Strukturänderung im Energieverbrauch

Autor(en): **Brunner, Conrad U. / Müller, Ernst A.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **104 (1986)**

Heft 11

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-76100

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Strukturänderung im Energieverbrauch

Von Conrad U. Brunner und Ernst A. Müller, Zürich

Im nachfolgenden Beitrag wird über die Ergebnisse einer 2jährigen Forschungsarbeit mit Mitteln des Schweizerischen Nationalfonds im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes 44 «Energie» berichtet [1]. Wie bereits in einer früheren Arbeit der gleichen Forschergruppe [2] befassen sich die gleichen Autoren in dieser Zeitschrift mit dem Energiesparpotential bestehender und neuer Bauten, die mit mehr oder weniger herkömmlichen Bautechniken und jedenfalls mit wirtschaftlichem Aufwand auf ein deutlich niedrigeres Energieverbrauchsniveau gesetzt werden können.
Nicht nur in der laufenden Energiediskussion, sondern auch mit dem gesteigerten Bewusstsein der Umweltbelastung aus allen Energieumsetzungen kommt dem Ergebnis der hier präsentierten Untersuchung aktuelle Bedeutung zu.

Ausgangslage und Problemstellung

Forschungsthema war die Suche nach Möglichkeiten der Veränderung der Struktur des Energieverbrauches in bestehenden und neuen Gebäuden und die daraus sich ergebenden Veränderungen des gesamten schweizerischen Energieverbrauches.

Um sich mit strukturellen Veränderungen des Energieverbrauches in Gebäuden in der Schweiz auseinanderzusetzen, ist es notwendig, sich als Ausgangslage zuerst Rechenschaft über die Grössenordnungen der Investitionen und Kostenflüsse zu geben (Tabelle 1).

Die Übersicht in Tabelle 1 zeigt deutlich, dass zwar die *jährlichen Energieausgaben der Schweiz die Grösse des gesamten Neubauvolumens* erreichen und dass zudem die dafür notwendigen Devisenausgaben ungefähr dem Passivum der Handelsbilanz entsprechen. Anderseits sind aber unsere Forschungs-, Entwicklungs- und Ausbildungsanstrengungen in diesem Bereich auf einem relativ tiefen Niveau stehengeblieben. Auch die erfreuliche Ankündigung des Bundes, die öffentlichen Forschungs- und Entwicklungsmittel für Energiesparen allmählich auf 150 Millionen Franken pro Jahr zu erhöhen, ist immer noch völlig ungenügend, weil nur ein kleiner Teil davon tatsächlich in Energiesparforschung und erneuerbare Energien fliesst, und angesichts eines langfristigen Investitionsvolumens für zusätzliche Energieeinsparungen von etwa 1 Milliarde Franken pro Jahr. Es handelt sich dabei nicht um die Förderung utopischer Technologien, sondern um die Schaffung einer soliden Basis für unsere einheimische Industrie, die für ihre immer exportorientierte Zukunft qualitativ hochausgebildete Fachleute und aktuelles Know-how braucht. Mit diesem Investitionsprogramm können in der Schweiz mehr als 10 000 Arbeitsplätze in der Bauwirtschaft geschaffen oder erhalten werden.

Die Veränderung der Energieverbrauchsstruktur kann auf zwei unterschiedlichen Ebenen gesehen werden. Zuerst in der Energiebilanz des Gebäudes (Bild 1), die bisher vom Heizenergiebedarf dominiert wurde. Hier sind durch die bereits erfolgten und noch kommenden Sparanstrengungen Gewichtsverlagerungen sichtbar, die sich im Verbrauchsanteil der Energieträger, aber auch deutlich im Kostenanteil ausdrücken. Auf nationaler Ebene ändert sich die Energieverbrauchsstruktur auch (Bild 2), indem zum Beispiel der Verkehr gegenüber der Wärme in Gebäuden an Bedeutung gewinnt (Tab. 2).

Der Gesamtwirkungsgrad hat wegen des stärkeren Einsatzes der Kernenergie abgenommen. Der Anteil der mechanischen Arbeit im Verkehr hat zulasten der Wärmeerzeugung zugenommen. Der Anteil der Erdölprodukte im Wärmebereich ist sowohl durch Sparanstrengungen als auch durch Substitutionsmassnahmen deutlich rückläufig. Es hat also nicht nur eine Verlangsamung der gesamten Verbrauchszunahme (noch etwa 1% pro Kopf und Jahr) stattgefunden, sondern es sind in den Jahren nach dem Erdölschock auch bereits spürbare strukturelle Veränderungen eingetreten, deren Entwicklung im Gebäudebereich wir im einzelnen verfolgt haben.

Als Massstab für die Beurteilung der *Wirtschaftlichkeit* wurde durchgängig

Bild 1. Energiebilanz eines mittleren Wohngebäudes (IST-Zustand)

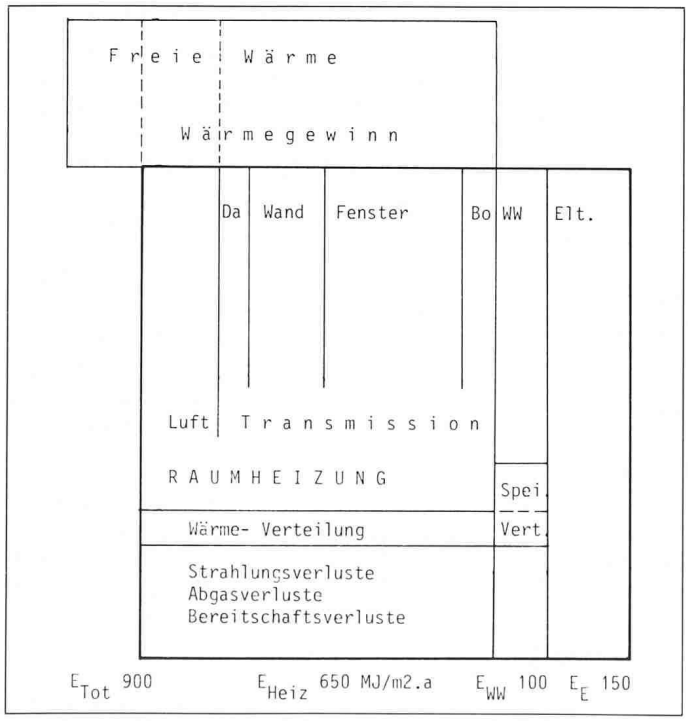
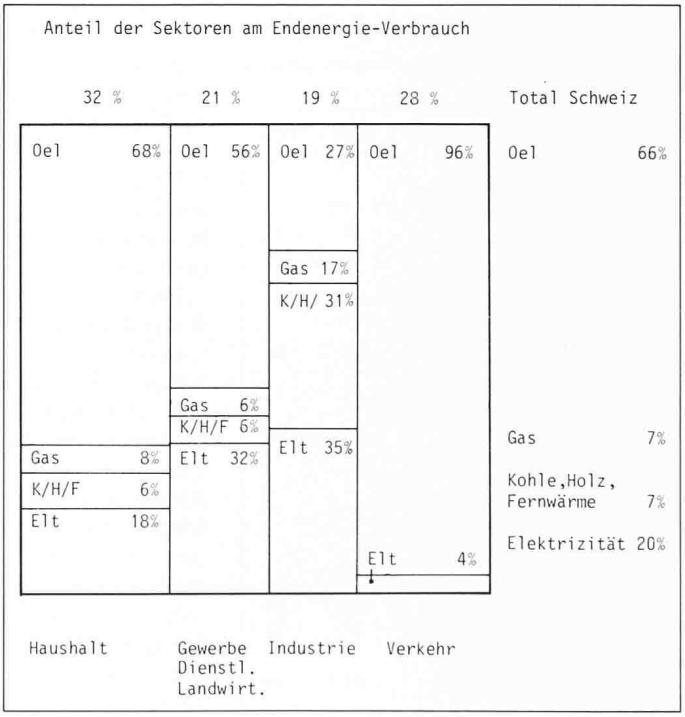


Bild 2. Energieverbrauchsstruktur der Schweiz (1984)



das in der SIA-Empfehlung 380/1 «Energie im Hochbau» [4] empfohlene Verfahren angewendet. Dabei wird das investierte Kapital nominal verzinst (5,5%) und innerhalb der Nutzungsdauer der Massnahme amortisiert (15 Jahre für Haustechnik, 30 Jahre für Bau), die Energiekosten werden innerhalb der Nutzungsdauer um etwa 1% real verteuert. Diese Energieteuerungsrate ergibt über die gesamte Nutzungsdauer der Massnahme eine mittlere Energieverteuerung von 50% für haustechnische Massnahmen (15 Jahre) und 100% für bauliche Massnahmen (30 Jahre). Aus den Annuitäten der Mehrinvestitionen und den Energieeinsparungen inkl. Teuerung wird ein Kosten-Nutzen-Verhältnis gebildet, das unter 1,0 liegen soll. Damit ist ein Massnahmenpaket innerhalb dieser Annahmen während der Nutzungsdauer wirtschaftlich, d.h. billiger oder wenigstens gleich teuer wie eine andere (bzw. keine) Massnahme zur Energieeinsparung. Die Energieteuerungsannahmen erweisen sich zwischen 0% und 2% p.a. als sehr robust und ohne wesentlichen Einfluss auf die Art und Zusammensetzung der Sparmassnahmen. Bei allen Massnahmen wurden nur die Energiekosteneinsparungen als Nutzen berechnet, die Verbesserung der Versorgungssicherheit oder die Verminderung der Umweltbelastung wurden nicht quantifiziert.

Im folgenden werden einzelne Ergebnisse der wichtigsten Untersuchungen zusammengefasst.

Tabelle 1. Kostengrössenordnungen in der Schweiz 1984

	Milliarden Fr.
Wert des gesamten Gebäudebestandes [3]	925
jährliches Bauvolumen total	35
davon Neubau	18
davon Erneuerung	5
davon restl. Bauvorhaben	12
dazu Gebäudeunterhalt	6
jährliche Energieausgaben (Endverbraucher) total	17
davon Wärme (Heizung, Warmwasser, Prozesswärme)	5
davon Elektrizität	5
davon Verkehr	7
davon Devisen für Import (Öl, Uran, usw.)	7
jährlicher Aufwand für Forschung und Entwicklung, «Energiesparen» total	0,6
davon öffentliche Mittel	0,1
jährlicher Aufwand für Ausbildung «Energiesparen»	≪ 0,01
notwendiges, wirtschaftlich lohnendes Investitionspaket «Energiesparen» 1985–2010	30

Tabelle 2. Veränderung der Energieverbrauchsstruktur in der Schweiz

	1970 (%)	1984 (%)
Anteile der Verbrauchergruppen an der Nutzenergie:		
Verkehr	10	12
Industrie	33	24
Haushalt, Gewerbe, Landwirtschaft, Dienstleistungen	58	64
Gesamtwirkungsgrad der Energieversorgung:	50	45
Anteile der Anwendungsgebiete an der Endenergie:		
Wärme	67	62
mechanische Arbeit	29	35
Chemie	3	1
Licht		2
Anteil der Energieträger am Gesamtverbrauch:		
Erdölprodukte total	77	66
Erdöl für Wärme	54	38
Erdöl für Verkehr	23	28
Pro-Kopf-Verbrauch Endenergie total: (GJ/a)	94	110

Sanierungen

Viele Beispiele aus den 70er Jahren haben gezeigt, dass ohne systematische Vorgehensweise und ohne *gesamtheitliche Analyse* aller möglichen Sparmassnahmen an einem Gebäude das Optimum an wirtschaftlichen Energieinsparungen nicht erreicht wird; d.h. entweder wurden nur einzelne wirtschaftliche Massnahmen ausgeführt und das wirtschaftliche Sparpotential nicht ausgeschöpft; oder es wurden Massnahmen ohne detaillierte Wirtschaftlichkeitsberechnung ausgeführt und die Grenze der wirtschaftlichen Investitionen überschritten, ohne dass die tatsächlich günstigsten Massnahmen ermittelt und ausgeführt wurden.

Inzwischen wurden zwei wichtige Grundlagen zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von detaillierten Berechnungen geschaffen: Das *Kostenmodell* zur einheitlichen Berechnung der Wirtschaftlichkeit in der SIA-Empfehlung 380/1 und das Energiebilanzmodell (EBM) zur differenzierten Berechnung der Energieeinsparungen. Das Energiebilanzmodell (EBM) wurde im Rahmen der abgeschlossenen NFP-Arbeit «Auslöser und Nebenwirkungen beim Energiesparen im Bauwesen» [2] entwickelt und in der vorliegenden NFP-Arbeit weiterverbessert. Das EBM hat sich im Einsatz bei mehr als 100 Feinanalysen und bei einer detaillierten Überprüfung der Methode und ihrer Anwenderfreundlichkeit durch die EMPA Dübendorf insbesondere für den Sanierungsfall bewährt. Für die Anwendung zum Nachweis von normativen oder gesetzlich vorgeschriebenen Energieverbräuchen, z.B. SIA-Empfehlung 380/1, wird ausgehend vom EBM zurzeit ein umfangreiches und benutzerfreundliches EDV-Programm für Architekten und Ingenieure auf Personal-Computern entwickelt.

Die systematische Vorgehensweise bei energetischen Sanierungen von der Grobanalyse, zur Feinanalyse, Sanierung und abschliessenden Erfolgskontrolle hat sich vielfach bewährt. Dieses stufenweise Vorgehen erweist sich auch als wertvolle Basis für eine breite Sanierungskampagne. Diese Vorgehensweise ist für eine allgemeingültige Anwendung z.B. im «Leitfaden zur Erstellung von energetischen Analysen in Gebäuden» der Energiefachstelle des Kantons Schaffhausen [5] genauer beschrieben.

In der Zwischenzeit liegen über Sanierungen breit abgestützte Erfahrungen zumindest von Analysen vor. Leider gibt es aber in der Schweiz immer noch relativ wenige Messresultate trotz einer beträchtlichen Zahl ausgeführter Sanierungen.

Vollumfängliche energetische Sanierungen sind immer noch selten. Sie werden häufig nicht aus energetischen Gründen ausgelöst, sondern meistens wegen Bauschäden (Dach, Fassade, Fenster), wegen defekten und überalterten Heizanlagen oder wegen weitergehenden Umbauabsichten und Nutzungsänderungen. In den meisten Fällen führen diese Situationen lediglich zur Mängelbehebung, allenfalls mit kleinen energetischen Verbesserungen, meistens aber noch nicht zu einer vollumfänglichen, energetisch und wirtschaftlich sinnvollen Sanierung.

Die Erfahrungen haben gezeigt, dass das wirtschaftliche Sparpotential nur mit einem Paket von verschiedenen Massnahmen und nie mit nur einer Einzelmassnahme ausgeschöpft wird. Ein derartiges Massnahmenpaket besteht meistens aus mehr als 10 verschiedenen Massnahmen pro Gebäude und setzt sich bei jedem Gebäude aus anderen Massnahmen zusammen. Nur die Wärmedämmung der Kellerdecke, Erneuerung der Warmwasser- und Heizregelung und der Ersatz (oder zumindest Verbesserung) der Wärmeerzeugung wird häufig angewendet. Diese Tatsache erfordert eine individuelle Berechnung des optimalen Massnahmenpaketes an jedem Gebäude und eine gesamtheitliche Betrachtungsweise aller technischen, baulichen und betrieblichen Massnahmen.

Eine Auswertung von über 70 Feinanalysen an Wohnsiedlungen und öffentlichen Bauten der Stadt Zürich ergab eine Verminderung des gesamten Endenergieverbrauchs mit wirtschaftlichen Mitteln (entsprechend einem Kosten-Nutzen-Verhältnis kleiner als 1,0) im Mittel um 30% und bei Wärme von 35%

[6]. Diese Werte werden auch durch die Messergebnisse von rund 20 ausgewerteten Sanierungen des Amtes für Bundesbauten und der Therma-Bauten in der BRD bestätigt, wobei die Erfolgskontrolle (Vergleich vorher/nachher) durch den Einfluss der Klimaschwankungen und das veränderte Benutzerverhalten erschwert wird. Diese Einsparungen sind mit konventionellen Technologien erreichbar und wirtschaftlich. Mit dem Einsatz von Wärmepumpen können rund doppelt so grosse Einsparungen erzielt werden und sind in vielen Fällen bereits heute wirtschaftlich.

Einsparungen beim *Elektrizitätsverbrauch* wurden bisher meistens nicht systematisch untersucht. Deshalb wurden nur geringe Einsparungen beim Elektrizitätsverbrauch aufgezeigt.

Das Massnahmenpaket wird in 3 Gruppen unterteilt:

- Sofortmassnahmen
- kurzfristige Massnahmen
- abhängige Massnahmen

Bei praktisch allen Gebäuden können ohne grössere Investitionen und mit einem sehr günstigen Kosten-Nutzen-Verhältnis vor allem mit betrieblichen und kleineren technischen (häufig im Bereich Steuerung/Regelung) Sofortmassnahmen Einsparungen von etwa 5% erzielt werden. In zahlreichen Fällen kann auch die Wärmedämmung der Kellerdecke als Sofortmassnahme ausgeführt werden, wodurch sich durch das Paket der Sofortmassnahmen Einsparungen von durchschnittlich 13% ergeben. Die kurzfristigen Massnahmen werden im Rahmen einer vollumfänglichen energetischen Sanierung ausgeführt, die abhängigen Massnahmen erst im Zusammenhang mit einer allgemeinen Sanierung.

Als Einzelmassnahme kommt häufig der *Ersatz der Wärmeerzeugung* zum Tragen. Mit dieser Einzelmassnahme kann etwa die Hälfte des wirtschaftlichen Sparpotentials ausgeschöpft werden. Der Nutzungsgrad wird im Mittel um 18% verbessert. Diese Steigerung wird dank dem besseren Erzeugungswirkungsgrad und dank besserer Dimensionierung erreicht. Die bestehenden Heizanlagen sind in der Regel um rund 100% überdimensioniert. Wie die Auswertung der Betriebsstunden von 230 Heizanlagen der Stadt Zürich zeigt, liegt die Auslastung aller installierter Kessel bei der Auslegungstemperatur von −8 °C nur bei durchschnittlich 37%. Selbst wenn die Brenner der Mehrkesselanlagen, die bei der Auslegungstemperatur nicht in Betrieb waren, nicht berücksichtigt werden, steigt die mittlere Auslastung lediglich auf 50%. Für die Redimensionierung der bestehenden Anlagen mittels der Brennerbetriebsstunden wurde ein leicht handhabbares Diagramm geschaffen. Für die Sanierung dieser Heizanlagen wurde eine Strategie entwickelt, mit der die nicht benötigte Wärmeerzeugerleistung systematisch erfasst und vermindert werden kann. Alleine durch bessere Dimensionierung kann der Jahreswirkungsgrad um etwa 5–6% verbessert werden.

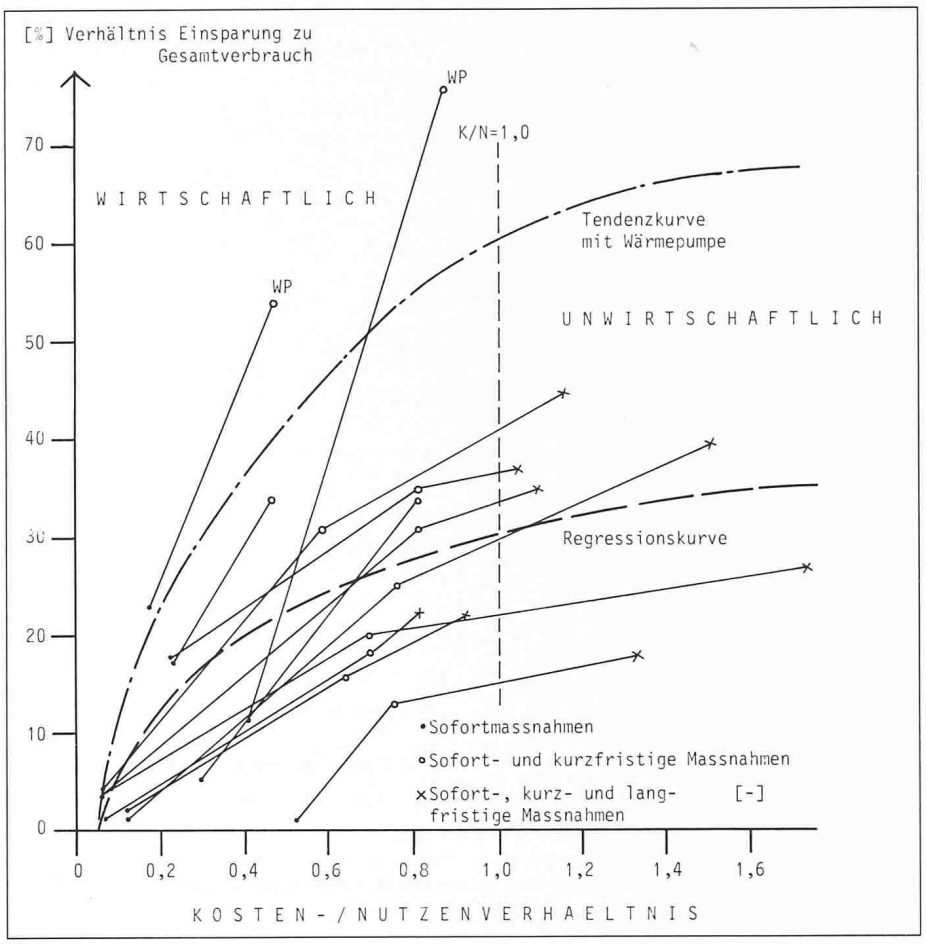


Bild 3. Energieeinsparungen in Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit

Mit jeder zusätzlichen Massnahme eines vollumfänglichen Sanierungspaketes steigen auch die Energieeinsparungen an einem Gebäude. Diese Zunahme der Einsparungen verläuft aber nicht linear zu den Investitionen, sondern nimmt immer mehr ab. Das gesamte Kosten-Nutzen-Verhältnis verschlechtert sich (Bild 3). Im Bereich der heutigen Wirtschaftlichkeitsschwelle gemäss SIA-Empfehlung 380/1 verläuft die Kurve bereits relativ flach. Das heisst, selbst wenn die Annahmen der SIA-Empfehlung 380/1 durch eine Veränderung des Zinssatzes oder der Energiepreise verschoben werden, bleibt das Energiesparpotential trotzdem relativ stabil. Wird z.B. angenommen, dass die Energiepreise langfristig nicht um jährlich rund 1% real steigen, sondern konstant bleiben, so verringert sich das wirtschaftliche Sparpotential nur um etwa 20%.

Neubauten

Der spezifische Energieverbrauch hat im allgemeinen bei Bauten in der Nachkriegszeit bis Anfang der siebziger Jahre zugenommen. Bei neueren Bauten sinkt der spezifische Energieverbrauch wieder, wie verschiedene frühere Reihenuntersuchungen gezeigt haben [2]. Die energetische Qualität der heutigen Neubauten wurde in der vorliegenden Studie an folgenden zwei Stichproben untersucht:

- 123 Objekte des Programmes «Energietest» der Zürcher Kantonalbank 1981/82
- 117 Baugesuche von allen Neu- und grösseren Umbauten in der Stadt Zürich vom Januar 1984 bis April 1985.

Die Zürcher Kantonalbank ZKB bot Anfang der achtziger Jahre ihren Hypothekarkunden einen Energietest an, mit dem die Energiebilanz und die Energiekennzahl für Bauprojekte berechnet wurde. Davon wurden 79 Ein-, 10 Mehrfamilienhäuser und 22 Verwaltungsgebäude, die vorwiegend im Mittelland der Ostschweiz liegen, ausgewertet. An diesem Energietest haben vermutlich eher energiebewusste Gebäudebesitzer mitgemacht. Repräsentativer, zumindest für städtische Verhält-

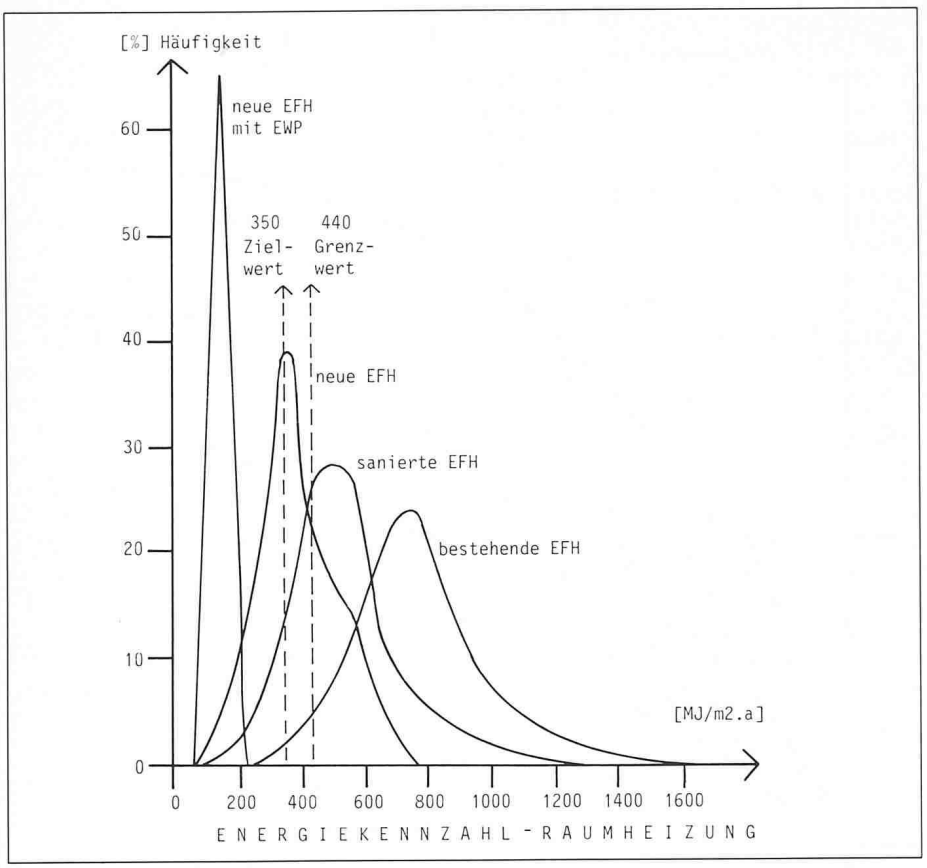


Bild 4. Entwicklung der Energiekennzahlen am Beispiel von Einfamilienhäusern (EFH)

nisse, ist die Auswertung der Baugesuche in der Stadt Zürich, unter anderem von allen 63 neuen Wohn- und 22 neuen Verwaltungsgebäuden. Da in beiden Stichproben Projekte untersucht wurden, handelt es sich beim Energieverbrauch um berechnete Werte, die von einem mittleren Benutzerverhalten und mittleren klimatischen Verhältnissen ausgehen.

Der k-Mittelwert liegt in beiden untersuchten Stichproben durchschnittlich rund 20% unter dem gemäss SIA-Empfehlung 180/1 zulässigen Wert (entsprechend einem Co-Faktor von 0,6). Die Energiebilanz der untersuchten Neubauprojekte ergibt einen Heizenergiebedarf, der zwischen Grenz- und Zielwert der SIA-Empfehlung 380/1 liegt.

Die Heizkessel von Neubauten werden nur noch halb so gross dimensioniert wie bei den bestehenden Ein- und Mehrfamilienhäusern, sie sind aber in den meisten Fällen immer noch überdimensioniert. Die Auslastung der Heizanlagen ist gegenüber den bestehenden Anlagen durchschnittlich rund 25% höher. Neue Anlagen weisen selbst mit einem grossen Anteil von Kombikesseln einen Nutzungsgrad von über 0,80 auf, wie Feinanalysen an 12 Wohnsiedlungen in der Stadt Zürich und Messungen an 28 ausgeführten Neubauten im Kanton Baselland [7] zeigen. Zwei Drittel dieser 28 Neubauten erfüllen bezüglich Nutzungsgrad den Zielwert der SIA-Empfehlung 380/1, bei keinem Objekt ist der Nutzungsgrad deutlich schlechter als der Grenzwert.

Die Neubauten weisen heute (mit konventionellen Heizanlagen) eine Energiekennzahl-Raumheizung von durchschnittlich 350–400 MJ/m²a auf und verbrauchen nur noch etwa halb soviel Endenergie wie die bestehenden Bauten aus den 50er bis 70er Jahren (Bild 4). Diese starke Verbesserung ist, wie bereits erläutert, einerseits auf die Reduktion des Heizenergiebedarfes und anderseits auf die Erhöhung des Nutzungsgrades zurückzuführen. Die Energiekennzahl-Raumheizung, die aus dem Grenzwert bezüglich Heizenergiebedarf und Nutzungsgrad resultiert, wird bei den Objekten des ZKB-Energietestes und bei den Baugesuchen von neuen Wohnbauten in der Stadt Zürich von drei Vierteln der Gebäude unterschritten. Bei den ausgeführten Neubauten im Kanton Baselland ist dieser Anteil kleiner und liegt bei der Hälfte der Objekte. Der Zielwert wird (sowohl bei den untersuchten Projekten als auch den erstellten Neubauten) bereits von mehr als einem Viertel der Gebäude erreicht.

Mit dem Einsatz von *Wärmepumpen* kann die Energiekennzahl nochmals drastisch gesenkt werden: Mit Verbrennungsmotor-Wärmepumpen gegenüber konventionellen Heizanlagen auf rund die Hälfte; mit Elektromotor-Wärmepumpen gemäss einer eigenen Erhebung und einer Untersuchung der Compagnie Vaudoise d'Electricité an über 50 Objekten (meist Einfamilienhäusern) kann die Energiekennzahl-Raumheizung sogar auf durchschnittlich 135 MJ/m²a (ein Drittel des Ausgangswertes) gesenkt werden. Die Besitzer sind zum grössten Teil mit dem Betrieb der Anlage zufrieden. Die Wirtschaftlichkeit wird bei zahlreichen untersuchten Gebäuden mit Verbrennungsmotor- (v.a. grössere Objekte) und Elektromotor-Wärmepumpen erreicht. Dennoch werden heute immer noch selten Wärmepumpen als Heizsystem bei Neubauten gewählt, da die Bauherren diese Technologie aus Informationsmangel immer noch als zu wenig erprobt und zu teuer einschätzen.

Veränderung der Energiebilanz

Durch energetische Sanierungen und energiegerechte Bauweise von Neubauten wird nicht nur der Energieverbrauch gegenüber den bestehenden, konventionellen Bauten stark reduziert, sondern sie bewirken auch grössere Verschiebungen innerhalb der Energiebilanz eines Gebäudes. Diese Verschiebungen wurden für vollumfängliche energetische und wirtschaftliche Sanierungen anhand von ausgeführten Feinanalysen an Wohnsiedlungen und Schulen analysiert. Für Neubauten wurde die Entwicklung ausgehend von der herkömmlichen Bauweise (Grundfall) an einem mittleren, normalen Einfamilienhaus mit 180 m² EBF und einem mittleren Mehrfamilienhaus mit 870 m² EBF untersucht (Bild 1). Dabei wurden die energetischen Qualitäten bezuglich k-Wert, Luftwechsel und Nutzungsgrad gemäss den Erfahrungen aus der Auswertung an umfangreichen Neubauten derart angepasst, bis die Energiekennzahl-Raumheizung jenen Wert annimmt, dass die Grenzwerte bzw. die Zielwerte der SIA-Empfehlung 380/1 erfüllt sind. Als Recheninstrument zur Berechnung einer geschlossenen Energiebilanz eines Gebäudes wurde das «Energiebilanzmodell» (EBM) verwendet. Die Begriffe sind in der SIA-Empfehlung 380/1 definiert.

Die *Wärmegewinne* aus der Freien Wärme schwanken von Gebäude zu Gebäude und tragen bei mittleren, bestehenden Wohnbauten durchschnittlich rund 30% zur Deckung des Bruttoenergiebedarfes der Raumheizung bei.

Rund ein Fünftel des Bruttoenergiebedarfes wird durch die Lüftungsverluste

und vier Fünftel durch die Transmissionsverluste verursacht. Der Nutzungsgrad liegt etwa bei 0,70 (Bild 5).

Bei energetisch besseren Gebäuden, (nach energetischen Vollsanierungen und bei energiegerechten Neubauten) nimmt die Freie Wärme insbesondere wegen der verkürzten Heizperiode um etwa 10–15% und der Ausnutzungsgrad der Freien Wärme wegen des höheren Anteils am gesamten Bedarf um etwa 5% ab. Der absolute Beitrag der Wärmegewinne sinkt dadurch um 15–20%. Der Anteil der Wärmegewinne am Bruttoenergiebedarf der Raumheizung steigt aber angesichts der starken Reduktion des Heizenergiebedarfes bei Neubauten um etwa 25%, bei Sanierungen wegen der geringeren Reduktion des Heizenergiebedarfes um etwa die Hälfte.

Der Nutzungsgrad wird um etwa 15–20% erhöht. Die Zielwerte der SIA-Empfehlung 380/1 werden gemäss zahlreichen Feinanalysen und diversen Untersuchungen bei Neubauten [7, 8 und weitere] mit wirtschaftlichen Investitionen im allgemeinen erreicht.

Der Heizenergiebedarf wird bei energiegerechten Neubauten gegenüber der herkömmlichen Bauweise um etwa 40% reduziert; bei Sanierungen kann der Heizenergiebedarf durch nachträgliche bauliche Massnahmen mit einem wirtschaftlichen Paket nicht auf das gleich tiefe Niveau gesenkt werden wie bei optimaler Planung von Neubauten. Unter der Annahme, dass aus hygienischen Gründen eine minimale Luftwechselrate eingehalten wird, steigt der Anteil der Lüftungsverluste, insbesondere bei neuen Mehrfamilienhäusern, sehr stark an. Innerhalb der Transmissionsverluste ist bei Sanierungen häufig eine starke Abnahme des Anteils der Böden (angesichts der meistens wirtschaftlichen Wärmedämmung der Kellerdekke) und eine Zunahme der Verluste durch die Fenster (aus wirtschaftlichen Gründen nur seltener Ersatz der Fenster) zu beobachten. Bei Neubauten nehmen hingegen im allgemeinen die Verluste durch die Aussenwand sehr stark ab.

Steigender Einfluss des Benützerverhaltens

Die drei Komponenten mit zunehmendem Anteil am Energieverbrauch in Gebäuden (Warmwasser-, Elektrizitätsverbrauch und Lüftungsverluste) werden alle wesentlich vom Benützer beeinflusst. Nach den bisherigen Ergebnissen einer NFP-Arbeit [9] reichen Sparappelle alleine nicht aus, damit sich der Benützer energiebewusster verhält. Erhält der Benützer hingegen ein Instrument, mit dem er sein Verhalten kontrollieren und besser regeln kann, und wird er für sein energiebewusstes Verhalten belohnt, sind wesentliche Verbesserungen zu erzielen. Dieser Einfluss konnte bereits an einer Pilotanlage mit einer programmierbaren, von der Temperatur der Raumluft abhängigen Heizungsregelung in 10 Wohnungen der Siedlung Limmatstrasse in Zürich festgestellt werden. Die Auswertungen der EMPA während 2 Heizperioden ergaben Einsparungen mit dem modularen Regelsystem von etwa 30%. Eine neuere Auswertung im Kanton Baselland [7] an 32 Gebäuden mit verbrauchsabhängiger Heizkostenabrechnung (praktisch alle nach dem Verdunstungsprinzip) bestätigt diese Wirkung. Bei den 32 Gebäuden aus der Nachkriegszeit mit 649 Wohnungen und einer mittleren Energiekennzahl-Wärme von etwa 850 MJ/m²a liegen die Einsparungen nach einer Übergangsphase in den meisten Fällen zwischen 15–35%, im Mittel bei 24%.

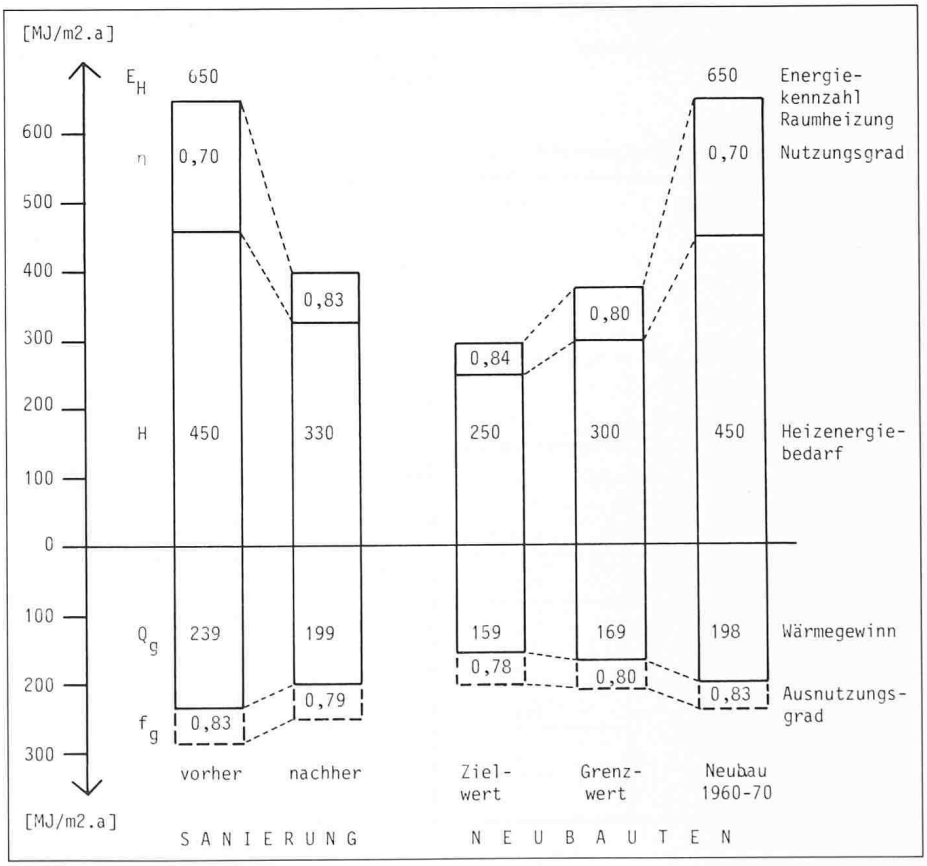
Diese Möglichkeiten der benutzerabhängigen Energieeinsparungen werden heute ohne gesetzlichen Zwang noch zuwenig ausgenützt. In den Baugesuchen der Stadt Zürich 1984/85 sind z.B. nur bei 20% der neuen Wohnbauten Instrumente zur verbrauchsabhängigen Heizkostenabrechnung vorgesehen.

Technische Grenzen?

Gibt es heute sichtbare Grenzen des Energieverbrauches eines Gebäudes im Schweizer Klima, gibt es sogar das Null-Energiehaus? Technische Grenzen sind im allgemeinen gleichzeitig ökonomische Grenzen, das heisst, es wird innerhalb gewisser Randbedingungen des Standortes, des Klimas, der Dauerhaftigkeit, der Betriebssicherheit, der Investitionen, usw. ein Haus mit dem geringstmöglichen Energieverbrauch gesucht. Einige Versuchsbauten mit dieser Zielsetzung sind auch in Europa bekannt geworden. Für Schweizer Verhältnisse lässt sich klar sagen, dass die Winterspitzenproblematik bei Aussenlufttemperaturen um −5 °C und im Mittelland durch Hochnebel stark verminderter Strahlung die Aufwendungen für Wärmegewinnungsflächen, Wärmespeicher und Wärmedämmung für das Null-Energiehaus sehr hoch machen und einen für dauerhaften Aufenthalt nur zweifelhaften Komfort liefern können. Wenn «Null-Energie» missverstanden wird als «Null-Öl», ist natürlich eine Elektromotor-Wärmepumpe mit Netzstrom leicht möglich, die allerdings in der hydrologisch ungünstigsten Zeit ihre Elektrizität verlangt.

Wird die Frage der technischen Grenze anders gestellt, so dass nämlich noch

Bild 5. Veränderung der Energiebilanz bei Sanierungen und Neubauten (Sanierungen am Beispiel von 13 Wohnsiedlungen und Neubauten am Beispiel eines normalen, mittleren Mehrfamilienhauses)



		ZKB-Energietest	*Baugesuche in der Stadt Zürich*
Objekte		79 Einfamilienhäuser	63 Wohnbauten
Energiebezugsfläche	(m^2)	198	1917
k-Mittelwert vorhanden / k-Mittelwert zulässig	(W/m^2K) / (W/m^2K)	$\frac{0,53}{0,64} = 0,83$	$\frac{0,57}{0,70} = 0,80$
Heizenergiebedarf	(MJ/m^2a)	304	
Nutzungsgrad	(–)	0,77	
installierte Leistung / installierte Leistung bestehender Gebäude	(W/m^2) / (W/m^2)	$\frac{90}{194} = 0,46$	$\frac{65}{143} = 0,46$
Energiekennzahl-Heizung / Energiekennzahl-Heizung bestehender Gebäude [5]	(MJ/m^2a) / (MJ/m^2a)	$\frac{394}{700} = 0,56$	$\frac{376}{650} = 0,58$

Tabelle 3. Eigenschaften der untersuchten Neubauten

		Energiekennzahl-Wärme (MJ/m^2a)
SIA 180/1 1977 C_0	0,90	800
1980	0,75	700
Neubau effektiv 1984	0,60	550
SIA 380/1 1985	Grenzwert	500
	Zielwert	400
Technische Schwelle 1985		
Brennstoffmotor-Wärmepumpe		175
Elektromotor-Wärmepumpe		100
(Mittelwerte für Endenergie Raumheizung und Warmwasser für Einfamilienhaus/Mehrfamilienhaus/Verwaltungsbau)		

Tabelle 4. Technische Grenze «Wärme»

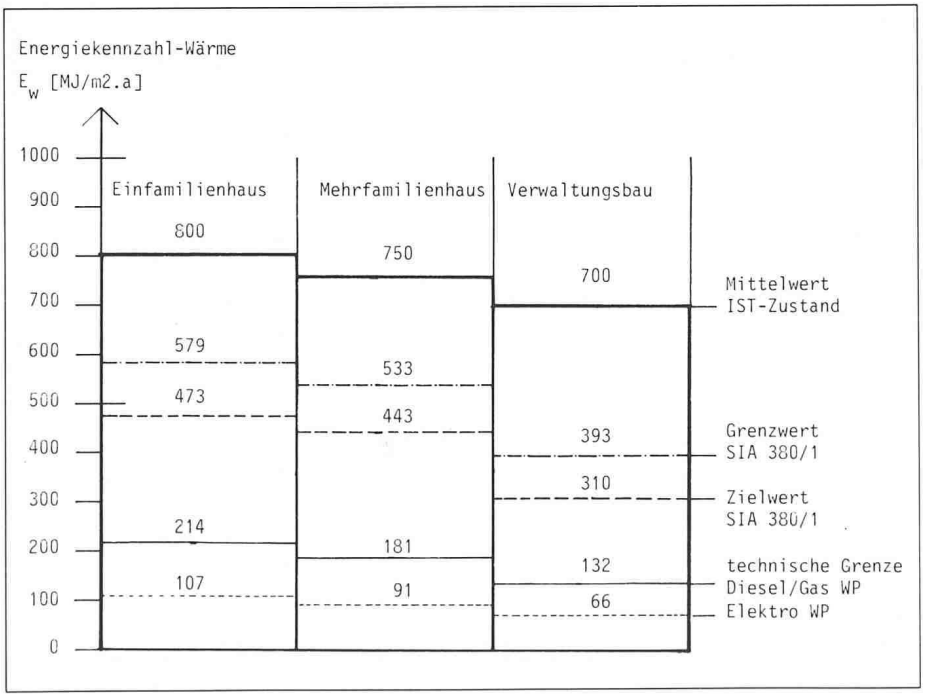
eine bestimmte geringe Menge Energie in Form von Öl oder Elektrizität zugekauft werden kann, dann können sich die Anstrengungen in Richtung einer maximalen Nutzung dieser Restenergie konzentrieren. Erstaunlicherweise wird man dabei in vielen Fällen feststellen, dass die resultierenden sehr tiefen Energiekennzahlen mit einem Aufwand zu erreichen sind, der nur geringfügig (weniger als 10%) über den heute wirtschaftlichen Investitionen liegt (Tab. 4). Dies liegt am flachen Verlauf der Kurve der gesamten Jahreskosten (Summe der Kapital- und Energiekosten) im Bereich der Grenze der Wirtschaftlichkeit bei einem Kosten-Nutzen-Faktor von 1,0.

Das Erreichen dieser technischen Grenze erfordert:

- eine durchgängig hohe Wärmedämmung (k-Wert der Aussenflächen von etwa 0,25 W/m^2K),
- speziell beschichtete Fenster ($k < 1,5$)
- Massnahmen zur Begrenzung des freien Luftwechsels
- eine günstige Besonnung (speziell Südfläche)
- eine thermische Masse, die eindringende Freie Wärme genügend rasch absorbieren und speichern kann
- ein Raumtemperatur-Regelsystem zur Begrenzung der Übererwärmung
- ein individuelles Abrechnungssystem der Heizkosten
- ein niedertemperaturiges Verteilsystem
- einen Wärmepumpenprozess zur Erzeugung der Wärme für Heizung und Warmwasser.

Die Optimierung dieser Komponenten erfordert viel Feingefühl und Erfahrung, wenn nicht grössere Mehrkosten oder unerwünscht hohe Energiekennzahlen in Kauf genommen werden sollen. Eine stattliche Zahl von Gebäuden mit ungefähr dieser Ausrüstung zeigt in der Schweiz, dass diese technologische Schwelle erreichbar ist (Bild 6).

Bild 6. Entwicklung der Energiekennzahl-Wärme



Das Verhalten der Benützer spielt in diesen Gebäuden mit extrem tiefem Heizenergieverbrauch eine immer grösser werdende Rolle. Die technischen Voraussetzungen, die Regeleingriffe mit Feedback für die Benützer werden deshalb wichtiger.

In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass die Ausbildung der Architekten, Ingenieure und Techniker auf Stufe Hochschule, HTL und Berufsschule heute noch bei weitem nicht den Anforderungen an die «neue Baukunst» genügt. Viele überholte traditionelle Lehrinhalte belasten das Ausbildungsprogramm unnötig. Wir vertreten den Standpunkt, dass es künftig nicht eine neue Berufsgruppe von Energiespezialisten braucht. Auch der Architekt muss bereits im Entwurf über die Kenntnisse verfügen, ein Gebäude energetisch richtig zu planen. Nur durch integrale Planung sind dauerhafte Gebäude mit tiefen Energie-Betriebskosten möglich. Die Angst vieler Fachleute, dass die Erkenntnisse des energiegerechten Planens und Bauens bauschadenträchtige Gebäude verursache, kann durch viele gute Beispiele widerlegt werden, die bereits 10 oder sogar 20 Jahre in Betrieb stehen. Anderseits fällt es leicht, aus der sogenannt «traditionellen Bautechnik» Beispiele mit schwerwiegenden Bauschäden und Komfortmängeln zu zeigen, die nur mit grosser Energieverschwendung zu betreiben sind.

Hochrechnung Schweiz

Mit dem Datenmaterial der verschiedenen Reihen- und Einzeluntersuchungen an Neubauten und Umbauten lässt sich eine Hochrechnung über eine mögliche Entwicklung des Energieverbrauches im schweizerischen Gebäudebestand wagen, die aber keinen Anspruch auf Prognosefähigkeit erhebt.

Die Annahmen umfassen einerseits die Entwicklung des spezifischen Energie-

verbrauches für Wärme von bestehenden, unveränderten und sanierten Gebäuden (Tab. 5, Bild 6). Schwieriger sind andrerseits Annahmen über die Neubautätigkeit und der sich dadurch ergebende Bruttoflächenzuwachs, wie auch entsprechende Annahmen über die Sanierungstätigkeit und insbesondere die Art und Intensität der Erneuerung der Gebäudesubstanz (Tab. 6).

Aus der gemeinsamen Auswertung dieser noch langsam zunehmenden Gesamtgebäudefläche bei gleichzeitig relativ hoher Sanierungstätigkeit (bei deutlich tieferen Energiekennzahlen) ergibt sich ein nach 1990 langsam rückläufiger Endenergieverbrauch für die Gebäudewärme (Bild 7). Im Endpunkt der betrachteten Periode liegt der Wärmeverbrauch 13% unter dem Ausgangswert von 1980, was einer Energieeinsparung von etwa 0,8 Millionen Tonnen Erdöläquivalenten pro Jahr entspricht. Dabei sind Substitutionen zwischen den verschiedenen Energieträgern (Gas, Kohle usw.) noch nicht ausgeschieden.

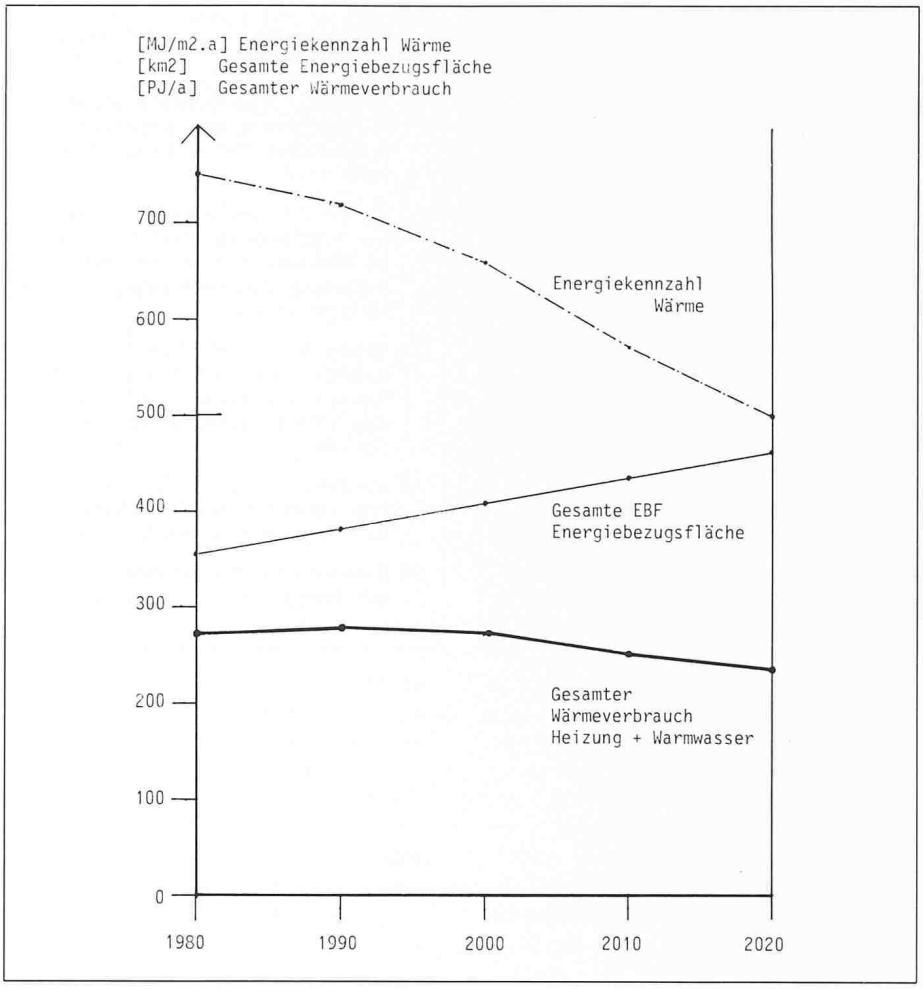


Bild 7. Hochrechnung des Energieverbrauches für Wärme in der Schweiz bis 2020

Schlussfolgerungen

Aus dem präsentierten Material lassen sich zum Potential der Energieeinsparungen im Gebäudebestand der Schweiz einige klare Aussagen machen:

□ Das energetische Sparpotential, das an bestehenden oder neuen Gebäuden in den nächsten 30 Jahren realisiert werden kann, stösst nicht an technische Grenzen. Anders gesagt: Wir kennen die Technologien bereits heute, mit denen künftig ein beträchtlich verminderter Energieverbrauch möglich ist. Diese Technologien müssen sorgfältig und an einer möglichst grossen Zahl von Gebäuden zügig eingesetzt werden.

□ Das energetische Sparpotential stösst eigentlich auch nicht an eine ökonomische Grenze. Die untersuchten Massnahmenpakete sind in den allermeisten Fällen unter den gewählten konservativen Annahmen über die Energieteuerung wirtschaftlich. Es muss ein eigentlicher Zwang zur Wirtschaftlichkeit gefunden werden, indem bisher wirtschaftliche Sparmassnahmen vielerorts gar nicht erkannt und damit auch noch nicht realisiert werden. Das jährliche Investitionsvolumen von zusätzlich etwa 1 Milliarde Franken (Tabelle 7) für die nächsten 25 Jahre muss Anreiz genug sein, die Wirtschaftlichkeit tatsächlich zu untersuchen und ihre Ergebnisse systematisch zu vollziehen, auch wenn dies kurzfristig beträchtliche Mehrinvestitionen erfordert.

□ Der Vollzug der Erkenntnisse im Wärmebereich der Gebäude beginnt erst langsam, nachdem die letzten 10 Jahre zur Konsensfindung und Erprobung an Pilotobjekten gebraucht wurden. Drei Mittel sollen helfen, die träge Entwicklung in der Schweiz zu beschleunigen:

- die Schaffung eines eindeutigen Energieverbrauchsstandards für Gebäude (SIA-Empfehlung 380/1 «Energie im Hochbau»),
- die Verwirklichung des Auftrages des Souveräns zur Schaffung griffiger Energiesparverordnungen in Bau- und Energiegesetzen in vielen Kantonen,
- sowie ein verstärkter Druck, der auch von der Privatwirtschaft ausgehen muss, auf die Ausbildungsqualität aller Stufen.

□ Ganz eindeutig zeigt sich aus dem unterschiedlichen Verlauf der verschiedenen Verbrauchssektoren eine Verschiebung der Energiesparanstrengungen für die Zukunft: Nachdem der Wärmebereich und insbesondere der Heizölbereich in den letzten 10 Jahren bereits deutliche Sparerfolge gezeigt hat, verschiebt sich die weitere Lösungssuche zu den beiden Bereichen, die weiterhin

Tabelle 5. Annahmen über die Entwicklung der Energiekennzahl-Wärme

(MJ/m²a)	ab 1980	ab 2010
A Neubauten	600	400
B unveränderte Gebäude	750	750
C sanierte Gebäude		
Teilsanierung	750	550
Totalsanierung	750	500

Tabelle 6. Annahmen über die Entwicklung Neubau-/Umbaufläche

	(%) Energiebezugsfläche
Total Gebäude 1980	100
Total Gebäude 2020	130
davon Neubauten	55
davon unveränderte Bauten	15
davon sanierte Bauten	60

Tabelle 7. Investitionsprogramm 1985–2010

	Milliarden Fr.
Total Energiesparinvestitionen	30
Ölsparinvestitionen	20
- davon für Wohnbau	10
- davon für Gewerbe, Industrie, Dienstleistungen	5
- davon für Verkehr	5
Elektrizitätsspar-Investitionen	10

grosse Energieverbrauchs-Zuwachsraten aufweisen: Verkehr und Elektrizität. Auch hier werden wir pragmatisch, wie im Erdölbereich vor bereits über 10 Jahren, nach Lösungen suchen müssen, um unsere grosse Auslandabhängigkeit und Umweltbelastungen zu vermindern. Die laufende NFP-Studie «Verminderung des elektrischen Energieverbrauches in Gebäuden» der Forschergruppe Brunner/Müller/Stulz/Wick ist ein Schritt in diese Richtung.

Adresse der Autoren : *Conrad U. Brunner,* dipl. Arch. ETH/SIA, und *Ernst A. Müller,* dipl. Geograph im Büro Conrad U. Brunner, Planung & Energie & Architektur, Lindenhofstrasse 15, CH-8001 Zürich.

Das vollständige Manuskript des Forschungsberichtes, der auch ein umfangreiches Quellenverzeichnis umfasst, ist bei den Autoren erhältlich.

Literaturverzeichnis:

[1] *Brunner C.U.* und *Müller E.A.*: «Strukturelle Verminderung des Energieverbrauches in Gebäuden», NFP 44, Zürich, 13. August 1985

[2] *Brunner C.U.* und *Müller E.A.*: «Auslöser und Nebenwirkungen beim Energiesparen im Bauwesen, NFP, Zürich 1982. Veröffentlichung Zusammenfassung in SI+A 30/31, Zürich 1983

[3] *Gabathuler Ch.* und *Wüest H.*: «Bauliche Ressourcen und ihre Benützung, Lagebeurteilung und mögliche Veränderungspotentiale, ETH- Forschungsprojekt Manto, Zürich 1984

[4] SIA-Empfehlung 380/1, «Energie im Hochbau», Zürich 1985, und SIA-Dokumentation 80, «Energie im Hochbau», Zürich 1985

[5] Baudirektion Kanton Schaffhausen, Kantonale Energiefachstelle: «Leitfaden zur Erstellung von energetischen Analysen in Gebäuden, Schaffhausen 1985

[6] *Müller E.A.*: «Energiesparmassnahmen bei 1108 Wohnungen», SI+A Nr. 12/85, Zürich 1985

[7] Bau- und Landwirtschaftsdirektion des Kantons Basel-Landschaft: «Energiegesetz des Kantons Basel-Landschaft, Erfolge sind messbar», Liestal 1985

[8] *Dittrich A.*: «Ermittlung von Jahresnutzungsgraden an 100 öl- und gasgefeuerten Zentralheizungsanlagen 1980/81, Schriftenreihe des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Hilden, BRD, 1982

[9] *Peters M.*: «Experimentelle Steuerung des Energieverbrauchsverhaltens privater Haushalte», Studie NFP 44, Zürich 1986.

Zementdosierung

Bestimmung im erhärteten Beton und Mörtel

Von Y. Houst, Lausanne, J. Pfefferkorn, Dübendorf, und H. Wolter, Wildegg

Das beschriebene Analysenverfahren, das in Kooperation zwischen der EMPA Dübendorf, der TFB Wildegg und dem LMC, ETH Lausanne, erarbeitet und langfristig auf Zuverlässigkeit geprüft wurde, erlaubt es, die Zementdosierung im erhärteten Beton und Mörtel nachträglich zu bestimmen. Als Referenzverbindung (Leitverbindung) wird hierbei die lösliche Kieselsäure herangezogen, die auf chemischem Wege bestimmt wird und in den Schweizer Portlandzementen im Mittel zu 21% vorhanden ist.
Da dieses Verfahren die Zementdosierung nur indirekt über die lösliche Kieselsäure ermittelt, ergeben sich bezüglich Einsatzmöglichkeiten gewisse Einschränkungen. Streng genommen werden nur für Schweizer Portlandzemente korrekte Resultate erhalten, wobei aber auch hier, bedingt durch das Probenalter, den Zuschlag, den geringfügig variablen löslichen SiO_2-Gehalt der einzelnen Zemente und die Probenahme, mit einem relativen Fehler zwischen +10 und −5% zu rechnen ist.
Nicht anwendbar ist dieses Verfahren auf Beton- und Mörtelproben, die mit verschnittenen Zementen, wie z. B. Hochofenzementen, Puzzolanzementen, Flugaschezementen oder fillerisierten Zementen hergestellt worden sind. Gleiches gilt für Mörtel- oder Betonproben mit einem Zusatz von hydraulischem Kalk.

Einführung und Abgrenzung

Grund für die Erarbeitung des Analysenverfahrens

Zwar existieren schon seit langem Untersuchungsmethoden für die chemische Bestimmung der Zementdosierung im erhärteten Beton, doch ergaben die einzelnen Verfahren (Gelatine und Evaporation [1]) durch die unterschiedlichen Versuchstechniken meist laborspezifische und damit häufig nur relativ unsichere Resultate.

Um den Einfluss des Labors auf das Zementgehaltsergebnis auszuschliessen, d. h. um ein Verfahren zu entwickeln, das laborunabhängig eine korrekte Zementgehaltsbestimmung erlaubt, wurde im Jahre 1977 eine Zusammenarbeit zwischen der EMPA, Dübendorf, der TFB, Wildegg, und dem LMC der ETH Lausanne vereinbart. Hierbei konnte ein Analysenverfahren entwickelt werden, das es erlaubt, unabhängig vom Prüflabor die Zementdosierung etwa +10/−5% genau im rein zementgebundenen Beton und Mörtel zu bestimmen. Miterfasst wurden ebenfalls der Einfluss der Zementdosierung, das Probenalter und die Art des Zuschlagsstoffes sowie der SiO_2-Anteil in einem ausgewählten Portlandzement. Nach einer Erprobungszeit von mehreren Jahren soll nun diese Methode einem breiteren Anwenderkreis, aber auch dem Baupraktiker bekannt gemacht werden und zu zeigen, mit welchen unbekannten Einflüssen gerechnet werden muss und wie daher die Resultate zu interpretieren sind.

Anwendungsbereich des Analysenverfahrens

Da es auf chemischem Wege nicht möglich ist, den Zementgehalt im Beton oder Mörtel unmittelbar zu bestimmen, muss auf ein indirektes Verfahren zurückgegriffen werden. Hierbei muss eine Komponente gefunden werden, die im Zement in einem grösseren und möglichst gleichbleibenden Anteil vorhanden ist, im Zuschlagsstoff und Anmachwasser jedoch möglichst fehlen sollte. Eine solche Leitverbindung stellt die salzsäurelösliche Kieselsäure (SiO_2) dar. Sie ist in den Schweizer Portlandzementen im Mittel zu rund 21 Masse-% (bei einer Variationsbreite von 19,5–22,6 Masse-%) enthalten. Vom analytischen Standpunkt aus lässt diese