verantwortlichen Baufachleute auf eine Beratung durch den Bauphysiker aus Kostengründen. Meist fehlt dann leider das Wissen und die Information, dass die Projektierung in vollem Masse energiegerecht durchgeführt werden könnte. Ausbildungsstätten und Fachvereine haben in diesem Bereich eine wichtige Informationsfunktion. Dem interessierten Fachmann stehen aber bereits heute gute Hilfsmittel zur fehlerfreien Einplanung eines optimalen Wärmeschutzes zur Verfügung (z.B. Lit. 7 und 8, sowie gute Firmendokumentationen). Bereits werden auch Fachleute vorbildlich in den Fragenkomplex des Wärmeschutzes eingeführt (Lit. 9).

1.7 TECHNOLOGIE

Weder für Neubauten noch für bestehende Gebäude lassen sich bezüglich Wärmedämmung Patentrezepte aufstellen. Eine Vielzahl gesellschaftlicher, rechtlicher, technischer und wirtschaftlicher Faktoren bestimmen die Wahl der Wärmedämm-Strategie:

- Ortsbildschutz
- Fassadengestaltung
- Berücksichtigung der Baulinien
- Innenraumverlust durch Wärmedämmschicht
- Kostspielige bauliche Eingriffe
- Feuerpolizeiliche Auflagen
- Kostenwirksamkeit
- Wärmekomfort im Innenraum
- Lebensdauer und Bauschadenrisiko
- usw.

Im Folgenden soll eine kurze Uebersicht über die gängigen Wärmedämm-Strategien gegeben werden. Eine eigentliche Bewertung kann im Rahmen dieser Arbeit nicht geleistet werden.

Die verschiedenen Wärmedämmsysteme lassen sich am ehesten nach der Schichtenabfolge in der Gebäudehülle gliedern:

1.7.1 Aeussere Wärmedämmung und Zweischalenkonstruktion

Die Wärmedämmschicht auf der Aussenseite der gebäudeumhüllenden Bauteile trägt den physikalischen Vorgängen in diesen Bauteilen am besten Rechnung. Die Wärmedämm-Materialien müssen vor der Witterung geschützt werden. Dies geschieht beim Zweischalenmauerwerk, indem vor die Wärmedämmung eine zweite, relativ dünne Wand gestellt wird, die als reiner Witterungsschutz keinerlei statische Funktion besitzt. Anstelle der zweiten Mauer kann auch eine Fassade aus den verschiedensten Materialien vorgehängt werden (Asbestzementplatten,

Metalltafeln, Holz, Kunststeinplatten). Beide Konstruktionen werden hinterlüftet ausgeführt, um an der Wetterschutzschicht mit Sicherheit Kondenswasserstau zu vermeiden. Sie sind altbewährt und unbedingt zu empfehlen, auch wenn sie oft etwas kostspieliger sind in der Herstellung als andere Systeme.

Nebst den Doppelschalenkonstruktionen gibt es die Möglichkeit, den Wetterschutz direkt auf den Wärmedämmstoff aufzubringen. Je nach Produkt werden die Wärmedämmplatten (Polystyrol-Schaumstoff oder Glasfaserplatten) auf die Wand geklebt oder mechanisch befestigt. Auf die Platten wird wiederum je nach Produkt ein Kunststoffputz oder mineralischer Verputz mechanisch oder mit Klebemitteln aufgebracht.

Die bauphysikalischen und bauchemischen Anforderungen an diese Konstruktionen sind gross: Der Verputz soll einerseits vor dem Schlagregen schützen, andererseits darf er den ausdiffundierenden Wasserdampf nicht zu stark bremsen, da sonst übermässig Kondenswasser in der Konstruktion anfallen könnte. Da der Verputz auf der Wärmedämmschicht liegt, kann er nur sehr wenig Wärme an den Untergrund abgeben. Plötzliche intensive Sonnenstrahlung bewirkt deshalb eine verhältnismässig starke Erwärmung des Verputzes, was sich in entsprechende Temperaturspannungen umsetzt, die nur von einer geeigneten Armierung aufgenommen werden können. Die Klebstoffe sollten über Jahrzehnte ihre Klebewirkung behalten, ebenso wie die allenfalls beteiligten Kunststoffputze ihre chemischen Eigenschaften, weswegen sie ausgewählt wurden, nicht verändern dürfen. Es darf also nicht durch Ausdiffundieren der Weichmacher etwa das Material verspröden. Im weiteren dürfen die in der Konstruktion vorhandenen Chemikalien keinen Schaden anrichten, was insbesondere eine weitgehende Alkaliresistenz aller beteiligten Stoffe erforderlich macht.

Die hier nur sehr oberflächlich angeschnittenen Problemkreise wurden in den letzten Jahren von der beteiligten Baustoffindustrie mit grossem Elan angegangen und mindestens teilweise stehen die Produkte auf einem hohen Entwicklungsstand. Gerade die qualitativen Unterschiede der angebotenen Produkte sowie die systembedingte Anforderung, dass unbedingt sauber und einwandfrei verlegt werden muss, rufen nach einer offiziellen Qualitätskontrolle durch eine unabhängige Stelle. Die Lebensdauer von Wärmedämm-Massnahmen

muss mit mindestens 20 Jahren veranschlagt werden können. Keine Garantiezeit läuft aber über solche Zeiträume und im Übrigen kann von Konkurs gegangenen Firmen kein Schadenersatz beansprucht werden. Also ist es unbedingt erforderlich, dass die angebotene Technologie von hoher Qualität ist.

Sowohl für Steil- wie für Flachdächer stehen Wärmedämmprodukte zur Verfügung, die im Planungsstadium ohne weiteres kaltseitig in die Konstruktion eingefügt werden können. Sind unbeheizte Kellerräumlichkeiten vorhanden, kann auch hier durch Wärmedämmung der Kellerdecke kaltseitig gedämmt werden.

Sogenannte Wärmedämmverputze, die als äussere Wärmedämmung angeboten werden, sind aus der Sicht des optimalen Wärmeschutzes in ihrer Wirkung ungenügend.

1.7.2 Innere Wärmedämmung

Bei bestehenden Gebäuden kommt oft aus bereits erwähnten Gründen eine Wärmedämmung auf der Aussenseite nicht in Frage. Hier wird das Material auf der Innenseite angebracht und durch einen geeigneten Baustoff (Gips, Gipskarton, Holz usw.) gegen Beschädigung geschützt. Dabei besteht allerdings die Gefahr, dass der warmseitige Wasserdampf ungebremst durch die Wärmedämmschicht hindurch diffundieren kann, sodass in der aussenliegenden Konstruktion grosse Mengen an Kondenswasser anfallen. (Absinken des Sättigungsdrucks unter die Taugrenze in der kalten Aussenwand.) Sorgfältige bauphysikalische Abklärungen sind also unerlässlich. Innere Wärmedämmung kann pro Stockwerk oder pro Gebäudeseite je nach Bedürfnis abgestuft und zeitlich gestaffelt angebracht werden. Umgekehrt müssen einige Nachteile in Kauf genommen werden:

- Wärmebrücken sind nicht zu umgehen (Wärmeverluste, Temperaturspannungen, Kondenswassergefahr).
- Die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen in der Aussenwand werden grösser, da die Mauer im Winter nicht dauernd mit grossen Wärmemengen "gespiesen" wird. Dadurch wächst die Beanspruchung der Fassade durch Temperaturspannungen (Mauerwerksfugen, Verputz).

- Die Speicherfähigkeit der Fassadenkonstruktion wird für den Wärmekomfort des Innenraumes nicht ausgenützt.
- Die Brauchbarkeit minimal dimensionierter Räume kann durch den Nutzflächenverlust (besonders bei Eckzimmern) empfindlich beeinträchtigt werden.

Innere Wärmedämmung stellt eine durchaus mögliche Alternative dar, wo äussere Wärmedämmung unerwünscht oder nicht möglich ist. Allerdings ist zu betonen, dass sich die bauphysikalischen Probleme mit zunehmender Dicke der Wärmedämmschicht verschärfen (Kondenswasser!). Es kann deshalb mit diesem System nicht bedenkenlos ein maximaler Wärmeschutz angestrebt werden.

In relativ selten benützten Räumen und Gebäuden (öffentliche Mehrzweckhallen, Saalbauten, Kirchen usw.), die für kurze Gebrauchszeiten aufgeheizt werden und anschliessend wieder auf Umgebungstemperatur auskühlen oder doch wenigstens auf sehr tiefer Temperatur gehalten werden, ist es sinnvoll, innere Wärmedämmung zu verwenden. Damit wird verhindert, dass die schweren Bauteile der Gebäudehülle aufgeheizt werden müssen, wenn nur für kurze Zeit erhöhte Temperatur notwendig ist. D.h. es muss für den Betrieb weniger Heizenergie verbraucht werden und die in der Regel eher grossen Räume sind in- nert kurzer Zeit heizbar, was ihre Benutzbarkeit verbessert.

Die im Handel erhältlichen Wärmedämmtapeten können wegen ihrer geringen Schichtdicke nicht als eigentliche Wärmedämm-Massnahme eingesetzt werden.

1.7.3 Uebrige Verfahren

Mit der Popularisierung des Energiespargedankens setzte auch eine intensive Entwicklung in der Wärmedämmbranche ein: Nebst der beschleunigten Verbesserung bestehender Systeme wurden und werden weiterhin laufend neue Systeme entwickelt und auf den Markt gebracht. Z.T. werden auch Mindestwärmeschutzmassnahmen, die bekannt sind und angewendet wurden, auf die Anforderungen eines optimalen Wärmeschutzes abgestimmt. Nicht immer ist dies allerdings durch die blos-

se Verdickung der Wärmedämmschicht möglich. So ist beispielsweise die Ausrichtung der Fertigbauteile mit integrierter Wärmedämmung auf optimalen Wärmeschutz mit einigen Schwierigkeiten verbunden.

Eine weitere technische Möglichkeit stellt das Ausschäumen an Ort mit Kunststoffschäumen dar. Der Zwischenraum bestehender Zweischalenmauerwerke dämmt bedeutend besser, wenn er mit Wärmedämmstoff gefüllt werden kann. In der Schweiz sind allerdings nur in den seltensten Fällen genügend breite Zwischenräume vorhanden. Bei schmalen Zwischenräumen von 2 bis 3 cm schäumt das einfliessende Material vorzeitig auf und blockiert sich selbst den Weg, sodass nur teilweise gedämmt wird. Als Variante zum Ausschäumen an Ort gibt es die Möglichkeit, bestehende Wandzwischenräume mit Wärmedämmstoffgranulat zu füllen. Beide Möglichkeiten sind bauphysikalisch gewagt. Dazu kommt noch, dass der Wärmeschutz trotzdem oft ungenügend und unvollständig ist, sodass diese Lösung wohl nur in Einzelfällen ihre Berechtigung hat.

Mit eigentlichen Wärmedämm-Bausystemen wird versucht, den Wärmeschutz derart in die Konstruktion zu integrieren, dass er nicht als zusätzlicher Aufwand anfällt: Es sind Betonschalungselemente auf dem Markt aus Polystyrolschaum, die als verlorene Schalung die tragende Betonwand ummanteln und die durch eine auf das Wärmedämmmaterial aufgebrachte Verputzschicht geschützt werden müssen. Ebenso wie für die im Werk bereits mit Wärmedämmstoff belegten Bausteine muss bei der Anwendung sorgfältig auf die Bauphysik solcher Elemente geachtet werden.

2. Die Bauphysik des Wärmeschutzes

2.1 DIE BAUPHYSIKALISCHE FUNKTION DER GEBÄUDEHÜLLE

Hauptaufgabe der Gebäudehülle ist es, als Klimabarriere im Innenraum Bedingungen zu schaffen, die auf die Bedürfnisse des wohnenden bzw. arbeitenden Menschen zugeschnitten sind. Ausserdem schützt sie die Konstruktion selbst vor Schäden durch Wasser, Frost und übermässige Temperaturspannungen.

Unterschiedliches Klima innen und aussen bedeutet in erster Linie Temperaturunterschiede zwischen Innenraum und Umgebung. Dieses Temperaturgefälle bewirkt zwangsläufig einen Wärmefluss durch die Gebäudehülle. Je nach Art der Klimabarriere (Gebäudehülle) wird dieser Wärmefluss mehr oder weniger behindert. Je ungehinderter die Wärme abfliessen kann, desto mehr muss durch die Heizung nachgeliefert werden, will man das Temperaturniveau im Innenraum beibehalten. Aufbau der Gebäudehülle und Energieverbrauch für Heizzwecke sind dadurch direkt ursächlich verknüpft. Wie aus den weiter hinten folgenden Ausführungen über Behaglichkeit hervorgeht, muss mit grösser werdendem Wärmeabfluss das Temperaturniveau des Innenraumes aus Wärmekomfortgründen angehoben werden.

Analoge Ueberlegungen gelten für Gebäude, die gekühlt werden müssen. Unerwünscht eingedrungene Wärme ist allerdings nur mit einem überproportionalen Aufwand an Energie wegzukühlen.

Die unterschiedlichen Klimata zwischen innen und aussen bringen auch ein Wasserdampfdruckgefälle mit sich. Die damit verbundenen Diffusionsvorgänge durch die Gebäudehülle können in Verbindung mit den hohen Temperaturgradienten in der Gebäudeumhüllung zur Kondenswasserbildung führen.

Alle an der Gebäudehülle beteiligten Materialien haben eine mehr oder weniger grosse Fähigkeit, den Wärmefluss zu behindern, oder umgekehrt formuliert, die Wärme zu leiten. Diese Wärmeleitfähigkeit kann für die gängigen Baumaterialien mit Hilfe der Wärmeleitfähigkeit λ angegeben werden. Der λ -Wert gibt an, welche Energiemenge stündlich bei einer Temperaturdifferenz von einem Grad Kelvin durch eine Platte des betreffenden Materials von einem m² Grösse und einem Meter Dicke hindurchfliesst.

Material	Wärmeleitfähigkeit	
	W/K m	kcal/K m h
Stahl	58	50
Stahlbeton	1,8	1,55
Backstein-Verband	0,37	0,32
Gasbeton-Steine (nach SIA 180/1) 600 kg/m ³	0,17	0,15
Gasbeton-Steine (nach Din 4108) 600 kg/m ³	0,34	0,30
Holzspanplatten 600 kg/m ³	0,095	0,080
Hartschaum-Leichtbeton (nach Bossert) 200 kg/m ³	0,045	0,040
Steinwolleplatten	0,040	0,035
Glasfaserplatten	0,040	0,035
Kork expandiert 100 kg/m ³	0,040	0,035
Polystyrol-Schaumstoff 15 - 18 kg/m ³	0,040	0,035
Polystyrol-Schaumstoff 20 - 60 kg/m ³	0,035	0,030
PUR- und PIR-Schaumstoff 30 - 80 kg/m ³	0,030	0,025

Tabelle 1: Wärmeleitfähigkeiten verschiedener Baustoffe, einige Vergleichsbeispiele. (Wo nicht anders angegeben, sind die vom SIA empfohlenen Rechenwerte angeführt.)

Als eigentliche Wärmedämmstoffe werden gemäss einer Empfehlung der Isolsuisse Materialien bezeichnet mit einem $\lambda \leq 0,095 \text{ W/K m}$ ($= 0,08 \text{ kcal/K}\cdot\text{m}\cdot\text{h}$). Diese Darstellung der λ -Werte verdeutlicht die enorme thermische Dämmfähigkeit der eigentlichen Wärmedämmstoffe: Backstein beispielsweise dämmt nur etwa einen Zwölftel im Vergleich zu einer gleich dicken Wärmedämmschicht aus einem organischen Schaumstoff. Es ist daher abzusehen, dass mit den steigenden Anforderungen an den Wärmeschutz der Einsatz von Wärmedämmstoffen für alle Teile der nichttransparenten Gebäudehülle unumgänglich wird. Die Uebernahme der Wärmeschutzfunktion durch die statisch wirksamen Bauteile kann im Rahmen eines Mindestwärmeschutzes noch gewährleistet werden, für einen optimalen Wärmeschutz würden die Mauerdicken aber über jedes wirtschaftlich tragbare Mass hinauswachsen.

Für die Erfassung der wärmedämmenden Wirkung eines Bauelementes der Gebäudehülle müssen ausser dem Schichtaufbau der Konstruktion auch noch die Wärmeübergänge von der umgebenden Luft auf den Bauteil und umgekehrt in Rechnung gestellt werden.

Die Wärmedurchgangszahl k berücksichtigt diese Gegebenheiten.

In Wirklichkeit hängt der Wärmeverlust durch die Bauteile der Gebäudehülle auch bei konstantem Temperaturgefälle von einer Vielzahl weiterer Faktoren ab (Windexponiertheit, Oberflächenbeschaffenheit, Materialverhalten in unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit usw.). Die Standardisierung einer Wärmedurchgangszahl schafft somit ein operables Recheninstrument, das insbesondere vergleichende Betrachtungen erlaubt, das aber die wirklichen Vorgänge am Bauteil auch nur in grober Näherung zu beschreiben vermag.

Tabelle 2 demonstriert, in welchen Bereichen sich k -Werte für schlecht, mittelmässig und gut gedämmte Gebäudehüllen-Elemente bewegen. Darüber hinaus wird auch die starke Auswirkung der Wärmedämmstoffe ersichtlich.

Bauelement der Gebäudehülle	k-Wert (W/K m ²)
Sicht-Beton, P 300, d = 20 cm	3,3
Beton, P 300, d = 20 cm, + 8 cm Wärmedämmstoff	0,43
Backstein, d = 18 cm, + 3 cm Wärmedämmstoff	1,66
Backstein, d = 18 cm, + 3 cm Wärmedämmstoff	0,74
Backstein, d = 18 cm, + 8 cm Wärmedämmstoff	0,38
Backstein, d = 18 cm, +10 cm Wärmedämmstoff	0,32
Backstein, d = 18 cm, +14 cm Wärmedämmstoff	0,24

Tabelle 2: k-Werte einiger verschieden aufgebauter Gebäudehüllenelemente.

Die Tatsache, dass es üblich ist, die Wärmedurchgangszahlen auf zwei Stellen nach dem Komma genau auszurechnen, sollte nicht darüber hinwegtäuschen, dass sich der Wärmefluss durch einen Bauteil in der Praxis niemals durch eine einfache k-Wert-Berechnung ermitteln lässt. Die Wärmeleitung des Materials hängt beispielsweise stark vom Feuchtigkeitsgleichgewicht ab, welches wiederum vom örtlichen Klima, den Benutzungsgewohnheiten, der Qualität des Witterungsschutzes (Verputz) usw. beeinflusst wird. Durchschnittlich liegt der Wärmedurchgang in der Praxis eher über den rechnerisch ermittelten Werten. Die Brauchbarkeit der k-Wert-Berechnungen für die Praxis wird deshalb allerdings nicht wesentlich eingeschränkt. Für die Konstruktionswahl interessieren in erster Linie vergleichende Betrachtungen und für Heizlastberechnungen müssen ohnehin Faktoren in die Rechnung eingebracht werden, die den tatsächlichen Erfahrungen entsprechen. In beiden Fällen interessiert die absolute Grösse des Wärmedurchgangs erst in zweiter Linie.

2.2 PHYSIKALISCHE AUSWIRKUNGEN DER WAERMEDAEMMUNG

Gute Wärmedämmung bewirkt unmittelbar, dass der Wärmeabfluss aus dem Gebäude in die Umwelt kleiner wird. Vom Gesichtspunkt des Gebäudebenützers ist die Vokabel "Wärmeverbrauch" ("Wärmekonsum") irreführend. Sie legt nahe, dass mit dem "Konsum" ein Genuss oder doch mindestens Annehmlichkeiten verbunden seien. Was der Gebäudebenützer aber "geniesst" oder braucht ist ein bestimmtes Temperaturniveau. Das kann aber eingehalten werden unabhängig von der Grösse des Wärmeabflusses. (Unter anderem) durch den Einsatz von Wärmedämmstoffen lässt sich die Wärme im Innenraum auf einem gewünschten Temperaturniveau stauen, bei einem geringen Wärmeabfluss ins Freie. Die Steuerung des Wärmeabflusses durch Wärmedämmung der Gebäudehülle hat aber ausser auf die Energiemenge, die verbraucht wird, noch wichtige andere bauphysikalische Auswirkungen:

- Die Temperatur der inneren Wandoberfläche steigt, je besser der betreffende Bauteil gedämmt ist. Dies garantiert, dass auf der Wandoberfläche kein Kondenswasser anfällt, was aus hygienischen Gründen unbedingt gefordert werden muss. Die Auswirkungen auf die thermische Behaglichkeit werden im nächsten Abschnitt dargestellt.
- Bei äusserer Wärmedämmung bewirkt die abgeschirmte, speicherfähige Masse der Fassadenwand ein trägeres Temperaturverhalten des Innenraumes und der Konstruktion selbst. Dies bedeutet eine Minderbeanspruchung der Konstruktion und hat Auswirkungen auf die Behaglichkeit des Innenklimas.
- Raumseitig der Wärmedämmschicht werden die Temperaturamplituden in und an der Konstruktion gesenkt. Dies bewirkt ebenfalls eine Minderbeanspruchung der Konstruktion (Geringere Spannungen durch Temperaturdehnungen), was seinerseits eine erhöhte Wertbeständigkeit und ein geringeres Bauschadenrisiko zur Folge hat.

Es muss im Zusammenhang mit den beiden letzten Punkten darauf hingewiesen werden, dass optimaler Wärmeschutz den Wert und die Wertbeständigkeit des Gebäudes erhöht und das Bauschadenrisiko senkt.

Dies setzt allerdings ein bauphysikalisch richtiges Vorgehen voraus. Es ist sogar so, dass mit besserer Wärmedämmung bauphysikalische Fehler oder die unsorgfältige Behandlung bauphysikalisch heikler Stellen (Wärmebrücken) sich verstärkt negativ auswirken.

2.3 WOHN- UND ARBEITSPHYSIOLOGISCHE ASPEKTE

Das thermische Behaglichkeitsempfinden des Menschen hängt ausser von der Bekleidung und der Aktivität (körpereigene Wärmeproduktion) stark vom physikalischen Zustand der unmittelbaren Umgebung des Körpers ab:

● Raumlufthtemperatur

Je nach Funktion des betreffenden Raumes ist eine unterschiedlich hohe Temperatur erwünscht. (Wohnraum: 20-22° C, Korridor: 18° C, Schlafzimmer: 18° C, Büroräume: 20-22° C usw., vgl. Empfehlung SIA 380)

Die Raumlufth sollte keine hohen Temperaturgradienten aufweisen. Es sollte also keine Schichtung der Raumlufth nach verschiedenen Temperaturen vorkommen (Kaltluftlage am Boden).

● Luftbewegung

Uebermässige Luftbewegung wird vom Menschen unangenehm als Zug empfunden. Bewegte Luft entzieht dem Körper mehr Wärme durch erhöhte Konvektion und Verdunstung, was zu Kälteempfindung bei an sich genügender Raumlufthtemperatur führt. Luftströmungen, die kleiner als 0,2 m/s sind, werden nicht mehr wahrgenommen, sofern es sich dabei nicht um kalte, frisch zuströmende Luft handelt. Auch bei hoher Raumtemperatur sollte die Luftbewegung 0,4 m/s nicht überschreiten. (Nach Grandjean, Lit. 10).

● Oberflächentemperatur der raumumschliessenden Bauteile

Langwellige, vom Auge nicht mehr wahrnehmbare Strahlung (Wärmestrahlung, Infrarot) wirkt der körpereigenen Wärmeabstrahlung entgegen und verbessert damit die Wärmebilanz des Körpers im

Raum. Kalte Oberflächen bewirken durch diesen Mangel an Wärmestrahlung ein Unbehaglichkeitsgefühl. Das Mittel der Oberflächentemperaturen der Umschliessungsflächen des Raumes sollte aus diesem Grund nicht mehr als 2 bis 3° C von der Raumlufttemperatur abweichen (Lit. 10).

In der neueren Literatur (Lit. 3 und 11) wird die Wärmestrahlung als zentraler Faktor für den Wärmekomfort noch vermehrt hervorgehoben. Aus diesen Ueberlegungen werden aus wohnphysiologischer Sicht auch immer mehr die Heizsysteme propagiert, die mit nieder-temperaturigen, grossflächigen Wärmeübertragungssystemen einen grossen Wärmestrahlungsanteil in den Raum bringen.

● Luftfeuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit beeinflusst die Wärmeabgabe des menschlichen Körpers durch unterschiedliche Verdunstungsgeschwindigkeit. Liegen die Werte unter 30%, kann es zu Austrocknungserscheinungen der Schleimhäute und der Atemwege kommen, was mit unangenehmen Reizungen verbunden ist. Grandjean empfiehlt für die optimale Behaglichkeit Werte zwischen 40 und 45%.

Fanger (Lit. 3) hat die Bedeutung der relativen Luftfeuchtigkeit allerdings stark relativiert. Aufgrund verschiedener Untersuchungen kommt er zum Schluss, dass im Rahmen weiter Grenzen, einem sogenannten Behaglichkeitsbereich, die relative Luftfeuchtigkeit keinen grossen Einfluss auf das Temperaturempfinden des Menschen hat. (Vgl. auch Lit. 11).

● Temperaturverhalten im zeitlichen Ablauf

Ein wichtiges Element des Wärmekomforts ist das träge Temperaturverhalten des Raumes. Bei mangelnder Speicherfähigkeit der raumumschliessenden Bauteile stellt sich im Raum ein "Barackenklima" ein, das durch eine übermässige Abhängigkeit vom Aussenklima gekennzeichnet ist und mit raschen Temperaturveränderungen verbunden ist. Selbst wenn sich die Temperaturveränderungen im Behaglichkeitsbereich vollziehen, wird der schnelle Wechsel als unangenehm empfunden.

Die hier einzeln aufgeführten Einflüsse auf das thermische Empfinden des Menschen stehen in Wirklichkeit in enger Wechselwirkung zueinander. Optimale Werte für die einzelnen Aspekte können deshalb nur Gültigkeit haben für bestimmte Werte der anderen Einflüsse. Das wichtigste Phänomen in diesem Zusammenhang ist die Kompensationsmöglichkeit durch Temperaturerhöhung der Raumluft. Es besteht ganz allgemein die Tendenz, bei physisch wie psychisch bedingtem Unbehagen die Raumlufttemperatur zu erhöhen. Im physikalischen Bereich bedeutet das, dass sogar zu tiefe Luftfeuchtigkeit mit erhöhter Raumlufttemperatur wettzumachen versucht wird (womit ein weiteres Absinken der relativen Luftfeuchtigkeit bewirkt wird). Uebermässige Luftbewegung und zu tiefe Oberflächentemperaturen der Umfassungswände haben für den menschlichen Körper ohnehin Wärmeverluste zur Folge, was mit Erhöhung der Raumlufttemperatur kompensiert werden muss. Maximaler Wärmekomfort ist also je nach Oberflächentemperatur und Luftzug bei verschiedenen Raumlufttemperaturen erreichbar. Allerdings scheint der optimale Wärmekomfort dann erreicht, wenn die Bedingungen der Behaglichkeit bei möglichst tiefer Lufttemperatur eingehalten werden (Lit. 3 und 11). Dies erfordert Luftbewegungen von 0 bis maximal 0,2 m/s und stark wärmestrahlende Umschliessungsflächen. Die tiefe Lufttemperatur garantiert eine genügende relative Luftfeuchtigkeit. Die absolute Feuchtigkeit der Luft braucht dabei nicht hoch zu sein, was wiederum aus bauphysikalischer Sicht begrüssenswert ist, da sich dadurch die Probleme des Dampfdiffusionsvorganges entschärfen. Der geringe maximale Wasserdampfgehalt in relativ kühler Luft läuft viel weniger Gefahr, in der Gebäudehülle den Sättigungsdampfdruck zu erreichen und in Form von Kondenswasser auszufallen. Diese Fragen werden insbesondere dort aktuell, wo durch entsprechende Raumnutzung (Küche, Bad) oder Luftbefeuchter eine hohe relative Luftfeuchtigkeit entsteht.

Behaglichkeitswerte sind international verschieden. Sie hängen ab vom Klima, den Gepflogenheiten und der Mentalität der Bewohner einer Gegend, sowie in beschränktem Masse auch vom Baustandard. Die prinzipiellen Zusammenhänge der einzelnen physikalischen Gegebenheiten und dem Wärmeempfinden sind allgemeingültig. Es wurden bereits mehrfach Vorschläge gemacht, die das Wärmeempfinden beeinflussenden Parameter in ei-

ner Formel zu korrelieren, um ein operables Instrument zur wohnphysiologisch richtigen Gestaltung von Bauten zur Hand zu haben. So wird beispielsweise in der Empfehlung SIA 380 der Begriff der Raumtemperatur verwendet, mit dem das Mittel zwischen Raumlufthtemperatur und Oberflächentemperatur der umschliessenden Bauteile bezeichnet wird. Daneben sind verschiedene Behaglichkeitsziffern definiert worden, und es wurden Begriffe eingeführt wie resultierende Temperatur, effektive Temperatur, äquivalente Temperatur usw., auf die an dieser Stelle nicht näher eingetreten werden soll.

2.4 WAERMEDAEMMUNG UND BEHAGLICHKEIT

Nachdem nun einerseits die physikalischen Auswirkungen der Wärmedämmung aufgezeigt (Abschnitt 2.2) und andererseits die Bedingungen der thermischen Behaglichkeit dargestellt wurden (Abschnitt 2.3), kann der Einfluss der Wärmedämmung auf die thermische Behaglichkeit wie folgt zusammengefasst werden:

- Je besser der Wärmeschutz ist, desto kleiner ist die Temperaturdifferenz zwischen innerer Wandoberfläche und Raumlufthtemperatur. Es kann also bei gleichbleibender Behaglichkeit die Raumlufthtemperatur gesenkt werden. R. Sagelsdorff, Chef der Abteilung Bauphysik an der EMPA Dübendorf, schätzt die Energieeinsparung bei einer Reduktion der Raumlufthtemperatur von 23 auf 20° C auf 15 bis 17% (Lit. 12).

Wieviel im Durchschnitt aller Wohnungen die Raumlufthtemperatur bei optimaler Wärmedämmung wirklich abgesenkt werden kann, lässt sich nicht generell sagen. Aussenliegende Wohnungen bzw. Zimmer werden sensibler auf Wärmedämm-Massnahmen reagieren als Wohnungen, die grösstenteils von Warmraum umgeben sind. Auch wird bei kleinem Fensterflächenanteil die mittlere Oberflächentemperatur der raumumschliessenden Bauteile stärker durch die Anbringung einer Wärmedämmung günstig beeinflusst, als wenn grosse Fensterflächen vorhanden sind. Immerhin wurde die Absenkung der Raumlufthtemperatur als wirksame Energiesparmassnahme bereits von verschiedener Seite gefordert. Solange aber eine Befolgung dieser Apelle mit einer Komforteinbusse verbunden ist, werden kaum grössere Energiemengen auf diese

Weise eingespart werden (ausser vielleicht bei massiv erhöhten Energiepreisen und individueller Heizkostenabrechnung). In gut wärmegeprägten (und wenn möglich mit Niedertemperaturheizsystemen versehenen) Gebäuden wird dieses Energiesparpotential automatisch ausgeschöpft.

- Der in der Raumluft vorhandene Gehalt an Wasserdampf kann bei hoher Raumtemperatur eine relative Luftfeuchtigkeit von weniger als 30% darstellen. Wenn die Raumlufttemperatur dank hoher Oberflächentemperaturen abgesenkt werden kann, kommt bei gleichem absolutem Wasserdampfgehalt die relative Luftfeuchtigkeit in den Behaglichkeitsbereich über 30% zu liegen, ohne dass künstliche Befeuchtung betrieben werden müsste.
- Grosse, kalte Oberflächen kühlen die Raumluft örtlich drastisch ab und bewirken dadurch hohe Temperaturgradienten in der Raumluft und /oder Zugerscheinungen. Durch die Anhebung der Oberflächentemperatur wird diesen Konvektionserscheinungen entgegengewirkt.
- Wird durch die Wärmedämmung der Wärmeabfluss und damit auch die zugeführte Wärmemenge kleiner, dann gewinnt die in den Bauteilen und im Mobiliar gespeicherte Wärme an Bedeutung. Das Temperaturverhalten des Innenraumes wird träge. Dies wird vom Benutzer als behaglicher empfunden als ein hektisches Auf und Ab der Oberflächen- und Raumlufttemperaturen. Auch wenn dieses kompensatorisch ist, wenn also absinkende Oberflächentemperaturen durch Aufwärmung der Raumluft ausgeglichen wird.

Die positive Beeinflussung der Behaglichkeit durch verbesserte Wärmedämmung ist also gross. Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass optimaler Wärmeschutz auch erhöhte Anforderungen an die Qualität der Heizwärmezulieferung in den Raum stellt. Es muss beachtet werden, dass ein gut wärmegeprägter Raum sehr stark auf ein Zuviel an eingebrachter Wärmeenergie reagiert, was zu unangenehm und sinnlos hohen Temperaturen führen kann. Es ist deshalb eine gut geregelte Heizung erforderlich. Innere Abwärme durch Geräte und Menschen sowie einfallende Sonnenstrahlung in einzelne Räume sollten

durch Thermostatventile an den Heizkörpern oder Einzelraumregelung der Heizung aufgefangen werden.

2.5 DAS DYNAMISCHE TEMPERATURVERHALTEN

Zur Berechnung der Heizlast wie zur Beurteilung der Wärmedämmfähigkeit wird der Fall des stationären Wärmedurchgangs durch die Bauteile der Gebäudehülle betrachtet. Es wird berechnet, was bei konstanten inneren und äusseren Temperaturen passiert. Tatsächlich findet aber ein instationärer Wärmedurchgang statt: Die Aussentemperatur schwankt in einem 24-Stunden-Rhythmus beträchtlich und ist ausserdem meteorologischen und jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Andererseits darf die Innenraumtemperatur nur zu ganz bestimmten Zeiten und Zwecken sich verändern (z.B. Nachtabsenkung). Im Zusammenhang mit dieser Arbeit interessieren die Phänomene des instationären Temperaturverlaufs, weil sie durch Massnahmen des Wärmeschutzes besonders stark beeinflusst werden und deshalb auch entsprechende Auswirkungen haben.

Die Temperaturschwingungen der äusseren Wandoberfläche werden wegen der Trägheit der Wärmeleitung mit zeitlicher Verzögerung und wegen der Wärmedämmfähigkeit gedämpft bis zur inneren Wandoberfläche weitergeleitet. Diese Temperaturamplitudendämpfung ist umso stärker, je besser der Bauteil wärmegeklämt ist. Nebst den Auswirkungen auf die Behaglichkeit bedeutet dies natürlich auch unterschiedliche Strapazierung des Bauteils durch Temperaturspannungen. Dabei soll noch einmal auf den prinzipiellen Unterschied zwischen Aussen- und Innen-Dämmung hingewiesen werden: Bei aussenliegender Wärmedämmschicht liegt der tragende "schwere" Bauteil im warmen Bereich und macht nur geringe Temperaturschwankungen mit. Daraus ergibt sich eine Art Kachelofeneffekt, indem diese Aussenbauteile grosse Wärmemengen speichern und sehr kontinuierlich Wärme in den Raum abstrahlen. Liegt die Wärmedämmschicht auf der Innenseite, wird zwar die Wärme ebenso wirksam gedämmt, jedoch fehlen dann die temperaturpuffernden Massen der Gebäudehülle. Besonders wichtig werden diese raumseitigen Speichermassen für den sommerlichen Wärmeschutz,

wenn während des Tages warme Aussenluft und einfallende Sonnenstrahlung den Innenraum übermässig erwärmen. Die während der Nacht ausgekühlten massiven Bauteile der Gebäudehülle (geöffnete Fenster) können nun tagsüber grosse Wärmemengen aufnehmen und dadurch die Temperatur auf einem angenehm tiefen Niveau halten. Praktisch die ganze thermische Speicherfähigkeit der Bauteile steht zur Verfügung, weil die aussenliegende Wärmedämmung weitgehend verhindert, dass sich die Gebäudehülle von aussen her durch Sonneneinstrahlung oder Luftkontakt erwärmt. Bei innenliegender Wärmedämmung stehen lediglich die innenliegenden Bauteile und das Mobiliar als Speicher zur Verfügung. Wärme, die durch diese Massen nicht aufgefangen werden kann, trägt unweigerlich zur Ueberhitzung der Raumluft bei, da sie durch die Wärmedämmung wirksam am Abfliessen in und durch die Konstruktion gehindert wird. Die Optimierung der Gebäudehülle nach den hier angeführten Ueberlegungen des sommerlichen Wärmeschutzes würde in etlichen Fällen den Einbau einer Klimaanlage überflüssig machen. Zieht man in Betracht, mit welchem Aufwand die Erzeugung von Kühlenergie verbunden ist, lässt sich abschätzen, wie wichtig guter sommerlicher Wärmeschutz zur Ausschöpfung des Energiesparpotentials im Bauwesen ist. Es ist deshalb zu hoffen, dass im Rahmen der in Vorbereitung befindlichen Empfehlung SIA 180/2 über den sommerlichen Wärmeschutz der Energiespardgedanken gebührend berücksichtigt werden wird.

Zur trägen Wärmeleitung massiver Bauteile ist noch anzumerken, dass damit eine weitere Möglichkeit gegeben ist, durch geschickte Planung auf das erwünschte Temperaturverhalten des Gebäudes hinzuarbeiten. Auch in den kalten Jahreszeiten fallen tagsüber oft beträchtliche Mengen an Energie durch Sonnenstrahlung an. Die durch die Fenster fallende Sonnenstrahlung wird sofort wirksam und führt zu einer Erwärmung des Raumes, die daher nicht von der Heizung geleistet werden muss. Die auf der nichttransparenten Gebäudehülle auftreffende Sonnenstrahlung (und allfällige Erwärmung durch Luftkontakt) wird je nach Material und Gewicht der Bauteile im Gebäudeinnern erst einige Stunden später wirksam. Durch diese zeitliche Verzögerung kann ein Teil der tagsüber anfallenden Wärme in der Gebäudehülle für die Abendstunden eingesetzt werden, wenn längst keine direkte Sonnenstrahlung

mehr wirksam ist. Dies bedeutet, dass entsprechend geringere Mengen an Wärme durch die Heizung geliefert werden muss. Es muss allerdings beigefügt werden, dass je besser die Wärmedämmung ist, desto mehr das Phänomen des Wärmegewinns über die nichttransparente Gebäudehülle zum Verschwinden gebracht wird. Und es wird sich in keinem Fall lohnen, deswegen weniger zu dämmen.

3. Wirtschaftlichkeit

3.1 AUFWAND UND ERTRAG

Um die Kostenwirksamkeit von Massnahmen zur Wärmedämmung zu erfassen, müssen als Aufwand folgende Punkte berücksichtigt werden:

● Materialkosten

Die modernen Wärmedämmstoffe sind durchwegs billig. Je nach Verarbeitung und Qualität liegen die Materialpreise bei ungefähr Fr. 150.- bis Fr. 200.- pro Kubikmeter. Für die Verwendung im Bau gehören unter Umständen Dampfsperren, Schutz- und Befestigungsvorrichtungen sowie Abdeckelemente zum Wärmeschutz.

Jede Art der Gebäudehülle bietet einen gewissen Wärmeschutz. Oft wird nur gerade Tauwasserfreiheit an der inneren Wandoberfläche garantiert. Das bedeutet aber trotzdem, dass ein Teil der Konstruktion dem Wärmeschutz angerechnet werden muss, weil dieser beispielsweise bei einschaligen Konstruktionen die verwendbare Minimalstärke bestimmt. In wirtschaftliche Optimierungsrechnungen für die Wärmedämmung muss deshalb an dieser Stelle der Mehraufwand für eine verbesserte Wärmedämmung eingesetzt werden und verglichen werden mit den Einsparungen, die gegenüber durchaus vorhandenem, aber minimalem Wärmeschutz erzielt werden können.

● Kapitaldienst

Wärmedämm-Massnahmen haben eine lange Lebensdauer. Bei bauphysikalisch richtiger Ausführung kann damit gerechnet werden, dass die wesentlichen Elemente des Wärmeschutzes je nach Wärmedämm-system 20 bis 50 und mehr Jahre ihren Dienst versehen. Es ist daher üblich, dass verlangt wird, dass die durch verbesserten Wärmeschutz bedingten Investitionen mit Zins und Zinseszinsen innert

20 Jahren amortisiert sind.

● Montage

Wo im Rahmen des Mindestwärmeschutzes ohnehin eine Wärmedämmschicht vorgesehen ist, ist in der Regel für eine verbesserte Wärmedämmung nicht mit einem wesentlich höheren Montageaufwand zu rechnen. Bei der wärmetechnischen Sanierung von bestehenden Gebäuden kann dieser Punkt aber eine Rolle spielen: Wird zum Beispiel im Rahmen einer Fassadenerneuerung eine Innendämmung aufgebracht, so ist damit ein gewisser zusätzlicher Montageaufwand verbunden und es kann damit eine zeitlich begrenzte Einschränkung der Benutzbarkeit verbunden sein, die bilanziert werden muss.

● Anpassung der Bausubstanz

Bei nachträglich aufgebrachteter Wärmedämmung müssen oft relativ aufwendige Veränderungen der Bausubstanz vorgenommen werden, um die einzelnen Bauteile aufeinander abzustimmen. (Dachanschlüsse, Simse usw.). Da eine wärmetechnische Sanierung praktisch immer im Rahmen allgemeiner Renovationsarbeiten durchgeführt wird, ist es oft schwierig zu entscheiden, welche Arbeiten der verbesserten Wärmedämmung anzulasten sind. Oft werden Arbeiten zwar durch die Verbesserung der Wärmedämmung bedingt, stellen aber trotzdem eigenständige Renovationsvorhaben dar. Oft bringen diese Folgearbeiten weitere Energieersparnis, die ebenfalls in die Rechnung eingehen sollte (Adaption der Heizanlage, neue Fenster usw.).

● Nutzflächenverlust

Für bestimmte Wärmeschutzanforderungen werden einschalige Konstruktionen ohne Wärmedämmstoffe relativ dick, sodass ein Wechsel auf eine mehrschichtige Konstruktion mit Wärmedämmstoffen zu einer insgesamt dünneren Gebäudehülle und damit zu einem Nutzflächengewinn führen kann. Damit wird die Wirtschaftlichkeit der mehrschichtigen Konstruktion positiv beeinflusst. In der Regel allerdings führt eine Verbesserung der Wärmedämmung zu einer Verdickung der Wandkonstruktion. Der entsprechende Nutzflächenverlust kann je nach Bodenpreis und Ausnützungsziffer zur finanziellen Hauptbelastung werden.

Diesen Aufwendungen stehen folgende Erträge gegenüber:

● Betriebskostensenkung

Wegen der verbesserten Wärmedämmung muss vom Heizsystem weniger Wärme nachgeliefert werden. Ausser der reinen Heizwärmeeinsparung muss also auch der Wirkungsgrad der Heizanlage in Rechnung gestellt werden. Die durch Brennstoffeinsparungen erzielte Betriebskostensenkung hängt ab vom Preis des Energieträgers und von der Energiepreisentwicklung im Verlauf der nächsten Jahre. Verbesserte Wärmedämmung führt zu höheren Wandoberflächentemperaturen, was bei gleichem Wärmekomfort tiefere Raumlufttemperaturen erlaubt. Damit wird einerseits das Temperaturgefälle und dadurch auch der Wärmeabfluss an die Umwelt vermindert und andererseits tritt im Rahmen der Lüftungswärmeverluste weniger erwärmte, also energieärmere Raumluft aus dem Gebäude. Die resultierenden Brennstoffeinsparungen sollten nicht unterschätzt werden. Nach R. Sagelsdorff (Lit. 12) liegt sogar darin "der grosse Nutzen der Wärmedämmung, dass sie niedrigere behagliche Raumlufttemperaturen zulässt."

● Geringere Investitionen für das Heizsystem

Kessel, Heizkörper und Oeltank können auf eine geringere Heizlast angelegt werden. Mindestens für die Planung von Neubauten gilt diese Ueberlegung innerhalb gewisser Grenzen (minimale Dimensionierung wird nicht unterschritten, Brenner und Kessel sind auf dem Markt nicht kontinuierlich in allen Grössen erhältlich). Bei der Sanierung von Altbauten kann die Situation eintreten, dass eine bestehende Heizung fortan im Schwachlastbetrieb, und deshalb mit schlechterem Wirkungsgrad, weiterarbeiten muss. Da aber auch Heizanlagen einem Erneuerungsrythmus unterworfen sind, kommt die Kosteneinsparung durch geringere Investitionen meist auch hier zum Tragen.

● Wertbeständigkeit des Gebäudes

Bei bauphysikalisch richtiger Ausführung des Wärmeschutzes wird die gesamte Gebäudekonstruktion geschützt. Dies gilt allerdings nur für fachgerecht ausgeführte Aussendämmung. Die Dauerhaftig-

keit der Bausubstanz sollte in Wirtschaftlichkeitsüberlegungen gebührend berücksichtigt werden.

Was sich langfristig als Dauerhaftigkeit der Bausubstanz äussert, bedeutet für die unmittelbare Zukunft des Gebäudes eine Verringerung des Bauschadenrisikos. Der einzelne Bauherr kann diese Risikoverminderung allerdings nur schwerlich in seiner wirtschaftlichen Optimierung berücksichtigen.

● Erhöhung der Wohnqualität

Thermische Behaglichkeit wird mit zunehmendem Wissen darüber zu einer gefragten Wohnungseigenschaft werden. Der eventuellen Einbusse an Nutzfläche durch die verbesserte Wärmedämmung steht ein Nutzwertzuwachs dank erhöhtem Wärme komfort gegenüber. Die momentan als Wärme komfort empfundene erhöhte Qualität der Wohnung hat längerfristig aber auch Auswirkungen auf das allgemeine Wohlbefinden und die Gesundheit des Benützers.

3.2 KOSTEN - NUTZEN - VERHAELTNIS

Nicht alle der angeführten Kosten-Nutzen-Elemente sind ohne weiteres quantifizierbar. Es gibt heute bereits eine Vielzahl von Vorschlägen, mit welchen Näherungsformeln die wirtschaftlich optimale Wärmedämmung am zweckmässigsten ermittelt werden soll. Die meisten sind neuen Datums und alle ermitteln die optimale Wärmedämmschichtdicke aufgrund der Aufwendungen und Ersparnisse bezogen auf einen Quadratmeter der Gebäudehülle. Diejenige Wärmedämmschicht-Dicke, die für einen einzelnen Quadratmeter am ergiebigsten ist, ist natürlich unter gleichen Bedingungen auch für die ganze Gebäudehülle optimal. Diese allgemeinen Rechenansätze berücksichtigen die spezifische Situation des einzelnen Gebäudes natürlich nicht. Sie können daher auch bloss Aussagen liefern über die Grössenordnung der optimalen Wärmedämmschicht-Dicke. Im Einzelfall sollten Bauherr und Architekt versuchen, alle Elemente der im vorhergehenden Abschnitt aufgeführten Liste in Rechnung zu stellen.

Die einzelnen Rechnungsarten sind schwierig zusammenzufassen und zu klassifizieren. Trotzdem soll hier versucht werden, eine einigermaßen geordnete Uebersicht zu geben, um in einem allgemeinen Kommentar allfällige Schlüsse ziehen zu können. Für die Herleitung der Formeln und der Rechnungsgrundlagen verweisen wir auf die Literatur.

3.2.1 Die Berechnung nach F. Venosta

Der Zürcher Architekt F. Venosta baut seit 30 Jahren optimal wärmegeämmte Bauten ($k = 0,35 \text{ W/K m}^2$ für die nichttransparenten Bauteile der Gebäudehülle). Insgesamt wurden bisher rund 2000 Wohnungen für verschiedene Baugenossenschaften erstellt.

Die Wohnungen sind gut vergleichbar mit den Wohnungen der Siedlung Letzigraben 209-221, die dem statistischen Amt der Stadt Zürich als Grundlage zur Ermittlung des Wohnbaukostenindex dienen. Das langjährige Mittel des Heizölverbrauchs pro Saison liegt bei den optimal wärmegeämmten Bauten von F. Venosta bei ungefähr 900 kg. Aus Angaben von Herrn Meister von der gemeinnützigen Baugenossenschaft Linmat-tal (Eigentümerin der Indexhäuser) lässt sich der mittlere Heizölverbrauch pro Wohnung und Heizperiode für die Jahre 1970 bis 1976 errechnen: Er liegt ziemlich genau bei 1'500 kg. Interessant ist, dass die Baukosten pro Kubikmeter der wärmegeämmten Bauten immer unter den Werten der Indexhäuser lagen. Der Vergleich kann allerdings nur als grundsätzliche Illustration dienen, dass gut geämmte Bauten nicht teuer zu sein brauchen. Für einen genauen Vergleich und generelle Aussagen müsste sehr sorgfältig abgeklärt werden, inwiefern sich die Wohnungen ausser der Wärmedämmung noch unterscheiden. So bewirkt beispielsweise ein grösserer Fensterflächenanteil sofort ein Ansteigen der Baukosten und der Wärmeverluste.

Wichtig im Zusammenhang mit dieser Arbeit ist, dass F. Venosta seine Bauten nicht aus Energiesparenthusiasmus sehr gut geämmt hat, sondern aus Wirtschaftlichkeitsgründen. Er arbeitet heute mit einer Optimierungsformel, die sehr viele Parameter berücksichtigt und die folgende Form hat:

$$y = m_D + m_L + m_H + b$$

y = Jährliche Energiekosten pro m² Gebäudehülle

m_D = Kapitaldienst der Wärmedämm-Investition (Wärmedämm-Material)

m_L = Zusätzlicher Landbedarf

m_H = Kapitaldienst der Heizanlage-Investition

b = Brennstoffkosten

Auf der Basis dieses Berechnungsansatzes wurden wirtschaftliche Optima ermittelt für die gegenwärtige Situation und unter Annahme verschiedener Brennstoffteuerungssätze. Auf den detaillierten Aufbau der Formel und die verschiedenen Resultate kann an dieser Stelle nicht näher eingetreten werden. Es soll nur noch erwähnt werden, dass F. Venosta mit seiner Berechnung auf optimale k-Werte von 0,25 bis 0,35 W/K m² kommt (je nach Bauteil; Wand, Dach, Boden). Dies entspricht Wärmedämmschichten von 10 bis 12 cm Stärke (Lit. 15 und 16).

Bereits 1971 hat das Autorenkollektiv Brunner/Fierz/Grossfeld/Rieben als Ergänzung zur SIA-Empfehlung 180 einen ziemlich differenzierten Berechnungsvorschlag für die wirtschaftliche Optimierung der Wärmedämmung vorgelegt (Lit. 29). In einem eigenen Beispiel errechnen sie den wirtschaftlich optimalen k-Wert für eine Aussenwand mit 0,36 W/K m² (16 cm Beton + 10 cm Wärmedämmstoff). Leider hat sich auch mit dieser Grundlage die wirtschaftliche Optimierungsrechnung nicht durchgesetzt.

3.2.2 Wärmeschutzinvestition versus Brennstoffeinsparungen

Verschiedene Autoren (Lit. 9, 17, 18, 19, 20, 21, 22) reduzieren die Frage der wirtschaftlich optimalen Wärmedämmung auf deren zwei Hauptkomponenten: die Aufwendungen für den verbesserten Wärmeschutz und die dadurch erzielten Brennstoffeinsparungen. Im Einzelfall wird oft von den Autoren im Rahmen zusätzlicher Betrachtungen oder Berechnungen auf in der Formel vernachlässigte Bereiche eingetreten (Einsparungen bei der Heizungsdimensionierung, Brennstoffteuerung usw.). Durch die relative Einfachheit der Formeln sind diese gut

zu handhaben.

Als Beispiel sei der Berechnungsvorschlag von R. Weiersmüller angeführt:

$$d_{I \text{ opt}} = \sqrt{\frac{2,4 \cdot \lambda \cdot \text{HGT} \cdot P_M}{I \cdot a \cdot \eta_{\text{Kessel}}}} - d_{\text{äq}}$$

$d_{I \text{ opt}}$ = wirtschaftlich optimale Stärke der Wärmedämmschicht

λ = Wärmeleitzahl des Wärmedämm-Materials (W/K m²)

HGT = Heizgradtage

P_M = Brennstoffpreis (Fr./kWh)

I = Preis des zusätzlich für einen verbesserten Wärmeschutz erforderlichen Wärmedämm-Materials (Fr./m²·cm)

a = Annuität

η = Wirkungsgrad der Heizung

$d_{\text{äq}}$ = äquivalente Wärmedämm-Dicke (Der aus statischen und bauhygienischen Gründen vorhandene Wärmeschutz, ausgedrückt in cm Wärmedämmstoff)

R. Weiersmüller geht davon aus, dass bei der Planung von Neubauten Wärmedämmstoffe eingesetzt werden. Die Grundkosten für die Montage einer Wärmedämmung und deren Schutz müssen also ohnehin geleistet werden. In die Rechnung werden also die reinen Materialkosten für die zusätzliche Wärmedämmung eingesetzt.

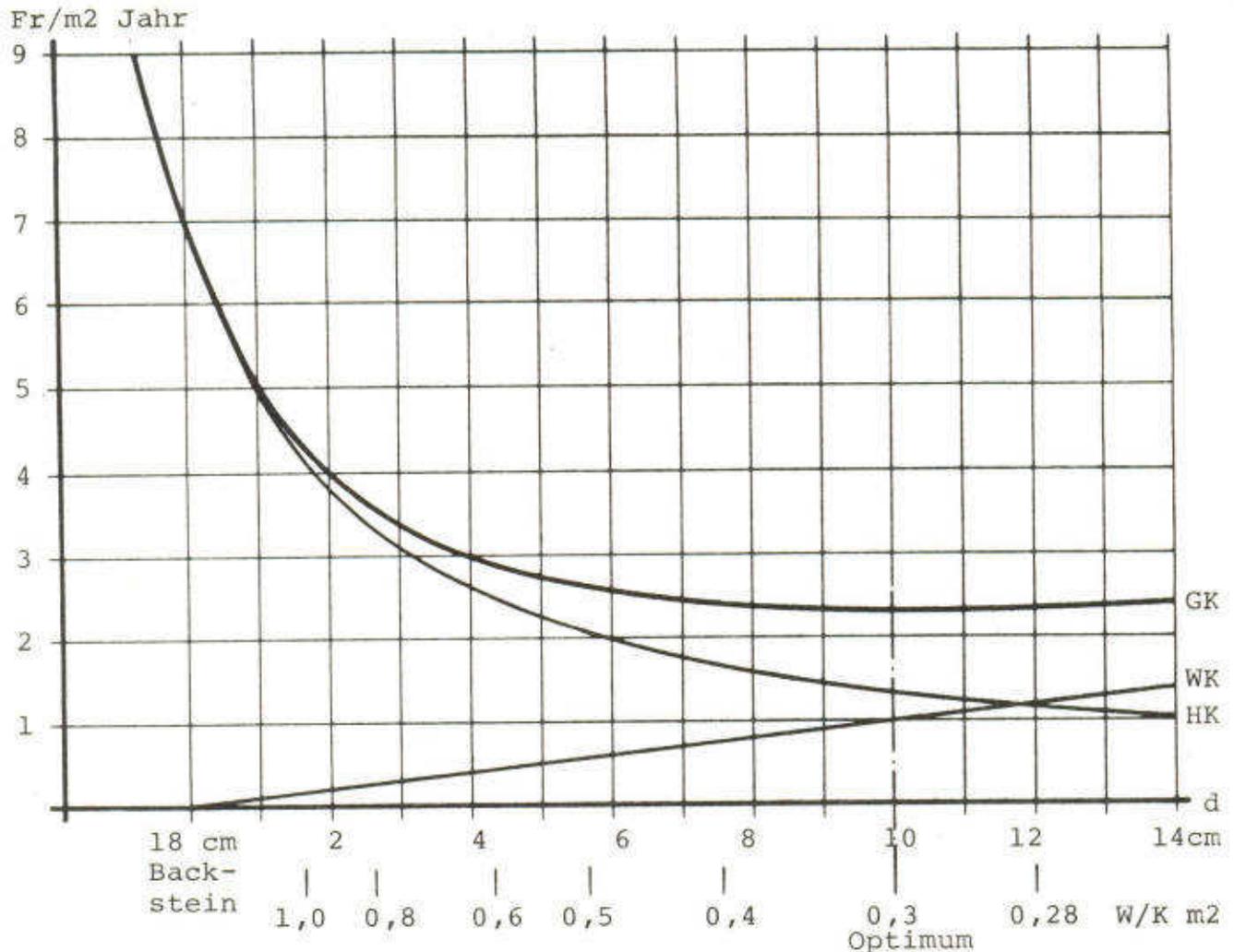
Beim heutigen Standard der Wärmedämmung trifft diese Annahme sicher noch nicht für jeden Fall zu. Es kann aber festgestellt werden, dass die Auflage, dass für die nichttransparenten Bauteile der Gebäudehülle Wärmedämmstoffe verwendet werden sollen, nicht a priori zu einer massgeblichen Verteuerung dieser Bauteile führen muss. Es ist deshalb durchaus vernünftig, den rechnerischen Ansatz von R. Weiersmüller für die Abschätzung der wirtschaftlich optimalen k-Werte zu verwenden.

Weiersmüller kommt mit seiner Berechnung auf folgende optimale Wärmedurchgangszahlen (Mittelland, heutiger Heizölpreis, Wärmedämm-Materialkosten Fr. 1.- pro m² pro cm):

Dach	k_{opt}	=	0,23 W/K m ² ,	entspr. 15 cm Wärmedämmung
Wand	k_{opt}	=	0,26 W/K m ² ,	entspr. 13 cm "
Boden	k_{opt}	=	0,38 W/K m ² ,	entspr. 8 cm "

Die Wärmedämm-Materialkosten sind in dieser Berechnung allerdings recht tief angesetzt. Berücksichtigt man aber die Tatsache, dass weder die kleinere Dimensionierung der Heizanlage noch die Einsparungen durch Absenkung der Raumlufttemperatur berücksichtigt werden, dann dürften die optimalen k-Werte sicher in diesem Bereich liegen.

Brennstoffkosten und Kapitaldienste der Wärmeschutzinvestition stellen in Abhängigkeit der Wärmedurchgangszahl zwei Kurven dar, deren Summe für einen bestimmten k-Wert den Tiefstpunkt erreicht: das wirtschaftliche Optimum. Durch unterschiedliche Annahmen der beteiligten Parameter wird das Optimum zwar verschoben, die Verlaufskarakteristik der Kurve ändert sich aber nur wenig. Figur 4 zeigt diesen typischen Verlauf: mit zunehmender Wärmedämmung sinken die gesamten Energiekosten für den betrachteten Bauteil rapide ab und steigen vom Tiefstpunkt mit weiter zunehmender Wärmedämmung nur sehr langsam wieder an. Das sehr langsame, kaum ins Gewicht fallende Ansteigen der Energiekosten hängt mit den vergleichsweise sehr tiefen Volumenpreisen der Wärmedämmstoffe zusammen.



Figur 4: Energiekosten von wärmedämmten Bauteilen der Gebäudehülle.

d = Dicke der Wärmedämmschicht

GK = gesamte jährliche Energiekosten pro m² Aussenwand, Dach oder Boden. (= WK + HK)

WK = Kapitaldienst und Amortisation der Wärmedämmung

HK = Brennstoffkosten

Gebäude werden nach ihrer Erstellung während Jahrzehnten betrieben. Im Rahmen einer wirtschaftlichen Optimierung der Wärmedämmung kann man deshalb nicht umhin, die möglichen zukünftigen Entwicklungen in die Ueberlegungen einzubeziehen. Die grosse Unbekannte für diese Ueberlegungen ist die Energiepreisentwicklung. Die Wahrscheinlichkeit, dass Heizenergie in den nächsten Jahrzehnten weiterhin teurer wird, ist jedoch ziemlich gross. Das würde bedeuten, dass der steil abfallende Ast der Energiekostenkurve für die Gebäudehülle weiter nach rechts verschoben würde. Die ehemals wirtschaftlich optimale Dämmstärke hätte dann sofort relativ hohe Energiekosten zur Folge. Es ist daher angezeigt, eher über das unter den heutigen Umständen

errechnete wirtschaftliche Optimum zu dämmen, weil dadurch mit kleinem Aufwand (flacher Kurvenanstieg) dem Risiko der Brennstoffkostenteuerung begegnet werden kann.

Anstatt von den kontinuierlichen Wärmeverlusten durch die Konstruktion auszugehen und den Brennstoffpreis in die Rechnung einzusetzen, kann auch die Betriebsdauer der Heizung (Vollbetriebszeit) und der Wärmepreis (z.B. 0,05 Fr./Mcal) der Rechnung zugrunde gelegt werden (Lit. 9 und 22).

Von Escher und Hintermann schlagen in ihrem Vorlesungspapier folgende Formel vor:

$$d_{I \text{ opt}} = \sqrt{\frac{E \cdot V \cdot \text{HGT} \cdot \lambda}{a \cdot P_I}} - \frac{\lambda}{k_o}$$

E = Wärmepreis (Fr./Energieeinheit)

V = Vollbetriebsstundenzahl

a = Annuität

P_I = Kosten des Dämm-Materials (Fr./m³)

k_o = Wärmedurchgangszahl der Wand ohne Dämmschicht

Als Beispiel wird ein Zweischalenmauerwerk für eine Aussenwand gerechnet. Die wirtschaftlich optimale Dämmschicht-Stärke liegt bei 9 cm Wärmedämmstoff.

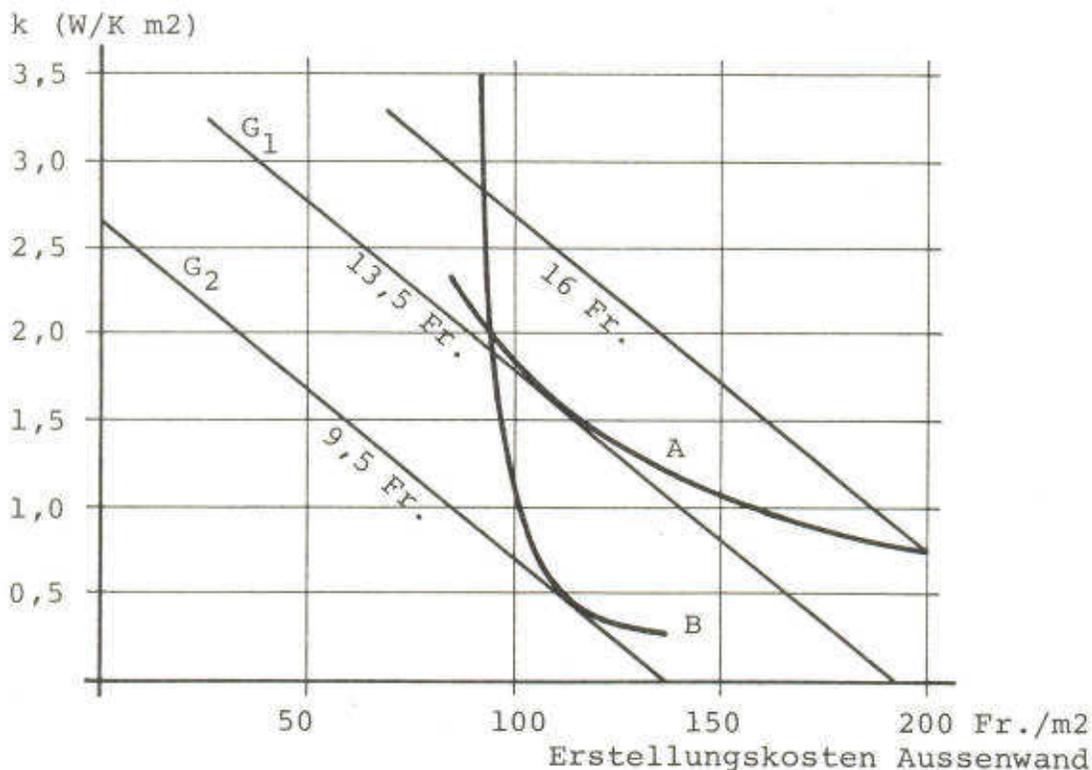
3.2.3 Energiekostengünstigste Gebäudehüllekonstruktion

Anstatt von gegebenen Grundkosten für die Aussenwand und zusätzlich linear ansteigenden Kosten für die weitere Wärmedämmung auszugehen, können die Erstellungskosten der ganzen Konstruktion des Bauteils seinen Wärmedämmfähigkeiten gegenübergestellt werden. Damit können verschiedene Konstruktionsarten auf ihre unterschiedliche wärmetechnische Leistungsfähigkeit hin untersucht und verglichen werden. Mit diesem Ansatz kommen zwei Autoren (Lit. 23 und 24) zu einem graphischen Optimierungsverfahren, das sich sehr gut für vergleichende Untersuchungen eignet. Im Folgenden sei kurz die Methode nach Dr. E. Loch dargestellt.

$$P_j = a \cdot P_M + \frac{G \cdot P}{H_u \cdot \eta} \cdot k$$

- P_j = Gesamtkosten pro Jahr für 1 m² Mauerwerk (oder sonstiger Bauteil der Gebäudehülle). Die Gesamtkosten setzen sich zusammen aus den beiden Summanden der Gleichung: Kapitalkosten und Energie-(Betriebs)kosten.
- a = Annuität
- P_M = Erstellungspreis für 1 m² Mauerwerk (oder anderer Bauteil der Gebäudehülle). (Fr./m²)
- G = Heizgradstunden (h · °C)
- p = Brennstoffpreis (Fr./kg)
- H_u = Heizwert des Brennstoffs (Wh/kg)
- η = Wirkungsgrad der Heizung
- k = Wärmedurchgangszahl (W/K m²)

Die auf diese Weise ermittelten Gesamtkosten für das betreffende Gebäudehüllenelement können numerisch verglichen werden mit entsprechenden Resultaten für andere Konstruktionen. Besonders gut aber eignet sich das Verfahren, um die verschiedenen Konstruktionen in einer graphischen Darstellung einander gegenüberzustellen.



Figur 5: Wirtschaftliche Optima verschiedener Bauteile der Gebäudehülle.

Wie aus der Formel hervorgeht, sind die Gesamtkosten pro m² Gebäudehüllenelement linear abhängig von den Erstellungskosten und der Wärmedurchgangszahl. Gleiche Gesamtkosten liegen also im Diagramm auf einer Geraden und eine Erhöhung oder Absenkung bewirkt eine Parallelverschiebung der Geraden G₁ und G₂. Jede Konstruktion weist bei bestimmten Kosten einen entsprechenden k-Wert auf und lässt sich also in Figur 5 durch einen Punkt darstellen.

Wird bei einer Konstruktion nur die Dicke der Wärmedämmschicht variiert, dann wird im Diagramm eine hyperbelähnliche Kurve (A,B) beschrieben. Der Berührungspunkt dieser Kurve mit einer Gesamtkostengeraden stellt das wirtschaftliche Optimum der Konstruktion dar. In diesem Punkt erreicht die Kurve die Gesamtkostengerade mit dem tiefsten Wert. Auf der Kurve A beispielsweise liegen die Werte für unterschiedlich starke Backsteinmauern ohne Wärmedämmung. Mit sehr dicken Backsteinmauern lassen sich durchaus k-Werte von 0,7 kcal/h·m² °C (0,8 W/K m²) erreichen. Die Erstellungskosten liegen dann allerdings sehr hoch (200 Fr./m²), sodass der Kapitaldienst für diese Investition nicht mehr durch Brennstoffeinsparung wettgemacht wird. Der entsprechende Punkt auf der Kurve A liegt ganz rechts aussen im Diagramm und die zugehörige Gesamtkostengerade liegt auf einem Niveau von etwa 16 Fr./m². Das wirtschaftliche Optimum für die einfache Backsteinmauer liegt bei einer Stärke von 18 cm (plus Verputz). Dieses Mauerwerk kann für etwa 110 Fr./m² erstellt werden (Angaben 1974) und erreicht einen k-Wert von 1,4 kcal/h·m² °C (1,6 W/K m²). In diesem Punkt tangiert die "Backsteinkurve" die Gesamtkostengerade G₁, die den Gesamtkostenwert 13,5 Fr./m² darstellt.

Auf der Kurve B liegen die Werte für eine Betonwand mit innenliegender Wärmedämmung (bauphysikalisch heikel!). Mit der Wahl immer dickerer Wärmedämmschichten steigt der Preis für die gesamte Konstruktion leicht an und der k-Wert sinkt rapide. Bei Erstellungskosten von etwa 115.- Fr./m² wird das wirtschaftliche Optimum erreicht: die Gesamtkosten liegen bei etwa 9,5 Fr./m² (Gerade G₂). Der zugehörige k-Wert von 0,45 kcal/h·m² °C (0,52 W/K m²) wird durch das Aufbringen von 6 cm Kunststoff-Hartschaum auf die 20 cm starke Betonwand erzielt.

Die wirtschaftlichen Optima sind natürlich abhängig von all den Parametern, die für die obigen Ueberlegungen konstant belassen wurden: Heizgradtage, Zinssatz, Heizwert des betreffenden Brennstoffes usw. Im Diagramm bestimmen diese Parameter die Neigung der Gesamtkostengeraden. Eine Erhöhung des Brennstoffpreises bewirkt z.B., dass die Gerade weniger steil abfällt. Dadurch wird der Tangentialpunkt, also das wirtschaftliche Optimum, nach rechts verschoben: Höhere Investitionen werden lohnend, auch wenn sie eine bescheidenere k-Wert-Verbesserung bringen als die letzten 10% der Investition.

Dr. E. Loch empfiehlt in seinen Ausführungen, dass die k-Werte für Aussenmauern aus wirtschaftlichen Gründen tiefer als $0,35 \text{ W/K m}^2$ konzipiert werden sollen.

3.3 DIE BEDEUTUNG DER WIRTSCHAFTLICH OPTIMALEN WAERMEDAEMMUNG

Es wurde in dieser Arbeit eine Uebersicht über die verschiedenen Berechnungsmethoden zur Ermittlung der wirtschaftlich optimalen Wärmedämmung gegeben, um einen Beitrag zu leisten, dass Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bezüglich Wärmedämmung in der Praxis vermehrt angewendet werden. Es ist bis heute nicht üblich, dass die verantwortlichen Bauplaner solche Berechnungen anstellen. Wir glauben aber, dass die Resultate dieser Untersuchungen in breitem Masse Anwendung finden werden, sobald sie unter Bauherren und Bauplanern genügend bekannt sind.

Eine auf das statische Mindestmass dimensionierte einschalige Konstruktion als Fassadenwand ist im schweizerischen Klimabereich nirgends durchführbar: Es würde unweigerlich Kondenswasser an der inneren Wandoberfläche anfallen. Die Materialpreise für die statisch tragenden Baustoffe sind aber derart hoch, dass eine einschalige Konstruktion ohne Wärmedämmstoffe immer nur auf das von der Bauhygiene oder vom Gesetzgeber geforderte Minimum dimensioniert wird.

Einschalige Wandkonstruktionen sind einfach in der Herstellung und entsprechend billig. Damit ein Mindestwärmeschutz gewährleistet ist,

müssen sie aber in der Regel stärker dimensioniert werden, als aus statischen, aber auch aus energiekosten-optimalen Gründen sinnvoll wäre. Da tragfähige Baumaterialien relativ teuer sind, liegt dieses Optimum bei geringen Wandstärken: bei einer Backsteinwand kostet bereits der neunzehnte Zentimeter mehr, als durch die damit verbundene Heizenergieeinsparung bei heutigen Energiepreisen gespart wird (vgl. Abschnitt 4.2.3). Trotzdem kann der Preis für ein an sich überdimensioniertes Backsteinmauerwerk wegen der Einfachheit der Konstruktion tiefer sein als für eine mehrschalige Konstruktion. Dies allerdings nur bis zu einer bestimmten Grenze: Mit steigenden Anforderungen an die Wärmedämmfähigkeit der Konstruktion wird es aber immer unwirtschaftlicher, die geforderten k-Werte durch eine weitere Verstärkung der Tragwand zu erreichen. Bei ungefähr 0,6 W/K m² dürfte heute die Grenze liegen, wo der Einsatz von Wärmedämmstoffen für Fassadenwandkonstruktionen auf jeden Fall die wirtschaftlichste Lösung darstellt.

Dächer und Fassadenwände (ohne Fenster und Türen) mit k-Werten von 0,6 W/K m² und darunter werden im Rahmen der heutigen Baupraxis in der Schweiz täglich erstellt. 0,6 W/K m² als oberen zulässigen k-Wert festzusetzen ist deshalb ohne weiteres zumutbar: es sind damit nicht a priori finanzielle Mehraufwendungen verbunden. Allenfalls werden durch diese Anforderung einige wärmetechnisch ungünstige Konstruktionen stark verteuert und verlieren dadurch ihre Konkurrenzfähigkeit. Durch die Festlegung des k-Werts auf diesem Niveau würde die Schwelle erreicht, wo in allen Fällen Wirtschaftlichkeitsüberlegungen wesentlich tiefere k-Werte erstrebenswert machen. Denn wenn Wärmedämmstoffe eingesetzt werden, liegt das wirtschaftliche Optimum wegen des ausgesprochen tiefen Volumenpreises dieser Materialien bei sehr tiefen k-Werten, lohnen sich also Wärmedämmschichten von 8 und mehr cm Dicke auf jeden Fall.

3.4 DIE WIRTSCHAFTLICHKEIT VON NACHTRÄGLICHER WÄRMEDAEMMUNG AN BESTEHENDEN GEBÄUDEN

Die vorgängig vorgestellten Berechnungsmethoden gelten in der Regel nur für Neubauten. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen bezüglich nachträglicher Wärmedämmung bestehender Gebäude können nicht so allgemein sein, weil die Voraussetzungen in den einzelnen konkreten Fällen sehr verschieden sind. So können denn auch die Kosten für die einzelnen Massnahmen in einem sehr weiten Bereich streuen:

- Der Einfamilienhausbesitzer, der sein Dach im Selbstbau eigenhändig dämmt, kann mit den reinen Materialkosten rechnen. Da meist eine ausgesprochen schlecht wärmedämmende Konstruktion vorhanden ist, machen sich diese Investitionen in der Regel in-ner kürzester Frist bezahlt.
- Innendämmung der Fassadenwände kann je nach Umfang der ohnehin durchgeführten Renovation relativ geringe Mehrkosten verursachen. Müssen hingegen Boden- und Wandanschlüsse eigens wegen der Wärmedämmung neu an die Wand angepasst werden, dann wird die Massnahme sofort bedeutend teurer.

Innendämmung bietet die Möglichkeit, einzelne Raumwände, -böden und Dachteile wärmetechnisch zu sanieren. So kann man sich etwa auf windexponierte Nordwände beschränken, wo mit der gleichen Wärmedämmung wesentlich mehr Energie eingespart werden kann, als etwa an einer stark besonnten, windgeschützten Südwand, was natürlich auch einen entsprechenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Massnahme hat. Partielle Innendämmung bewirkt auch, dass zumindest nicht alle für den Wärmekomfort wichtigen Speichermassen der Gebäudehülle durch die Wärmedämmschicht aus dem Warmraum gerückt werden. Wird ein Raum durchgehend auf der Innenseite gedämmt, fehlen oft nachher die schweren Bauteile der Gebäudehülle als Temperaturpuffer (vgl. Abschnitt 2.5).

- Wird die Wärmedämmung des Bodens in Form einer schwimmenden Konstruktion durchgeführt, dann ist die Massnahme relativ teuer. Da aber durch einen schwimmenden Boden eine grosse schallschutz-

technische Verbesserung erreicht wird, können nicht die ganzen Kosten dem Wärmeschutz angelastet werden.

- Für eine Fassadenerneuerung (Gerüst erstellen, Verputz abschlagen, neuer Verputz, Malen) muss mit Kosten in der Grössenordnung von 50.- bis 60.- Fr./m² (bezogen auf die gesamte Fassadenfläche, inkl. Fenster und Türen, Kostenstand 1981) gerechnet werden. Für Aussendämmsysteme muss in günstigen Fällen mit zusätzlichen Aufwendungen von etwa 50.- bis 60.- Fr./m² gerechnet werden, also mit totalen Kosten von 100.- bis 120.- Fr./m². Insbesondere bei zweischaligen Konstruktionen kann aus bauphysikalischen, ästhetischen oder anderen Gründen ein Witterungsschutz gewählt werden (Kunststein, Holz, Metall usw.), der zusätzliche Mehrkosten von bis zu 50.- Fr./m² (total also 150.- bis 170.- Fr./m²) bewirkt. Diese Preise gelten für Wärmedämmschichten von 4 bis 6 cm Stärke (Preisbasis 1981). Diese Kosten erhöhen sich, wenn eine wirklich gute Wärmedämmung von 8 cm und mehr angebracht werden soll, was zur Zeit noch nicht von allen Aussendämmsystemen geleistet werden kann. Wie bereits im Abschnitt 4.2. aufgezeigt, lohnt es sich, relativ starke Wärmedämmschichten einzusetzen. Dickere Wärmedämmschichten sind bei Kompaktsystemen mit relativ grösseren Mehraufwendungen verbunden (ca. 3.- Fr./m²) als bei hinterlüfteten Fassaden (ca. 2.- Fr./m²).

Auch diese Angaben stellen gerundete Durchschnittswerte dar. In der Praxis können die Werte erheblich schwanken, sodass die gleiche Massnahme bei verschiedenen Gebäuden sich in recht unterschiedlichen Zeiträumen amortisiert. Auch sind die durch einen nachträglich verbesserten Wärmeschutz bedingten Auswirkungen auf Behaglichkeit und Konstruktion unterschiedlich und kaum zu quantifizieren.

Die Liste der verschiedenen Wärmedämm-Massnahmen könnte noch um viele Punkte erweitert werden: Kellerdecken, Flachdächer, Nassräume usw. Ueberall werden die Kosten durch spezifische Probleme beeinflusst und für jede Massnahme muss im konkreten Fall die Wirtschaftlichkeit bzw. die Kapitalrückflusszeit abgeschätzt werden.

Wichtig für diese Arbeit ist die Feststellung, dass viele mögliche Massnahmen in einem Grenzbereich zwischen Rentabilität und Unwirtschaftlichkeit und knapp darunter liegen. Dieses aus wirtschaftlichen Gründen brachliegende Energiesparpotential reagiert stark auf geringfügige Veränderungen der gegenwärtigen Situation. Ein weiteres Ansteigen der Heizenergiepreise oder eine Verbilligung der Wärmedämm-Massnahmen (durch finanzielle Unterstützung oder weiterentwickelte Techniken) würde wesentlich dazu beitragen, dass das Energiesparpotential der Wärmedämmung ohne äusseren Zwang optimal ausgenutzt würde.

3.5 DAS WIRTSCHAFTLICHE OPTIMUM BEZUEGLICH BAUKOSTEN UND BEZUEGLICH GEBRAUCHSKOSTEN

Die gesamten Gebäudekosten lassen sich unterteilen in die Erstellungskosten bzw. die daraus resultierende Zins- und Amortisationsrate und die Betriebskosten. Ist der Bauherr selbst Benutzer seines Gebäudes und betreibt es auch selbst, dann wird er darauf achten, dass die Gesamtkosten nach Möglichkeit minimiert werden. Oft sind aber am Entstehen und Betrieb eines Gebäudes verschiedene Personen beteiligt:

- Der Benützer (Mieter) zahlt Kapital- und Betriebskosten. In seinem Interesse wäre die Minimierung der Gesamtkosten. In der Regel hat er aber keine Möglichkeit, auf die Erstellungskosten Einfluss zu nehmen. Ihm bleibt allenfalls die Auswahlmöglichkeit (wo Angebot und Nachfrage in einem vernünftigen Verhältnis stehen, was mindestens in städtischen Verhältnissen heute nicht der Fall ist). Nicht immer aber ist es einfach zu erkennen, ob an einem Gebäude zu Lasten der Betriebskosten an den Erstellungskosten gespart wurde.
- Der Bauherr und/oder Eigentümer will möglichst tiefe Baukosten. Die Rendite besteht aus der Differenz zwischen der vom Benutzer bezahlten Miete und den aus den Erstellungskosten bzw. dem Kaufpreis resultierenden Kapitaldiensten (plus fixe Nebenkosten).

Die Betriebskosten laufen nicht über seine Rechnung.

- Da der Architekt in den seltensten Fällen mit dem späteren Betreiben seiner Gebäude etwas zu tun hat, besteht oft die Tendenz, dass er die Baukosten über das Gesamtkostenoptimum hinaus minimiert.

Das Phänomen, dass der proportional zu den Baukosten entlohnte Architekt dazu neigt, eher hohe Baukosten zu erreichen, was an sich einer verbesserten Wärmedämmung förderlich wäre, wird in der heutigen Situation der Bauwirtschaft nicht sehr ausgeprägt vorhanden sein.

Aus dieser vereinfachten Darstellung geht hervor, dass die wirtschaftliche Optimierung der Wärmedämmung in der Realität verzerrt werden kann, indem die einzelnen Kostenanteile von verschiedenen Leuten getragen werden. Daraus sollte nicht gefolgert werden, dass der Bauherr/Eigentümer auch die Betriebskosten in seine Rechnung aufnehmen sollte. Damit würde für den Mieter jeder Anreiz zum sparsamen Umgang mit Heizenergie hinfällig.

Wie im SES-Report Nr. 3 (Lit. 25) dargelegt wird, sollte nach Möglichkeit jeder Benutzer seinen Verbrauch selbst steuern können und auch bezahlen müssen. Würde dem Mieter aber die Gelegenheit gegeben, seine Wahl aufgrund von Informationen über die Gesamtkosten des Mietobjekts zu treffen, dann würde für den Bauherrn und Vermieter auch eine Motivation bestehen, die Gesamtkosten zu minimieren, also den wirtschaftlich optimalen Wärmeschutz einplanen zu lassen. Die nach standardisierten Methoden errechnete "Warmmiete" würde eine wärmetechnische Kennziffer darstellen, die dem Mieter bessere Vergleichsmöglichkeiten der Mietobjekte geben könnte. Der tatsächliche Heizenergieverbrauch allerdings sollte vom Benutzer bezahlt werden. Der Verbrauch kann dann je nach Sparanstrengung des Mieters über oder unter dem Niveau liegen, das für die Errechnung der Warmmiete angenommen wurde. Die Transparenz der Warmmietpreise ist allerdings (bedingt durch die Eigenheiten des Wohnungsmarktes) ein relativ schwaches Instrument. Bei einer starken Nachfrage nach Wohnungen wird sich kein Bauherr und Vermieter wesentlich durch die Warmmietenrechnung beeinflussen lassen. Erheblich wirksamer wären Regelungen, nach denen

der Vermieter sich an den Brennstoffkosten beteiligen müsste. Wenn vom Mieter jeweils z.B. die Hälfte der über einem zu bestimmenden Wert liegenden spezifischen Brennstoffkosten (Fr./m³) auf den Vermieter abgewälzt werden könnten, fänden die Heizkosten Eingang in die Rechnung des Eigentümers. Damit hätte auch dieser ein vermehrtes Interesse, nicht bloss die Baukosten, sondern die Gesamtkosten zu minimieren.

Immerhin ist es nicht im Interesse des Bauherrn, möglichst wenig in den Wärmeschutz zu investieren. Einige Posten der Ertragsseite der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bezüglich Wärmeschutz sind auch für ihn in jedem Falle wirksam: Kleinere Heizungsanlage bedeutet auch geringere Baukosten; besserer Schutz der Konstruktion (Bauschadenrisiko, Dauerhaftigkeit).

E. Attlmayr (Lit. 26 und 27) unterscheidet zwischen wohnkostenminimalem Wärmeschutz (niedrigste Gesamtkosten) und baukostenminimalem Wärmeschutz (niedrigste Baukosten). Er zeigt auf, dass bis zu einem bestimmten Punkt der Aufwand für verbesserte Wärmedämmung ausgeglichen wird durch die Minderkosten für die kleinere Heizanlage. Die aus diesen beiden Kostenanteilen zusammengesetzten Gesamtkosten liegen nach seinen Berechnungen für Aussenmauer-k-Werte von 0,6 W/K m² am tiefsten. Nach P. Bossert (Lit. 28) liegt das Baukostenminimum sogar bei noch tieferen k-Werten. Beide Autoren rechnen mit einem Beispiel und müssen dabei etliche Annahmen treffen. Ihre Resultate sind unseres Erachtens etwas optimistisch. Die grundsätzliche Aussage aber bleibt sicher gültig: guter Wärmeschutz ist auch aus der Sicht der Baukostenminimierung erwünscht.

Die Berücksichtigung der Kostenaufteilung auf Eigentümer und Mieter ist zwar wichtig, doch bleibt diese Erscheinung ein Sonderproblem, das gesamthaft gesehen nicht übermässig schwer wiegen dürfte. In der überwiegenden Zahl aller Fälle darf angenommen werden, dass in Wirtschaftlichkeitsüberlegungen auch die Betriebskosten Eingang finden, wie dies bereits in der SIA-Empfehlung 180 vom Fachmann gefordert wird. In einer ausgezeichneten Arbeit hat P. Winkelmann (Lit. 45) die bestehenden Berechnungsansätze zur Ermittlung der wirtschaftlich optimalen ("wohnenkostenminimalen") Wärmedämmung verglei-

chend zusammengefasst. Die Resultate der verschiedenen Berechnungsansätze liegen recht nahe beieinander, sodass es ihm möglich ist, zusammenfassend wirtschaftliche k-Wert-Anforderungen aufzustellen:

	bis 800 m.ü.M. k (W/K m ²)	über 800 m.ü.M. k (W/K m ²)
Wand, Boden über Aussenklima	0,35	0,3
Dach	0,3	0,23
Fenster	3,0 (Doppelverglasung)	2,0 (Dreifachverglasung)

Tabelle 3: Wirtschaftlich optimale k-Werte, Mittel verschiedener Berechnungen. (Nach P. Winkelmann, Lit. 46)

Die wirtschaftlich optimalen k-Werte liegen also für die nichttransparenten Bauteile relativ tief. Das Problem der Durchsetzung verbesserter Wärmedämmung dürfte daher in Zukunft weniger in einer allfälligen finanziellen Unzumutbarkeit von k-Wert-Anforderungen liegen, sondern in der technisch-bauphysikalischen Durchführbarkeit. Zwar gibt es durchaus Konstruktionen, mit denen diese k-Werte mühelos und ohne bauphysikalische Risiken erreicht werden können. Umgekehrt taugt aber nicht jede Wärmeschutzkonstruktion bis zu so tiefen k-Werten. Hier besteht zur Zeit noch ein Erfahrungsmangel und droht deshalb ein gewisses Bauschadenrisiko.

4. Energieersparnis

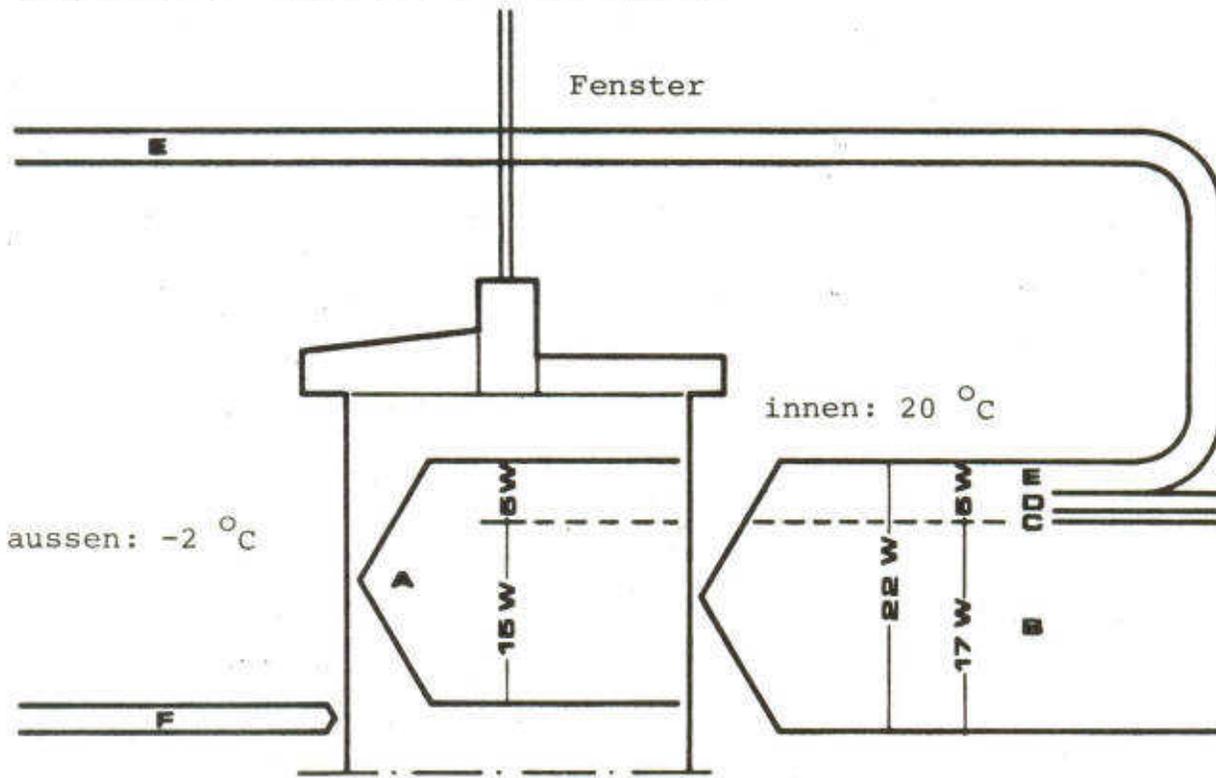
4.1 THEORIE UND PRAXIS

Mit der Ermittlung der wirtschaftlich optimalen Wärmedämmung ist noch nichts ausgesagt über die Menge Brennstoff, die tatsächlich eingespart wird. Aufgrund standardisierter Voraussetzungen kann in vergleichenden Berechnungen das wirtschaftliche Optimum beispielsweise bei 8 cm Wärmedämmstoff lokalisiert werden. In der Praxis hängt es dann sehr stark von vielen lokalen und gebäudespezifischen Faktoren ab, wieviel Wärme weniger durch den gedämmten Bauteil abfließt.

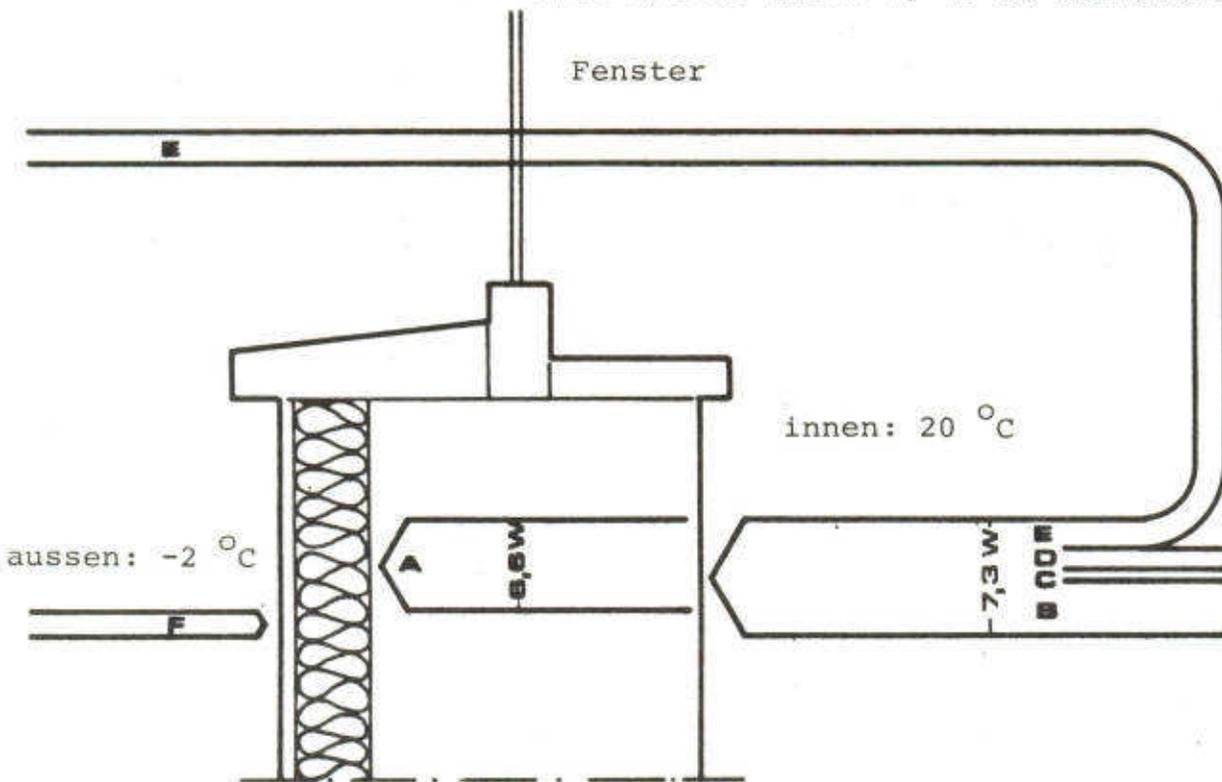
Anhand von Figur 6 soll illustriert werden, welche Faktoren auf welche Weise die Energieeinsparung durch verbesserte Wärmedämmung beeinflussen. Situation 1 zeigt einen Wandquerschnitt mit dem k-Wert von $1,0 \text{ W/K m}^2$. Das bedeutet, dass pro Grad Celsius Temperaturdifferenz innen-aussen durch jeden Quadratmeter der Wand 1,0 Watt verloren geht. Bei einer Aussentemperatur von -2° C und einer Raumtemperatur von 20° C ist also ein Wärmeabfluss von 22 Watt pro m^2 zu erwarten.

Die Wärme im Raum ist verschiedenen Ursprungs. Ein Teil wird durch die Heizung beispielsweise über Heizkörper dem Raum zugeführt (B), ein Teil wird durch Haushaltgeräte, Kochplatten, Beleuchtung, Fernseher usw. eingebracht (C). (Der Gesamtverbrauch an Elektrizität fällt letztlich als Abwärme im Raum an). Weitere Wärme bringt die Sonne durch Süd-, Ost- und Westfenster (E) und schliesslich ist je nach Fall eine unterschiedliche Menge an Abwärme von menschlichen Körpern (Energiezufuhr, Nahrung) und allfälligen Cheminees, Heizstrahlern usw. zu erwarten (D). Die auf der Wandaussenseite auftreffende Sonnenstrahlung wird teilweise absorbiert. Diese Fassaden-

SITUATION 1: Wand mit $k = 1,0 \text{ W/K m}^2$



SITUATION 2: Wand mit $k = 0,33 \text{ W/K m}^2$ (Wand 1, +8 cm Dämmstoff)



Figur 4: Schematisches Beispiel für den Wärmeabfluss aus dem Raum an die Umwelt unter Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung und innerer Abwärmen.

A = Wärmefluss durch die Aussenwand pro Quadratmeter und Grad Kelvin

B = Wärmeanteil, der durch die Heizungsanlage dem Raum zugeführt wird

C = Innere Abwärme durch Beleuchtung, Kochplatten, Haushaltgeräte usw.

D = Innere Abwärme durch allfällige Cheminees, Heizstrahler, Körperwärme usw.

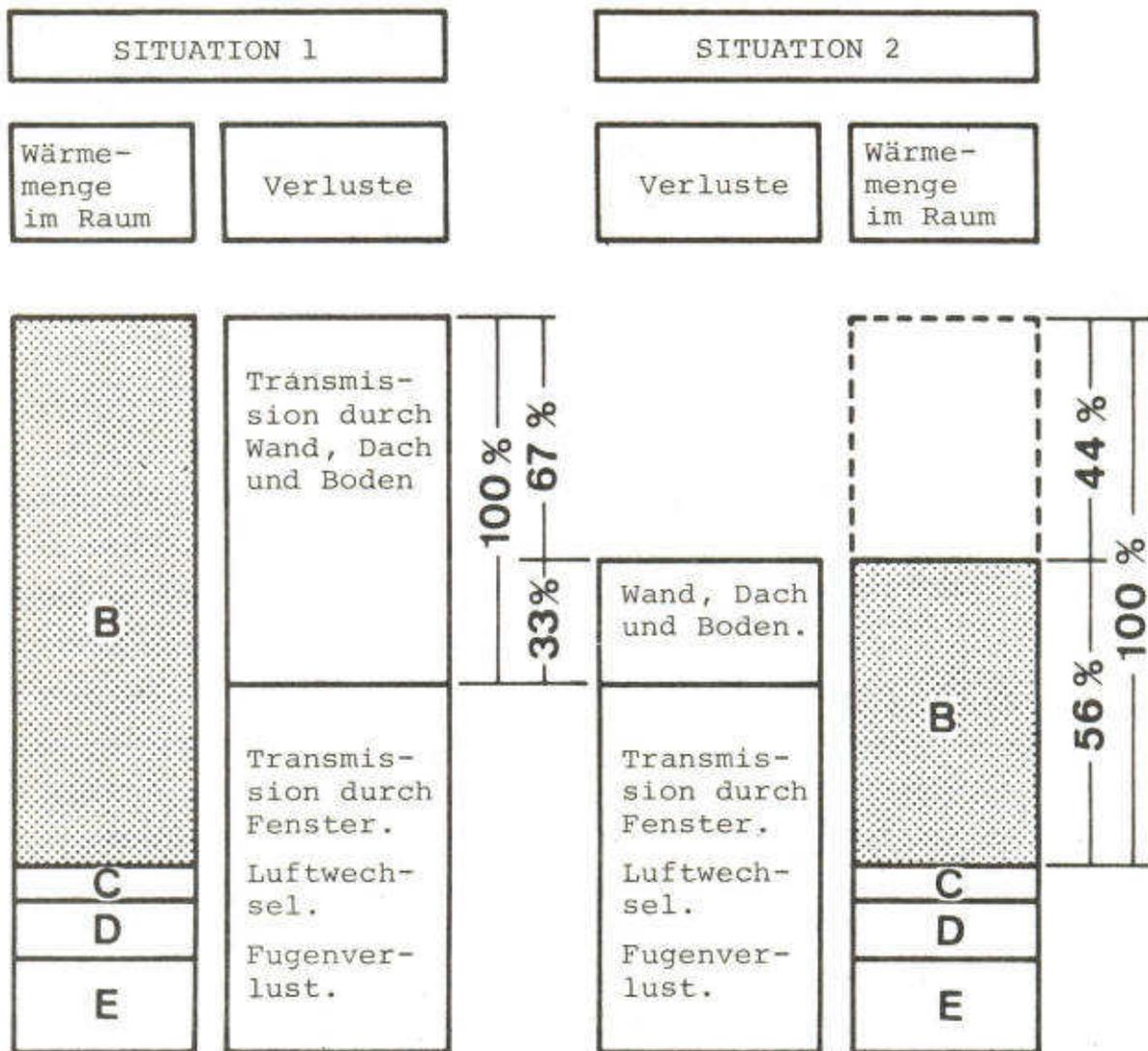
E = Durch Fenster eingestrahlte Sonnenenergie

erwärmung wirkt dem Wärmeabfluss aus dem Raum entgegen (F), sodass in unserem Beispiel der effektive Wärmefluss durch die Wand nur 20 W/m² beträgt (A). Die Wärmeanteile C, D und E stellen in unserem Beispiel zusammen einen Viertel der im Rauminnern erzeugten Wärme dar. Die restlichen drei Viertel müssen durch die Heizung nachgeliefert werden. Dieser Anteil ist mit 15 W/m² aber bereits kleiner als B, wie ohne Sonneneinstrahlung auf die Fassade zu erwarten gewesen wäre.

In der Situation 2 wird auf die gleiche Wand wie in Situation 1 eine Wärmedämmung von 8 cm Schichtdicke angebracht. Der k-Wert der Wand sinkt dadurch auf 0,33 W/K m². Der durch die Temperaturdifferenz und die Sonneneinstrahlung auf die Fassadenoberfläche bewirkte Wärmefluss wird also um 67% reduziert.

Solange nur ein Quadratmeter betrachtet wird, wird sich an der Zusammensetzung des Wärmeabflusses nichts ändern: Drei Viertel des verringerten Wärmeabflusses gehen zu Lasten der Heizung. In unserem Beispiel gehen wir davon aus, dass 85% der Gebäudehülle mit zusätzlichen 8 cm Wärmedämmschicht versehen werden können und der k-Wert für diese Bauteile also von 1,0 auf 0,33 sinkt. Wenn diese 85% der Gebäudehülle im ursprünglichen Zustand für die Hälfte aller Wärmeverluste verantwortlich waren (weitere 50% also durch die Fenster und als Lüftungswärmeverluste verloren gingen), dann wird in Situation 2 ein Drittel der gesamten im Raum anfallenden Wärme eingespart (67% der Hälfte). Der Drittel der Gesamtwärme kommt ausschliesslich der Heizung zugute, weil die Wärmeanteile C, D und E

anfallen, ob die Gebäudehülle gut oder schlecht wärmedämmt ist, Ein Drittel der Gesamtwärme machen 44% der durch die Heizung zugeführten Wärme (drei Viertel der Gesamtwärme) aus. Figur 7 illustriert diesen Zusammenhang zwischen Verlustreduktion und Brennstoffeinsparung.



Figur 5: Zusammenhang zwischen Verlustreduktion durch verbesserte Wärmedämmung und Heizenergie-Ersparnis.

Die Umwandlungsverluste (Rauchgas-, Stillstandsverluste usw.) machen etwa 20% von B aus. In Situation 2 ist dies natürlich wesentlich weniger als in Situation 1. Dieser nicht eingezeichnete Sachverhalt bedeutet deshalb eine zusätzliche Verminderung des Brennstoffverbrauchs bei optimaler Wärmedämmung.

In der Praxis ist es nicht möglich, den geschilderten Sachverhalt mit befriedigender Genauigkeit zu erfassen. Die Grösse der Faktoren C, D, E und F hängt von äusseren Umständen ab, die schwer zu bestimmen sind und vor allem von Fall zu Fall stark variieren können:

- Orientierung der Fenster und Fassaden
- Absorptionsfähigkeit der Fassadenoberfläche (Farbe)
- Beschattung durch Häuser, Bäume, Nebel, Wolken
- Gewohnheiten der Benützer (Elektrizitätsverbrauch, Cheminee)

Das Ersparnispotential des ganzen Gebäudes hängt darüber hinaus noch von baulichen Parametern wie Fensterflächenanteil, Volumenziffer (Gebäudegrösse) usw. ab, die von Haus zu Haus sehr verschieden sein können.

Gemäss k-Wert-Theorie könnte mit Hilfe der Heizgradtage errechnet werden, wieviel Wärme pro Heizsaison durch einen Quadratmeter gedämmte oder ungedämmte Aussenmauer abfliesst. Das Resultat dieser Rechnung wird wesentlich zu hoch liegen, weil die Einflüsse der Sonne und der inneren Abwärme nicht berücksichtigt werden. Damit wird auch die so errechnete Einsparung an Heizenergie zu hoch liegen, da die Wirksamkeit verbesserter Wärmedämmung mit steigendem Wärmefluss zunimmt. Je nach Grad der Südorientierung und Anzahl Sonnenstunden kann vor allem im Herbst und im Frühling auf den Einsatz der Heizung verzichtet werden, wenn auch die Heizgrenze (12°C) längst unterschritten ist. In eine realistische Wärmeverlustrechnung können also nicht die für Zürich tabellierten 3'500 Heizgradtage zu 24 Stunden eingesetzt werden. Diese Zahl muss vielmehr durch einen Faktor (kleiner als 1) korrigiert werden, damit Sonneneinstrahlung, innere Abwärme und auch Temperaturabsenkung während der Nacht berücksichtigt sind. Dies ist etwa der Weg, wie ihn die Autoren Brunner/Fierz/Grossfeld/Rieben in ihrer Ergänzung zur SIA-Empfehlung 180 vorschlagen (Lit. 29).

4.2 ENERGIEKENNZIFFER

Wir haben im vorhergehenden Abschnitt zu zeigen versucht, dass die effektiven Energieersparnisse durch verbesserte Wärmedämmung sich

schlecht durch bauphysikalische Berechnungen ermitteln lassen. Umso wichtiger ist deshalb der Ansatz, praktische Erfahrungen auszuwerten. In neuester Zeit wurde von verschiedenster Seite damit begonnen, Daten über den Energieverbrauch im Gebäude systematisch zusammenzutragen und auszuwerten. Auf diese Weise sollte es möglich sein, den durchschnittlichen Wärmeverbrauch unterschiedlicher Gebäudetypen mit dem Zustand der Gebäudehülle, dem Lüftungsverhalten, usw. zu korrelieren. Auf dieser Basis wäre auch eine gute Möglichkeit gegeben, das Sparpotential verbesserter Wärmedämmung im Einzelfall abzuschätzen.

Das statistische Amt der Stadt Zürich publiziert seit vielen Jahren den "Zürcher Index der Wohnbaukosten". Zur Errechnung dieses Indexes wurden Bauten ausgewählt, die möglichst repräsentativ und durchschnittlich, bezogen auf die schweizerische Bausubstanz, sind. In den letzten Jahren waren dies die Mehrfamilienhäuser am Letzigraben 209 bis 221 in Zürich-Albisrieden. Es handelt sich dabei um drei von einer Baugenossenschaft erstellte Wohnblöcke mit insgesamt 42 Wohnungen. Der im Rahmen der Index-Berechnungen ermittelte Kubikmeterpreis für die Baukosten ist zwar nur mit Vorbehalten auf andere Verhältnisse zu übertragen, stellt aber in der Praxis doch einen nützlichen Orientierungswert dar.

Die Heizanlage der Letzigraben-Häuser bedient noch einen vierten Block gleicher Bauart. Insgesamt wird ein Warmraumvolumen von 12'070 m³ beheizt. Der jährliche Heizölverbrauch betrug im Mittel der letzten Jahre 98'970 Liter Heizöl. Das bedeutet, dass pro m³ Warmraum 8,2 Liter Heizöl pro Heizsaison verfeuert wurden. (Warmraum: Volumen inkl. beheizte Wände und Decken) Vergleichende Berechnungen mit ähnlichen Wohnbauten (in den fünfziger Jahren gebaut) zeigen, dass sich der spezifische Wärmeverbrauch erstaunlich wenig unterscheidet. Die Index-Häuser sind wie die meisten Bauten dieser Zeit nur minimal wärme geschützt. Das Schrägdach ist nicht wärme gedämmt, das Fassadenmauerwerk besteht aus 32 cm Backstein, der Boden ist nur durch den Bodenbelag geschützt und es sind die üblichen Doppelverglasungsfenster eingebaut. Der mittlere k-Wert der Gebäudehülle beträgt 1,64 W/K m², die Volumenziffer 0,57 m²/m³ und die Fenster machen 22% der Fassadenfläche aus.

In erster Näherung lässt sich deshalb gemäss unserer Erfahrung sagen, dass gut wärmegeämmte Wohnbauten in der Grössenordnung von 5 l Heizöl/m³ Warmraum jährlich verbrauchen. Bei optimal wärmegeämmten Wohnbauten sollte der Verbrauch zu Heizzwecken (immer exkl. Warmwasser) eindeutig unter diesem Wert liegen. Ausgenommen werden in einer derart allgemeinen Aussage natürlich Situationen, die sehr stark vom Durchschnitt abweichen (extreme Windexponiertheit, grosse Höhe über Meer, sehr grosse Volumenziffer, schattiger und nebliger Standort usw.)

(Berechnungsunterlagen: Statistisches Amt der Stadt Zürich; Gemeinnützige Baugenossenschaft Limattal; Bauphysiker P. Bossert, Dietikon.)

Wenn der durchschnittliche spezifische Heizenergieverbrauch von minimal wärmegeämmten Wohnbauten bekannt ist und die Beeinflussung der Wärmeverluste durch die Vielzahl der möglichen Faktoren aufgrund guter statistischer Unterlagen abgeschätzt werden kann, kann auch die auf die Laborsituation ausgerichtete k-Wert-Theorie den praktischen Verhältnissen am Bau angepasst werden.

Aus der Sicht des Energiesparens ist es von grosser Wichtigkeit, dass taugliche Energiekennziffern entwickelt werden, die ausgerichtet auf eine Vielzahl von Eigenschaften des Gebäudes eine Richtzahl für den spezifischen Energieverbrauch sein können. Vorderhand kann erst überschlagsmässig gesagt werden: Im Wohnungsbereich sollte bei herkömmlicher Bauweise der jährliche Heizenergieverbrauch (ohne Warmwasser) nicht über 8 bis 10 l Heizöl (und bei gut wärmegeämmten Bauten bei etwa 5 l Heizöl oder Brennwertäquivalent) pro Kubikmeter Warmraum liegen (zumindest für die üblichen Mittelland-Beispiele). Ein höherer spezifischer Energieverbrauch ist jedenfalls ein Indiz, dass irgendwo ein eigentliches Wärmeleck besteht. Die Ursachen können dann verschiedenster Art sein:

- Extrem schlechte Wärmedämmung von Wand, Dach und Boden
- alte, sehr undichte Fenster
- Feuchtigkeit in der Konstruktion (Absinken des Wärmedämmwertes)
- Völlig falsche Lüftungsgewohnheiten
- Extrem schlechter Wirkungsgrad der Heizanlage

4.3 ENERGIEERSPARNIS IM GEBÄUDE

Die Heizung hat die Aufgabe, abfließende Wärme nachzuliefern, damit das Temperaturniveau im Raum nicht sinkt. Es ist schwierig, die einzelnen Verluste mit einiger Genauigkeit anzugeben. Statistisches Material besteht nur in sehr geringem Umfang und in der Praxis ist eigentlich erst die Transmissionstheorie wirklich erhärtet (mit den Vorbehalten, wie sie in Abschnitt 4.1 ausgeführt wurden). Zur Zeit laufen Versuche, insbesondere den natürlichen Luftwechsel aufgrund gegebener Merkmale zuverlässig abschätzen zu können. Wieviel Energie durch ungeschickte Bedienung (falsche Lüftung) zusätzlich verschwendet wird, kann nur sehr grob abgeschätzt werden. In der Realität kommen weitere Phänomene hinzu, die schwierig zu bewerten sind: Der Hauswart will keine Reklamationen und lässt deshalb die Heizung zuviel Wärme liefern. Die Mieter regulieren die Temperatur durch zusätzliches Lüften. Oder der Brenner wird schlecht gewartet, sodass sein Wirkungsgrad sinkt usw.

Der prozentuale Anteil der Transmissionsverluste an den gesamten Heizenergieverlusten schwankt in grossem Masse von Gebäude zu Gebäude. Vor allem erhält die Fassade gegenüber Dach und Boden ein ganz unterschiedliches Gewicht. Die Summe der Transmissionsverluste durch Wand, Dach und Boden variiert allerdings (mindestens im Bereich des Wohnungsbaus) weniger stark, da sich Dach und Boden und die Fassadenwand in ihrer Bedeutung leicht kompensieren. Als grobe Schätzung darf angenommen werden, dass etwa die Hälfte aller Heizenergie durch die nichttransparenten Bauteile der Gebäudehülle verloren gehen. Die entsprechenden Angaben in der Literatur schwanken für durchschnittliche Mehrfamilienhäuser zwischen 23% (Lit. 14) und 53% (Lit. 13) und für Einfamilienhäuser zwischen 41% und 67%.

Das Aufbringen von beispielsweise 8 cm Wärmedämmstoff würde im Mittel mindestens eine Verringerung der Wärmedurchgangszahl um zwei Drittel (von 1,0 W/K m² auf 0,33 W/K m²) bewirken. Diese Verringerung des Wärmedurchgangs durch Wand, Dach und Boden bedeutet eine Wärmeersparnis (nicht Heizenergieersparnis) von einem Drittel (zwei Drittel der Hälfte). Da die Wärme nicht allein durch die Heizung zu-

geführt wird, stellt die Wärmeersparnis von einem Drittel eine wesentlich grössere Heizenergieersparnis dar (vgl. Abschnitt 4.1). Zusätzlich muss noch in Rechnung gestellt werden, dass zur Erzeugung der Wärme wegen der Leitungs- und Rauchgasverluste durchschnittlich etwa das 1,3-fache an Brennwertäquivalent in der Heizung verbrannt werden muss und daher auch diese Verluste kleiner werden, die gesamte Heizenergieeinsparung also noch grösser. Auch die tieferen Raumlufttemperaturen, die bei gleichem Wärmekomfort durch optimale Wärmedämmung ermöglicht werden (vgl. Kapitel 2) wurden in dieser Abschätzung noch nicht berücksichtigt. Wenn wir also für die folgenden Ueberlegungen davon ausgehen, dass mit optimaler Wärmedämmung von Wand, Dach und Boden im schweizerischen Durchschnitt ein Drittel der Heizenergie pro Gebäude eingespart wird (gegenüber dem bis anhin angewendeten Mindestwärmeschutz), darf dies als vorsichtige Schätzung betrachtet werden.

4.4 EINSPARUNGEN BEI NEUBAUTEN

Eine durchschnittliche Wohnung der bestehenden Bausubstanz verbraucht 20 MWh Endenergie jährlich für Raumheizung (2,45 Mio. Wohnungen verbrauchen 50 TWh). Dabei ist es nicht so, dass sich der wärmetechnische Standard der Bauten in den letzten Jahren verbessert hätte. Geht man von der Annahme aus, dass während der nächsten Jahre im Durchschnitt 30'000 Neuwohnungen (gleiche mittlere Grösse wie bis anhin) erstellt werden, dann würde bei unverändertem Baustandard der Heizenergieverbrauch jährlich um 0,6 TWh ansteigen. Bei optimaler Wärmedämmung würde dieser Wert um 0,2 TWh auf 0,4 TWh absinken.

Gerade bei Neubauten entsteht durch die isolierte Betrachtung verbesserter Wärmedämmung ein etwas verzerrtes Bild. Es ist anzunehmen, dass die Anforderung an den planenden Baufachmann, den optimalen Wärmeschutz anzustreben, über die blosser Wärmedämmung hinausgehende Wirkung haben wird. Der Einbezug der wichtigsten thermodynamischen Grundregeln in die Entwurfs- und Konstruktionsphase hat zur Folge, dass der künftige Heizenergieverbrauch neuer Bauten noch

wesentlich stärker eingeschränkt werden kann. Die Heizenergieersparnis um einen Drittel gegenüber dem herkömmlichen Baustandard stellt deshalb lediglich den Anteil der gesamten Ersparnis dar, der unmittelbar durch die verbesserte Wärmedämmung von Wand, Dach und Boden bewirkt wird.

4.5. EINSPARUNGEN BEI BESTEHENDEN GEBÄUDEN

Bei einer Abbruchquote von 0,3% werden von den heute bestehenden 2,45 Mio. Wohnungen künftig jährlich rund 8'000 Wohnungen abgebrochen werden. Die verbleibende Bausubstanz ist zwar weitestgehend wärmetechnisch sanierungsbedürftig, aber nur zum Teil sanierungsfähig. Wir gehen davon aus, dass von den bestehenden Dach-, Aussenwand- und Bodenflächen auch bei staatlicher Förderung durch finanzielle Anreize und Vorschriften nur noch etwa zwei Drittel mit vernünftigem Aufwand optimal zu dämmen sind. Und auch dieses Ersparnispotential kann nicht von heute auf morgen realisiert werden. Wie bereits in Kapitel 3 dargelegt, können umfassende wärmetechnische Sanierungen aus wirtschaftlichen Gründen in der Regel nur im Zuge allgemeiner Fassadenrenovationsarbeiten durchgeführt werden. Für unsere Abschätzung soll deshalb vom "natürlichen" Erneuerungsrythmus der Bausubstanz ausgegangen werden. Für die Gebäudehülle wird die Fassade zum ausschlaggebenden Element. Im Durchschnitt wird mindestens alle 25 Jahre eine Erneuerung der Fassadenoberfläche notwendig sein. Das bedeutet, dass jährlich 4% des gesamten Wohnungsbestandes saniert wird. Wenn verbesserte Wärmedämmung nur zu zwei Dritteln eingesetzt werden kann, und also auch nur in diesem Ausmass eine Heizenergieersparnis von einem Drittel bewirken kann, dann werden demzufolge zwei Neuntel des Heizenergieverbrauchs dieser 4% aller Wohnungen eingespart. Das entspricht einer jährlichen Einsparung von 440 GWh Endenergie.

Wie bei den Neubauten ist dabei die Kumulation das wesentliche Element: Nach 10 Jahren beträgt die jährliche Einsparung bereits 4,4 TWh und nach dem Jahr 2000 werden bei den vor 1978 erstellten Wohngebäuden etwa 10 TWh pro Jahr durch verbesserte Wärmedämmung

eingespart. Wegen der Abbruchquote kann für das Jahr 2000 nicht mehr vom vollen Gebäudebestand von 1978 ausgegangen werden. Die schlussendlich durch verbesserte Wärmedämmung bewirkte Einsparung wird daher etwas kleiner. In den rund 8% der Wohnungen des heutigen Bestandes, die nach dem Jahr 2000 abgerissen sein werden, braucht aber überhaupt kein Brennstoff mehr verfeuert zu werden. Dieser Minderverbrauch liegt immerhin in der Grössenordnung von 4 TWh Endenergie.

4.6 SCHWEIZERISCHES ENERGIESPARPOTENTIAL

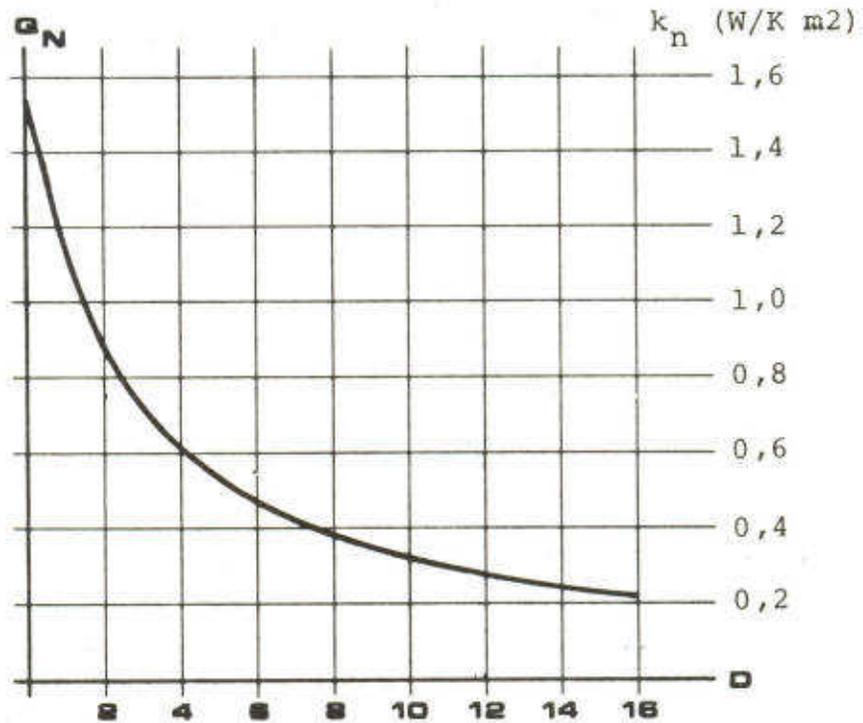
In den beiden vorhergehenden Abschnitten wurde die Ersparnis bei Neubauten und bei bestehenden Gebäuden abgeschätzt. In Tabelle 3 ist die daraus resultierende Energieverbrauchsentwicklung bis ins Jahr 2000 dargestellt. Diese Darstellung verlangt noch einige Erläuterungen:

- Der heutige Heizenergieverbrauch im Wohnungssektor wurde mit 50 TWh pro Jahr angenommen. Dieser Wert ist statistisch nicht genau feststellbar. Der genaue Wert kann daher also durchaus einige Prozente von dieser Annahme abweichen. 50 TWh stellen eine vorsichtige Schätzung dar. Es dürfte heute eine grössere Energiemenge zu Heizzwecken im Wohnungssektor verbraucht werden. Die auf 10 GWh genau angegebenen Verbrauchswerte in der Tabelle 4 entsprechen daher nicht dem effektiven Verbrauch in ihrer Genauigkeit, sondern beschreiben vor allem die Entwicklung des Verbrauchs. Insofern interessiert auch vor allem die relative Energieeinsparung durch verbesserte Wärmedämmung.
- Die tabellierte Verbrauchsentwicklung darf nicht als generelle "Energiesparprognose" missverstanden werden. In Wirklichkeit können nebst der Wärmedämmung noch viele weitere, sehr leistungsfähige Energiesparmassnahmen zum Tragen kommen, die den Energieverbrauch weiter absenken würden.

Aus dem Kapitel 1 ist der Zusammenhang zwischen der Dicke der Wärmedämmschicht und dem Wärmefluss durch den entsprechenden Bauteil bekannt. Figur 6 zeigt die Situation, wenn auf eine Gebäudehülle mit dem mittleren k-Wert von 1,56 W/K m² (entspricht 18 cm Backstein, verputzt) Wärmedämmschichten unterschiedlicher Dicke aufgebracht werden.

Jahr	Ohne Wärmedämmung		Mit optimaler Wärmedämmung					(G) Verbrauch TWh
	(A) Wohnungs- bestand Mio. Whg.	(B) Verbrauch TWh	(C) Einsparung Neubauten TWh	(D) Einsparung Altbauten TWh	(E) Einsparung Total TWh	(F) Einsparung Total (E) in % (B)		
1977	2,450	50	-	-	-	-	50	
1978	2,472	50,44	0,2	0,44	0,64	1,3	49,8	
1979	2,494	50,88	0,4	0,88	1,28	2,5	49,6	
1980	2,516	51,32	0,6	1,32	1,92	3,7	49,4	
1985	2,626	53,52	1,6	3,52	5,12	9,6	48,4	
1990	2,736	55,72	2,6	5,72	8,32	14,9	47,4	
1995	2,846	57,92	3,6	7,92	11,52	19,9	46,4	
2000	2,956	60,12	4,6	10,12	14,72	24,5	45,4	

Tabelle 4: Verbrauchsentwicklung und Einsparung von Endenergie im schweizerischen Wohnungsbau bei Anwendung optimaler Wärmedämmung



Figur 8: Jährlicher Wärmeverlust durch Wand, Dach und Boden bei unterschiedlicher Wärmedämmung.

Q_N = Jährlicher Wärmeverlust durch die nichttransparenten Bauteile der Gebäudehülle (Wand, Dach und Boden)

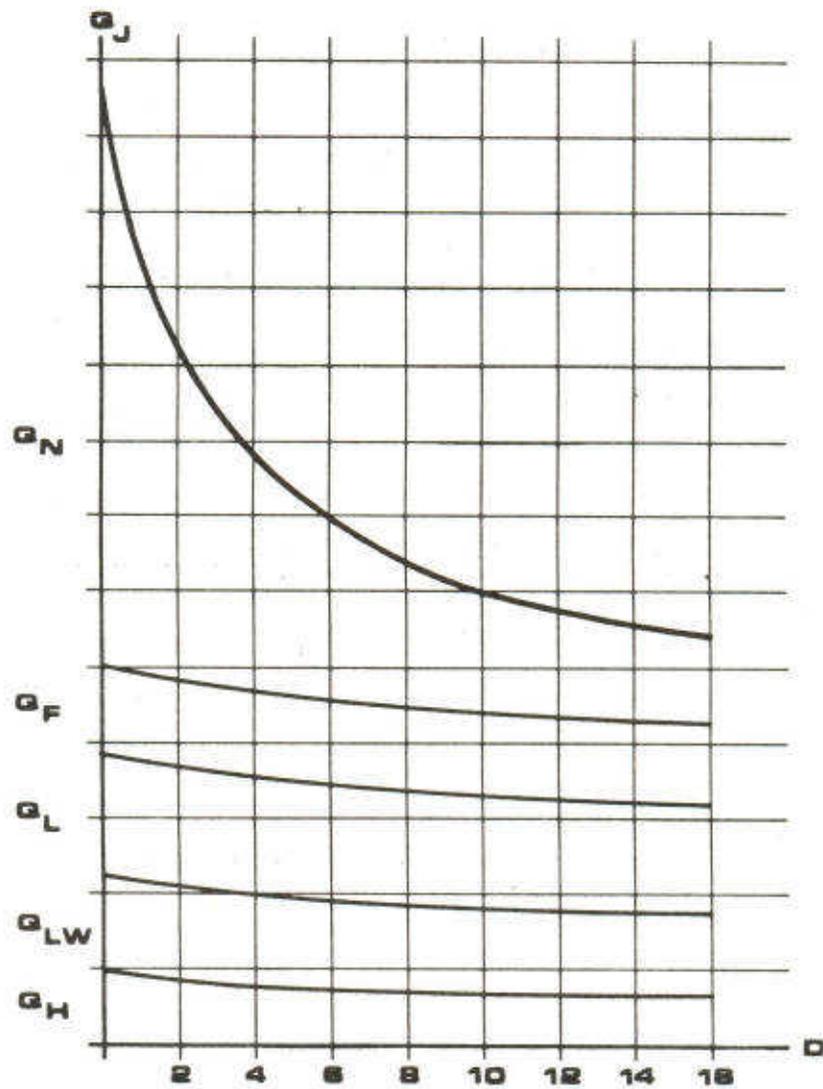
k_n = Wärmedurchgangszahl (Wand, Dach und Boden).

Q_N ist je nach Grösse des Hauses und den Klimafaktoren ein Vielfaches von k_n .

D = Dicke der Wärmedämmschicht in cm.

Die übrigen Verlustarten werden durch verbesserte Wärmedämmung nicht direkt angegangen. Indirekt werden aber auch hier Einsparungen erzielt.

Durch die Verringerung der Transmissionsverluste Q_N werden natürlich auch die Verluste der Heizungsanlage etwas verkleinert, weil insgesamt weniger Wärme erzeugt werden muss. Auch die übrigen Verluste (Q_F , Q_L , Q_{LW} , vgl. zu diesen Abkürzungen die Legende zu Figur 9) werden etwas geringer, weil bei verbesserter Wärmedämmung bei vollem Wärmekomfort tiefere Raumlufttemperaturen möglich sind. Energiesparmassnahmen, die aber direkt auf diese Verluste ausgerichtet sind (Fensterdichtungen, Temperaturabsenkung bei Rauchgasen usw.), vermindern diese Verluste noch wesentlich besser. Die Summe von Q_F , Q_L , Q_{LW} und Q_H würde dadurch von Anfang an geringer, als in den Figuren 8 und 9 angenommen wurde.



Figur 9: Jährlicher Gesamtwärmeverlust bei unterschiedlicher Wärmedämmung.

- Q_J = Jährlicher Gesamtwärmeverlust des Gebäudes.
- Q_F = Transmissionsverluste durch Fenster, Türen.
- Q_L = Lüftungswärmeverlust: Fugenundichtigkeit.
- Q_{LW} = Lüftungswärmeverlust: Beabsichtigter Luftwechsel.
- Q_H = Wärmeverlust bei der Umwandlung der Endenergie in Nutzenergie (Wirkungsgrad der Heizanlage, Rauchgasverluste).

● Für die Abschätzung wurde angenommen, dass die wärmetechnische Sanierung der Altbauten sich gleichmässig über die Jahre verteilt. In Wirklichkeit wird in den ersten Jahren eine eher höhere Ein-

sparungsrate zu erwarten sein, weil viele dämmfähige Flächen (Dächer und Böden) nicht an einen Erneuerungsrythmus von 25 Jahren gebunden sind und deshalb bei gleicher Wirtschaftlichkeit heute schon gedämmt werden können.

- Im Jahr 2000 werden 92% der heute bestehenden Wohnbauten eine "Sanierungsphase" durchlaufen haben (23 Jahre lang je 4% der Wohnungen). Die restlichen 8% des heutigen Wohnungsbestandes werden abgerissen sein. Der kumulative Prozess der Energieeinsparungen durch verbesserte Wärmedämmung endet deshalb im Jahr 2000. Von diesem Zeitpunkt an wird sich der wärmetechnische Zustand der Bausubstanz nur noch insofern verbessern, als die nicht sanierungsfähigen, minimal wärme geschützten Bauten (bzw. Gebäudehüllen-Flächen) mit der Zeit abgerissen und durch optimal wärme geschützte Gebäude ersetzt werden. Die Einsparung mit verbesserter Wärmedämmung gegenüber dem heutigen Baustandard strebt auf lange Sicht also gegen einen Drittel der Heizenergie. Auf lange Sicht könnte sich allerdings auch die gesamte Energiesituation tiefgreifend ändern, sodass auch im Rahmen der optimalen Wärmedämmung vielleicht noch wesentlich besser gedämmt werden könnte. Für die gegenwärtige Situation, mit einem überwiegenden Anteil an bestehenden Gebäuden, stellen die in der Tabelle ermittelten 25% das Energiesparpotential der optimalen Wärmedämmung gegenüber dem heutigen (durchschnittlichen) Zustand der Gebäude dar.
- Die oben geschätzten Einsparungen im Wohnungsbau machen etwa 7,5% des gesamten schweizerischen Endenergiebedarfs aus. Da auch in den Bereichen Industrie, Gewerbe, Landwirtschaft und Dienstleistungen mit verbesserter Wärmedämmung ähnliche Wirkung erzielt werden kann, dürfte das gesamte Energiesparpotential optimaler Wärmedämmung bei etwa 10% des Gesamtenergiebedarfs liegen. Es muss dabei betont werden, dass diese Energieersparnis bei optimaler und nicht bei maximaler Wärmedämmung erzielbar ist. Aus technischer Sicht liesse sich ohne weiteres mittels verbesserter Wärmedämmung noch mehr Energie einsparen.

4.7 ENERGIEBILANZ

Der Energieersparnis durch verbesserte Wärmedämmung muss der Aufwand an Energie gegenübergestellt werden, den die Herstellung und der Einsatz von Wärmedämmstoffen mit sich bringt. Aus volkswirtschaftlicher Sicht besteht der Energiegewinn des optimalen Wärmeschutzes aus der im Lauf der Lebensdauer der Wärmedämmung eingesparten Heizenergie abzüglich der zur Herstellung und Anwendung des Wärmeschutzes verbrauchten Energie.

Erst seit wenigen Jahren werden Untersuchungen durchgeführt (vor allem in den USA und in England), mit denen die materialgebundene Energie erfasst werden soll. Tatsächlich sind beispielsweise dem Architekten einige Möglichkeiten gegeben, aufgrund solcher Daten in der Planungsphase eine beträchtliche Energieersparnis zu erzielen, indem energieärmere Konstruktionsmaterialien bevorzugt werden. R. Kegel (Lit. 30) errechnet, dass für ein von ihm ausgewähltes Beispiel das 6-fache der jährlichen Heizenergiemenge "verbaut" wurde.

Der Versuch, den Energiehaushalt umfassend zu bilanzieren, stösst in der Praxis auf einige Schwierigkeiten. Die mit ganz verschiedenen Methoden und Annahmen arbeitenden Autoren liefern vorderhand noch Resultate, die sich für gleiche Materialien beträchtlich unterscheiden können. Aufgrund der Zahlen von Barnes und Rankin (Lit. 31) beispielsweise muss für eine Wärmedämmschicht von 8 cm Glaswolle 4 kWh/m² aufgewendet werden. Diese 8 cm wärmedämmschicht bringen z.B. eine k-Wert-Verbesserung von 1,0 auf 0,33 W/K m², also eine Energieersparnis von 0,67 W m² °C. Das bedeutet, dass bei einer Temperaturdifferenz von 20°C innerhalb von 300 Stunden die Wärmedämmschicht soviel Energie eingespart hat, wie ihre Herstellung gekostet hat:

$$R = \frac{4 \cdot 10^3}{0,67 \cdot 20} = 298,5 \text{ Stunden}$$

Die "Energierückzahlung R" liegt also bei weniger als zwei Wochen.

Wesentlich höhere Energiemengen errechnet R. Kegel. Aus seinen Unterlagen geht hervor, dass für eine 8 cm starke (materialmässig nicht näher bezeichnete) Wärmedämmschicht etwa 25 kWh/m² aufgewendet werden müssen. Darin ist enthalten:

- die Energie zur Fabrikation des Materials
- die Energie, um das Material auf die Baustelle zu bringen und es dort zu verarbeiten.

Für das schweizerische Mittelland (3'500 Heizgradtage) bedeutet dies:

$$R = \frac{25 \cdot 10^3}{0,67 \cdot 3'500 \cdot 24} = 0,44 \text{ Jahre}$$

In weniger als einer halben Heizsaison wird die Energiebilanz der betrachteten Wärmedämm-Massnahme also auch positiv, wenn man der Berechnung die relativ hohen Werte von R. Kegel zugrunde legt. Bei einer Lebensdauer des Wärmeschutzes von 25 Jahren müssten demnach rund 1,8% der gesamten Heizenergieeinsparung (nach Barnes und Rankin sogar nur rund 0,3%) als Energieaufwand für den Wärmeschutz abgezählt werden, um einen gesamtwirtschaftlichen "Nettoenergiegewinn" ausweisen zu können. Die Energieausgaben für den Wärmeschutz sind unumgänglich. Sie sind aber, da sie in der Grössenordnung weniger Prozente der erzielten Heizenergieeinsparung liegen, nicht sehr bedeutend. Wichtig wird das Phänomen der materialgebundenen Energie für Konstruktionen, die einen minimalen Wärmeschutz ohne Wärmedämmstoffe aufweisen sollen:

Eine 18 cm starke Backsteinmauer erbringt eine stattliche statische Leistung. Mit einem k-Wert von 1,66 W/K m² genügt sie aber auch minimalen bauhygienischen Anforderungen in keiner Weise. In der schweizerischen Baupraxis wird in dieser (häufigen!) Situation noch heute oft ein Mauerwerk aus 32 cm Backstein gewählt. Damit wird ein k-Wert von 0,95 W/K m² erreicht (Angaben für unverputzte Mauerwerke). 14 cm dieser Konstruktion (sehr oft noch mehr) dienen also ausschliesslich dem Wärmeschutz. Rechnet man die Angaben von Barnes und Rankin für Backstein auf die schweizerischen Verhältnisse um

(tieferes Raumgewicht), dann erhält man als Energieausgaben für Backstein 0,506 kWh/kg. Der Quadratmeter Backsteinmauerwerk (1'100 kg/m³) mit einer Dicke von 14 cm wiegt 154 kg. Der Energieaufwand für das Material Backstein als Wärmeschutz beträgt also:

$$154 \cdot 0,506 = 77,6 \text{ kWh/m}^2$$

Setzt man diesen Energieaufwand mit der dadurch erreichten Heizenergieersparnis von 0,7 W/K m² in Beziehung, so erhält man eine Energierückzahlungszeit von

$$R = \frac{77,6 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 3'500 \cdot 24} = 1,32 \text{ Jahre.}$$

Diese Massnahme lohnt sich natürlich noch durchaus. Sie ist auch in einem Bereich angesetzt, wo alle Wärmedämm-Massnahmen sehr wirksam sind. Um eine gleiche k-Wert-Verbesserung zu erreichen, müssten beispielsweise auf die 18 cm Backstein lediglich 1,8 cm Isolierstoff aufgebracht werden, was einer materialgebundenen Energie von 5,6 kWh/m² entspricht (nach Angaben von R. Kegel, also hoher Wert). Die Energierückzahlungszeit liegt bei dieser Version bei

$$R = \frac{5,6 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 3'500 \cdot 24} = 0,095 \text{ Jahren.}$$

Der Vergleich der beiden Wärmedämmstrategien zeigt, dass eigentliche Wärmedämmstoffe eine wesentlich bessere Energiebilanz aufweisen als etwa Backstein. Die rund 14 mal längere Energierückzahlungszeit von Backstein macht sich vor allem dann bemerkbar, wenn über den minimalen Wärmeschutz hinaus eine gewisse Energieersparnis erwirtschaftet werden soll. Eine weitere Verdickung des Mauerwerks um 18 cm auf insgesamt 50 cm senkt den k-Wert bloss noch um weitere 0,3 W/K m² auf 0,65 W/K m². Die Rückzahlungszeit dieser zusätzlichen Massnahmen (198 kg/m² Backstein zu 0,506 kWh/kg) liegt daher bei

$$R = \frac{198 \cdot 0,506 \cdot 10^3}{0,3 \cdot 3'500 \cdot 24} = 3,98 \text{ Jahren.}$$

Bei einer Lebensdauer von 25 Jahren machen diese Energieaufwendungen immerhin mehr als 15% der gesamten Einsparungen aus.

Zusammenfassend kann bezüglich der Energiebilanz von Wärmeschutz-

Massnahmen gesagt werden, dass Wärmedämmstoffe wegen ihrem geringen Volumengewicht eine sehr günstige Energiebilanz haben und um ein Vielfaches kürzere Energierückzahlungsraten aufweisen als "schwere" Baustoffe. Beton beispielsweise liegt wegen der grossen Wärmeleitfähigkeit und der energieaufwendigen Herstellung noch schlechter als Backstein.

Im weiteren muss beachtet werden, dass mit der obigen Bilanzierung ein wesentlicher Faktor noch nicht berücksichtigt wurde. Durch eine fachgerecht ausgeführte und bauphysikalisch richtige Wärmedämmung wird die Lebensdauer des Gebäudes verlängert. Muss ein Gebäude z.B. im Durchschnitt erst nach 55 Jahren anstatt schon nach 50 Jahren ersetzt werden, dann verteilen sich die einmaligen Energieinvestitionen auf diese grössere Zeitspanne. Von dieser Erstellungenergie Q muss im Normalfall folglich $Q/50$ pro Jahr abgeschrieben werden. Bei verlängerter Lebensdauer aber lediglich $Q/55$. Allgemein formuliert: Eine 10-prozentige Verlängerung der Lebensdauer stellt eine Energieeinsparung von rund 9% dar. Obwohl dieses Beispiel nur illustrativen Charakter haben kann, da der Einfluss des Wärmeschutzes nur tendenziell, nicht aber quantitativ erfasst werden kann, wird doch deutlich, dass auf dieser Ebene ein grosses Energiesparpotential angegangen werden kann. Dies beschränkt sich allerdings in keiner Weise auf das Bauwesen. In einer Wirtschaft, die zu grossen Teilen kurzlebige Wegwerfprodukte herstellt, gehen notwendigerweise grosse Mengen an materialgebundener Energie verloren.

5. Gesamtwirtschaftliche und gesellschaftliche Aspekte

5.1 BEDUERFNISGERECHTE ENERGIESPARRMASSNAHMEN

Energieerzeugung und -verteilung sind die Antwort auf eine entsprechende Energienachfrage. Die Energienachfrage wiederum kann eine unmittelbare Folge eines Bedarfs oder Bedürfnisses sein. Sie kann aber andererseits auch eine sehr indirekte Folgeerscheinung eines Bedürfnisses darstellen. Das Bedürfnis nach einer immer zur Verfügung stehenden Lichtquelle beispielsweise ist heute ziemlich unflexibel mit der Nachfrage nach Elektrizität verknüpft. Transportleistungen als ein anderes Beispiel können je nach Transportmittel mit sehr unterschiedlichen Energiemengen bewältigt werden. Auch ist man nicht an einen einzigen Energieträger gebunden. Energiesparmassnahmen wirken in der einen oder anderen Weise auf Energieangebot oder Energienachfrage ein. Je unflexibler und enger diese mit den entsprechenden Bedürfnissen verknüpft sind, desto schlechter können die Bedürfnisse befriedigt werden: Mit der Lichtquelle kann nur gespart werden, wenn sie abgeschaltet oder gar nicht montiert wird. Sobald auf dieser Ebene eigentliche Verschwendungspraktiken, die natürlich keine Bedürfnisbefriedigung darstellen, eliminiert sind, bedeutet jede weitere Verbrauchsverminderung auch eine Verminderung des Komforts bzw. der Benutzbarkeit.

Im Rahmen dieser Arbeit interessiert die Wärmedämmung als Energiesparmassnahme. Durch sie wird der Heizenergieverbrauch vermindert. Heizenergie wird aber nicht verbraucht, weil ein Bedürfnis besteht, Heizenergie zu verbrauchen, sondern weil die Einhaltung eines bestimmten Temperaturniveaus je nach Qualität der Wärmedämmung einen gewissen Heizenergieverbrauch unumgänglich macht. Das Bedürfnis nach einem zuträglichen Wohn- und Arbeitsraumklima beinhaltet bis zu einem gewissen Grad Forderungen bezüglich Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur der raumumschliessenden Bauteile. Der Zusam-

menhang zwischen Behaglichkeit und Wärmedämmung wurde in Kapitel 2 ausführlich dargestellt, sodass an dieser Stelle das Fazit formuliert werden kann: Je geringer der Heizenergieverbrauch ist, mittels dessen die Bedingungen des Wärmekomforts erfüllt werden können, desto besser werden die menschlichen Bedürfnisse hinsichtlich Raumklima befriedigt.

5.2 GESELLSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN DER WAERMEDAEMMUNG

Der Energieverbrauch spielt eine zentrale Rolle in unserer Gesellschaft. Massnahmen zur Veränderung des Energieverbrauchs haben daher auch Auswirkungen auf praktisch alle Lebensbereiche. Darüber ist ebenso wie über die diesbezügliche Relevanz von Energiesparmassnahmen viel geschrieben worden (z.B. Lit. 32 und Sekundärliteratur).

An dieser Stelle soll nur ein kurzer Ueberblick zusammengestellt werden über Auswirkungen von Energiesparmassnahmen und nur die durch eine verbesserte Wärmedämmung bedingten Effekte ausführlicher dargestellt werden:

5.2.1 Energiekosten und Handelsbilanz

1975 stellten die Heizölimporte wertmässig 3,8% der gesamten Güterimporte dar (1974: 3,4%, 1973: 3,2%; Lit. 33). Das sind für 1975 1'309,9 Mio. Fr. (1974: 1472,6 Mio. Fr., 1973: 1160,8 Mio. Fr.). Rund 85% dieses Heizöls diente zu Raumheizungszwecken (ca. 15% für Brauchwarmwasser). Gemäss den Ueberlegungen in Abschnitt 4.6 könnte etwa 30% der Heizenergie eingespart werden, wenn die bestehende Bausubstanz optimal (nicht maximal) wärmegeklämt wäre. Von den 1'100 Mio. Fr., die jährlich für Raumheizungszwecke (85% von durchschnittlich 1'300 Mio. Fr.) allein für Heizöl ins Ausland fliessen, könnten also rund 300 Mio. Fr. eingespart werden, bzw. in Form von Wärmedämm-Aufträgen der schweizerischen Wirtschaft zugute kommen.

Die nicht mit Heizöl beheizten Gebäude werden zum grössten Teil mit

ebenfalls importierten Energieträgern beheizt: Erdgas und Kohle. Brennholz und Elektrizität als (bedingt) einheimische Energiequellen tragen einen verschwindend kleinen Anteil am gesamten Heizenergieverbrauch. Die durch Wärmedämmung erzielten Einsparungen betreffen also zu praktisch 100% importierte Energieträger.

5.2.2 Auslandabhängigkeit

Nebst der kostenmässigen Entlastung der Handelsbilanz spielt auch die grössere Unabhängigkeit des Landes von ausländischen Energielieferanten eine wichtige Rolle:

- Je tiefer der wertmässige Anteil importierter Energieträger am Wirtschaftsgeschehen ist, desto weniger übertragen sich Inflationsschübe über den Weltmarktpreis der Energie.
- Je kleiner der Verbrauch an importierten Energieträgern wird, desto grösser wird die relative Lagerhaltungskapazität. Damit steigt die Versorgungssicherheit und es können Energiepreisentwicklungen gepuffert werden.

5.2.3 Konjunktur- und Beschäftigungslage

Vor allem die nachträgliche Wärmedämmung der bestehenden Bausubstanz stellt ein relativ arbeitsintensives Unterfangen dar, das in erster Linie dem von der Rezession stark betroffenen Baumeistergewerbe zugute kommt. Ein Effekt, der aus beschäftigungspolitischer Sicht sehr zu begrüßen ist. Dies umso mehr, als das Auftragsvolumen für nachträgliche Wärmedämmungen geographisch gut verteilt ist und die Arbeit sehr gut von kleinen bis mittleren Betrieben ausgeführt werden kann. Da nachträgliche Wärmedämmungen normalerweise im Zuge allgemeiner Sanierungsarbeiten durchgeführt werden, ist auf viele Jahre hinaus in diesem Feld ein stetiger Arbeitsanfall zu erwarten, weil diese Arbeiten einem mehrjährigen Erneuerungsrythmus unterworfen sind.

5.2.4 Umweltschutz

Nach Angaben des Eidg. Amtes für Umweltschutz wurden im Jahr 1972 durch die Verbrennung von Heizöl extraleicht folgende Mengen Schadstoffe an die Umwelt abgegeben:

43'000 to SO_2 (Schwefeldioxyd)

43'800 to NO_x (Stickoxyde)

1'900 to C_xH_y (Kohlenwasserstoffe)

Die Auswirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze der meisten dieser Stoffe sind noch relativ ungenau bekannt. Es ist vor allem schwierig, Langzeitwirkungen geringer Dosierungen genau zu bestimmen. Es wurden immerhin signifikante statistische Unterlagen zusammengetragen, die einen Zusammenhang zwischen Sterblichkeit, Erkrankungshäufigkeit, Pflanzensterblichkeit, Ernterückgang usw. mit diesen Schadstoffen (zusammen mit Russ und Staub) nachweisen (Lit. 34).

Riesige Schäden sind bereits heute an Kulturdenkmälern und Gebäuden durch die Luftverunreinigung entstanden. Die in den Städten vorhandene Schwefeldioxyd-Konzentration genügt, um Statuen, Fassaden usw. innert kurzer Zeit zu zerstören.

Unsicherheit besteht auch bezüglich der Auswirkungen der immer grösser werdenden Mengen an CO_2 , die durch die Verbrennung fossiler Energieträger jährlich an die Umwelt abgegeben werden. Nach einer Hypothese (Lit. 35) wird befürchtet, dass oberhalb gewisser Grenzen die Resorbierfähigkeit der Biosphäre ungenügend wird und in der Folge ein Treibhauseffekt gewaltige Klimaveränderungen nach sich zieht.

Alle Heizenergie belastet die Umwelt in Form von Abwärme (ausser Sonnenenergie). Unter welchen Umständen lokale Klimabeeinflussungen erfolgen, ist auch in konkreten Fallstudien kaum vorherzusagen.

Geringere Belastung der Umwelt dürfte zu einem der dringendsten zivilisatorischen Imperative der Zukunft werden. Energiesparmassnahmen gehören zu den leistungsfähigsten Mitteln, die Umwelt zu schonen.

5.2.5 Schonung der Ressourcen

Seit Jahren wird darauf hingewiesen, dass es äusserst schade ist, einen derart wertvollen Rohstoff wie Erdöl (Ausgangsbasis für die verschiedensten Produkte der chemischen Industrie) zum Zweck der Erzeugung von Niedertemperaturwärme zu verbrennen. Ähnliches gilt auch für die übrigen nichterneuerbaren Energieträger.

5.2.6 Qualität der Bausubstanz

Bereits in früheren Kapiteln wurde die Qualitätsverbesserung durch Wärmedämmung ausführlich dargestellt. Auch dies ist ein Effekt, der sich letztlich positiv auf die Lebensqualität auswirkt, was allerdings kaum quantitativ erfassbar ist:

- Erhöhter Wohnkomfort durch verbesserte thermische Behaglichkeit bzw. arbeitsphysiologische Verbesserung der Arbeitsplätze. Thermische Behaglichkeit ist weit mehr als eine bloss angenehme Nebenerscheinung. Thermische Behaglichkeit ist auf lange Sicht ein wichtiger Faktor für die Gesundheit.
- Hohe Wertbeständigkeit der Bauten

5.3 DEZENTRALISIERUNGSGRAD DER ENERGIEVERSORGUNG

Energiesparmassnahmen stellen die billigste und sauberste Energiequelle dar. Für das Beispiel Wärmedämmung wurde in dieser Arbeit aufgezeigt, wie lohnend (Kap. 3) und wie ergiebig (Kap.4) diese Energiequelle ist. Ein weiteres Spezifikum des "Energieträgers Wärmedämmung" ist, dass der Energiegewinn dezentral anfällt.

Durch verbesserten Wärmeschutz des Gebäudes wird die Quantität der verbrauchten Energie beim Konsumenten vermindert. Damit wird ab einer gewissen Grenze auch ein qualitativer Unterschied in der Art der Energieversorgung bewirkt:

- Ein kleiner Energieverbrauch ist leichter substituierbar. Die relativen Anteile der "kleinen" hauseigenen Energiequellen steigen,

sodass der Ausfall des traditionellen Heizsystems (Krisensituation mit Oelverknappung bzw. -boykott, Störfall in der Elektrizitätserzeugung) leichter abgefangen werden kann. Beispielsweise kann die Abwärme von Haushaltgeräten und Personen plus zusätzliche Cheminee-Wärme bereits genügen, um die erforderliche Heizlast zu decken, wenn die Wärme optimal konserviert wird.

- Für kleine, dezentral anfallende Energiemengen öffnet sich das Spektrum der gerätetechnischen Massnahmen: Sonnenenergieanlagen (insbesondere die erforderliche Speichergrösse wächst überproportional mit der Wärmeundichtigkeit des Gebäudes), Methangasanlagen, Wärmepumpen und Wärmetauscher (kleine Geräte = tragbare Investition).

Diese Effekte bedeuten eine Aufwertung des letzten Gliedes der am Energiefluss beteiligten Instanzen: Der Endverbraucher hat mehr Wahl- und Einflussnahmemöglichkeiten bezüglich seiner eigenen Energiesituation. Er hat die Möglichkeit, auf drastische Preisentwicklungen aktiv zu reagieren oder kann bei Rohstoffverknappungen oder Lieferunterbrüchen zur Selbsthilfe greifen.

6. Förderung und Durchsetzung verbesserter Wärmedämmung

Der Energiespargedanke wird heute auf allen Ebenen der Verwaltung und in zahlreichen Organisationen von viel gutem Willen getragen. Oft fehlen aber noch genügend konkrete Informationen und herrscht eine gewisse Unsicherheit über die Zuständigkeiten und die Art und Weise, wie Energiesparmassnahmen zu fördern und durchzusetzen wären.

In den fünf vorhergehenden Kapiteln wurden die wesentlichen Eigenheiten einer Energiesparmassnahme dargestellt. Im Folgenden soll nun gezeigt werden, welche Strategien für das weitere Vorgehen sinnvoll sind und wer im heutigen Zeitpunkt auf welche Art und Weise zur Durchsetzung verbesserter Wärmedämmung beitragen kann. Die folgenden Empfehlungen entsprechen der Auffassung der Schweizerischen Energie-Stiftung und stellen nicht die Meinung der Förderergemeinschaft dieses Berichts dar.

6.1 MITTEL ZUR VERWIRKLICHUNG VERBESSERTEN WAERMESCHUTZES

Wärmedämmung an Gebäuden ist sicher nicht die einzige und auch nicht die wichtigste Energiesparmassnahme. Sie hat aber den Vorteil, dass sie in Aufwand und Auswirkung relativ klar erfassbar ist und als wichtiges Element jeder Energiesparstrategie oftmals Ausgangspunkt für den integralen Wärmeschutz am Bau ist. Förderung verbesserter Wärmedämmung ist deshalb aus Gründen der Wirksamkeit (Auslösereffekt für weitere Massnahmen) und aus Gründen der Machbarkeit (Erfassbarkeit = Kontrollierbarkeit) sinnvoll.

Die Verwirklichung verbesserten Wärmeschutzes kann durch verschiedene Mittel bewerkstelligt werden:

- Vorschriften (Gesetze, Verordnungen)
- finanzielle Anreizsysteme (Subventionen, Steuererlasse, Finanzierungshilfen)
- energiepolitische Massnahmen (Energiesteuer, Informationsaktivitäten, Energieplanungen, Tarifpolitik usw.)

Allgemeine Aussagen, dass beispielsweise Vorschriften für verbesserten Wärmeschutz geschaffen werden sollen, interessieren heute nicht mehr. Vielmehr werden jetzt Angaben benötigt, wie diese Vorschriften gestaltet sein könnten und welche Inhalte sie umfassen sollen.

6.2 VORSCHRIFTEN

Der Einsatz neuer Vorschriften zur Durchsetzung von Energiesparmassnahmen ist sicher mit einiger Zurückhaltung zu propagieren. Auch wenn ein nationales Interesse besteht, muss sorgsam danach getrachtet werden, dass der verbesserte Wärmeschutz mit einem Minimum an gesetzlichem Zwang erreicht werden kann.

Damit eine Vorschrift wirksam ist, muss sie durchführbar sein. Das bedeutet in erster Linie, dass sie in all ihren Bestimmungen überprüfbar und kontrollierbar bleibt.

In Frankreich wurde z.B. die maximal zugelassene Innenraumtemperatur per Dekret auf 20 °C limitiert. In der Theorie bringt eine derartige Absenkung der Temperatur eine Heizenergieeinsparung in der Grössenordnung von 10%, was wiederum etwa 4% des Gesamtenergiebedarfs ausmachen dürfte. Die praktischen Auswirkungen einer solchen Vorschrift beschränken sich aber auf den Informations- und Propagandawert des Dekretierungsvorgangs, weil keine Behörde in der Lage sein wird, die Befolgung der Vorschrift zu überwachen.

Wir glauben, in unseren Empfehlungen die beiden oben angeführten Eigenheiten von Vorschriften gebührend berücksichtigt zu haben und verzichten daher im folgenden beispielsweise darauf, Ideen wie Kontingentierung oder gar Rationierung der Energie näher auszuführen.

6.2.1 Vorschriften betreffend Neubauten

Die Durchsetzung verbesserter Wärmedämmung macht eine präzise Regelung in den kantonalen Baugesetzen notwendig. Dazu muss einerseits ein Konzept gewählt werden, und andererseits das Anforderungsniveau festgelegt werden. Die unterschiedlichen Ansätze lassen sich gliedern in:

- k-Mittelwert-Konzept
- k-Wert-Vorschriften für die einzelnen Bauteile
- G-Wert-Konzept
- Maximal zulässiger spezifischer Wärmebedarf

6.2.2.1 k-Mittelwert Konzept

Eine mittlere Wärmedurchgangszahl k wird als maximal zulässiger oberer Wert festgelegt. Der mittlere k -Wert wird über die ganze Bauhülle gerechnet, unter Berücksichtigung der Fläche der einzelnen Bauteile und evt. der angrenzenden Umwelt (Boden über Erdreich bzw. über Luft). Der maximal zulässige k -Mittelwert kann von verschiedenen Parametern (Höhe über Meer, Volumenziffer, Temperaturlauslegung usw.) abhängig gemacht werden.

Die Empfehlung SIA 180/1 ist nach dem Konzept des k -Mittelwertes aufgebaut. Bereits in Abschnitt 1.2 haben wir die Charakteristika dieses Konzepts dargestellt. Die einzelnen Punkte sollen hier nicht wiederholt werden. Zusammenfassend lässt sich aber sagen, dass die Wirksamkeit des k -Mittelwertes in ausserordentlichem Mass von der absoluten Grösse dieses Wertes abhängt. Erst ab einem gewissen Grad ist gewährleistet, dass die nichttransparenten Teile der Gebäudehülle einen effektiv wärmedämmenden Aufbau (unter Verwendung eigentlicher Wärmedämmstoffe) erhalten. Wie aus einer Studie des Hochbauforschungsinstitutes der ETH-Zürich für das Eidg. Amt für Umweltschutz (Lit. 37) deutlich hervorgeht, werden geringe Anforderungen bezüglich des mittleren k -Werts der Gebäudehülle mit geringfügiger Verkleinerung des Fensterflächenanteils abgefangen: Das Energiesparpotential der nichttransparenten Bauteile der Gebäudehülle wird nicht ausgeschöpft.

Relativ strenge Vorschriften bezüglich des mittleren k-Werts bedeuten auch nicht unbedingt eine stärkere Einengung des projektierenden Architekten. Wenn die Schwelle überschritten wird, wo der Einsatz von Wärmedämmstoffen unumgänglich wird, dann kommt der in Kapitel 3 dargestellte Grundsatz zum Tragen, dass wenn gedämmt wird, es sich rentiert, sehr gut zu dämmen. Durch diese ökonomische Begünstigung sehr guter Wärmedämmung erhält der projektierende Architekt vermehrten Spielraum bezüglich Fensterflächenanteil und Volumenziffer.

Die Klarheit und Uebersichtlichkeit der Empfehlung SIA 180/1 ist nicht zuletzt darin begründet, dass sie für alle Haustypen unabhängig von deren Funktion anwendbar ist. In der Praxis macht es für den projektierenden Architekten einen beträchtlichen Unterschied aus, ob ein bestimmter mittlerer k-Wert für ein Wohn- oder Geschäftshaus gültig ist. Je tiefer der C_o -Wert der Empfehlung angesetzt ist, desto schärfer wird sich diese Problematik manifestieren. Aus diesem Grund die Anforderungen für die verschiedenen Haustypen zu spezifizieren, scheint uns wenig zweckmässig, da die Vorschrift deswegen zu umständlich in der Handhabung würde.

Da mit dem in der SIA-Empfehlung 180/1 dargelegten k-Mittelwertkonzept eine gute Grundlage geschaffen wurde, ist es sinnvoll, diese Empfehlung zu einem vollgültigen Energiesparinstrument auszubauen:

Wir empfehlen den Kantonen, die SIA-Empfehlungen 180 und 180/1 als verbindliche Norm in die Baugesetze aufzunehmen unter gleichzeitiger Herabsetzung des C_o -Wertes von 0,9 bzw. 0,75 (ab 1.1.82) auf 0,6 W/K m².

6.2.1.2 k-Wert-Vorschriften für die einzelnen Bauteile

Für die unterschiedlichen Bauteile der Gebäudehülle werden k-Wertanforderungen festgelegt. Diese Anforderungen können als eigenständiges Konzept ausgebildet werden. Sie können aber auch als ergänzende Massnahme zu beispielsweise einem k-Mittelwert-Konzept festgelegt werden. In letzterem Fall erfüllen sie ihren Zweck auch auf einem bescheidenen Anforderungsniveau.

Die Ueberprüfbarkeit von k-Werten einzelner Bauteile ist für die Bauämter einfach: Jede Wand-, Dach- oder Bodenkonstruktion kann sehr schnell durch einfache Rechnung oder durch Tabellenvergleich auf ihre Wärmedämmfähigkeit geprüft werden. Einzel-k-Werte müssen nicht nach verschiedenen Haustypen unterschieden werden, da sich diesbezügliche Probleme allenfalls aus Unterschieden im Fensterflächenanteil und evt. in der Volumenziffer ergeben. (Eine Aussenwand soll optimal gedämmt sein, ob sie nun gross oder klein ist im Verhältnis zur gesamten Fassade.)

Damit wird aber auch die Schwäche eines Einzel-k-Wert-Konzeptes deutlich: Die kompensatorischen Möglichkeiten fehlen. Wenn die Vorschriften streng gefasst werden (wenn sie allein stehen), ergibt sich zusammen mit der unumgänglichen Fensterflächenanteil-Beschränkung ein relativ unflexibles und einengendes Vorschriftenpaket. Vermehrte Flexibilität kann nur durch Preisgabe der Einfachheit und guten Anwendbarkeit der Vorschrift erkauft werden.

Wir empfehlen, die zusätzlichen Bedingungen für einzelne Bauteile in der SIA 180/1 auf folgendem Niveau neu festzulegen:

Leichte Flachdächer gemäss SIA 271

Mittlere und schwere Flachdächer (effektive Flächenmasse FM 100 kg/m²) 0,1 W/K m² tiefer als in SIA 271 festgelegt

Uebrige Dächer $k_d \leq 0,4 \text{ W/K m}^2$

Wände gegen Aussenklima $k_w \leq 0,5 \text{ W/K m}^2$

Bodenkonstruktionen über Aussenklima, unbeheizten Räumen und Erdreich $k_b \leq 0,7 \text{ W/K m}^2$

zusätzlich (damit vorderhand wenigstens Einfachverglasungen ausgeschlossen werden):

Fenster $k_f \leq 3,0 \text{ W/K m}^2$

6.2.1.3 G-Wert-Konzept

Mit dem sogenannten G-Wert werden nebst den Transmissionsverlusten auch die Lüftungswärmeverluste erfasst. Ausser dem mittleren k-Wert der Gebäudehülle spielt also auch Fensterqualität noch eine Rolle.

In Frankreich ist seit dem 10. April 1974 eine Bestimmung in Kraft, die den maximal zugelassenen G-Wert nach folgender Formel definiert:

$$G = N \cdot 0,3 + \sum \frac{k \cdot F}{V} \quad (\text{kcal/m}^3 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$$

N = Luftwechsel (1 für Doppelverglasungsfenster und 1,8 für Einfachverglasungsfenster)

F = Fläche

V = Volumen

k = Wärmedurchgangszahl in kcal/m² · h · °C

Ein Klassifikationssystem nach Wohnungstyp und Klimazone gliedert die Bauvorhaben in 27 Kategorien mit der jeweils zugehörigen G-Wert-Bestimmung. Die maximal zulässigen G-Werte schwanken heute in diesem System von 0,7 kcal/m³ · h · °C (0,85 W/m³ · °C) bis 1,72 kcal/m³ · h · °C (2,0 W/m³ · °C). Frankreich plant, die G-Wert-Anforderungen mit der Zeit noch drastisch anzuheben. (In diesem Herbst wurde beispielsweise bereits der G-Wert für elektrisch beheizte Wohnungen strenger gefasst).

Die relativ willkürliche und unsichere Festlegung der Lüftungswärmeverluste machen ein G-Wert-Konzept einem k-Wert-Konzept eher unterlegen, sodass für die Schweiz sicher nicht erwogen werden sollte, das SIA-Konzept durch eine G-Wert-Bestimmung zu ersetzen.

6.2.1.4 Maximal zulässiger spezifischer Wärmebedarf

Durch die Festlegung maximal zulässiger stündlicher Wärmeverbrauchswerte kann auf indirektem Weg eine gut wärmedämmte Bauhülle erzwungen werden. Durch die Anwendung standardisierter Wärmebedarfsrechnungen wie etwa nach Bruckmayer und Lang (Lit. 38) kann bei vorgegebenem maximal zulässigem Wärmebedarf pro Stunde die erforderliche Qualität der Bauhülle ermittelt werden.

Die Probleme sind ähnlich gelagert wie bei den G-Wert-Konzepten: Die relativ ungenau und unsicher erfassbaren Lüftungswärmeverluste werden mit den Transmissionswärmeverlusten verkoppelt. Damit besteht eine Vorschrift, die sich weniger auf die Theorie als auf die Ergebnisse in der praktischen Anwendung abstützen muss.

Eine Kategorisierung nach Gebäudetypen und Klimazonen ist kaum zu umgehen, wenn die Anforderung nicht auf einem Niveau bleiben soll, wo das Energiesparpotential in keiner Weise ausgeschöpft wird: Wohn-, Schul- und Geschäftshäuser haben einen unterschiedlichen spezifischen Wärmeverbrauch, der sich je nach Klimazone nochmals stark unterscheidet.

J. Lang (Lit. 39) schlägt für Oesterreich vor, für die Festlegung des spezifischen Wärmebedarfs von $15 \text{ kcal/Tag m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$ auszugehen. Klimaunterschiede würden somit durch die Verrechnung mit den Heizgradtagen berücksichtigt und Bauten mit grossem Fensterflächenanteil müssten mindestens z.T. dreifach- und festverglast sein. Ueberträgt man diesen Wert auf die Verhältnisse des schweizerischen Mittellandes, dann liegt der zulässige maximale spezifische Wärmebedarf für eine Heizsaison bei etwa $50'000 \text{ kcal/m}^3$. Dies entspricht bei einem Kesselwirkungsgrad von $\eta = 0,8$ ungefähr $6,2$ Litern Heizöl pro Kubikmeter Warmraum. Sicher liegt der heute durchschnittliche Verbrauch über diesem Wert (signifikante statistische Unterlagen fehlen allerdings). Ob das nach standardisierten Formeln auf einen spezifischen Heizölverbrauch von $6,2$ Litern ausgelegte Gebäude in der Praxis dann tatsächlich diesen Heizölverbrauch aufweist, ist eine andere Frage.

Die Festlegung des spezifischen Wärmebedarfs bringt gegenüber einem k-Mittelwert-Konzept keine Vorteile bezüglich Wärmedämmung. Hingegen könnte mit diesem Mittel die unerwünschte Ueberdimensionierung der Heizungen angegangen werden, was aber im Rahmen dieser Arbeit nicht näher ausgeführt werden kann.

6.2.2 Vorschriften betreffend bestehende Gebäude

Die Baugesetzgebung ist Sache der Kantone und je nach Autonomiegrad auch der Gemeinden. Damit können die Kantone (und in begrenztem Masse die Gemeinden) unmittelbar im Sinne obenstehender Empfehlungen eine verbesserte Wärmedämmung bei Neubauten erwirken. Die nachträgliche Wärmedämmung von bestehenden Gebäuden ist einerseits in der jetzigen Situation von grosser Wichtigkeit, andererseits aber recht schwierig über Vorschriften zu erreichen. Dies, weil durch den Zwang zu verbesserter Wärmedämmung viele Massnahmen ver-

langt würden, die bei heutigen Energiepreisen in keinem Fall wirtschaftlich sind. Damit käme eine solche Vorschrift leicht in Konflikt mit dem Verfassungsgrundsatz der Eigentumsgarantie. Vor allem kann eine Vorschrift nicht generell gültige Werte für den wärmetechnischen Standard von Umbauten festsetzen, weil die Wirtschaftlichkeit von Fall zu Fall verschieden ist und sich sogar im Einzelfall von Bauteil zu Bauteil ändern kann.

Wir empfehlen daher, in Baugesetzen und Bauordnungen den allgemeinen Grundsatz zu verankern, dass dem Wärmeschutz zwecks rationeller Energieverwendung bei Umbauten, Renovationen und Sanierungsvorhaben gebührende Beachtung geschenkt werden muss.

Damit wird den Bauämtern die Möglichkeit gegeben, in der Baubewilligungspraxis wenigstens die grössten "Energiesünden" zu verhindern. Zwar werden nur die bestehenden Gebäude erfasst, die ohnehin umgebaut, renoviert oder saniert werden. Da aber die Kosten für eine nachträgliche Wärmedämmung nur in einem vernünftigen Verhältnis zum Ertrag (an eingesparter Energie) stehen, wenn sie im Zuge allgemeiner Sanierungsarbeiten stattfindet, ist dies der einzig denkbare Ansatz. D.h., dass man realistischerweise mit einer wärmetechnischen Sanierung der bestehenden Bausubstanz höchstens im Rythmus der "natürlichen" Gebäudeerneuerung, also mit einem Zyklus von 25 bis 30 Jahren, rechnen kann (vgl. auch Abschnitt 4.5).

6.2.3 Vorschriften auf Bundesebene

Die Schweizerische Energie-Stiftung tritt dafür ein, dass dem Bund mit einem neuen Verfassungsartikel ein Instrument in die Hand gegeben werde, die energiepolitischen Belange zu regeln. Bis aber ein darauf beruhendes Energiegesetz mit zugehörigen Ausführungsbestimmungen wirksam wird, werden auf jeden Fall Jahre vergehen. In diese Gesetzgebung sollte dannzumal eingehen, was sich auf kantonaler und kommunaler Ebene bewährt und im Lauf der Zeit als sinnvolle Regelung abgezeichnet hat. Dieser Ablauf ist zumindest für den Bereich der Energiesparmassnahmen sinnvoll, macht aber auch ein gut koordiniertes Vorgehen unbedingt erforderlich. Die bereits gegrün-

dete "Konferenz der kantonalen und eidgenössischen Energiefachstellen" übernimmt zweifellos eine zentrale Rolle im energiepolitischen Geschehen der nächsten Jahre.

Auch wenn wir also verschiedene Möglichkeiten zur Durchsetzung verbesserter Wärmedämmung anführen, ist die Meinung doch die, dass letztendlich unbedingt in koordinierter Weise vorgegangen werden sollte. Unterschiedliche Anforderungsstufen in den einzelnen kantonalen Baugesetzen sind dabei leichter zu ertragen, als ganz verschiedene prinzipielle Ansätze.

6.3 FINANZIELLE ANREIZE

Die nachträgliche Wärmedämmung von Aussenwänden, Dächern und Böden im Zuge allgemeiner Sanierungsarbeiten ist von Fall zu Fall mit ganz unterschiedlich hohen Kosten verbunden. Das Mass der Rentabilität bzw. der Unwirtschaftlichkeit schwankt dadurch in einem weiten Bereich. Durch finanzielle Anreize kann die Rentabilitätsschwelle abgesenkt werden. Nebst der unmittelbaren Förderung einzelner Wärmedämm-Massnahmen treten dabei auch weitere Auslösereffekte auf: Es werden prinzipielle Entscheide gefördert, ob nicht die Gelegenheit zu nutzen sei, für einen umfassenden Vollwärmeschutz des Gebäudes zu sorgen. Ausserdem ist auch der Propagandaeffekt einer solchen Aktion nicht zu unterschätzen. Mit der Ausführung von Wärmedämmssystemen beschäftigte Firmen kennen das Phänomen aus der Praxis, dass in Ortschaften und Quartieren, wo sich nachträgliche Wärmedämmungen über eine gewisse Zeit bewährt haben, Interesse und Nachfrage sehr viel grösser sind als anderswo.

Finanzielle Anreize werden bereits in vielen Ländern eingesetzt. Im folgenden zeigen wir auf, welche Mittel unseres Erachtens bei uns eingesetzt werden sollten.

6.3.1 Subventionen

Am wirksamsten wird verbesserter Wärmeschutz zweifellos durch die Auszahlung von Subventionen gefördert. Die in dieser Arbeit darge-

legten Gründe für eine gute Wärmedämmung der Gebäudehülle rechtfertigen u.E. den Einsatz erheblicher finanzieller Mittel im Rahmen eines Subventionssystems.

Wir schlagen folgendes Modell vor:

Der Bund übernimmt einen Drittel der Kosten nachträglicher Wärmedämmung. Im Höchstfall beträgt die Subvention pro Wohnung Fr. 3'000.-. Die Auszahlung von Subventionen ist an (zu belegende) Materialkosten gebunden. Mit Subventionen werden nur Wärmedämm-Projekte unterstützt, deren Gesamtkosten über Fr. 3'000.- liegen.

Der Bund stellt für die Subventionierung von nachträglicher Wärmedämmung einen Betrag in der Höhe von 300 Mio. Fr. bereit. Die Gelder sollen in einem Zeitraum von 3 bis 5 Jahren zur Auszahlung kommen. Die Mittelbeschaffung erfolgt über eine Energiesteuer.

Durch die Auszahlung von Bundessubventionen nach obigem Muster würde im Bauhaupt- und -nebengewerbe sowie in der Wärmedämm-Branche ein Auftragsvolumen von ungefähr einer Milliarde Franken umgesetzt, da die Subventionen im Schnitt ja nur etwa einen Drittel der gesamten Wärmedämmkosten ausmachen. Dieser Effekt ist konjunktur- und beschäftigungspolitisch umso wünschenswerter, als damit in erster Linie kleinere und mittlere Betriebe gestützt werden und eine ausgeglichene geographische Verteilung gewährleistet ist.

Damit ein Subventionierungsprogramm volle Wirksamkeit erreicht, muss der Art der Durchführung und den äusseren Umständen grosse Beachtung geschenkt werden. Beispielsweise muss berücksichtigt werden, dass der Mieter keine nachträgliche Wärmedämmung durchführen wird, wenn er nicht Gewähr hat, dass er die Investitionskosten bei Wegzug auf den Vermieter abwälzen kann. Umgekehrt wird der Vermieter nur nachträglich dämmen, wenn die Wertvermehrung im Mietpreis Niederschlag finden darf. Gerade dank der Subventionen ergibt sich aber die Möglichkeit, diese an sich unglückliche Konstellation aufzuheben: Auch wenn der Vermieter die ihm erwachsenden Investitionskosten samt Gewinnanteil auf den Mieter überwälzt, wird diese Miet-

erhöhung kleiner sein als die Heizkosten, da der Mieter keine Kapitaldienste für die Subvention zu tragen hat. Je nachdem, welche Gruppe berechtigt werden soll, Subventionen zu beziehen, sollte durch entsprechende gesetzliche Regelungen dafür gesorgt werden, dass keine Hindernisse dieser Art den Ablauf des Subventionierungsprogramms stören und dass im übrigen Verteilung der Mittel und Ausführungskontrolle bis auf Stufe Gemeindebauämter sorgfältig geregelt ist.

Ausländische Erfahrungen zeigen, dass Subventionen in der Öffentlichkeit auf grosses Interesse stossen. Die probeweisen Versuchszahlungen in Prince Edward Island und Nova Scotia im Rahmen des kanadischen Subventionierungsprogramms in der Höhe von insgesamt 1,4 Milliarden Dollar standen einer eigentlichen Flut von Gesuchen gegenüber.

Bereits sind in vielen Ländern Erfahrungen ähnlicher Art gemacht worden. Im folgenden ein kurzer Ueberblick:

USA: 55 Mio. Dollar für nachträgliche Wärmedämmungen im Wohnungssektor.

Dänemark: Bereits 1975 wurden Subventionen für nachträgliche Wärmedämmungen in der Höhe von 215 Mio. Fr. bewilligt. In den Jahren 1977 bis 1980 werden über 500 Mio. Fr. für nachträgliche Wärmedämmungs-Subventionen ausgegeben.

Schweden: 1974 wurden 150 Mio. Fr. als Subventionen und Kredite abgegeben. 1975 60 Mio. Fr. als Subventionen.

Holland: Bis Ende Juni 1977 wurden Subventionen für nachträgliche Wärmedämmungen in der Höhe von 165 Mio. Fr. ausbezahlt.

6.3.2 Steuererleichterungen

Die heutigen Steuergesetze stellen eine starke Behinderung der nachträglichen Wärmedämmung dar. Jede Investition für einen verbesserten Wärmeschutz des Gebäudes führt zu einer Erhöhung des Gebäudewertes, was als zusätzliches Vermögen versteuert werden muss. Viel stärker wirkt aber noch, dass dadurch der Mietwert der eigenen Wohnung steigt, der in der Steuerdeklaration zum Einkommen gezählt wer-

den muss. Bei progressiver Besteuerung kann dies zu erheblicher Mehrbelastung führen und somit die Erstellung verbesserten Wärmeschutzes behindern.

Im Kanton Baselland gilt ab 1. Januar 1977 die Regelung, dass Selbständigerwerbende und juristische Personen Investitionen für Energiesparmassnahmen folgendermassen abschreiben können: Vom Buchwert können in den ersten beiden Jahren 50%, also insgesamt 75% abgeschrieben werden (Lit. 39). Ständerat W. Jauslin, Baselland, schlägt unter anderem auch vor, von der "Mietwert-Regelung" in dieser benachteiligenden Form wegzukommen und beispielsweise den Schuldzins der Besteuerung zugrunde zu legen.

Je nach Steuergesetzgebung werden unterschiedliche Massnahmen notwendig sein, um eventuelle Behinderungen von nachträglicher Wärmedämmung aufzuheben.

Es sollte allen juristischen und natürlichen Personen ermöglicht werden, Investitionen für nachträgliche Wärmedämmung (und Energiesparmassnahmen im allgemeinen) innert kurzer Zeit weitgehend abzuschreiben.

Als Ergänzung zum bereits vorgeschlagenen Subventionierungsprogramm über einen längeren Zeitraum empfehlen wir ausserdem eine echte Steuererleichterung:

Die Materialkosten wärmetechnischer Sanierungsmassnahmen können in der Steuerdeklaration vom Einkommen abgesetzt werden. Der Abzug muss durch eine Rechnung der Bau- bzw. Lieferfirma belegt sein.

Massnahmen dieser Art könnten kurzfristig in Kraft gesetzt werden und sind für die Verwaltungen relativ einfach zu handhaben. Dem Hauseigentümer würde weitgehende Freiheit gelassen, im Rahmen von Mindestanforderungen bezüglich Qualität der nachträglichen Wärmedämmung und Grenzen des abziehbaren Betrags, sein Haus nach eigenem Gutdünken zu dämmen.

Steuererleichterungen stellen eine finanzielle Belastung der Staatskasse dar. Wie im Fall der Subventionen müssen auch verminderte Steuereinnahmen bei der heutigen Finanzlage der öffentlichen Hand durch eine Energiesteuer wettgemacht werden.

6.3.3 Finanzierungshilfen

Damit nicht aus Gründen mangelnder Liquidität oder wegen fehlendem Kapital an sich vom Hausbesitzer erwünschte nachträgliche Wärmedämm-Massnahmen unterbleiben, kann mit der Bereitstellung von zinsfreien oder billigen Krediten durch die öffentliche Hand (oder durch die blossе Verbürgung von Nachgangshypotheken) die wärmetechnische Sanierung von Gebäuden gefördert werden.

Möglichkeiten und Grenzen von Finanzierungshilfen zur Durchsetzung baulicher Anforderungen können anhand eines schweizerischen Beispiels erkannt werden: Das Bundesamt für Wohnungswesen knüpft seit einiger Zeit Wärmeschutzanforderungen an die Vergabe von Finanzierungshilfen im Rahmen des Wohnbau- und Eigentumsförderungsgesetzes. Die zuständigen Stellen haben damit zu einem frühen Zeitpunkt ihr Bestmögliches getan und dabei aber feststellen müssen, dass die Grenze schnell erreicht ist, wo Anforderungen als zu unbequem erachtet werden und lieber auf die Finanzierungshilfe verzichtet wird. Immerhin hat eine kreditvergebende Stelle informatorische Möglichkeiten: Sie kann auf wärmetechnische Fehler hinweisen oder ganz allgemein den sich interessierenden Hausbesitzer auf Sinn und Zweck verbesserten Wärmeschutzes aufmerksam machen.

Durch Finanzierungshilfen erwachsen dem Staat keine sehr grossen Kosten. Dafür werden aber staatliche Gelder für einen bestimmten Zeitraum gebunden. Wir sind der Ansicht, dass ein kombiniertes System von Subventionen und Finanzierungshilfen ein ausgeglichenes Massnahmenpaket darstellt, das einerseits die Wirtschaftlichkeit verbesserter Wärmedämmung positiv beeinflusst und andererseits Kapitalknappheit und mangelnde Liquidität abfangen könnte.

Wir schlagen daher vor, dass das Subventionierungsprogramm (evt. zeitlich gestaffelt) durch das Angebot zinsgünstiger Darlehen für wärmetechnische Sanierungen ergänzt wird.

6.4 DIE HANDHABUNG GESETZLICHER REGELUNGEN

In den geltenden kantonalen Baugesetzen und kommunalen Bauordnungen sind viele Tatbestände geregelt, die Massnahmen zur verbesserten Wärmedämmung direkt und indirekt beeinflussen. Es ist deshalb wichtig, dass Bewilligungspflicht und Ausführungsbestimmungen einer verbesserten Wärmedämmung förderlich sind.

Ein besonderes Problem stellt in diesem Zusammenhang die Ueberschreitung der Baulinien durch nachträgliche Wärmedämmung dar: Wird ein bestehendes Gebäude, das bereits bis auf die Baulinie gebaut wurde, mit einer Aussendämmung versehen, so kann diese Baulinie im Falle einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade bis zu 20 cm überschritten werden.

Das Problem stellt sich glücklicherweise nicht in allen Gemeinden, da oft bereits eine Ueberschreitung der Baulinien zum Zweck der nachträglichen Wärmedämmung gestattet wird. Andernorts wird mit einer u.E. unzweckmässigen rechtlichen Gleichstellung der nachträglichen Wärmedämmung mit Anbauten und Erkern der Einsatz verbesserter Wärmedämmung erschwert.

Wir empfehlen, in den kantonalen Baugesetzen den Grundsatz zu verankern, dass nachträgliches Ueberschreiten der Baulinien zum Zwecke der Wärmedämmung gestattet ist. Im Rahmen der kommunalen Bauordnungen können die notwendigen Ausnahmen (Ortsbildschutz) festgelegt werden.

Bei Neubauten wird in städtischen Gebieten mit sehr hohen Bodenpreisen die Wahl der schlanksten Aussenwand aus ökonomischen Gründen zur Notwendigkeit. Durch den Einsatz von Wärmedämmstoffen für einen optimalen Wärmeschutz geht deshalb teure Nutzfläche verloren.

Wo im Rahmen kommunaler Gestaltungsplanvorschriften ein Ausnützungsbonus zur Anwendung kommt, sollte auch die verbesserte Wärmedämmung durch das Recht auf eine erhöhte Ausnützung kompensiert werden.

6.5 TECHNOLOGIEKONTROLLE UND QUALITÄTSGARANTIE

Wärmeschutzmassnahmen sollen dauerhaft sein. Wer sich etwa entschliesst, sein Haus nachträglich mit Wärmedämmstoff zu ummanteln, rechnet damit, dass die Fassade mit dieser Massnahme für mindestens 20 Jahre saniert sei. Da sich die gesetzlichen Garantiefrieten aber lediglich über 5 Jahre erstrecken, ist der Hausbesitzer darauf angewiesen, ein qualitativ hochstehendes Produkt zu erhalten. Gerade die Tatsache, dass Wärmedämmung immer notwendiger und begehrter wird, hat dazu geführt, dass neben bauphysikalisch einwandfreien Neuentwicklungen auch Produkte auf dem Markt angeboten werden, die unausgereift sind und deren Langzeitverhalten in keiner Weise bekannt ist. Die bauphysikalische Konzeption gewisser Systeme ist sogar als riskant zu bezeichnen, sodass ein Versagen im Verlauf der ersten zehn Jahre erwartet werden darf.

Die harte Konkurrenz in der Wärmedämm-Branche führt dazu, dass versucht wird, möglichst billige Dämm-Möglichkeiten anzubieten. Der interessierte Hausbesitzer bzw. Bauherr (und oftmals leider auch der beteiligte Architekt) ist nicht in der Lage, die bauphysikalische Qualität und das Langzeitverhalten der angebotenen Dämm-Möglichkeiten zu erkennen. Es ist somit zu befürchten, dass in Zukunft noch vermehrt Wärmedämm-Systeme angeboten werden, die zwar relativ billig sind, dafür aber auch mit einigen Schadenrisiken behaftet sind: Fünf Jahre überlebt auch eine relativ schlechte Konstruktion (oder mindestens kann es so gehalten werden, dass die Schäden erst später erkennbar werden). Auch wenn es ein seltener Fall bleiben wird, muss doch daran gedacht werden, dass kein Hausbesitzer von einer konkursierten Firma entschädigt werden kann. Hinter all diesen möglichen Vorgängen braucht keine betrügerische Absicht zu stecken. Unsorgfältigkeit und Unkenntnis der bauphysikalischen Prob-

lematik können Unternehmer zu übereiltem Anbieten von ungenügend geprüften Wärmedämm-Systemen bewegen.

Im Rahmen unseres Wirtschaftssystems ist es nicht möglich, kurzfristig taugliche Vorschriften für die Regelung dieses Problems zu schaffen. Die unternehmerische Freiheit müsste zu diesem Zweck zu starken Einschränkungen unterworfen werden. Hingegen sollte sowohl Baufachleuten wie Bauherren durch Produkteinformation von unabhängiger Seite gute Entscheidungsgrundlagen in die Hände gegeben werden.

Wir schlagen vor, dass einer unabhängigen Forschungsstelle der Auftrag erteilt wird, produktebezogene Evaluationsarbeiten durchzuführen und zu publizieren.

Das wirksamste Mittel zur Gewährleistung bautechnischer Qualität ist die Verbindlicherklärung geeigneter Normen. Der SIA hat in anerkennenswerter Weise diese Arbeit bereits angepackt und erarbeitet zur Zeit eine Empfehlung betreffend die Qualität von Wärmedämmstoffen (Lit. 45). Gestützt auf Normen dieser Art (die insbesondere auch die Anwendung und Verarbeitung am Bau beinhalten sollten) lässt sich hoffentlich innert nützlicher Frist die Garantiepflcht partiell erweitern und das Problem als Ganzes entschärfen.

Der ganze Bereich der Technologiekontrolle ist zwar dank intensiver Arbeit öffentlicher und privater Stellen inhaltlich und technisch recht weit fortgeschritten (siehe z.B. die Messmöglichkeiten der bauphysikalischen Institute), befindet sich aber auf politischer Ebene in einem ausgesprochenen Vorstadium. Wir erachten es als sehr wichtig, dass die betroffenen Stellen in koordiniertem Vorgehen intensiv und zielstrebig auf einen wirksamen Schutz des Bauherrn und die Gewährleistung qualitativ hochstehender Wärmeschutzmassnahmen hinarbeiten.

6.6 INDIREKTE FOERDERUNG VERBESSERTER WAERMEDAEMMUNG DURCH UMFASSENDERE ENERGIESPARBESTREBUNGEN

Verbesserte Wärmedämmung stellt eine Massnahme dar, die erst in Kombination mit vielen weiteren Energiesparmöglichkeiten bautechnischer und betrieblicher Art das Energiesparpotential im Gebäude sinnvoll angeht. Das bedeutet umgekehrt, dass viele allgemein gehaltene Massnahmen zur Förderung der rationellen Energieverwendung indirekt auch die verbesserte Wärmedämmung fördern. Wir führen daher im folgenden auch die wichtigsten Energiesparaktivitäten auf, die sich mittelbar auf den Wärmeschutz von Gebäuden auswirken, bzw. wo die verbesserte Wärmedämmung nur einen Teilaspekt darstellt.

6.6.1 Information und Ausbildung

Die nationale Energiesparkampagne, die seit einiger Zeit läuft, könnte u.E. sinnvoll ergänzt werden durch eine Publikation, die sich an die Haus- und Wohnungseigentümer als Heimwerker wendet.

Wärmedämm-Firmen machten in letzter Zeit etwa auf Baumessen die Erfahrung, dass aus diesem Kreis den Möglichkeiten verbesserten Wärmeschutzes sehr grosses Interesse entgegengebracht wird.

In der BRD war die erste Auflage des Energiesparbuches (Lit. 40), das vom Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau herausgegeben wird, innert kürzester Zeit vergriffen. In den USA konnten von der analogen Broschüre "In the Bank or up the Chimney" von Technology + Economics über 300'000 Exempare zu Marktpreisen abgesetzt werden. Da es sich dabei um ausgesprochene Bastel- und Bauanleitungen handelt, darf mit einem entsprechenden Effekt gerechnet werden.

Wohnung und Arbeitsplatz werden heute in der Regel unter dem Gesichtswinkel eines eher primitiven Komfortverständnisses beurteilt. Raumlufttemperatur und allenfalls die relative Luftfeuchtigkeit bilden darin die einzigen innenklimatischen Einflussgrössen. Hier liegt zweifellos eine wichtige informatorische Aufgabe (unter anderem des Mieterschutzes), bei allen Hausbenützern ein Bewusstsein

für gesundes Wohn- und Arbeitsklima und echten Wärmekomfort zu schaffen. In Abschnitt 2.4 haben wir die zentrale Rolle optimaler Wärmedämmung in diesem Zusammenhang beschrieben.

Die Möglichkeiten, in Schulprogrammen aller Stufen der Energie-Thematik vermehrtes Gewicht beizumessen, können an dieser Stelle nicht näher umschrieben werden. Wir möchten lediglich darauf hinweisen, dass insbesondere bei der Ausbildung von Baufachleuten die Möglichkeiten rationeller Energieverwendung unter Einbezug möglichst vieler Aspekte (technisch-physikalisch, wirtschaftlich, gesellschaftlich usw.) von grosser Wichtigkeit ist.

6.6.2 Die öffentliche Hand als Bauherrin und Eigentümerin von Liegenschaften

Durch ein verbindliches Wärmehaushaltkonzept hat die Direktion der eidg. Bauten Massnahmen zur Energieeinsparung im Betrieb und für die Planung neuer Gebäude des Bundes in Kraft gesetzt. Dieses Konzept ist sehr zweckmässig aufgebaut und umfasst in gut anwendbarer Weise die wesentlichen Möglichkeiten, den Energiehaushalt zu beeinflussen.

Wir würden es sehr begrüssen, wenn die Empfehlung der Direktion der eidg. Bauten von möglichst vielen öffentlichen und privaten Stellen übernommen würde. Wir möchten dazu noch anregen, die Richtwerte für die Wärmedurchgangszahl k an den jeweils unteren Grenzen der angegebenen zulässigen Bereiche zu fixieren.

Als Bauherrin hat die öffentliche Hand die Möglichkeit, versuchsweise sehr gut wärmegeämmte Bauten zu erstellen. Insbesondere was die nachträgliche Wärmedämmung bestehender Gebäude angeht, wäre es äusserst nützlich, wenn die öffentliche Hand in Einzelfällen mit einer gewissen Risikofreudigkeit relativ weitgehende Energiesparmassnahmen anwenden würde. Aber auch Neubauten könnten wenigstens zum Teil als eigentliche Energiespar-Testgebäude ausgeführt werden.

Den bauphysikalischen Forschungsinstituten könnte im Rahmen eines solchen Programms die Chance gegeben werden, wertvolle Informationen aus der Praxis zu erhalten. Allein der Forschungswert dieser Aktion würde damit sicher höher liegen als die zusätzlichen Aufwendungen für den überdurchschnittlich guten Wärmeschutz, zumal in vielen Fällen eine echte Chance auf Wirtschaftlichkeit der Massnahme bestünde. Die Erhöhung des Bauschadenrisikos könnte bescheiden gehalten werden, da es im Rahmen eines derartigen Programms eben möglich wäre, mit einer gewissen Systematik vorzugehen und die auf diesem Feld kompetenten Fachleute zur Beratung beizuziehen.

Die amerikanische Bundesregierung hat Mittel bereitgestellt, um energiesparende Testgebäude zu errichten. Als Beispiel wurde das neue Federal Office Building in Manchester, New Hampshire, erstellt. Nebst einer Vielzahl konzeptioneller, betrieblicher und gerätetechnischer Energiesparmassnahmen wurde natürlich auch der Wärmedämmung der Gebäudehülle grosse Beachtung geschenkt. So wurde etwa die fast fensterlose Nordseite mit bis zu 30 cm Wärmedämmstoff versehen (Lit. 41).

Nebst der Bedeutung für die Bautechnik besitzt eine Energiesparpionierleistung, wie sie oben dargestellt wurde, auch einen grossen Propagandawert. Anhand der so geschaffenen Beispiele und der bautechnischen Erkenntnisse könnte eine inhaltlich sehr konkret gehaltene Öffentlichkeitsarbeit betrieben werden. Auch ein Energiesparberatungsdienst könnte sich auf eigene Erfahrungen abstützen und vor diesem Hintergrund sehr gezielte Anleitungen geben.

6.6.3 Energiesteuer

Unseres Erachtens sollten die Energieträger durch eine Steuer belastet werden. Die wesentlichen Gründe dafür sind:

- Mittelbeschaffung für Subventionierungs- und andere Unterstützungsprogramme im Bereich der Energiepolitik.
- Die Energiesteuer ist ein wichtiges energiepolitisches Instrument: Preisschwankungen auf dem internationalen Markt können

innerhalb gewisser Grenzen abgefangen werden; regenerierbare, einheimische Energiequellen können bevorzugt werden.

- Durch die Verteuerung der Energie wird ein vernünftiges Preis-Wert-Verhältnis hergestellt, was einen nicht zu unterschätzenden Sparanreiz für den Konsumenten darstellen dürfte.
- Durch den Energieverbrauch anfallende externe Kosten können mit der Energiesteuer immerhin teilweise internalisiert werden.
(Viele der sozialen Folgekosten sind nicht quantifizierbar und entziehen sich daher der Möglichkeit finanzieller Kompensation.)
(Vgl. dazu auch Lit. 42).

Ueber die Möglichkeiten der Ausgestaltung einer Energiesteuer wurden bereits sehr ins Detail gehende Untersuchungen angestellt (Lit. 43). Wir gehen an dieser Stelle nicht näher auf diese Thematik ein.

Wir empfehlen, im wesentlichen dem Besteuerungsvorschlag der EWU-Gruppe (Lit. 44) zu folgen, der insbesondere Steuerfreiheit des Energiegrundbedarfes beinhaltet.

6.6.4 Energieplanung

Auf internationaler, nationaler und kantonaler Ebene werden intensiv konzeptionelle energiepolitische Lösungen erarbeitet. Obwohl aber letztlich all diese Strategien auf der Ebene der Gemeinden umgesetzt bzw. angewendet werden müssen, haben die wenigsten Gemeinden sich bis jetzt entschliessen können, im energiepolitischen Geschehen eine aktive Rolle zu spielen. Dies liegt sicher daran, dass über die entsprechenden Möglichkeiten der Gemeinde grosse Unklarheit herrscht und man sich auch kaum auf Erfahrungen abstützen kann. Mögliche Auswirkungen bezüglich Wärmeschutz von Gebäuden sind durch kommunale Energieplanungen natürlich eher indirekter Art, sieht man von der unter Punkt 6.2 angeführten Rolle der öffentlichen Hand als Bauherrin ab.

Konkret soll an dieser Stelle nur empfohlen werden, kommunale Energiefachstellen zu schaffen. Es ist denkbar, dass dem Modell der Ge-

meinde Küssnacht gefolgt wird, die mit ihrer seit einiger Zeit bereits arbeitenden Wärmekommission ein Gremium zur Verfügung hat, das mit grosser Akribie dem Energiespargedanken Nachdruck verschafft. Eine weitere Möglichkeit ist, eine permanente kommunale Energiefachstelle einzurichten, die gleichzeitig Energiespar-Beratungsstelle für private und öffentliche Bauherren sein könnte. Grösseren Gemeinden wäre es auch möglich, die Ausrüstung für thermographische Aufnahmen anzuschaffen und im Rahmen des Beratungsdienstes einzusetzen. Mit Thermographie können Temperaturstrahlungen sichtbar gemacht werden. Thermographische Aufnahmen von Gebäuden zeigen deshalb sehr eindrücklich, in welchen Bereichen Wärme an die Umgebung abgestrahlt wird.

Dem Energieverbrauch und der Energieversorgung auf Gemeindeebene sollte vermehrt Beachtung geschenkt werden. Die Möglichkeiten, die Energiebedürfnisse in der Gemeinde mit energiesparenden Versorgungskonzepten (die auch den Einsatz eigentlicher Energiesparmassnahmen wie Wärmedämmung umfassen) abzudecken, sollten im Rahmen von kommunalen Energieplanungen untersucht werden. In diesem neuen Feld besteht auch ein erheblicher Forschungsbedarf, der in den nationalen Forschungsprogrammen gebührend berücksichtigt werden sollte.

Literatur

- 1 Initialkosten und Folgekosten der Wohnung, Band 1,
Wirtschaftliche Wärmedämmung,
IVWSR 1976, Luxemburg, 108 avenue du 10 septembre
- 2 Regeln für die "Kühllastberechnung"
VSHL, Zürich
- 3 Thermal Comfort
P.O. Fanger
Danish Technical Press, Copenhagen, 1970
- 4 Energie und Raumklima - Ansatzpunkte für eine neue
Architektur
Bauen + Wohnen, 7/8, Juli-August 1977, Zürich
- 5 PLENAR, Planung - Energie - Architektur
P. Steiger, C.U. Brunner, et al
Verlag A. Niggli, Niederteufen, 1975
- 6 Entwicklungsperspektiven des schweizerischen Wohnungsbaus
Dr. T. Angelini
Schriftenreihe Wohnungsbau Nr. 27d, Eidg. Forschungskommission
für Wohnungsbau (FKW), 1974
- 7 Aussenwandkonstruktionen mit optimalem Wärmeschutz
H. Hebgen, F. Heck
Bertelsmann Fachverlag, 1973
- 8 Dächer, Decken, Fussböden mit optimalem Wärmeschutz
H. Hebgen, F. Heck
Bertelsmann Fachverlag, 1975
- 9 Wärmeschutz. Vorlesung an der Hochbau-Abteilung der
HTL Brugg-Windisch
Prof. H. von Escher, Prof. Dr. K.O. Hintermann
- 10 Physiologische Grundlagen des Wohnungsbaues
S. Huser, E. Grandjean, M. Suchantke
Schriftenreihe Wohnungsbau Nr. 14d, FKW, 1971
- 11 Falsch geheizt ist halb gestorben
A. Eisenschink
F. Hirthammer Verlag, München, 1975

- 12 Einsparung von Heizenergie - Ein Gebot der Stunde
Schweizerische Vereinigung für Gesundheitstechnik
Schriftenreihe Nr. 41, Zürich, 1975
- 13 Grundlagen für einen energiesparenden Wärmeschutz
im Hochbau
K. Gertis
in: Praktische Anwendung von Energiespartechniken
Gottlieb Duttweiler-Institut, Rüschlikon, 1976
- 14 Brennstoffersparnis von Wohn- und Geschäftsbauten durch
bauliche Massnahmen
EMPA, Studie Nr. 18050/1 und 18050/2, 1973
- 15 Energiehaushalt im Hochbau. Wettbewerbsarbeiten
Beitrag von F. Venosta
SIA, Zürich, 1976
- 16 Wärmedämmung wie stark? Beitrag zur Vernehmlassung der
SIA-Empfehlung 180/1
F. Venosta, Zürich, 1976
- 17 Die wirtschaftlich optimale Wärmedämmung von Neubauten
R. Weiersmüller, Vortrag an der SVG-Tagung vom 6.5.77
- 18 Die wirtschaftlich optimale Wärmedämmung von Neubauten
R. Weiersmüller
SEZ, Heft 1/2, 1977
- 19 Wirtschaftlichkeit von Wärmeschutzmassnahmen bei Hochbauten
H. Mazan, H. Lendi
Temperatur Technik, Juli/August 1976
- 20 Vollwärmeschutz im Hochbau
Dipl. Ing. M. Löchner, Grünzweig & Hartmann AG, Ludwigshafen
- 21 Die Entwicklung zum wirtschaftlichen Wärmeschutz
Dipl. Ing. E. Brocher
Institut für Bauforschung, Hannover
- 22 Wirtschaftlich optimaler Wärmeschutz. Berechnungsunterlagen
der Flumroc AG
B. Luchsinger, Flums, 1977
- 23 Die wirtschaftlich optimale Aussenwand
Dr. E. Loch
SBZ, Heft 46, 14.11.1974
- 24 Wirtschaftlich optimale Wärmedämmung
Unveröffentlichtes Manuskript von W. Hochstrasser, Zürich
- 25 Individuelle Heizkostenabrechnung
SES-Report Nr. 3
J. Nipkow, Zürich, 1977

- 26 Baukostenminimaler Wärmeschutz
E. Attlmayr
Heizung, Lüftung, Haustechnik, Nr. 10, Oktober 1974
- 27 Die richtige Wahl der Wärmedämmung
E. Attlmayr
SBZ, Heft 38, 19.9.1974
- 28 Kosten und Ertrag von Wärmeschutzmassnahmen. Unveröffentliche Berechnungen von P. Bossert, Dietikon 1977
- 29 Wirtschaftlichkeit von Heizung und Isolation
Brunner/Fierz/Grossfeld/Rieben
Schriftenreihe Wohnungsbau Nr. 20d, FKW, 1971
- 30 The Energy Intensity of Building Materials
Robert A. Kegel
Heating, Piping, Air Conditioning, Juni 1975
- 31 The Energy Economics of Building Construction
D. Barnes, L. Rankin
Build International 8/1975
- 32 Die sogenannte Energiekrise
Ivan Illich
Rowohlt, 1974
- 33 Die Kosten der Energieversorgung in der Schweiz
Motor Columbus Ing.-Unternehmung AG
GEK-Studie Nr. 2, EDMZ, 1977
- 34 Luftverunreinigung und ihre Wirkungen
K. Garber
Gebrüder Bornträger Verlag, Berlin, 1967
- 35 Umwelthygiene in der Raumplanung
E. Grandjean, A. Gilgen
Ott Verlag, Thun, 1973
- 36 Klimaveränderung durch Kohlendioxid
H. Oeschger, U. Siegenthaler
NZZ, Nr. 53, 23.4.1975
- 37 Kosten der baulichen Schall- und Wärmeschutzmassnahmen
Hochbauforschungsinstitut der ETH-Zürich, 1977
- 38 Wirtschaftlicher Wärmeschutz
F. Bruckmayer und J. Lang
Schriftenreihe der Forschungsgesellschaft für Wohnen, Bauen und Planen, Wien, 1973
- 39 Energieleitbild beider Basel
Bericht der Kantonsregierungen, 1977

- 40 Energiesparbuch für das Eigenheim
Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau,
Bonn-Bad-Godesberg
- 41 Das energiesparende Haus der Zukunft
Dr. W. Schweisheimer
in: Temperatur Technik, Juli/August 1976, S. 105 ff.
- 42 Externalitätenprobleme und Internalisierungsstrategien
im Energiebereich der Schweiz
GEK-Schriftenreihe Nr. 12, 1977
- 43 Finanzwirtschaftliche Aspekte der Energiepolitik
GEK-Schriftenreihe Nr. 15, 1977
- 44 Stabilisierungsvarianten
GEK-Schriftenreihe Nr. 11a, 1977
- 45 Wärmedämmstoffe, Anforderungswerte und Materialprüfung
Vernehmlassungsentwurf zu Norm SIA 279, 1977
- 46 Die wirtschaftlich optimale Wärmedämmung von Neubauten
Eidg. Amt für Umweltschutz, unveröffentlichte Arbeit von
P. Winkelmann, 1977