

Auslöser und Nebenwirkungen beim Energiesparen im Bauwesen: Strategie zum Energiesparen

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

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **101 (1983)**

Heft 30/31

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-75178>

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.

Auslöser und Nebenwirkungen beim Energiesparen im Bauwesen

Bericht über das Projekt des Schweizerischen Nationalfonds

Die Berichterstattung soll einen Überblick über die wichtigsten Resultate des Projektes des Schweizerischen Nationalfonds geben, an dem im Rahmen der nationalen Forschungsprogramme «Energie» in zwei Phasen (1977-1979 und 1980-1982) gearbeitet wurde. An dieser Arbeit haben neben den aufgeführten Autoren auch Peter Forrer, Ueli Soom, Verena Steiner und Bruno Wick mitgewirkt. Die Studie umfasst zwei Schwerpunkte: einerseits Erkenntnisse über die schweizerischen Energieverbrauchsstrukturen aufgrund umfangreicher Reihenuntersuchungen und intensiver Fallstudien und einer Hochrechnung über das Sparpotential im gesamten Gebäudebestand der Schweiz; andererseits wurde ein Rechenprogramm zur Berechnung der Energiebilanz eines Gebäudes und zur Bestimmung des Einsparungspotentials entwickelt.

Strategie zum Energiesparen

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

Systematische Energie-Kennzahluntersuchungen an Wohn- und Schulbauten in der Schweiz

Erhebungen

In den letzten Jahren wurde der energetische Zustand von 600 Schulgebäuden, 1700 Einfamilienhäusern und 400 Mehrfamilienhäusern mit 12 000 Wohnungen in der Schweiz systematisch untersucht. Mit dieser Untersuchung wurden rund 20% aller Schulen in der Schweiz erfasst. Die erhobenen Wohnbauten umfassen 1,4 Mio m² beheizte Bruttogeschossfläche und damit rund 1% aller Wohnbauten in der Schweiz.

Eigenschaften der Gebäude

Die Auswertung der Reihenuntersuchungen vermittelte ein Bild über die Eigenschaften eines mittleren Ein- und Mehrfamilienhauses und eines mittleren Schulhauses in der Schweiz (Tabelle 1). Weitere Auswertungen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Hochbauforschung der ETH Zürich lieferten quantitative Zusammenhänge zwischen verschiedenen Gebäudeeigenschaften untereinander, beispielsweise dass grössere Einfamilienhäuser durchschnittlich ein günstigeres Oberflächen-/Bruttogeschossflächen-Verhältnis aufweisen oder dass schlecht ausgelastete Kessel mit niedrigen Betriebsstunden im Mittel eine höhere spezifische Kesselleistung aufweisen. In 242 Diagrammen und Tabellen wird der Zusammenhang zwischen folgenden Parametern

untereinander aufgezeigt, was Architekten, Heizungstechnikern, Planern usw. neues Grundlagenmaterial liefert:

- Aussentemperatur
- Windlage (exponiert, normal, geschützt)
- Gebäudelage (freistehend, einseitig und zweiseitig angebaut)
- Gebäudebaujahr
- Gebäudefläche
- Oberflächen-/Bruttogeschossflächen-Verhältnis
- Belegungsdichte
- spezifische Südfensterfläche (pro m² EBF)
- spezifische Ost-/Westfensterfläche
- spezifische Nordfensterfläche
- spezifische Kesselleistung
- theoretische, jährliche Brennerbetriebsstunden

Tabelle 1. Eigenschaften eines mittleren Gebäudes

* eigene Schätzung

	Einfamilienhäuser (1717 untersuchte Objekte der Schweiz)	Mehrfamilienhäuser (399 untersuchte Objekte)	(Schweizer Mittel)*	Schulen (632 untersuchte Objekte der Schweiz)
Gebäudegrösse m ² EBF	180	2750	ca. 630	2843
m ² EBF/Person	42	30	ca. 30	11
m ² EBF/Wohnung bzw. pro Klasse	180	90	ca. 90	247
Personen/Gebäude	4,0	ca. 90	ca. 21	251
Pers./Whg. bzw. pro Klasse	4	ca. 3	ca. 3	22
Whg./Geb. bzw. Klassen/Schule	1	30	7	12
Baujahr	1959	1961	1953	1956
Anteil Heizungstyp [%]				
Öl-Kombikessel	63	64		41
Öl-Heizkessel und Elektroboiler	19	36		41
Elektroheizung	5	-		3
Anderer Heizungstyp	7	-		15
Kesselleistung [W/m ²]	194	133		166
Brennerbetriebsstunden [h/a]	1124	1444		992

Energieverbrauch und Energiekosten

Der Energieverbrauch pro Bewohner ist im Einfamilienhaus im Mittel doppelt so gross wie im Mehrfamilienhaus und siebenmal grösser als pro Schüler (Tabelle 2). Ein Einfamilienhaus verbraucht durchschnittlich gleich viel Energie wie eine Schulklasse und doppelt soviel wie eine Mietwohnung. Durchschnittlich nimmt der Heizenergieverbrauch 85% des gesamten Endenergieverbrauches im Wohnungsbau ein und der Elektrizitätsverbrauch 15%; die Elektrizitätskosten 25% der Energiekosten. Die Energiekosten liegen heute bei einer mittleren Mietwohnung bei 1700 Fr. im Jahr und bei einem Einfamilienhaus bei 3300 Fr. Bei der Hälfte der Einfamilienhäuser schwanken die Energiekosten zwischen etwa 2500 und 3800 Fr. und in 10% der Fälle liegen die Kosten über 4700 Fr. oder unter 2000 Fr. Bei heutigen Energiepreisen ist im Wohnungsbau durchschnittlich mit Energiekosten von beinahe 20 Fr. pro m² Energiebezugsfläche zu rechnen.

Energiekennzahlen

Die Energiekennzahl – der gesamte Endenergieverbrauch im Gebäude pro m² Energiebezugsfläche EBF, d.h. je m² beheizte Bruttogeschossfläche – liegt bei den untersuchten Mehrfamilienhäusern im Mittel bei rund 900 MJ/m² · a, bei den Einfamilienhäusern rund 100 MJ/m² · a höher und bei den Schulen um 100 MJ/m² · a tiefer.

Die Häufigkeitsverteilung der Energiekennzahl gleicht bei allen drei untersuchten Nutzungen einer Normalverteilung mit einer unteren Grenze bei etwa 300 MJ/m² · a und einem brei-

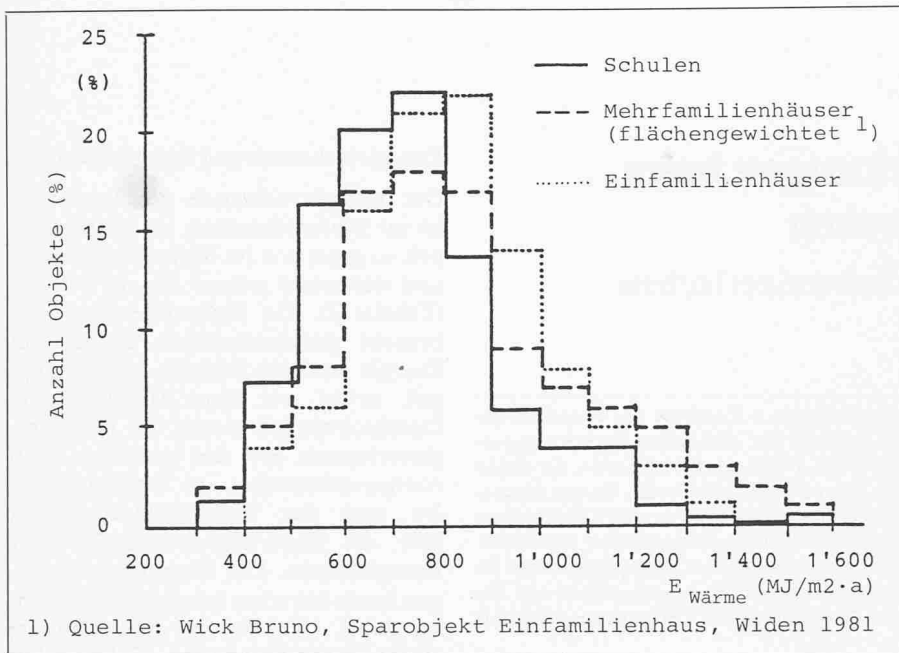


Bild 1. Häufigkeitsverteilung von $E_{Wärme}$

Tabelle 2. Spezifischer Energieverbrauch und Energiekosten

	Einfamilienhäuser (1717 Objekte)	Mehrfamilienhäuser (Mittel Schweiz)	Schulen (632 Objekte)
Gebäudefläche [m² EBF]	180	630	2843
Energieverbrauch pro Jahr: GJ/Person	Heiz. + El. = Total 43 + 6 = 49	Heiz. + El. = Total 24 + 4 = 28	Heiz. + El. = Total 8 + 1 = 9
GJ/Wohnung bzw. pro Klasse	150 + 19 = 169	71 + 11 = 82	184 + 13 = 197
GJ/Gebäude	150 + 19 = 169	495 + 80 = 575	2120 + 150 = 2270
Energiekosten pro Jahr:* Fr./m² EBF	15 + 5 = 20	13 + 5 = 18	12 + 2 = 14
Fr./Person	630 + 250 = 880	390 + 160 = 550	140 + 30 = 170
Fr./Wohn. bzw. pro Klasse	2500 + 800 = 3300	1200 + 500 = 1700	1600 + 300 = 1900
Fr./Gebäude	2500 + 800 = 3300	8300 + 3300 = 11600	35000 + 6000 = 41000

*gemäss obigen Energieverbrauchsangaben und bei heutigen Energiepreisen (-70 Fr./kg Öl und 15 Rp./kWh Elektrizität)

Bild 2. Einfluss des Gebäudebaujahres auf den Energieverbrauch bei Schulen

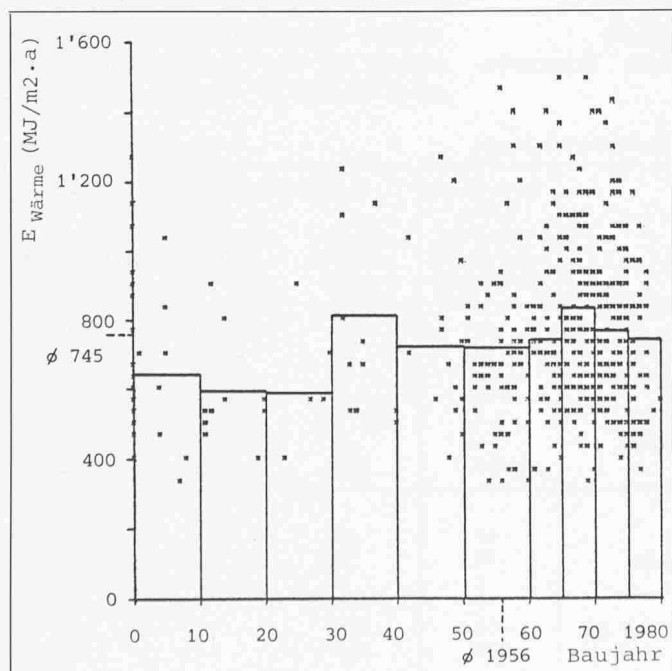
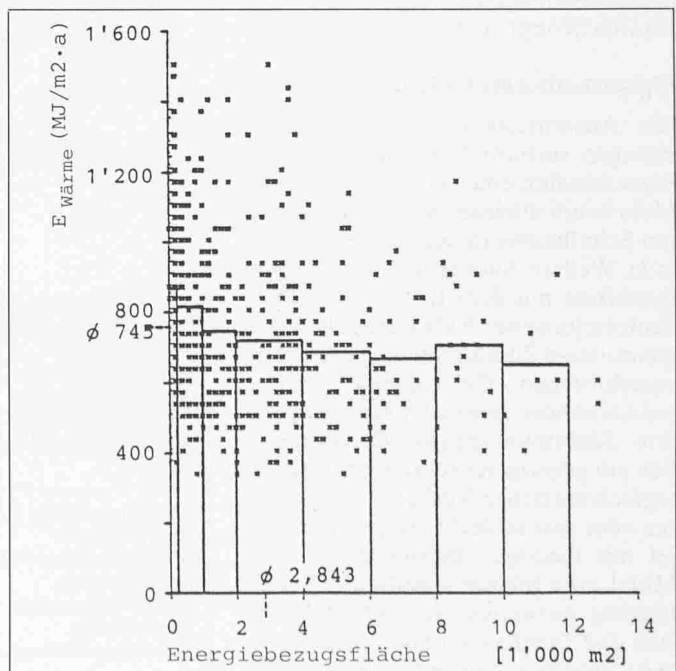


Bild 3. Einfluss der Gebäudegrösse auf den Energieverbrauch bei Schulen



teren Streubereich nach oben. Mehr als die Hälfte der Objekte liegt jeweils im Bereich zwischen 600 und 900 MJ/m² · a $E_{Wärme}$ (Bild 1).

Energetische Risikofaktoren-Analyse

Geographischer Einfluss

Eine detaillierte Analyse der 1700 erhobenen Einfamilienhäuser in der Schweiz zeigte, dass die Objekte in städtischen Gebieten durchschnittlich 4% tiefere Energiekennzahlen $E_{Wärme}$ aufweisen als bei Einfamilienhäusern in ländlichen Gegenden. Die Einfamilienhäuser in Berggebieten oder an Standorten mit tieferen Jahresmittel-Temperaturen hatten keinen signifikant höheren Energieverbrauch. $E_{Wärme}$ der Einfamilienhäuser in der welschen Schweiz lag um 7% höher als bei den Objekten in der Deutschschweiz, E_{Rest} dagegen um 10% tiefer.

Die gezeigten Unterschiede können durch klimatische, heiztechnische oder bauliche Unterschiede oder durch verschiedenartiges Benutzerverhalten entstehen, was noch weiter zu untersuchen ist.

Gebäudebaujahr

In der Zwischenkriegszeit von 1930 bis 1940 wurden Gebäude mit überdurchschnittlich hohem spezifischem Energieverbrauch erstellt, was sich aufgrund der statistischen Auswertung bei den Schulen, Ein- und Mehrfamilienhäusern belegen lässt. Bei den Mehrfamili-

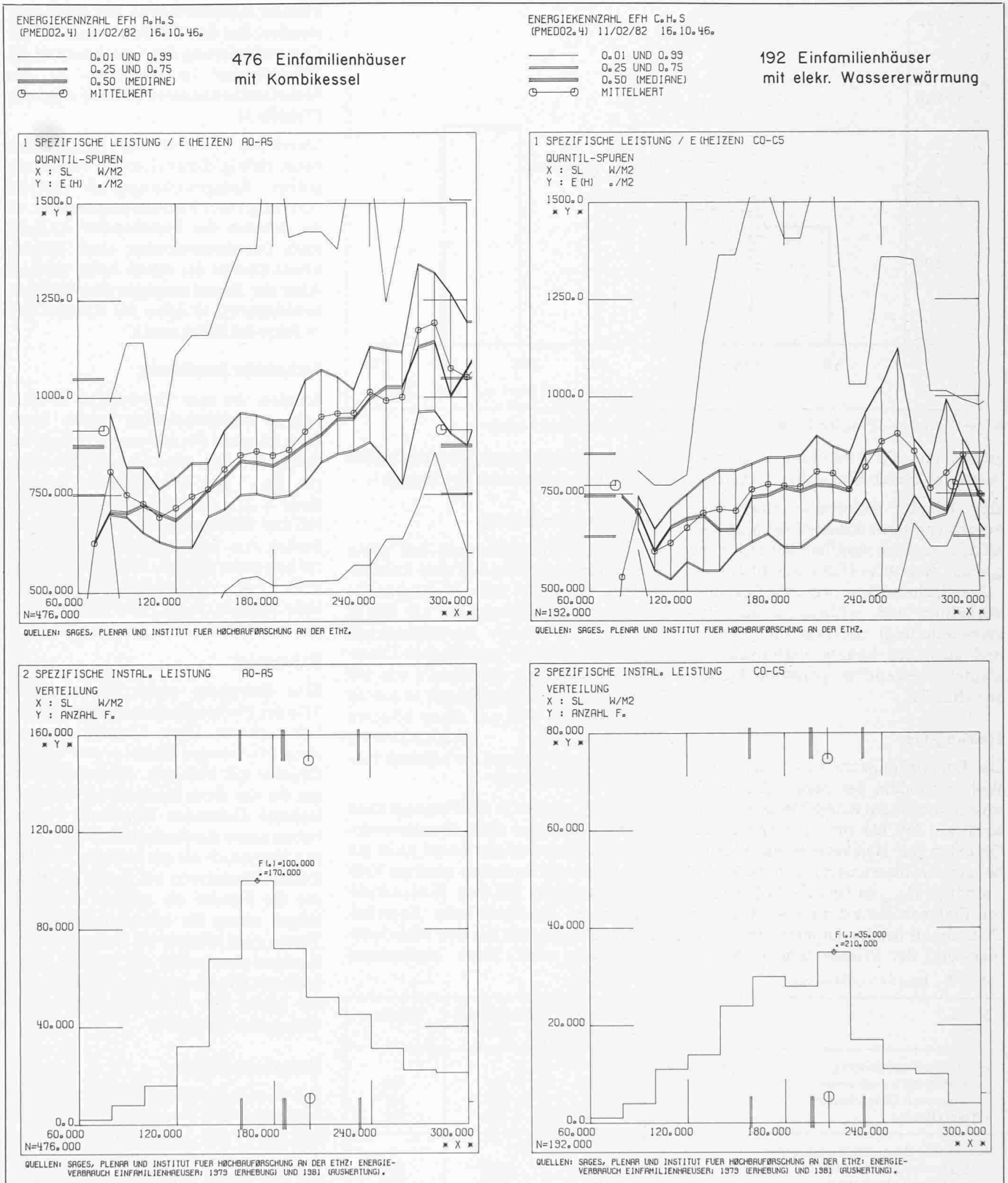


Bild 4a. Einfluss der spezifischen Kesselleistung auf den Energieverbrauch bei Einfamilienhäusern

lienhäusern verursachen die Gebäude, die um 1960 erbaut wurden, die höchsten E-Zahlen. Bei den neueren Gebäuden mit Baujahr nach 1970 ist bei Schulen und Wohnbauten wieder eine sinkende Tendenz erkennbar (Bild 2).

Gebäudegrösse

Die Gebäudegrösse bewirkt bei allen drei untersuchten Nutzungen einen

markanten Einfluss auf den spezifischen Energieverbrauch. Bei den Schulen mit einer kleineren Fläche als 1000 m² ist der spezifische Heizenergieverbrauch um 15% höher als bei den grösseren Schulen, bei den Einfamilienhäusern unter 145 m² EBF ist E_{Wärme} ebenfalls um 15% höher und bei den Mehrfamilienhäusern unter 600 m² um 10% höher. Auch bei den - insgesamt

grösseren - Reiheneinfamilienhäusern ist E_{Wärme} deutlich tiefer als bei den alleinstehenden Einfamilienhäusern. Bei den Einfamilienhäusern haben die kleineren Objekte durchschnittlich ein schlechteres Oberflächen-/Bruttogeschossflächen-Verhältnis als die grösseren Objekte. Gleichzeitig ist auch bei den kleinen Einfamilienhäusern die spezifische Kesselleistung durchschnittlich

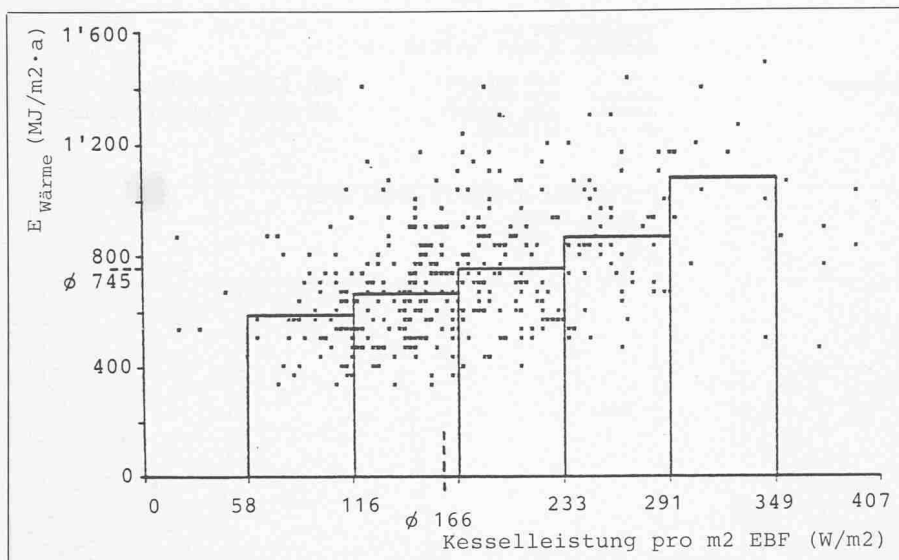


Bild 4b. Einfluss der spezifischen Kesselleistung auf den Energieverbrauch bei Schulen

grösser und die Auslastung kleiner als bei den grösseren Einfamilienhäusern.

Der höhere spezifische Energieverbrauch von Einfamilienhäusern im Verhältnis zu Mehrfamilienhäusern kann u.a. auf diese zwei Gründe (schlechteres Oberflächen-/Bruttogeschossflächen-Verhältnis und schlechtere Kesseldimensionierung) zurückgeführt werden und auch der höhere Verbrauch von kleineren gegenüber grösseren Gebäuden (Bild 3).

Heizungstyp

Die Energiekennzahl $E_{Wärme}$ ist bei den Wohngebäuden, bei denen das Trinkwasser von einem Kombikessel erwärmt wird, um $130 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{a}$ höher als bei Objekten mit Heizkesseln und Elektroboilern; bei diesen ist E_{Rest} um $60 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{a}$ höher. E_{Total} ist bei den Wohnbauten mit Elektroboilern durchschnittlich um 7% tiefer als bei den Objekten mit Kombikesseln; der Primärenergieverbrauch

und die Energiekosten sind bei beiden Heizsystemen praktisch gleich gross.

Kesseldimensionierung

Die Kesseldimensionierung hat einen wesentlichen Einfluss auf den Energieverbrauch. Schul- oder Wohngebäude mit einer Kesselleistung von z.B. 200 W/m^2 EBF haben durchschnittlich einen 30% höheren spezifischen Ölverbrauch als Objekte mit Kesseln von 100 W/m^2 . Dieser Mehrverbrauch ist nur zu einem kleinen Teil auf einen höheren Nutzwärmebedarf zurückzuführen, zum grösseren Teil auf die höheren Heizungsverluste (Bild 4).

Die Kessel wurden in der Vergangenheit im Mittel um rund 100% überdimensioniert. Dadurch sind die Kessel nicht gut ausgelastet und erreichen niedrige Vollbetriebsstunden. Bei den Einfamilienhäusern ist die spezifische Kesselleistung viel höher als bei den Mehrfamilienhäusern, weil keine ausreichend

kleinen Kesseleinheiten zur Verfügung standen. Bei den Schulen wurde für die Dimensionierung der Kesselleistung der Wärmebedarf im Vergleich zu den Mehrfamilienhäusern zu hoch angesetzt (Tabelle 3).

Durch den Ersatz der alten Kessel durch neue, richtig dimensionierte Kessel mit gutem Anlagewirkungsgrad eröffnet sich ein grosses Energiesparpotential, da die meisten der bestehenden Anlagen stark überdimensioniert sind. Diesem Ersatz kommt das relativ hohe, mittlere Alter der Kessel entgegen (bei Einfamilienhäusern): 10 Jahre bei Kombi- und 18 Jahre bei Heizkesseln.

Technische Ausrüstung

Schulen, die zum Teil belüftet werden, zeigten durchschnittlich keinen spezifisch höheren Ölverbrauch als nicht belüftete Schulen, aber ein um 28% höheres E_{Rest} . Bei klimatisierten Schulen steigt $E_{Wärme}$ um 16 und E_{Rest} um 50%. Bei drei Schulen konnte der Energieverbrauch von Schwimmbadanlagen separat gemessen werden. Ihre Energiekennzahlen lagen viel höher als bei den restlichen Schulen: $E_{Wärme}$ bei 7400 und E_{Rest} bei $770 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{a}$.

Baumängel

Eine Befragung ergab, dass lediglich 31% der Einfamilienhausbesitzer behaglich wohnen. Diese Objekte verbrauchen 13% weniger Heizöl pro m^2 EBF als Objekte mit Mängeln. Einfamilienhäuser, die von ihren Besitzern als «schlecht isolierte Gebäude» eingestuft werden, haben einen durchschnittlich 15% höheren Verbrauch als gut isolierte Objekte. Einfamilienhäuser, bei denen die Besitzer die Fenster als undicht einstufen, zeigen einen 6% höheren Verbrauch. Treten zwei Mängel bei einem Einfamilienhaus gleichzeitig auf, was bei jedem sechsten Objekt zutrifft, so addiert sich im Mittel der Mehrverbrauch gegenüber guten Gebäuden.

Benutzerverhalten

Ein Viertel der Einfamilienhausbesitzer betrachtet sich als energiebewusste Verbraucher. Bei diesen Gebäuden ist $E_{Wärme}$ um 13% tiefer als bei den Objekten mit nicht energiebewussten Besitzern.

Elektrizitätsverbrauch

Kleine Gebäude haben – wie bei $E_{Wärme}$ – auch einen höheren spezifischen Elektrizitätsverbrauch. Der Einfluss des Benutzerverhaltens auf den Elektrizitätsverbrauch ist ausgeprägter als auf den Heizölverbrauch. Eine grössere Belegungsdichte bewirkt – im Gegensatz zum Ölverbrauch – einen höheren spezifischen Elektrizitätsverbrauch.

Tabelle 3. Kesseldimensionierung

Mittel	Einfamilienhäuser	Mehrfamilienhäuser	Schulen
spezifische Kesselleistung [W/m ² EBF]			
- Objekte mit Kombikessel	202	136	190
- Objekte mit Elektroboiler	206	129	157
- Total Objekte	194	133	166
theoretische Brennerbetriebsstunden [h/a]			
- Objekte mit Kombikessel	1148	1527	839
- Objekte mit Elektroboiler	1061	1299	1049
- Total Objekte	1124	1444	992

Tabelle 4. Energetische Risikofaktoren. Gebäude, welche die Eigenschaften der aufgeführten Risikofaktoren aufweisen, haben durchschnittlich eine 10% höhere Energiekennzahl $E_{Wärme}$ als alle untersuchten Objekte

	Schulen	Einfamilienhäuser	Mehrfamilienhäuser
Gebäudegrösse [m ² EBF]	unter 500	unter 130	unter 600
Gebäudebaujahr	1965–1970	1917–1923 1932–1940	1958–1963
Benutzerverhalten		unbekümmert	
Gebäudemängel		grosse Mängel	
Kesselleistung [W/m ²]	über 240	über 230	über 160

Risikofaktoren

Ein wichtiges Ziel der Arbeiten war, zu untersuchen, ob Gebäudeeigenschaften, die einfach und rasch ermittelt werden können, mit grosser Wahrscheinlichkeit auf einen relativ hohen Energieverbrauch des Gebäudes hinweisen. Solche Eigenschaften werden als energetische Risikofaktoren bezeichnet.

Die Auswertung der rund 600 Schulen, 1700 Einfamilien- und 400 Mehrfamilienhäuser ergab, dass Gebäude mit folgenden Eigenschaften im Mittel einen mindestens 10% höheren Verbrauch aufweisen als alle Gebäude und als energetische Risikogruppen betrachtet werden müssen:

- kleine Gebäude
- Gebäude aus der Zwischenkriegszeit und den sechziger Jahren
- Objekte mit relativ grossen, überdimensionierten Kesseln
- Gebäude mit unbekümmerten Energieverbrauchern
- Gebäude mit groben Mängeln (Tabelle 4).

Diese Risikogruppen haben im Vergleich zu den restlichen Gebäuden ohne Risikofaktoren im Mittel sogar einen mindestens 15 und maximal 30% höheren spezifischen Energieverbrauch. Die Gebäude mit Risikofaktoren sind auch viel häufiger in der Kategorie der hohen Verbraucher vertreten als Gebäude ohne Risikofaktoren.

Dank der Auswertung konnten einige Risikofaktoren gefunden werden, die sehr rasch ermittelt werden können und mit hoher Wahrscheinlichkeit auf einen hohen spezifischen Energieverbrauch hinweisen. Bei den Gebäuden mit Risikofaktoren empfiehlt es sich, eine sofortige Grobanalyse vorzunehmen. Aber auch bei Gebäuden ohne Risikofaktoren sind häufig hohe Verbraucher anzutreffen. Aufgrund der Risikofaktorenanalyse lässt sich also im Einzelfall der Energieverbrauch eines Gebäudes nicht eindeutig bewerten: Für diesen Zweck ist die Energiekennzahl immer noch das geeignetste Instrument.

Hochrechnung

Gebäudebestand der Schweiz

Für den gesamten Gebäudebestand der Schweiz wurde die beheizte Bruttogeschossfläche hochgerechnet: für die Haushalte aufgrund der Anzahl Wohnungen (abgeleitet aus der Eidg. Volkszählung 1970 des Eidg. Statistischen Amtes und weiteren Quellen) und der mittleren Wohnungsfläche, die in den eigenen Energiekennzahl-Erhebungen ermittelt wurde, und für den Dienstlei-

HAUSHALTE 63 %	Dienstleistungen 22 %	Gewerbe Industrie 15 %
Einfamilienhäuser 18 %	Schulen 4 %	Werkstätten des Gewerbes 5 %
Zweifamilienhäuser 6 %	Verwaltungen 4 %	
Mehrfamilienhäuser 24 %	Hotel und Restaurant 4 %	Industrie 10 %
	Läden 3 %	
	Spitäler 2 %	
	Heime 1 %	
Sonstige Gebäude mit Wohnungen 15 %	Bahn u. Post 1 %	
	Priv. Büros 1 %	
	Div. öff. Bauten 1 %	
	Diverse 1 %	

Bild 5. Flächenanteil der einzelnen Sektoren am gesamten Gebäudebestand der Schweiz (Anteil in % von der beheizten Bruttogeschossfläche; 100% entspricht etwa 329 Mio m²)

stungssektor, Industrie und Gewerbe aus den Angaben über die Bruttogeschossfläche aufgrund der Eidg. Betriebszählung 1975 des Eidg. Statistischen Amtes. (Der beheizte Anteil der BGF wurde geschätzt.) Aufgrund dieser Hochrechnung umfasste der gesamte Gebäudebestand der Schweiz 1975 rund 330 Mio m² Energiebezugsfläche. 63% davon entfielen auf Wohnbauten und 22% auf Gebäude des Dienstleistungssektors (Bild 5). Für diese zwei Sektoren wurden bereits für die meisten Nutzungen umfangreiche Energiekennzahl-Erhebungen durchgeführt (Tabelle 5). Damit konnten für rund 80% des bestehenden Gebäudebestandes der Schweiz Vergleichswerte der Energiekennzahlen geschaffen werden. Heute fehlen vor allem noch Vergleichswerte für den Sektor Industrie.

Tabelle 5. Durchgeführte Energiekennzahl-Erhebungen an verschiedenen Nutzungen in der Schweiz (Stand Ende 1981)

Gebäudegruppe	Anteil der Gruppe am gesamten Gebäudebestand [% m ² EBF]	Erhebung		
		durch- geführt von	Jahr der Erhebung	Anzahl untersuchte Objekte
Haushalte:	64	SAGES	1979/80	2100
Einfamilienhäuser	18	SAGES	1979	1700
Zweifamilienhäuser	6	SAGES	1979	(ca. 300)
Mehrfamilienhäuser	24	SAGES	1980	400
sonstige Gebäude	15			
Dienstleistungssektor:	22	Div.	1979-81	ca. 1700
Schulen	4,0	PLENAR	1979-81	1200
Hotels	2,3	SAGES	1981	50
Spitäler	1,5	Stadt ZH	1981	10
Banken	0,9	PLENAR	1977	100
Heime	0,8	Stadt ZH	1981	30
Werkstätten	0,8	AFB	1980	40
öffentliche Verwaltungen	0,8	Stadt ZH und AFB	1980	140
Lager	0,5	AFB	1980	40
Militär	0,4	AFB	1980	40
Gewerbe + Industrie:	15			

	Mittelwerte (Zentralwert)			hohe Werte: über...			tiefe Werte unter...		
	E _W	E _R	E _T	E _W	E _R	E _T	E _W	E _R	E _T
Einfamilienhäuser									
- Kombikessel	850	100	950	1000	125	1125	700	75	775
- Heizkessel mit El.-boiler	750	150	900	900	175	1075	600	125	725
Mehrfamilienhäuser									
- Kombikessel	750	125	875	900	150	1050	600	100	700
- Heizkessel mit El.-boiler	650	175	825	800	200	1000	500	150	650
Schulen									
- Kindergärten	800	50	850	950	50	1000	650	50	700
- Primar-, Sekundar- und Mittelschulen	700	50	750	850	50	900	550	50	600
- höhere Ausbildungsstätten	700	200	900	850	250	1100	550	150	700
Verwaltungsbau	700	150	850	850	175	1025	550	125	675
Heime	850	175	1025	1000	200	1200	700	150	850
Spitäler	1100	225	1325	1300	275	1575	900	175	1075
Hotels	900	450	1350	1075	550	1625	725	350	1075

Tabelle 6. Vergleichswerte Energiekennzahlen

tion bereits heute rund ein Drittel aller Objekte tiefe Energiekennzahlen.

Gebäude mit hohem Energieverbrauch sollten einer sofortigen energetischen Feinanalyse unterzogen werden, Gebäude mit einer mittleren Energiekennzahl sollten mittelfristig oder im Zusammenhang mit einer heiztechnischen oder baulichen Sanierung näher untersucht werden. Als Sollwerte sind bei energetischen Sanierungen Energiekennzahlen E_{Total} im Wohn-, Schul- und Verwaltungsbereich von unter 600 MJ/m² · a anzustreben, bei Neubauten sogar bis 500 MJ/m² · a.

Energieverbrauch und Energiekosten in der Schweiz

Eine Hochrechnung aufgrund der durchgeführten Energiekennzahl-Erhebungen und einer groben Schätzung der beheizten Bruttogeschossfläche von 1975 ergab, dass der Endenergieverbrauch des gesamten Gebäudebestandes der Schweiz bei rund 350 PJ/a lag. Mehr als die Hälfte davon wird in Wohnbauten verbraucht. Beinahe ein Viertel des gesamten Energieverbrauches resultiert aus dem Elektrizitätsver-

brauch. Die Energiekosten des gesamten Gebäudebestandes der Schweiz dürften bei heutigen Energiepreisen und angesichts der Zunahme der beheizten Bruttogeschossfläche seit 1975 heute gegen 10 Milliarden Fr. im Jahr verschlingen. Augenfällig ist der hohe Anteil der Elektrizitätskosten an den Energiekosten und die grosse Abhängigkeit von Gewerbe und Industrie von den Elektrizitätskosten (Tabelle 7).

Energieverbrauchsentwicklung

Neubauten verbrauchen durchschnittlich rund 15% weniger Heizöl pro m² EBF als Wohnbauten, die Anfang der sechziger Jahre erstellt wurden. Fallstudien an bestehenden Wohnbauten haben gezeigt, dass der Energieverbrauch am einzelnen Gebäude in den letzten Jahren gesunken ist. Auch die Statistiken des Bundesamtes für Energiewirtschaft zeigen – im Gegensatz zum Benzin- und Elektrizitätsverbrauch – einen rückläufigen Heizölverbrauch. Diese sinkende Tendenz muss sowohl bei der Dimensionierung von Energieerzeugungsanlagen von einzelnen Objekten als auch bei der Planung von Gas- oder

Tabelle 7. Energieverbrauch und Energiekosten des gesamten Gebäudebestandes der Schweiz (Hochgerechnet aufgrund einer Schätzung der Energiebezugsfläche von 1975, den Energiekennzahlen von Erhebungen von 1977–1981 und auf der Basis heutiger Energiepreise)

	EBF (1975) [10 ⁶ m ²]	E-Zahlen [MJ/m ² · a]	Endenergieverbrauch [PJ/a]	Energiekosten (Mio. Fr./a) (Preisstand 1980 und Energieverbrauch 1975)		
		(1978) E _W + E _R = E _T	(1975) RH+WW+Rest=Total (ohne Prozess- wärme)	RH+WW (-.70 Fr. pro kg Öl)	Rest (-.15 Fr. pro kWh)	Total
Haushalte	210	820 + 120 = 940	172 + 25 = 197	2880	1040	3920
Dienstleistungen	71	800 + 180 = 980	57 + 13 = 70	950	540	1490
Gewerbe + Industrie	48	ca. 700 + (900) ¹ = 1600	34 + 43 = 77	570	1790	2360
gesamter Gebäudebestand	329	ca. 800 + 250 = 1150	263 + 81 = 344	4400	3380	7770

¹ Berechnet aufgrund der Verbrauchsangaben aus «Schweizerische Elektrizitätsstatistik 1980» des Bundesamtes für Energiewirtschaft, Bern 1981

Fernwärmeversorgungssystemen usw. berücksichtigt werden.

Strategie

Sparpotential

Der Energieverbrauch von Gebäuden kann auf verschiedenen Stufen reduziert werden, die sich auch durch den unterschiedlichen Aufwand bei der Durchführung unterscheiden:

- Stufe 1: Benutzerverhalten
- Stufe 2: Regelung
- Stufe 3: Massnahmen an Heiztechnik und Gebäudehülle
- Stufe 4: Nutzung Umwelt- und Abwärme und Solarwärme

Der spezifische Energieverbrauch zeigt durch unterschiedliches Benutzerverhalten grosse Schwankungen. Daran ist ersichtlich, dass das Sparpotential durch angepasstes Benutzerverhalten gross ist. Dieses Sparpotential kann meistens kostenlos genutzt werden.

Durch Optimierung der Regelung lassen sich Heizungsverluste reduzieren, die Temperaturen in den einzelnen Räumen zeitlich dem Bedarf anpassen, die anfallende freie Wärme besser nutzen usw. Oft lassen sich durch Optimierung der Regelung mit relativ niedrigen Investitionen beträchtliche Einsparungen von 10–20% erzielen.

Durch bauliche und heiztechnische Massnahmen resultierte an sieben untersuchten Ein- und Mehrfamilienhäusern ein technisch mögliches Sparpotential von meistens zwischen 50 und 70%. Bei diesen Objekten ging der Verbrauch im Mittel innerhalb der letzten drei Jahre um 10% zurück (Bild 6). Feinanalysen an 30 Schulen und Verwaltungsgebäuden zeigten, dass der Energieverbrauch durch wirtschaftliche Massnahmen meistens um 20–40% oder im Mittel um 30% vermindert werden kann.

Durch die Nutzung von Umgebungs- und Abwärme mittels Wärmepumpen oder Solarnutzung kann der Verbrauch nochmals erheblich vermindert werden.

Wird z.B. davon ausgegangen, dass im Mittel der Heizenergieverbrauch eines einzelnen Gebäudes um 30% reduziert werden kann, 75% des Gebäudebestandes der Schweiz erfasst werden können und 10% davon bereits heute saniert sind, so kann der Heizenergieverbrauch der heute bestehenden Bauten um etwa 50 PJ/a reduziert werden. Für die daraus resultierenden Energiekosteneinsparungen lassen sich auf der Basis von heutigen Energiepreisen (0,70

Fr./kg Öl) ungefähr 10 Mia Fr. wirtschaftlich investieren.

Nationale Strategie

Bei den Einfamilienhäusern können die Besitzer die energetische Qualität ihrer Gebäude tendenzmässig richtig einschätzen. Im Mietwohnungsbau wird die Bedeutung des Wärmeschutzes von allen betroffenen Parteien als wichtig eingestuft, die Eigentümer stufen aber im allgemeinen den Zustand des Wärmeschutzes ihres Gebäudes wesentlich höher ein als die direkt betroffenen Mieter. Die technischen und wirtschaftlichen Sparmöglichkeiten werden von den Hausbesitzern meistens unterschätzt. Diese Gründe wirken sich hemmend auf eine Ausschöpfung des wirtschaftlichen Sparpotentials aus, trotz des grossen bestehenden Potentials und trotz der hohen Einstufung der Bedeutung des Energieproblems in der Schweiz.

Eine breite und sinnvolle Sanierung kann durch bessere Information der Öffentlichkeit und der Fachleute gefördert werden, wobei die öffentliche Hand durch beispielhafte Sanierungen eine Auslöserwirkung erzielen könnte. Dem Hauseigentümer muss eine Vorstellung über die Schwelle von wirtschaftlichen Investitionen vermittelt werden (Tabelle 8). Das Instrument der Energiekennzahl muss dem Hauseigentümer und Hausbenutzer bekannt gemacht werden. Mit diesem Instrument lässt sich in einem ersten Schritt das Gebäude bewerten und aufgrund dieser Bewertung die Dringlichkeit einer Sanierung einstufen. Durch die Energiekennzahl-Aktion soll dem Eigentümer gleichzeitig die Bedeutung des Energieverbrauches nähergebracht werden, und er soll bei einem hohen Verbrauch motiviert werden, die nächsten Schritte für eine Sanierung stufenweise einzuleiten.

Aufgrund der durchgeführten Forschungsarbeit und weiterer Untersuchungen wurde ein 7-Punkte-Programm für die nächsten zwei Jahrzehnte formuliert:

7-Punkte-Programm für 1980-2000:

1. Steuerliche Begünstigung von energiesparenden Investitionen (Wehrsteuer, kantonale und kommunale Steuern).
2. Bevorzugte Hypothekar-Zinssätze für bauliche Energiesparmassnahmen (Zinsreduktion der Kantonalbanken und Privatbanken vorläufig nur von 1½% für 5 Jahre, besser 10 Jahre).

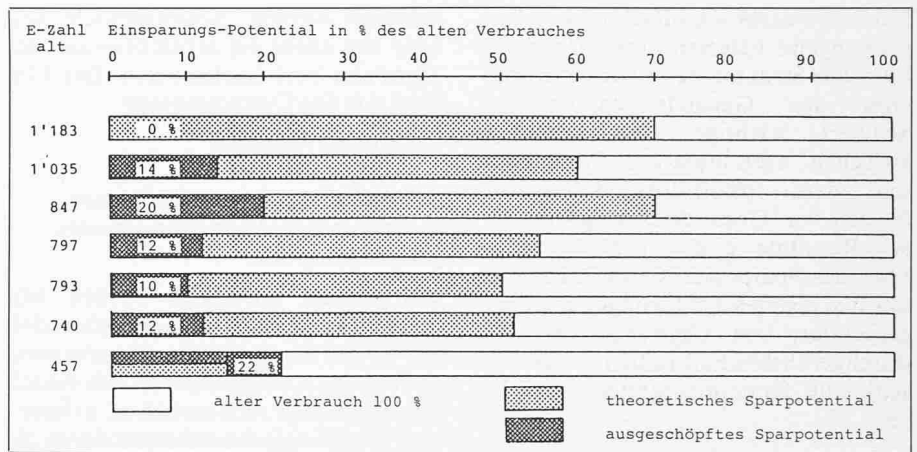


Bild 6. Theoretisches und in den letzten 3 Jahren tatsächlich ausgeschöpftes Sparpotential bei 7 untersuchten Objekten

3. Systematische Erhebung des Energieverbrauches bestehender Bauten mit Mikrozensen als Basis für die Sollwert-Formulierung:
 $E_w < 500 \text{ MJ/m}^2 \cdot a$ gutes Haus,
 $E_w = 750 \text{ MJ/m}^2 \cdot a$ häufigste Gebäude,
 $E_w > 800 \text{ MJ/m}^2 \cdot a$ Sanierungsobjekte.
4. Ausbildung von Fachleuten für die gesamtenergetische Beurteilung von Gebäuden und speziell für die Sanierungsplanung kleiner und mittlerer Gebäude (Programm des BfK).
5. Die Missbrauchsgesetzgebung auf Bundesebene soll den Ausdruck «Miete» durch «Wohnkosten» ersetzen, womit die Energieaufwendungen in die Beurteilung der Ortsüblichkeit eingehen müssen. Die Regelung der Überwälzung von Energiesparinvestitionen auf die Mieten muss ferner durch Verordnungen und Gerichtspraxis geklärt werden.
6. Die kantonalen Energiegesetze sollen gestaffelt auch für schlechte bestehende Gebäude Verbesserungsmaßnahmen im Sinne einer Sanierungspflicht verlangen, die auf einem Richtwert basieren:

- $E_w > 800 \text{ MJ/m}^2 \cdot a$: Sanierungspflicht,
 - $E_w = 600-800 \text{ MJ/m}^2 \cdot a$: Sanierungspflicht erst nach einer Übergangszeit von 3-5 Jahren,
 - $E_w < 600 \text{ MJ/m}^2 \cdot a$: von der Sanierungspflicht vorläufig ausgenommen.
- Sollwert für Neubauten: $E_w < 500$.
 Allgemeine Pflicht der Buchführung über den jährlichen Energieverbrauch.
7. Als Güterwert eines Objektes soll auch die Brennstofflagerung eingesetzt werden:
 - Mindestlagerkapazität 2 Jahre
 - ständig mindestens vorhandener Vorrat von ½ des Jahresbedarfes des Gebäudes im Tank.
 Dieses Postulat kann vorerst freiwillig (d.h. privatwirtschaftlich) als Empfehlung angewendet werden, später aber ebenfalls in kantonalen Energiegesetzen oder Bundesgesetzen über die Vorsorge in Kriegszeiten verankert werden.

Weitere Forschungsarbeiten

Die bisherigen Untersuchungen im Rahmen des Schweizerischen National-

Tabelle 8. Investitionsschwelle in Abhängigkeit der Einsparung

Normales Haus Raumheizung/Warmwasser	IST-Verbrauch GJ/a	Einsparung %	Investitionsschwelle 1982 Fr.
Einfamilienhaus 180 m² EBF 4 Personen $E_w = 800 \text{ MJ/m}^2 \cdot a$	144	25	9 100 Fr./Haus
		50	18 200 Fr./Haus
Mehrfamilienhaus 8 Wohnungen 800 m² EBF 20 Personen $E_w = 700 \text{ MJ/m}^2 \cdot a$	560	25	35 400 Fr./Haus 4 400 Fr./Whg.
		50	70 800 Fr./Haus 8 800 Fr./Whg.
Primarschule 8 Klassen 2500 EBF $E_w = 680 \text{ MJ/m}^2 \cdot a$	1700	25	107 400 Fr./Haus 13 400 Fr./Klasse
		50	214 800 Fr./Haus 26 800 Fr./Klasse

70 Fr./100 kg Öl, 5% Zins, 30 Jahre Amortisation, 6,51% Annuität

fonds-Projektes «Auslöser und Nebenwirkungen» lieferten einen Überblick über die Struktur des Energieverbrauches des Gebäudebestandes der Schweiz, wichtige Zusammenhänge zwischen verschiedenen Parametern und dem spezifischen Energieverbrauch von Gebäuden. Aufgrund dieser Resultate und der Erkenntnisse über das Sparpotential von Gebäuden aus den eigenen Erfahrungen als Energieberater, von Umfragen und den durchgeführten Fallstudien wurde eine nationale Sanierungsstrategie abgeleitet.

In einem weiteren Schritt sollen die bisherigen Untersuchungen in einem neuen Nationalfonds-Projekt unter dem Titel «Strukturelle Verminderung des Energieverbrauches in Gebäuden» 1983 bis 1984 weitergeführt werden. Einerseits soll die Struktur des Energieverbrauches in der Schweiz durch die Auswertung von neuen Erhebungen präzisiert und auf den neuesten Stand

gebracht werden. Schwergewicht soll aber vor allem die Strukturierung des einzelnen Verbrauchers sein. Der Einfluss von den Determinanten

- Benutzerverhalten
- Lüftungseinfluss
- Fenstergrösse und -orientierung
- Wirkungsgrad von Heizsystemen
- Gebäudegrösse

soll genauer untersucht werden. Mit dem entwickelten Energiebilanzmodell gilt es, den Einfluss dieser Determinanten auf den Energiehaushalt von einzelnen Gebäuden rechnerisch zu erfassen und die Energieeinsparungen durch die verschiedenen Einzelmassnahmen und Massnahmenpakete zu berechnen. Damit sollen einerseits die bisher aufgezeigten, aber noch nicht erklärten Zusammenhänge analysiert und das Sparpotential in Abhängigkeit der Energiekennzahl und für die verschiedenen Risikogruppen aufgezeigt werden. Daraus sollen Empfehlungen über sinnvolle und realisierbare Massnahmen abgelei-

tet werden. Die Resultate dieser Fortsetzungsstudie sollen Ende 1984 vorliegen.

Literatur

- Brunner, C.U., Steiner, V. Wolfensberger, P. et al.: «Auswertung der Feinanalysen von 27 Schulen und Verwaltungsgebäuden der Stadt Zürich», Zürich 1983 (nicht veröffentlicht)
- Wick, B. «Sparobjekt Einfamilienhaus», Widen 1980
- Beck-Wörmer, M. «Der Energieverbrauch der privaten Haushalte und seine Bestimmungsgründe». Empirische Untersuchung in der Stadt St. Gallen, Dissertation an der Hochschule St. Gallen, Buchs SG 1982
- Mauch, S. Ledergerber, E.: «Energiepolitische Steuerungsinstrumente und ihre Wirkungen», NFP, Zürich 1980
- IPSO (Inst. für Praxisorientierte Sozialforschung Zürich): «Informationsbeziehungen beim Energiesparen», Zürich 1980

Adresse der Verfasser: Conrad U. Brunner, Dipl. Arch. ETH/SIA, und Ernst A. Müller, Dipl. Geograph, c/o Büro C. U. Brunner, Planung & Architektur & Energie, Lindenhofstrasse 15, 8001 Zürich.

Energiebilanzmodell

Von Conrad U. Brunner und Ueli Soom, Zürich

Ausgangslage und Problemstellung

Spätestens seit Energie teuer geworden ist, muss jeder Bau auch als Entscheidungsaufgabe im Bereich der Energieversorgung aufgefasst werden, bei dem Investitionen und Betriebskosten über die Lebensdauer der Massnahmen optimal einzusetzen sind. Dies gilt sinngemäss sowohl für die Neubauplanung, bei der die gesamte Investition dieser Prüfung unterworfen werden muss, wie auch bei Umbauten, bei denen von bestehenden Werten ausgegangen wird.

Als ökonomisches Problem ist diese Untersuchung eine klassische Fragestellung: Kosten und ihre Folgen in ein Gleichgewicht mit dem Nutzen zu bringen. Viele rechnerische Ansätze sind als Hilfsmittel greifbar. Eine Lücke besteht: die einfache Abschätzung des Energieverbrauches eines Gebäudes und damit auch die einfache Abschätzung des energetischen Erfolgs einer Massnahme.

Alle klassischen Rechenverfahren (DIN 4108, VDI 2067, SIA 380 [1] usw.) sind *Auslegungs-Berechnungen*, d. h. ihre Fragestellung heisst: Wie gross muss meine Heizleistung, Kühlleistung, mein Luftvolumenstrom usw. sein, um am kältesten oder wärmsten

Tag die Innenklima-Anforderungen zu erfüllen? Diese Auslegung hat sich also mit Lasten (Leistung in Watt) auseinanderzusetzen, sie hat die Sicherheit des Betriebes zu gewährleisten und muss eine Risikoabschätzung möglicher Extremsituationen nach statistischer Beurteilung der Klimadaten machen.

Die bekannten Verfahren zur Berechnung des Energieverbrauches (also Arbeit in Joule) gehören zwei Gruppen an: Entweder sind sie aus den Last-Rechnungen abgeleitet und versuchen, die jährliche Vollbetriebsstundenzahl auf der Basis von Heizgradtagen und der max. Heizleistung abzuschätzen (z.B. *Hottinger, Rietschel*), oder es sind neuere komplexe Rechenprogramme, die mit EDV-Unterstützung eine möglichst präzise Energiebilanz pro Stunde oder pro Tag erstellen und über die ganze Heizperiode summieren (DOE-2, JAENV usw.). Die Programme der ersten Gruppe haben sich für traditionelle Bauten als Näherung mit relativ guter Genauigkeit zur Abschätzung von Öltankvolumen usw. bewährt. Die in neuerer Zeit durch systematische statistische Untersuchungen [2] festgestellten geringen jährlichen Vollbetriebsstundenzahlen der Heizanlage lassen aber den Schluss zu, dass die Näherungsprogramme durch Sicherheitszuschläge auf der Leistungsseite einerseits

und ungenügender Erfassung der freien Wärme andererseits nicht in der Lage sind, gut gedämmte Bauten rechnerisch korrekt zu beschreiben. Vielmehr sind unsystematische Fehler aufgetaucht, die mit einfachen Kalibrierungen der Korrekturfaktoren nicht mehr bewerkstelligt werden konnten.

Die Serie der neuen komplexen Rechenprogramme ist als wissenschaftliches Instrument tauglich, d. h. diese dienen aufwendigen Grundlagenuntersuchungen, parallel zu experimentellen Arbeiten mit gemessenen Versuchshäusern, um überhaupt genügend gute Daten für die mathematisch-physikalische Analyse zur Verfügung zu haben. Auch sie sind, wie die Vergleichsuntersuchungen im Rahmen der IEA [3] mit aller Deutlichkeit zeigen, noch mit grossen Unsicherheiten behaftet, insbesondere was die Probleme der passiven Sonnennutzung betrifft. Zudem ist ihr Gebrauch durch die hohe Zahl der Input-Daten (etwa 1000) sehr arbeitsaufwendig und daher a priori nur für Grossbauten geeignet. Die grosse Lücke für den praktischen Architekten und Ingenieur bleibt während des Entwurfes, die Folgen (Energie und Kosten) seiner Entscheidung rasch und mit einfachen Mitteln möglichst gut abzuschätzen. Dies um so mehr, als in Zukunft Energiebilanzen als Grundlage einer Energienorm für Hochbauten verlangt werden, wie dies im Entwurf einer SIA-Empfehlung 380/1 «Energie im Hochbau» [4] vorgesehen ist.