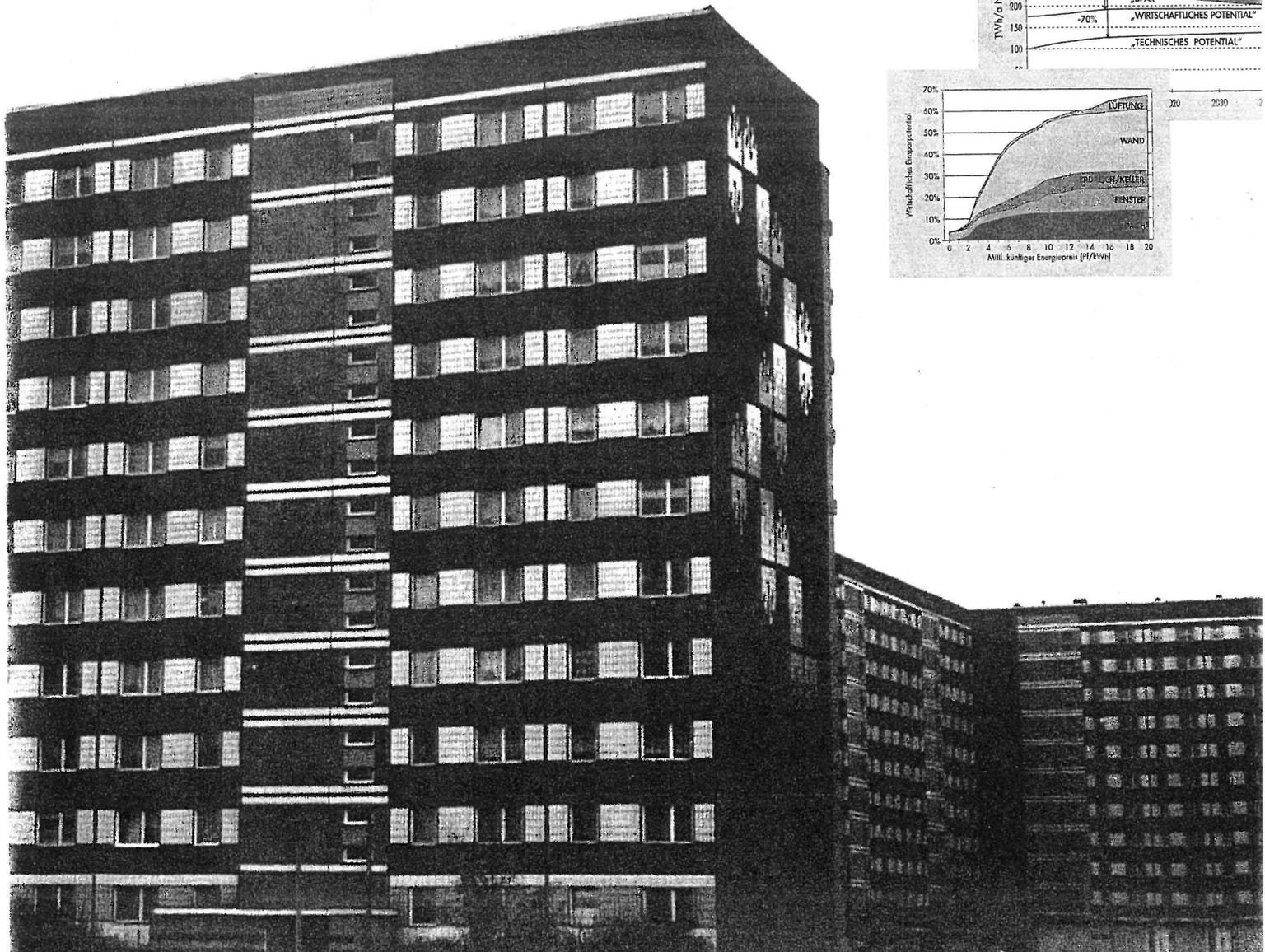
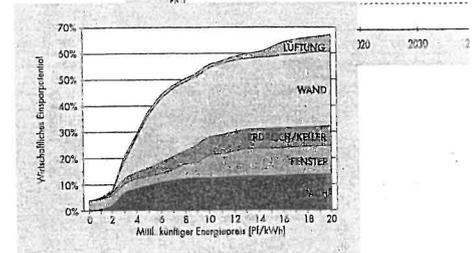
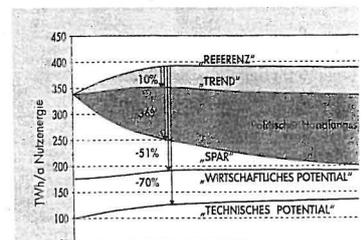


Annastraße 15
64285 Darmstadt
Tel. 0 61 51/29 04 0



Einsparungen beim Heizwärmebedarf – ein Schlüssel zum Klimaproblem



Impressum

Herausgeber:

Institut Wohnen und Umwelt,
Annastraße 16,
64285 Darmstadt,
Telefon 0 61 51/29 04-0

Autoren

Dr. Witta Ebel
Dipl.-Ing. Werner Eicke-Hennig
Dr. Wolfgang Feist
Dr. Helmut-Michael Groscurth

Fotonachweis:

Architekturatelier K.-H.
Fingerling, Arenha-Ingenier-
büro, Expo-Stadt, Ausstel-
lungsatelier, Eicke-Hennig,
Hessisches Ministerium für
Umwelt, Energie und Bundes-
angelegenheiten, Deutsche
Rockwool, Pressestelle der
Stadt Schopfheim, Colfirmat

Gestaltung:

Scientific Design,
Renate Schmarewski,
67433 Neustadt a. d. W.

Druck:

Progreßdruck GmbH
67346 Speyer

Hinweis:

Die Broschüre wurde auf
100% Recycling-Papier gedruckt.

1. Auflage
Oktober 1995

ISBN 3-927846-71-6

Inhalt

Vorwort	3
Die effiziente Energienutzung als Schlüssel zum Klimaproblem	4
Prinzipien des baulichen Wärmeschutzes	5
Wirtschaftlichkeit von Wärmeschutzmaßnahmen	8
Heizwärmebedarf von Neubauten	9
Heizwärmeeinsparung im Altbau	11
Instrumente zur Realisierung der Einsparpotentiale	16
Anhang	22
Literatur	24

Einsparungen beim Heizwärmebedarf – ein Schlüssel zum Klimaproblem

Ziel dieses Forschungsberichts ist es, die Potentiale zur Einsparung von Heizwärme in den deutschen Haushalten abzuschätzen und Instrumente zur Umsetzung dieser Potentiale vorzuschlagen.

Die Studie basiert auf zwei Untersuchungen, die am Institut Wohnen und Umwelt erstellt wurden:

- Institut Wohnen und Umwelt (IWU), 1994. Empirische Überprüfung der Möglichkeiten und Kosten, im Gebäudebestand und bei Neubauten Energie einzusparen und die Energieeffizienz zu steigern (ABL und NBL). Endbericht für die Deutsche Bundesstiftung Umwelt in Kooperation mit der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages, Darmstadt.
- Institut Wohnen und Umwelt (IWU), 1990. Energiesparpotentiale im Gebäudebestand. Reihe Studien zur Energiepolitik, hrsgg. v. Hess. Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten, Darmstadt / Wiesbaden.

An diesen beiden Studien haben mitgearbeitet: Dipl.-Ing. Rolf Born, Dr. Witta Ebel, Dipl.-Ing. Werner Eicke-Hennig, Dr. Wolfgang Feist, Dipl.-Ing. Wilfried Gabler, Dipl.-Ing. Olaf Hildebrandt, Dipl.-Ing. Hans-Peter Hilpert, Dipl.-Ing. Eberhard Hinz, Dipl.-Ing. Michael Jäkel, Dr.-Ing. Jobst Klien, Dipl.-Ing. Wolfgang Kröning, Dipl.-Phys. Tobias Loga, Dr. Helmut Schmidt, Dipl.-Ing. Benedikt Siepe, Dr. Storch, Dr. Uwe Wullkopf.

Der vorliegende Bericht faßt die Ergebnisse und Vorschläge der beiden umfangreichen Studien zusammen. Für detaillierte Begründungen und Ableitungen wird auf die Originalstudien verwiesen, die über das IWU zu beziehen sind.

Darmstadt, September 1995

Dr. Witta Ebel
Dipl.-Ing. Werner Eicke-Hennig
Dr. Wolfgang Feist
Dr. Helmuth-Michael Groscurth

Die effiziente Energienutzung als Schlüssel zum Klimaproblem

Gefahr von Klimaveränderungen

Unter Klimawissenschaftlern herrscht Konsens darüber, daß die fortgesetzte Emission klimawirksamer Spurengase wie Kohlendioxid (CO_2) oder Methan (CH_4) zu einem Anstieg der weltweiten mittleren Temperatur um einige Grad Celsius führen wird. Als Folgen drohen u. a. eine Ausweitung der subtropischen Trockenzonen auf Kosten der heutigen Kornkammern, ein verstärktes Waldsterben, ein massiver Rückgang der Gletscher in den Alpen und ein Anstieg des Meeresspiegels.

CO₂-Emissionen und Energieeinsatz

Mehr als 90% des Kohlendioxids entsteht bei der Verbrennung fossiler Energieträger. Deshalb fordert die Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages eine tiefgreifende Umstrukturierung der Energieversorgung. Ziel ist es, den CO₂-Ausstoß bis zum Jahr 2050 um 80% zu reduzieren. Dazu wird es nicht genügen, auf CO₂-ärmere Energieträger

wie Erdgas umzusteigen. CO₂-freie Energieformen wie Kernenergie und Solarenergie reichen aus unterschiedlichen Gründen für die Aufrechterhaltung des Energieverbrauchs in seinem heutigen Ausmaß nicht aus. Deshalb muß der Energieeinsatz insgesamt deutlich reduziert werden.

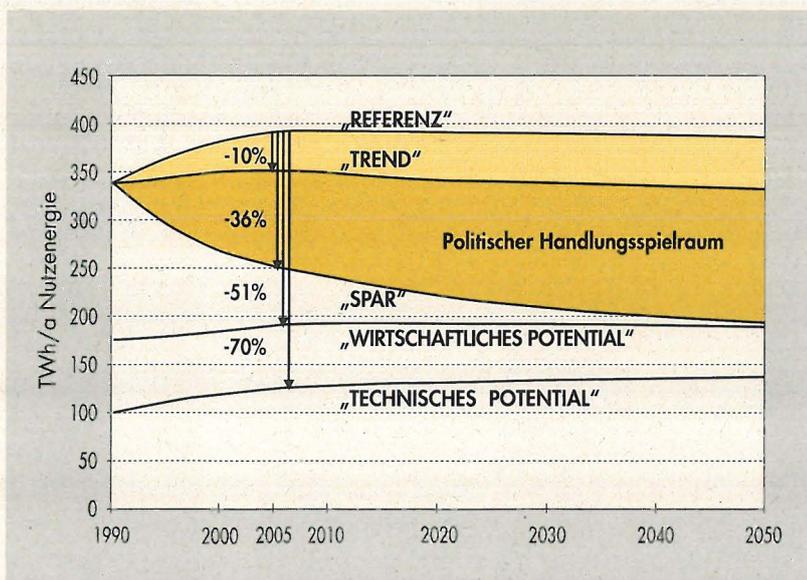
Effiziente Energienutzung – Voraussetzung für eine dauerhaft-umweltgerechte Energieversorgung

Die Einsparung von Energie ist heute die sicherste und produktivste Art der „Energiegewinnung“. Sie heizt weder die Inflation an noch die Atmosphäre auf. Sie ist vergleichsweise billig, schnell erschließbar und läßt sich ohne strukturelle Änderungen in den Wirtschaftsprozeß integrieren. Der effizienten Energienutzung kommt eine Schlüsselrolle bei der Lösung des Klimaproblems zu. Sie ist die zentrale Voraussetzung dafür, den Restbedarf mit erneuerbaren Energieträgern oder rationellen Versorgungstechniken zu decken. Durch sie entsteht wieder Handlungsspielraum für künftige Generationen, über umweltverträgliche Versorgungstechniken ohne Zeitdruck zu entscheiden. Es ist die energiepolitische Aufgabe der nächsten 50 Jahre, diese Voraussetzung für eine dauerhaft-umweltgerechte Energieversorgung zu schaffen.

Einsparpotentiale bei der Heizwärme

Derzeit wird noch ein Drittel der in Deutschland genutzten Endenergie für die Raumheizung eingesetzt. Mit den heute auf dem deutschen Markt verfügbaren Techniken zur Verbesserung des Wärmeschutzes bei bestehenden Gebäuden ist jedoch ein technisches Energiesparpotential von 70% erschließbar (Abb. 1). Auf der Basis des von der Enquete-Kommission „Vorsorge zum

Abbildung 1:
Mögliche Entwicklungen
des Heizwärmebedarfs in
den alten Bundesländern



Schutz der Erdatmosphäre“ 1991 vorgegebenen oberen Preisszenarios beträgt das wirtschaftliche Potential rund 50% (Abb. 1). Demonstrationsprojekte belegen, daß die dabei unterstellten Zielwerte für den Wärmeschutz erreichbar sind.

Die genannten Energiesparpotentiale sind mit vertretbarem wirtschaftlichen Aufwand nur dann zu erschließen, wenn die baulichen Energiesparmaßnahmen an die üblichen Erneuerungszyklen der jeweiligen Bauteile gekoppelt werden. Von selbst findet diese Kopplung jedoch nur in Einzelfällen oder mit unzureichendem Maßnahmenumfang statt. Im „Trend“ sind daher unter

gegenwärtigen rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen im Vergleich zur „Referenzentwicklung“ ohne Energiesparmaßnahmen nur Einsparungen von 10-15% zu erwarten. Werden dagegen optimale Wärmeschutzmaßnahmen zum jeweiligen Instandsetzungszeitpunkt stets mit durchgeführt und beim Neubau der Niedrigenergiestandard eingehalten, erhöht sich im „Spar-Szenario“ die wirtschaftlich erreichbare Einsparung auf 36 % innerhalb von 15 Jahren bzw. mehr als die Hälfte in 50 Jahren. Die Differenz zwischen SPAR- und TREND-Kurve stellt den Handlungsspielraum dar, der durch eine entschlossene Energiepolitik ausgefüllt werden kann.

Prinzipien des baulichen Wärmeschutzes

Determinanten des Heizwärmebedarfs

Temperatur und Luftqualität in einem Raum werden durch die Baukonstruktion, die Haustechnik und das Nutzerverhalten bestimmt. Maßgeblich für die Raumtemperatur sind

- Wärmeverluste durch die Gebäudehülle,
- Wärmegewinne durch eingestrahelte und absorbierte Sonnenenergie,
- interne Gewinne durch Wärmeabgabe von Personen und Geräten
- sowie die zugeführte Heizwärme.

Die Heizwärmeeinsparung muß zuerst bei der Verringerung der Verluste durch Wärmeleitung (*Transmission*), Konvektion und Wärmestrahlung ansetzen, da zusätzliche solare Gewinne nur begrenzt zu erzielen und vom aktuellen Wettergeschehen abhängig sind. Die wichtigsten Ursachen für die Wärmeverluste eines Gebäudes sind

- die Wärmeleitung durch Außenwände, Decken und Dächer,
- die Wärmeleitung durch Fenster sowie
- die Abfuhr von Wärme mit der Abluft, die das Gebäude verläßt.

Diese Wärmeverluste lassen sich sowohl für Neubauten als auch bei bestehenden Ge-

bäuden mit erprobten und marktgängigen Techniken erheblich reduzieren.

Wärmedämmung

Wärmedämmung ist umso wirkungsvoller, je geringer die Wärmeleitfähigkeit der Baustoffe ist. Deshalb müssen wärmedämmende Materialien möglichst leicht sein und viele Poren enthalten, die Luft oder andere Gase einschließen. Geeignet ist eine breite Palette von Dämmstoffen, z.B. aus Mineralfaser, Polystyrol-Hartschaum, extrudiertem Polystyrol und Polyurethan, Schaumglas, Holzfasernplatten, Blähperlite, Zellulosedämmstoffe und für bestimmte Anwendungen auch Wolle-, Baumwolle-, Flachs-dämmstoffe. Mit ihrer Hilfe lassen sich die Wärmeverluste durch Außenwände, Decken und Dächer beträchtlich senken.

Besonders wichtig ist es, Wärmebrücken zu vermeiden oder zu verringern. Dabei handelt es sich um Störstellen in der gedämmten Gebäudehülle, über die mehr Wärme abfließt als über die umgebenden Bereiche. Sie entstehen z.B., wenn Stahlbetonplatten die Au-

ßenwand durchstoßen (*Balkone*) oder Anschlüsse von Wand- und Dachdämmung nicht sauber ausgeführt werden. Wärmebrücken beeinträchtigen nicht nur den Wärmeschutz, sondern können durch Tauwasserbildung an den Innenoberflächen zu ernststen Bauschäden führen.

Primärenergiebilanz und Recycling

Der gesamte Primärenergieeinsatz für ein Gebäude verteilt sich auf die drei Phasen Erstellung, Nutzung und Abriß. Unabhängig von Gebäudetyp und Bauart werden bisher über 90% des gesamten Energieeinsatzes während der Nutzungsphase für Raumheizung, Warmwasser, Licht und Kraft aufgewendet. Auf Erstellung und Abriß entfallen jeweils nur etwa 5%. Gut gedämmte Konstruktionen erhöhen den Herstellungs-Primärenergieaufwand geringfügig, sie reduzieren den Aufwand während der Nutzungsphase jedoch beträchtlich: Im Netto sparen gedämmte Konstruktionen 40–80 mal mehr Primärenergie ein, als zu ihrer Herstellung aufgewendet wurde.

Um den Bauschuttanfall zu verringern und Wertstoffe zurückzugewinnen, ist ein weitgehend geschlossener Baustoffkreislauf anzustreben. Recyclingraten von 80% erscheinen dabei aus heutiger Sicht erreichbar. Dämmstoffe gehören zu den gut recyclebaren Baustoffen.

Wärmeschutzverglasung

Fenster weisen in der Regel höhere Verluste durch Wärmeleitung auf als Außenwände. Sie ermöglichen aber auch Wärmegewinne durch eingestrahlte Sonnenenergie. Für alle Orientierungen und bei allen Verschattungsverhältnissen ergibt sich eine deutliche Energieeinsparung durch die Verwendung von Wärmeschutzverglasung anstelle der bisher üblichen konventionellen Zweischeibenisolierverglasung.

Winddichtigkeit und kontrollierte Lüftung

Undichtigkeiten, die das Entweichen erwärmter Luft aus dem Gebäude ermögli-

chen, erhöhen den Heizwärmebedarf eines Gebäudes und müssen daher abgedichtet werden. Dadurch werden gleichzeitig Bauschäden vermieden, die durch eindringenden Schlagregen oder Kondensation feuchter Raumluft in der Konstruktion verursacht werden können. Eine gute Lösung zur Sicherstellung einer hygienisch einwandfreien Raumluftqualität ist die kontrollierte Lüftung. Ihre einfachste Form besteht darin, daß verbrauchte Luft zentral aus den Räumen mit der höchsten Luftbelastung (*Küche, Bad, WC*) abgesaugt wird. Frischluft gelangt über verstellbare Zuluftöffnungen in die Räume. Zusätzlich kann die angesaugte Innenluft auch über einen Wärmetauscher geführt werden. Sie wird dann erst nach Wärmeabgabe an die Frischluft über das Dach abgeführt. Unabdingbare Voraussetzungen sind dabei eine sehr dichte Außenhülle des Gebäudes und ein geringer Stromverbrauch für die Lüfter.

Wohnqualität

Wenn der Wärmeschutz verbessert wird, steigt die Oberflächentemperatur der Wandflächen. Dadurch wird dem menschlichen Körper weniger Wärme durch Strahlung entzogen. Es entsteht ein gleichmäßiges Strahlungsklima, das sich vorteilhaft auf Wohlbefinden und Wohngesundheit auswirkt. Die hohe Dichtheit der Gebäudehülle verhindert unbehagliche Zugluft. Eine kontrollierte Lüftung sorgt für eine deutlich verbesserte Luftqualität gegenüber dem heutigen Durchschnitt. Wärmeschutz und Gebäudeabdichtung dienen daher nicht nur dem Schutz der Umwelt, sondern stellen auch eine nicht zu unterschätzende „Behaglichkeitsversicherung“ dar.

Energiekennwerte

Energiekennwerte, die den Energiebedarf eines Gebäudes bezogen auf einen Quadratmeter Wohnfläche und einen Zeitraum von einem Jahr ausweisen, sind ein wichtiges Hilfsmittel zur Beurteilung der energeti-

schen Qualität eines Gebäudes. Sie werden in „Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr“ [kurz: kWh/(m²a)] angegeben.

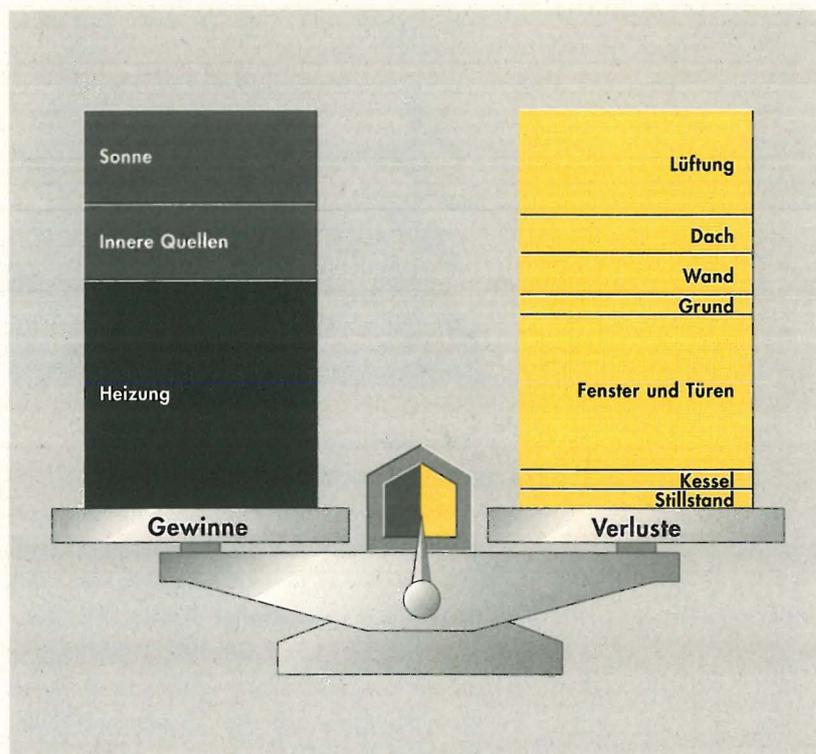
Der Heizwärmekennwert benennt diejenige Wärmemenge (pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr), die einem Gebäude zugeführt werden muß, um die Bilanz von Wärmeverlusten sowie solaren und internen Wärmegewinnen auszugleichen (Abb. 2) und somit eine behagliche Innentemperatur zu erreichen. Der Heizwärmekennwert hängt nur vom Wärmeschutzstandard des Gebäudes ab und ist unabhängig vom Heizungssystem.

Der Heizenergiekennwert beschreibt dagegen die Endenergiemenge, die von den Nutzern eines Gebäudes auf dem Markt gekauft werden muß, um (ausschließlich) den Heizwärmebedarf zu decken. Er bezieht sich also auf die erforderlichen Mengen an Brennstoffen (Kohle, Öl, Gas), Strom oder Fernwärme. Der Heizenergiekennwert schließt die Verluste bei der Heizwärmebereitstellung mit ein.

Simulation des Heizwärmebedarfs

Der Wärmebedarf von Gebäuden und der Einfluß wärmetechnischer Modernisierungsmaßnahmen können mit Wärmebilanzprogrammen simuliert werden. Diese dienen zum einen zur Ermittlung von Einsparpotentialen unter vergleichbaren Rahmenbedingungen, zum anderen können sie für die Energieberatung eingesetzt werden. Für diese Studie wurde das Wärmebilanzprogramm ENBIL verwendet, das sich in einer Vielzahl von Anwendungen bewährt hat. Bei den Simulationsrechnungen werden alle Gebäude unter einheitlichen Bedingungen verglichen, die die durchschnittlichen Gegebenheiten in den deutschen Haushalten widerspiegeln.

Abbildung 2:
Energiebilanz eines Gebäudes



Wirtschaftlichkeit von Wärmeschutzmaßnahmen

Volkswirtschaftliche Bedeutung und betriebliche Praxis

Investitionen in Energiesparmaßnahmen sind volkswirtschaftlich vorteilhaft, weil sie helfen, unabsehbare Schäden an unserer Umwelt zu vermeiden. Zudem kommen die Ausgaben der nationalen Wirtschaft zugute und verringern die Rohstoffimporte. In der betrieblichen Praxis müssen Wärmeschutzmaßnahmen jedoch mit der heute noch sehr billigen Energieversorgung konkurrieren. Sie werden oft nicht realisiert, weil der Investor unsicher ist, ob sich die Investitionen für ihn lohnen.

Dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung

Aufgrund der langen und oft unterschiedlichen Lebensdauern von Gebäuden und deren energetisch relevanten Bauteilen müssen Wirtschaftlichkeitsrechnungen dynamisch erfolgen, d.h. unter Berücksichtigung der jährlichen Ausgaben und Einsparungen sowie der Kapitalzinsen. Jede Ausgabe oder Einnahme wird dabei mit dem Kapitalzinssatz auf einen Anfangszeitpunkt zurückgezinst. Die Summe ergibt den Kapitalwert, der sich veranschaulichen läßt durch diejenige Geldmenge, die man am Anfangszeitpunkt auf die Bank bringen muß, um zu einem späteren Zeitpunkt einen bestimmten Betrag, z.B. für den Kauf von Brennstoffen, ausgeben zu können. Legt man den Kapitalwert auf jährliche Kosten um, die gleichmäßig auf die Nutzungsdauer verteilt werden, so nennt man diese konstante jährliche Rate Annuität (vergleichbar mit den Raten für die Rückzahlung des Kredits).

Bild 1:
Mehrfamilienhaus in Kassel:
durch nachträgliche Wärmeschutzmaßnahmen an den Außenbauteilen wurde der Heizwärmeverbrauch um 57% gesenkt.



Unsicherheiten bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftlichkeitsrechnungen können entgegen häufig anzutreffender Ansicht keine exakten Werte für zukünftige Kosten und Nutzen von Investitionen liefern. Alle Aussagen sind mit Unsicherheiten behaftet, die auf der unvollständigen Kenntnis künftiger Entwicklungen, z.B. der Zinsen und Energiepreise, beruhen.

Mittlere Kosten einer eingesparten Energieeinheit

Dividiert man die so berechneten jährlichen Kosten einer Energiesparmaßnahme durch die eingesparte Endenergiemenge, so erhält man die mittleren Kosten der eingesparten Energie, die einen hervorragenden Bewertungsmaßstab bilden. Sie sind zu vergleichen mit dem mittleren zukünftigen Bezugspreis für Energie, den man erhält, wenn der Barwert der jährlich steigenden Kosten für eine Energieeinheit berechnet und dann mit Hilfe der Annuitätenmethode auf den gesamten Betrachtungszeitraum umgelegt wird. Eine Maßnahme ist somit genau dann wirtschaftlich, wenn der Preis für die eingesparte Kilowattstunde Endenergie geringer ist als der zukünftige, über die Nutzungsdauer gemittelte Preis für die bezogene Kilowattstunde Endenergie.

Wirtschaftliche Rahmendaten

Die künftigen Preise für die Kilowattstunde bezogener Endenergie kann niemand exakt nennen; nicht brauchbar als Vergleichswert sind die gegenwärtigen Tagespreise für Brennstoffe von 4–6 Pf/kWh. Auch unter nur moderaten Preissteigerungen führt das Trendszenario zu einem mittleren künftigen Brennstoffpreis (*Untergrenze*) um 6,2 Pf/kWh. Das Sparszenario der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ führte zu einem auch durch Energiesteuern stärker ansteigenden mittleren Brennstoff-

preis (*Sparszenario*) um 12,2 Pf/kWh. Ein anderer Vergleichswert sind die Preise für eine künftig zu erwartende Wärmeversorgung aus erneuerbaren Energiequellen. Bei kostengünstigen Solaranlagen zur Warmwasserbereitung oder zur solaren Nahwärmeversorgung könnte der künftige Energiegestehungspreis für Solarwärme 25–40 Pf/kWh betragen. Je nach Zukunftsentwicklung wird der zu verwendende Vergleichspreis für Endenergie daher im Bereich zwischen 6,2 und über 25 Pf/kWh liegen.

Wirtschaftliche Rahmendaten

Gegenwärtige Tagespreise:
4–6 Pf/kWh

Mittlerer künftiger Brennstoffpreis (*Untergrenze*):
um 6,2 Pf/kWh

Mittlerer Brennstoffpreis (*Sparszenario*):
um 12,2 Pf/kWh

Künftiger Energiegestehungspreis für Solarwärme:
25–40 Pf/kWh

Vergleichspreis für Endenergie:
zwischen 6,2 und über 25 Pf/kWh

Heizwärmebedarf von Neubauten

Niedrigenergiehäuser als Standard

Der heute technisch sinnvolle und wirtschaftlich vertretbare Standard für Neubauten ist das Niedrigenergiehaus. Sein Heizwärmebedarf liegt zwischen 30 und 70 kWh/(m²a). Dieser Standard läßt sich in die in Deutschland üblichen Bauweisen problemlos integrieren. Kennzeichen des Niedrigenergiehauses sind vor allem

- gute Wärmedämmung von Außenwänden, Kellerdecke und Dach,
- Wärmeschutzverglasung, passive Solarenergienutzung
- hohe Dichtigkeit der Gebäudehülle und kontrollierte Lüftung.

Die Mehrkosten liegen heute zwischen 2 und 8% der reinen Baukosten. Sie sinken jedoch bei integraler Planung gegen Null. Jedes nicht nach diesem Standard errichtete neue Gebäude stellt eine auf Jahrzehnte entgangene Gelegenheit zur Energieeinsparung dar. Bezogen auf die Wärmeschutzverordnung (WSchVO) 1982 führt deren Neuregelung 1995 für Neubauten zu Heizwärmeeinsparungen von ca. 30%. Der Niedrigenergiehausstandard ermöglicht dagegen eine Reduzierung um 50–70%. Die gemessene Einsparung im Darmstädter Passivhaus beträgt sogar 95%.

Neubaustandards

Im Rahmen der WSchVO 1982 konnte zwischen der Einhaltung eines maximal zulässigen mittleren k-Werts der Gebäudehülle und der Beachtung einzelner k-Werte für die verschiedenen Bauteile gewählt werden. Die novellierte WSchVO 1995 macht dagegen den Jahresheizwärmebedarf zur Grundlage für den Wärmeschutz. Er wird aus der Bilanz von Transmissionswärmeverlusten der Gebäudehülle, Lüftungswärme-

Abbildung 3:
Heizwärmekennwerte
verschiedener Neubaustandards

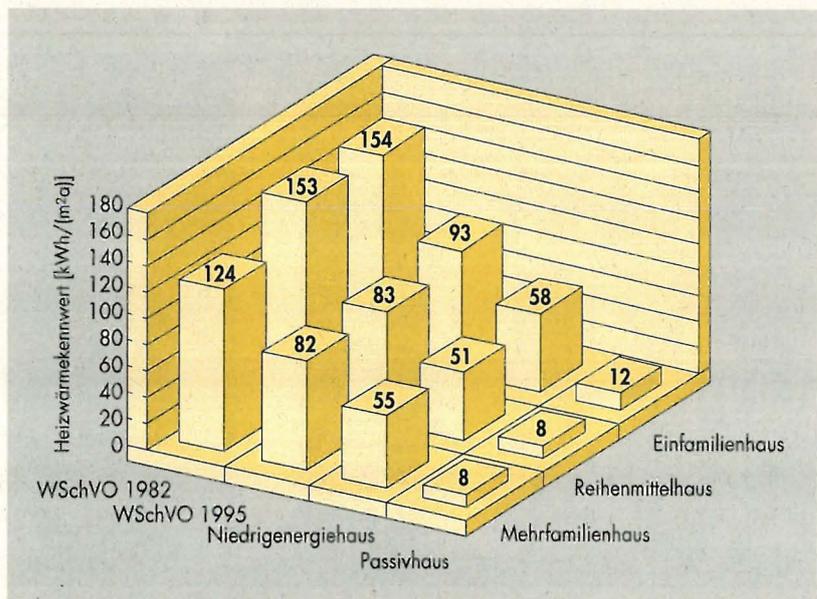


Bild 3:
Dieses Niedrigenergie-
Doppelhaus kommt
mit 60 kWh/(m²a) über
den Winter



Tabelle 1:
Kosten verschiedener
Neubaustandards

Standard	Heizwärmekennwert [kWh/(m ² a)]	Kosten je eingesparte Energieeinheit [Pf/kWh]
WSchVO 1982	120 – 180	–
WSchVo 1995	80 – 120	3,5
Niedrigenergiehaus	30 – 70	3 – 14
Passivhaus	< 15	10 – 30

verlusten sowie solaren und inneren Wärme-
gewinnen ermittelt. Die Berechnungsweise
ist jedoch so stark vereinfacht, daß sie die
realen Verhältnisse nicht wiedergibt.

Niedrigenergiehäuser sind definiert durch
Heizwärmekennwerte von weniger als
70 kWh/(m²a) für Einfamilienhäuser und
weniger als 55 kWh/(m²a) für Mehrfamili-
enhäuser. Das Niedrigenergiehaus bezeich-
net demnach einen Standard, nicht eine
Bauweise. Konstruktionen oder gar k-Werte
werden nicht vorgeschrieben. Auf welche
Weise der gewünschte geringe Heizwärme-
bedarf realisiert wird, bleibt Bauherr und

Planer überlassen. Um ihn allerdings zu
erreichen, ist unter unseren Klimabedingung-
en ein guter Wärmeschutz der Außenhülle
unerläßlich. Typische Dämmschichtdicken
sind 25 cm bei Dächern und 15 cm bei
Außenwänden.

Passivhäuser haben dagegen einen prak-
tisch verschwindenden Heizwärmebedarf.
Dies wird erreicht, indem die beim Niedrig-
energiehaus eingesetzten Techniken zur
Senkung der Wärmeverluste weiter verbes-
sert werden. Derartige Gebäude werden
allein durch innere Wärmequellen und die
eingestrahelte Sonnenenergie warm gehal-
ten. Die isolierte Betrachtung der Heizwärme
ist dann allerdings nicht mehr sinnvoll. Viel-
mehr müssen in Passivhäusern alle heute
üblichen Energiedienstleistungen (Warm-
wasser, gegebenenfalls Restheizung, so-
wie Strom für Haushaltsgeräte, Beleuch-
tung und die zusätzliche Lüftungsanlage)
mit einem Endenergiekennwert von maxi-
mal 30 kWh/(m²a) bereitgestellt werden.

Heizwärmekennwerte und Kosten der Neu-
baustandards sind in Abb. 3 und Tab. 1
zusammengestellt.

Bild 2:
Das Darmstädter
Passivhaus hat nur noch
einen Heizwärmebedarf
von 10 kWh/(m²a)



Heizwärmeeinsparung im Altbau

Die energetisch vorbildliche Gestaltung von Neubauten reicht nicht aus, um die CO₂-Emissionen im notwendigen Umfang zu reduzieren. Die Prinzipien des Wärmeschutzes lassen sich jedoch auch auf Altbauten anwenden. Die in Abb. 1 dargestellten technischen und wirtschaftlichen Einsparpotentiale von 70% bzw. 50% ergeben sich aus den folgenden Überlegungen.

Gebäudetypologie

Die Gebäudetypologie teilt den Gebäudebestand nach Baualter und Gebäudegröße in Klassen ein (Abb. 4–6). Das Baualter bildet ein wichtiges Merkmal, weil sich in jeder Bauepoche allgemein übliche Konstruktionsweisen finden lassen, die den Heizwärmebedarf wesentlich beeinflussen. Die Baualterklassen orientieren sich an historischen Einschnitten, den Zeitpunkten statistischer Erhebungen und den Veränderungen der Bauvorschriften. Die Gebäudegröße spielt eine wesentliche Rolle, weil größere Gebäude im Verhältnis zum nutz-

baren Volumen eine geringere Außenfläche aufweisen, über die Wärme an die Umgebung abfließen kann.

Gebäudesimulation

Mit Hilfe von Simulationsrechnungen für exemplarische Gebäude aus jeder Klasse der Gebäudetypologie wurde untersucht, wie sich mögliche Wärmeschutzmaßnahmen auswirken. Die Ergebnisse wurden dann durch Vergleich mit empirischen Daten tatsächlich sanierter Gebäude überprüft und bestätigt.

Kopplung an ohnehin durchgeführte Maßnahmen

Der Gebäudebestand unterliegt einem ständigen Instandhaltungs- und Modernisierungsprozeß. Wenn die Wärmeschutzmaßnahmen an die ohnehin durchgeführten Modernisierungsmaßnahmen der Außenbauteile gekoppelt werden, ist der Aufwand weitaus geringer als bei isolierter Durchführung. Neben den ohnehin anfallenden Ko-



Bild 4:
Außenputzerneuerung –
der richtige Zeitpunkt für
die Wärmedämmung der
Außenwand

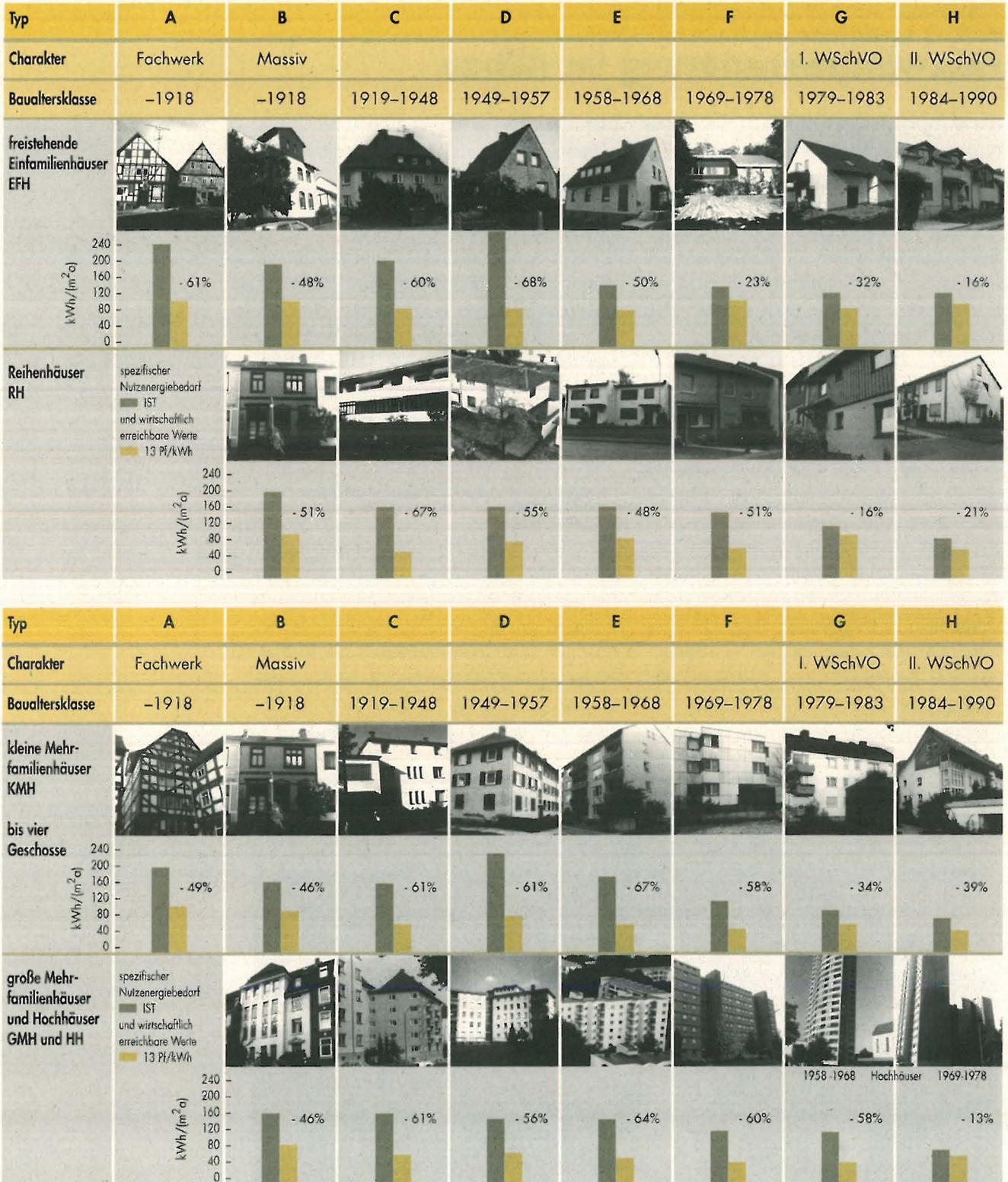


Abbildung 4:
Gebäudetypologie für den Gebäudebestand
in den Alten Bundesländern

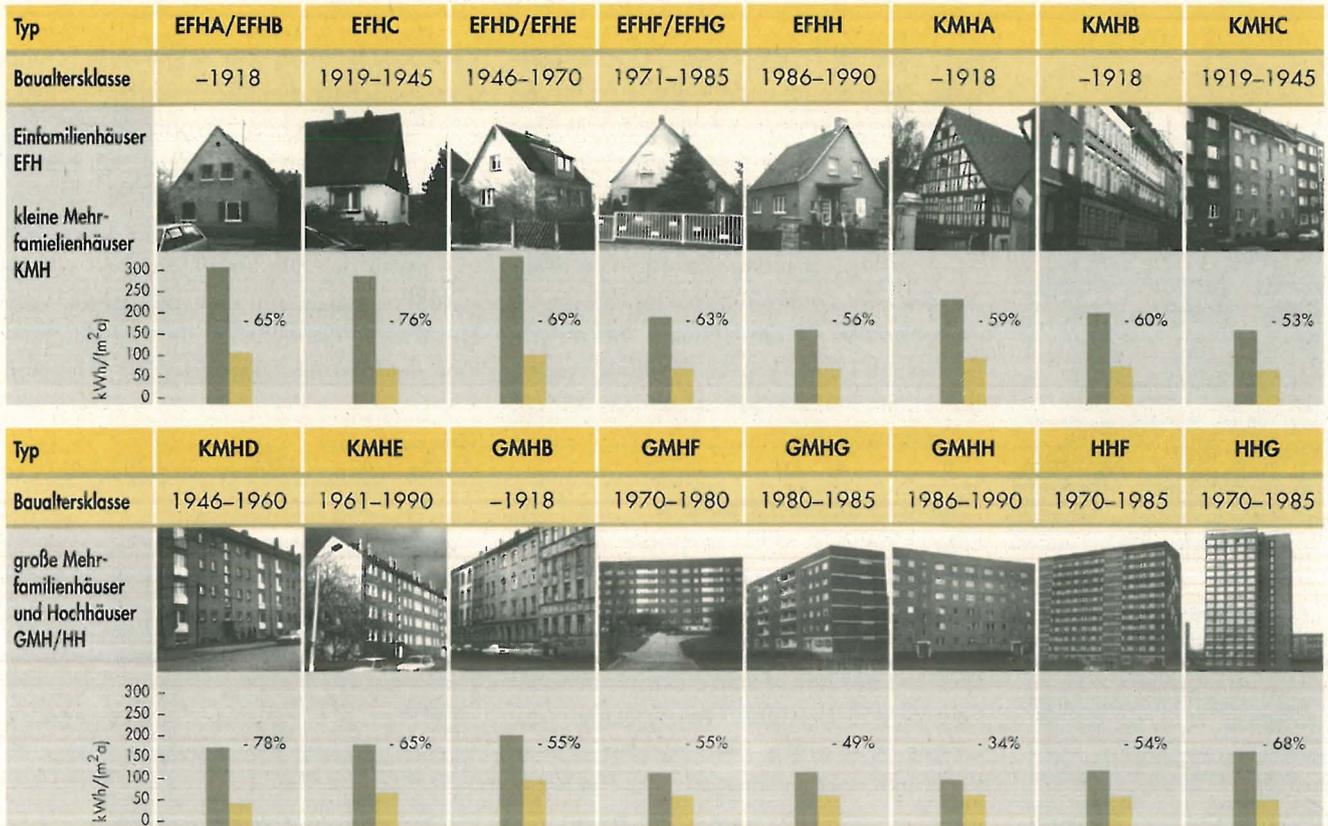


Abbildung 5:
Gebäudetypologie für
den Gebäudebestand in
den Neuen Bundesländern

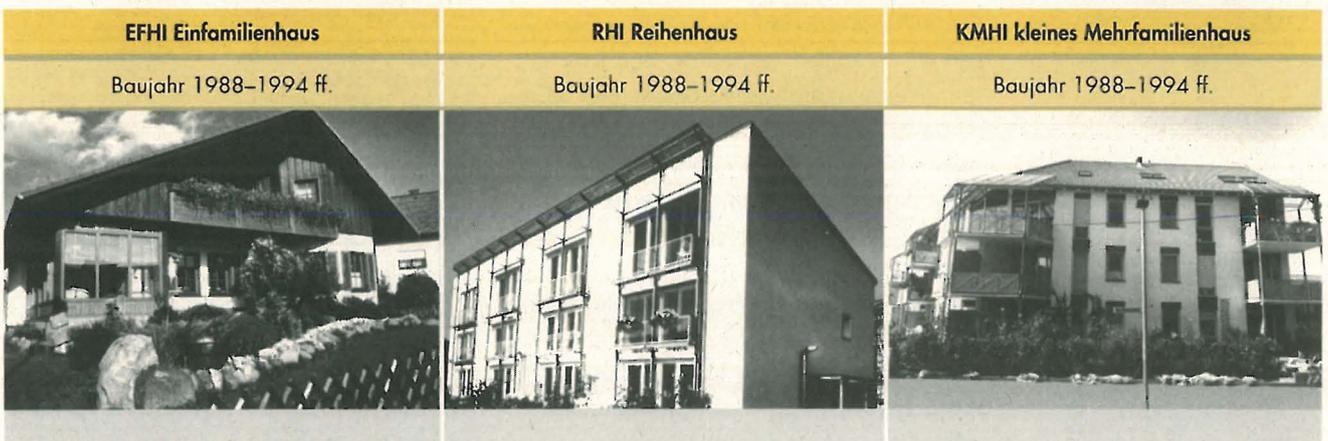


Abbildung 6:
Gebäudetypologie für
Neubauten



sten, etwa für Fenstereinbau, Dacheindeckung, Neuperputz und Gerüst, sind für die Energieeinsparung nur noch Zusatzkosten zu erbringen, während der Gesamtaufwand für eine Maßnahme oft weder ökonomisch noch ökologisch sinnvoll wäre, wenn sie nur der Energieeinsparung dienen sollte. Werden diese Modernisierungszeitpunkte für die Außenbauteile nicht genutzt, wären die Chancen für die Energieeinsparung wegen der langen Bauteillebensdauern jeweils auf Jahrzehnte vertan.

Optimale Dämmstoffstärken

Entscheidend ist, daß die Stärke der Dämmung nicht zu gering gewählt wird. Die optimale Dicke läßt sich ermitteln, indem Investitionskosten und eingesparte Energiekosten verglichen werden. Dabei stellt sich heraus, daß die erreichten Kosteneinsparungen über große Bereiche der Dämmstoffstärke nahezu konstant sind. Die heute üblichen Stärken liegen durchweg am unteren Ende des ökonomisch und ökologisch Sinnvollen. Vernünftig sind dagegen Dämmstoffstärken von

- 20 cm bei Dächern sowie
- 12 cm bei Außendämmungen und
- 6 cm bei Innendämmungen von Außenwänden.

Diese Werte sind bei heutigen Energiepreisen wirtschaftlich vertretbar, denn sie führen während der Lebensdauer der Dämmung zu Kosteneinsparungen. Gleichzeitig stellen sie eine gute Versicherung gegen zukünftig steigende Energiepreise dar.

Maßnahmenkatalog

Die so ermittelten optimalen Wärmeschutzmaßnahmen wurden zu einem Katalog zusammengefaßt, der in Tab. 2 kurz und im Anhang vollständig wiedergegeben ist.

Technisches und wirtschaftliches Einsparpotential

Wenn alle Maßnahmen des Kataloges ohne Rücksicht auf ihre Wirtschaftlichkeit und an-

dere Restriktionen wie Außenansicht und Denkmalschutz durchgeführt würden, so ließe sich ein technisches Einsparpotential von 71% in den Alten und 77% in den Neuen Bundesländern verwirklichen (Tab. 3). Dabei wurden Maßnahmen, die heute von vornherein für alle Gebäudetypen unwirtschaftlich wären, gar nicht betrachtet. Welche dieser Maßnahmen sinnvoll durchgeführt werden können, hängt im Einzelfall

Tabelle 2:
Katalog optimaler Wärmeschutzmaßnahmen

Außenwand	<ul style="list-style-type: none"> • Vorhangfassade (12 cm) • Wärmedämmverbundsystem (12 cm) • Kerndämmung zweischaliger Außenwände
Keller	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmplatten an Kellerwänden und -decke (6 cm) • Erneuerung des Erdgeschoßfußbodens, Dämmplatten (5 cm)
Steildach	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung zwischen und unter Sparren (20 cm) • Zusatzdämmung in Schrägen und Kehlbalken (12 cm) • Einblasen von Dämmstoff in den Belüftungsraum der Dachschräge und auf die Kehlbalkenlage (12 cm)
Flachdach	<ul style="list-style-type: none"> • Kaldach: Einblasdämmung in Belüftungsraum (20 cm) • Warmdach: Verstärkung der Wärmedämmung (14 cm) oder Dämmplatten auf alter Dachhaut (12 cm)
Obergeschoßdecke	<ul style="list-style-type: none"> • Einblasdämmung oder Dämmplatten (20 cm)
Fenster	<ul style="list-style-type: none"> • Einbau von Wärmeschutzverglasung [k-Wert $\leq 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$]



Oben Bild 5:
Mindestens 15 cm
Wärmedämmung auf den
Außenwänden – ein guter
Wärmeschutz beim Neubau

Mitte Bild 6:
Dachdämmung im Altbau:
Gedämmt wird sehr häufig
zwischen und unter den
Sparren (insgesamt 20 cm)

Unten Bild 7:
6 cm Polystyrolplatten
unter der Kellerdecke

vom Gebäudetyp sowie von der Energiepreisentwicklung ab. Da letztere die größte Unsicherheit darstellt, ist in Tab. 3 und Abb. 7 das – unter Beachtung aller Restriktionen für die Ausführung von Wärmeschutzmaßnahmen – wirtschaftliche Einsparpotential in Abhängigkeit vom zukünftigen Energiepreis dargestellt. Ob die einzelnen Maßnahmen wirtschaftlich sind, hängt vom unterstellten Energiepreis ab. In Tab. 3 und Abb. 7 ist daher das wirtschaftliche Einsparpotential für unterschiedliche zukünftige Energiepreise angegeben.

Einsparpotentiale nach Bauteilen

Abb. 7 zeigt die Einsparpotentiale nach Bauteilen und in Abhängigkeit vom Energiepreis. Die größten Einsparungen lassen sich durch Maßnahmen an den Außenwänden realisieren. Diese werden zum großen Teil bei einem Energiepreis von 3–6 Pf/kWh wirtschaftlich. Das zweithöchste Potential liegt in der Dämmung der Dächer, die zwischen 2–7 Pf/kWh wirtschaftlich wird. Der Ersatz von konventionellen Isolierverglasungen durch Wärmeschutzverglasungen rechnet sich bei Energiepreisen zwischen 6 und 12 Pf/kWh. Bereits beim derzeitigen Heizenergiepreis von etwa 4,5 Pf/kWh könnten bis zu 30% der Heizwärme wirtschaftlich eingespart werden. Dieses Potential verdoppelt sich, wenn ein Energiepreis von 13 Pf/kWh unterstellt wird, wie dies die Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ in ihrem Hochpreis-Szenario tut.

Energieeinsparung im Einzelfall

Die Aussagen zu den Einsparpotentialen sind als Mittelwerte für die verschiedenen Gebäudetypen zu verstehen. Für das jeweilige Einzelgebäude sind diese Aussagen eine Orientierungshilfe, sie ersetzen jedoch nicht eine detaillierte Betrachtung. Die im Einzelfall möglichen Energieeinsparungen, die Kosten und die Wirtschaftlichkeit können nur anhand konkreter Gebäudedaten

berechnet werden. Solche Entscheidungsgrundlagen zu schaffen, ist die Aufgabe von Energieberatern, Architekten und Ingenieuren. Damit Gebäudeeigentümer und Mieter dieses dringend notwendige Angebot überhaupt in Anspruch nehmen können, ist die Schaffung einer flächendeckenden Infrastruktur von unabhängigen Energieberatungsstellen erforderlich.

Wärmeschutz und Heizungsmodernisierung ergänzen sich

Wärmeschutzmaßnahmen werden durch eine Modernisierung der Heizungsanlage ergänzt. In beiden Bereichen haben Energiesparmaßnahmen ihren jeweils richtigen Zeitpunkt: Ist der Kessel defekt, wird er durch einen modernen energiesparsamen Heizkessel ersetzt, wird die Außenfassade erneuert, ist dies der richtige Zeitpunkt für eine Wärmedämmung.

Die Heizungserneuerung spart in der Regel etwa 20% Endenergie ein. Wird gleichzeitig auf Gas umgestellt, sind zusätzliche Einsparungen von 10% möglich. Die Reduzierung des Heizwärmebedarfs durch Wärmeschutzmaßnahmen erschließt ein Einsparpotential von mehr als 50%.



Bild 8: Anbringung Wärmedämmverbundsystem: 12 cm sind beim Altbau die optimale Dämmschichtdicke für die Außenwand

Abbildung 7: Wirtschaftliches Potential zur Heizwärmeeinsparung in Abhängigkeit vom Energiepreis (Supply-Kurve)

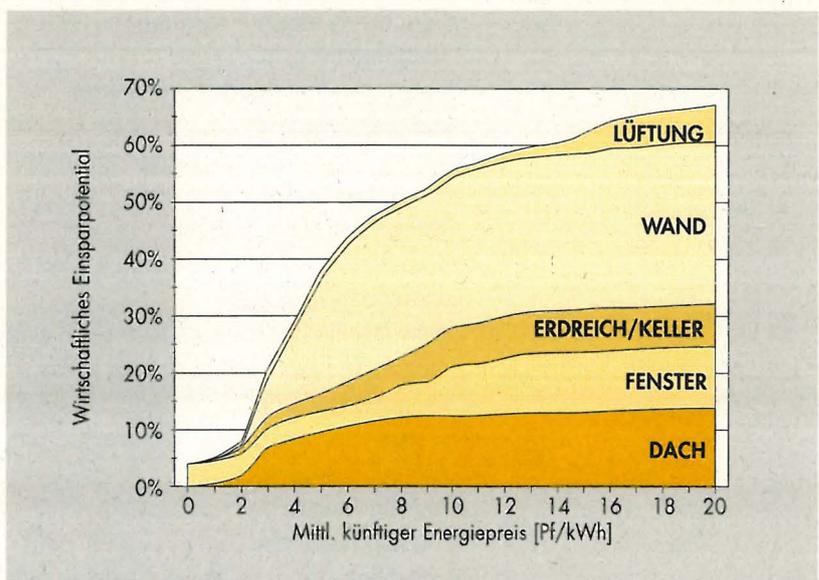


Tabelle 3:
Einsparpotentiale

	Alte Bundesländer	Neue Bundesländer
Zahl der Wohnungen	26 Mio.	6,6 Mio.
heutiger Heizwärmebedarf	340 TWh	74 TWh
technisches Einsparpotential (gem. Maßnahmenkatalog)	71%	77%
wirtschaftliche Einsparpotential bei mittlerem zukünftigen Energiepreis von		
6 Pf/kWh	38%	53%
8 Pf/kWh	43%	62%
13 Pf/kWh	53%	63%

Instrumente zur Realisierung der Einsparpotentiale

Notwendigkeit eines integrierten Maßnahmenbündels

Zur Ausschöpfung der Einsparpotentiale muß der in Abb. 1 gezeigte Handlungsspielraum genutzt werden. Dazu stehen folgende energiepolitischen Instrumente zur Verfügung:

- Information, Weiterbildung und Motivation
 - Einrichtung einer unabhängigen Beratungsinfrastruktur
 - Einführung von Energiekennwerten und Energiepässen
 - Aufbau von Weiterbildungsprogrammen
 - Forschungsförderung und Demonstrationsvorhaben
- Verbesserung der ordnungspolitischen Rahmenbedingungen
 - Verbesserung der Wärmeschutzverordnung
 - Aufnahme des Umweltschutzes in die Baugesetzgebung
- Verbesserung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen
 - Energiesteuern
 - Förderprogramme

Keines dieser Instrumente wird alleine aus-

reichen, um die notwendigen Einspareffekte zu erzielen. Vielmehr ist es erforderlich, ein integriertes Maßnahmenbündel zu entwerfen, das Vor- und Nachteile, Stärken und Schwächen der einzelnen Instrumente ausbalanciert.

Aufbau einer Beratungsinfrastruktur

Eine unabhängige Energieberatung kann Informationsdefizite und Vorurteile gegenüber der Energieeinsparung bei den Verbrauchern vermindern. Eine feste Beratungsstelle für je 250.000 Einwohner würde örtlich und dauerhaft starke Impulse für den Energiesparprozeß geben. Der Aufbau einer geeigneten Infrastruktur sollte durch ein Förderprogramm unterstützt werden.

Die Energieberatungsstellen sollen private und gewerbliche Energieverbraucher kostenfrei und unabhängig von wirtschaftlichen Interessen

- über die Möglichkeiten der rationellen, umwelt- und sozialverträglichen Energienutzung informieren,

- objektbezogene Entscheidungsgrundlagen für energiesparende Investitionen vermitteln, integrierte Energiesparkonzepte für die jeweiligen örtlichen Verhältnisse erarbeiten und
- durch kontinuierliche Öffentlichkeitsarbeit den allgemeinen Wissensstand über den Stellenwert der Energieeinsparung erhöhen.

Der Finanzierungsaufwand für 320 Beratungsstellen beträgt rund 190 Mio. DM pro Jahr für die laufenden Kosten und einmalig rund 80 Mio. DM für den Aufbau. Er kann durch Drittfinanzierung zwischen Bund, Ländern, Gemeinden und weiteren Institutionen aufgeteilt werden. Angesichts dieses geringen Aufwandes kann die Förderung der Energieberatung sofort erfolgen und braucht nicht mit der Einführung einer Energiesteuer verknüpft zu werden.

Energiekennwerte und Energiepaß

Die Einführung und Verbreitung von Energiekennwerten würde eine Reihe positiver Effekte auslösen:

- Es werden klare Orientierungshilfen für die eigentliche Zielgröße, den Energieverbrauch, gegeben.
- Zur Einhaltung der Kennwerte sind unterschiedliche Wege möglich. Dadurch werden bei der Planung von Neubauten und Modernisierungen Gestaltungsspielräume eröffnet und innovative Lösungen gefördert.
- Durch Ausstellung von Energiepässen werden die Kennwerte zu einem Qualitätsmerkmal für Gebäude, das Einfluß auf die am Markt erzielbaren Mieten und Verkaufserlöse hat.
- Die Einhaltung des gewünschten energetischen Standards kann von Gebäudeeigentümern und -nutzern durch Verbrauchsmessungen überprüft werden, was wiederum die sorgfältige Ausführung von Wärmeschutzmaßnahmen fördert.

Das Berechnungsverfahren der Wärmeschutzverordnung 1995 für den Jahres-

heizwärmebedarf liefert keine realistischen Werte. Mit dem „Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung“ liegt dagegen ein wirklichkeitsnahes und leicht nachvollziehbares Verfahren zur Berechnung von Energiekennwerten vor. Im Gegensatz zum Wärmebedarfsausweis der Wärmeschutzverordnung 1995 sollten Energiepässe die Heizungsanlage mit einbeziehen, um so eine Gesamtoptimierung der Energieversorgung zu ermöglichen. Energiepässe sollten vorläufig auf freiwilliger Basis ausgestellt und nur im Rahmen von Förderprogrammen vorgeschrieben werden.

Baugesetzgebung

Im Baurecht gibt es bislang keinen griffigen Gesamtmaßstab für die energetische Qualität von Gebäuden. Der Schutz der Erdatmosphäre hat im Baugesetzbuch, den Bauordnungen der Länder und ähnlichen Normensystemen noch keine Berücksichtigung gefunden. Hier ist bisher ausgehend vom Zustand der Gebäude im 19. Jahrhundert die Abwehr von Gefahren für Leib und Leben der Bewohner alleiniger Maßstab für Mindestanforderungen und Grenzwerte. Der Umweltschutz muß in der gesamten Baugesetzgebung zu einem wesentlichen Ziel gemacht werden, damit konkrete örtliche Festlegungen aus den allgemeinen Vorschriften abgeleitet werden können.

Die Wärmeschutzverordnung von 1995 muß möglichst bald verbessert werden, indem das Niedrigenergiehaus als Standard für Neubauten festgeschrieben wird. Gleichzeitig sind die im gegenwärtigen Nachweisverfahren bestehenden Schwächen durch engen Bezug auf die europäische Norm EN 832 auszuräumen. Wärmeschutzmaßnahmen bei Altbauten sollten dagegen nicht mit ordnungsrechtlichen Mitteln durchgesetzt werden, weil sonst möglicherweise dringend erforderliche Sanierungsmaßnahmen aufgeschoben werden und es zu gravierenden Bauschäden kommen kann. Bes-

ser geeignet sind die unten beschriebenen wirtschaftlichen Anreize.

Solange wirkungsvolle bundeseinheitliche Maßnahmen fehlen, bieten Flächennutzungspläne und Bebauungspläne eine wenn auch begrenzte Möglichkeit für Kommunen, selbst tätig zu werden. Bei kommunalen Bauland und bei Flächenumlegungen im Zuge von Stadtentwicklungsmaßnahmen, bei denen die Kommune als Zwischenbesitzer in Erscheinung tritt, kann der Verkauf bzw. Wiederverkauf an Auflagen zum Wärmeschutz bzw. Energiekennwerte gebunden werden. Ähnliche Einflußmöglichkeiten bestehen bei Siedlungsprojekten von Wohnungsbaugesellschaften, die sich im kommunalen Besitz befinden.

Bild 9:
Die Energiekennwerte für Neubausiedlungen können, wie hier in Schopfheim, durch die Kommune festgelegt werden (Grundstückskaufverträge)



Energiesteuern

Kerngedanke bei der Einführung von Energiesteuern ist die Verteuerung des bislang nahezu kostenlosen Gutes „Emissionsaufnahme Kapazität der Biosphäre“. Eigentlich müßte die Steuer dazu anhand der jeweiligen Emissionen wirtschaftlicher Aktivitäten bemessen werden. Dies würde jedoch einen sehr hohen technischen und bürokratischen Aufwand erfordern. Da mehr als 90% der relevanten Emissionen aus der Energie-

umwandlung stammen, bietet es sich an, diese direkt zur Besteuerung heranzuziehen. Die eingesetzte nicht regenerative Primärenergie bildet einen guten Maßstab für die Erhebung der Energiesteuer. Zum einen werden damit alle Umweltschritte erfaßt und Anreize zur rationellen Energieverwendung auf allen Ebenen gegeben. Zum anderen werden Primärenergiegewinnung und -import bereits heute detailliert statistisch erfaßt und können deshalb mit geringem zusätzlichem Aufwand besteuert werden. Neben einem Grundbetrag sind durchaus Risikoaufschläge für bestimmte Inhaltsstoffe der verschiedenen Energieträger, also beispielsweise für Kohlenstoff oder Uran, denkbar.

Eine Energiesteuer muß schrittweise und langfristig kalkulierbar eingeführt werden, damit Zeit für Anpassungsprozesse bleibt. Abb. 8 zeigt, daß eine Energiesteuer von 5–6 Pf/kWh im Raumwärmebereich ein Einsparpotential von ca. 50% erschließen hilft.

In der Diskussion wird immer wieder gefordert, daß eine derartige Steuer nicht zu einer Erhöhung der sogenannten Staatsquote führen dürfe und daß deshalb Entlastungen an anderer Stelle sinnvoll seien. Als Möglichkeiten werden dabei u. a. genannt:

- Bonuszahlungen pro Kopf der Bevölkerung,
 - Senkung anderer indirekter Steuern wie der Mehrwertsteuer sowie
 - Entlastung der Lohnnebenkosten durch staatliche Zuschüsse an die Rentenversicherung.
- Wirtschaftliche Gründe sind aber nicht allein für die Zurückhaltung bei Energiesparinvestitionen verantwortlich. Beispielsweise haben die zum Teil extrem hohen Fernwärmepreise in den Neuen Bundesländern bislang keine wesentlichen Investitionen in Wärmeschutzmaßnahmen ausgelöst. Deshalb sollte das Energiesteueraufkommen auch für die Finanzierung anderer Instrumente wie Energieberatung und Förderprogramme herangezogen werden.



Bild 10:
Nachträgliche Wärmedämmung kann, wie hier in Ansbach auch zur Wiederherstellung der historischen Fassadengestaltung genutzt werden.

Förderprogramme

Eine finanzielle Förderung von Wärmeschutzmaßnahmen im Gebäudebestand ist trotz des in dieser Studie nachgewiesenen hohen wirtschaftlichen Potentials unerlässlich, selbst wenn die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen durch eine Energiesteuer verbessert werden:

- Der Kapitalrückfluß erfolgt bei Energiesparinvestitionen in der Regel über lange Zeiträume, die Hausbesitzer hegen aber eher kurzfristige Renditeerwartungen.
- Im Mietwohnungsbau müssen Hemmnisse im Mietrecht kompensiert werden. Die Heizkostensparnis verbleibt beim Mieter, der Eigentümer muß aber die Investition tätigen. Eine vergleichbare Mieterhöhung nach Modernisierungumlage kann durch die steigende ortsübliche Vergleichsmiete auch ohne Energiesparinvestition erzielt werden.
- Finanzielle Förderung ist ein ideales, breit wirkendes Anreizinstrument für alle Eigentümergruppen.

Ab 1996 fördert der Bund die Heizenergieeinsparung im Bestand für zunächst 5 Jahre mit 200 Mio. DM pro Jahr. Verschiedene Bundesländer wie Hessen, Bremen und Baden-Württemberg verfügen bereits seit Jahren über Förderprogramme, die jedoch ohne Bundesunterstützung bisher finanziell nur schwach ausgestattet werden konnten. Es ist erforderlich, die verschiedenen Programme anzugleichen und an optimalen Wärmeschutzmaßnahmen auszurichten (Tab. 4). Die Mittel des Bundesprogramms sollten aus dem Aufkommen einer Energiesteuer auf 4 Mrd. DM pro Jahr aufgestockt werden. Die Förderung muß sich an 3 Prinzipien orientieren:

- Gefördert werden sollte die Differenz zwischen den Modernisierungskosten eines Bauteils mit und ohne energetische Verbesserung.
- Gefördert werden sollten nur Maßnahmen mit optimaler Qualität (Tab. 4), die somit über die in der Wärmeschutzverordnung

geforderten Standards hinausgehen.

- Die Förderungsbedingungen sollten so gestaltet sein, daß sie inflationären Wirkungen vorbeugen. Der Fördersatz sollte sich daher nicht an den jeweiligen Gesamtkosten orientieren, sondern an festen Kostenzuschüssen.

Die Fördermodalitäten sind an der notwendigen Umsetzungsgeschwindigkeit zu orientieren. Für selbstnutzende Eigentümer ist der verlorene Zuschuß sinnvoll, da hier Modernisierungsmaßnahmen in der Regel nicht kreditfinanziert werden. Für Woh-

Tabelle 4:
Maßnahmenpaket für ein Förderprogramm

Maßnahme	Anforderung	Förderung
Außendämmung der Außenwand als Vorhangfassade oder Wärmedämmverbundsystem	Dicke ≥ 12 cm	40–60 DM/m ²
Innendämmung der Außenwand	Dicke ≥ 6 cm	20–25 DM/m ²
Kerndämmung der Außenwand	Dicke ≥ 4 cm	10–15 DM/m ²
Dämmung des Steildachs	Dicke 16–20 cm	30–40 DM/m ²
Dämmung des Dachbodens	Dicke 16–20 cm	20–30 DM/m ²
Dämmung des Flachdachs (gestaffelt nach derzeitigem k-Wert)	Dicke 12–20 cm	20–30 DM/m ²
Dämmung der Kellerdecke	Dicke ≥ 6 cm	10–15 DM/m ²
Einbau von Wärmeschutzverglasung	k-Wert $\leq 1,3$ – $1,5$ W/(m ² K)	40–60 DM/m ²
Sonderaufwand bei denkmalgeschützten Gebäuden		$\leq 50\%$ der Mehrkosten
Brennwertkessel		1.500 DM pro Gebäude
sonstige Wärmeschutzmaßnahmen auf Einzelnachweis mit Begründung		bis 50% der Kosten
Umstellung auf Fernwärme		2.500 DM pro Gebäude

nungsbaugesellschaften und private Vermieter sollten Darlehen oder Zinsverbilligungen bereitgestellt werden. Hessen fördert dieses Segment beispielsweise über Darlehen mit 3,5% Jahresbelastung an Zins und Tilgung. Die Vergabe von Fördermitteln in Form von steuerlichen Abschreibungsmöglichkeiten hat demgegenüber den Nachteil, daß sie Bezieher hoher Einkommen begünstigt, Mitnahmeeffekte bei ohnehin geplanten Maßnahmen auslöst und eine Kopplung an eine Beratung zur Auswahl sinnvoller Maßnahmen erschwert.

Bild 15:

Diese Wohnanlage in Viernheim ist für die Zukunft gut gerüstet: Niedrigenergiestandard und Restwärmeversorgung aus einem Blockheizkraftwerk ergänzen einander optimal.

Modellprojekte und Forschungsförderung

Es ist sinnvoll, auf regionaler Ebene Gebäudetypologien zu erstellen, die von vornherein nicht nur nach Baualtersklassen sowie nach Ein- und Mehrfamilienhäusern differenzieren, sondern auch nach großstädti-

scher, mittelstädtischer und kleinstädtisch-ländlicher Bebauung. Für jeden Gebäudetyp sollte ein Standardpaket geeigneter Wärmeschutzmaßnahmen vorgeschlagen werden. Diese Typologie muß nicht vollständig sein. Sie sollte aber so aufgebaut werden, daß Fachleute vor Ort in der Lage sind, sie so weit zu ergänzen bzw. zu korrigieren, daß sie zu einem wirksamen Instrument der Energieberatung wird.

Darüber hinaus sind Instrumente erforderlich, die es Architekten, Bauingenieuren und Energieberatern erleichtern, speziell zugeschnittene Maßnahmen für konkrete Objekte zu entwerfen. Derartige Werkzeuge sind beispielsweise

- Handbücher zur wärmetechnischen Gebäudemodernisierung,
- Ablaufschemata zur Erstellung wärmetechnischer



nischer Gebäudekonzepte

- sowie Rechnerprogramme zur Energiebilanzierung bei Gebäuden.

Das Kopplungsprinzip führt dazu, daß die angestrebten Zielwerte der Heizenergiekennzahlen objektweise erst nach dem Durchlaufen aller Erneuerungszyklen erreicht werden. Um Zweifel an der Umsetzbarkeit der Zielwerte auszuräumen, ist es erforderlich, an ausgewählten Objekten entsprechende Mustermodernisierungen durchzuführen, die den angestrebten Zielzustand direkt und nicht erst im Laufe der Erneuerungszyklen erreichen. Der erhebliche finanzielle Mehraufwand ist unter dem Forschungs- oder Demonstrationsaspekt zu verbuchen.

Aus der Markteinführung der Wärmeschutzmaßnahmen ergeben sich ungelöste Einzelfragen, wie etwa kostengünstige, stromeffiziente Lüftungsanlagen, die zusätzlichen Forschungsbedarf begründen.

Zukünftige Entwicklung

Die hier abgeleiteten Energiesparpotentiale beruhen auf heute verfügbaren Technologien. Die technische Entwicklung im Wärmeschutz wird jedoch weitergehen und noch effizientere preiswerte Techniken hervorbringen, mit denen das auf Basis heute verfügbarer Techniken bereits erstaunlich große Einsparpotential weiter vergrößert werden kann. Die Einsparrate im Spar-Szenario nach Abb. 1 beträgt in den den ersten 10 Jahren durchschnittlich 3,5 % pro Jahr gegenüber

dem Referenzfall. Wird der voraussehbare technische Fortschritt einbezogen, so zeigen die Untersuchungen, daß sich eine entsprechende Einsparrate auch in der weiteren Zukunft aufrechterhalten läßt.

Allgemeine Zukunftsperspektive: Effizienz

Die erstaunlichen Möglichkeiten der Effizienzsteigerung und die vergleichsweise zwanglose Integration ihrer Umsetzung innerhalb der normalen Ersatz- und Erneuerungszyklen wurden in diesem Papier am Beispiel des Wärmeschutzes von Gebäuden dargestellt. Die Möglichkeiten der Effizienzverbesserung sind jedoch nicht auf den Gebäudesektor beschränkt. Auch an anderer Stelle wurde demonstriert, daß die Potentiale der weiteren Effizienzverbesserung beträchtlich sind (vgl. z.B. *3-Liter-Durchschnittsverbrauch PKW von Greenpeace*). Gelingt es, das heutige Wachstum an Energiedienstleistungen mit einer Effizienzverbesserung von jährlich 3,5 % zu kombinieren, so resultiert eine abnehmende geometrische Folge des weltweiten Energieeinsatzes. Nach jeweils 46 Jahren hat sich dieser halbiert - Zeit genug, um jeweils neue, verbesserte Technologien mit noch effizienterem Energieeinsatz zu entwickeln. Das Integral dieses künftigen Weltenergieeinsatzes ist unter diesen Bedingungen endlich: Es beträgt für alle Zeiten gerade das $66^{2/3}$ -fache des diesjährigen Verbrauchs und wäre bequem und umweltverträglich aus vorhandenen Öl- und Gasvorräten zu decken, **wenn wir heute weltweit damit beginnen**.

Anhang

Maßnahmen	Nutzungs- dauer [a]	Schicht- dicke [cm]	Kosten [DM je m ² Bauteilfläche]						
			Einfamilienhaus		Mehrfamilienhaus		Hochhaus		
			ohnein- anfallende Kosten	Mehrkosten Wärme- schutz	ohnein- anfallende Kosten	Mehrkosten Wärme- schutz	ohnein- anfallende Kosten	Mehrkosten Wärme- schutz	
Außenwand									
• Vorhangfassade: EPS/MF Dämmplatten, Hinterlüftung, Außenverkleidung	25	12			188	43	221	47	
• Wärmedämmverbundsystem (Thermohaut): Dämmplatten auf Altverputz, gewerbearmierter Neuverputz	25	12	99	59	114	45	114	65	
• Wärmedämmverbundsystem, Neue Bundesländer: incl. Sicherung der Wetterschale (50% der Fälle)	25	12			124	45	124	65	
• Innendämmung: Dämmplatten, Dampfsperre, Deckschicht	25	6	76	29	83	39	83	39	
• Kerndämmung: Einblasen von Dämmstoff in Luftschicht zweischaliger Außenwände	25	12	99	59					
Keller									
• Kellerdecke: Unterseite mit Dämmplatten bekleben	25	6	0	28	0	30	0	30	
• Keller dämmen: Wände beheizter und Decken kalter Räume mit Dämmplatten, Dampfsperre und Deckschicht versehen	25	6	18	27	18	29	16	31	
• Erdgeschoß-Fußboden erneuern: Dämmplatten, schwimmender Estrich	25	5	50	8	50	11			
Steildach									
• Dämmstoff in Dachschrägen und Kehlbalcken winddicht einbauen, Aufdoppelung, Dampfsperre (Neueindeckung)	25	20	163	54	179	54			
• Dämmung zwischen und unter Sparren, winddicht, Dampfsperre (bei Ausbau oder neuer Innenverkleidung)	25	20	47	28	41	33			
• Zusatzdämmung in Schrägen und Kehlbalcken (Neueindeckung, Aufdoppelung)	25	12	150	28	163	17			
• Auf-Sparren-Dämmung mit Dampfsperre und Holzschalung (neue Eindeckung)	25	14	150	77	163	77			
• Zusatzdämmung: Dämmstoff in Belüftungsraum der Dachschräge und auf Kehlbalckenlage	25	12	0	22	0	21			

Tabelle A1: Maßnahmenkatalog für den optimalen Wärmeschutz von Außenwänden, Kellern und Steildächern

Maßnahmen			Kosten [DM je m ² Bauteilfläche]					
			Einfamilienhaus		Mehrfamilienhaus		Hochhaus	
	Nutzungs- dauer [a]	Schicht- dicke [cm]	ohnehin anfallende Kosten	Mehrkosten Wärme- schutz	ohnehin anfallende Kosten	Mehrkosten Wärme- schutz	ohnehin anfallende Kosten	Mehrkosten Wärme- schutz
Flachdach								
• Kaltdach: Einblasdämmung in Belüftungsraum, Sanierung der Dampfsperre	25	20	0	50	0	49	0	51
• Flachdach (Warm), Wärmedämmung verstärken, neue Dachhaut	25	14	176	33	163	37	163	37
• Warmdach: Umkehrdach, Dämmplatten auf alter Dachhaut, evtl. Kiesauflage	25	12	40	75	46	85	46	85
Obergeschoß-Decke								
• Dachbodenfläche, Einblasdämmung (nicht begehbar)	25	20	0	40	0	39	0	39
• Dachbodenfläche mit Dämmplatten belegen (begehbar)	25	20	0	57	0	60	0	60
Fenster								
		k-Wert [W/(m ² K)]						
• neue Fenster mit Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung	25	1,5	620	70	611	65	502	45
• Ersatz vorhandener Isolierverglasung durch Wärmeschutzverglasung	15	1,5	210	70	183	65	150	56
Lüftung								
		Luftwechsel [1/h]						
• Fugendichtung an allen Bauteilen (Dichtbänder, Spritzdichtung)	15	0,6	0	60	0	60	0	60
• Ablufanlage einbauen (dient der Wohnhygiene, keine Energieeinsparung)	15	0,5	4000 DM je Wohneinheit + 25 DM je m ² Wohnfläche + Kosten für 250 kWh Strom pro Jahr					
• Wärmerückgewinnungsanlage einbauen	15	0,3						
			6500 DM pro Wohneinheit* (Zahl der Wohneinheit) ^{2/3} + 40 DM je m ² Wohnfläche + Kosten für 700 kWh Strom pro Jahr (Energieeinsparung: nur Differenz zur Ablufanlage)					

Tabelle A2: Maßnahmenkatalog für den optimalen Wärmeschutz von Flachdächern, Obergeschoß-Decken und Fenstern sowie bei der Lüftung

Literatur

- *Ebel, W., und T. Loga, 1993.*
Validierung des Leitfadens „Energiebewußte Gebäudeplanung“ – Eignung des Verfahrens als Wärmeschutznachweis und als Energiepaß. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.
- *Ebel, W., W. Eicke und W. Feist, 1992.*
Hohe Einsparpotentiale bei bestehenden Gebäuden. Bauphysik 14. Jg., Heft 3/1992, S. 65-75.
- *Ebel, W., 1991.*
Rechenverfahren für den Wärmeschutznachweis auf der Basis von Energiekennwerten. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.
- *Ebel, W., 1989.*
Stromverbrauch im Haushalt. Einsparpotentiale, Wirtschaftlichkeit und zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.
- *Eicke-Hennig, W., W. Feist und J. Werner, 1995.*
Lüftungsanlagen – Erfahrungen mit kontrollierter Wohnungslüftung in Niedrigenergiehäusern. BBauBl, Heft 3/95, S. 185-189.
- *Eicke, W., 1993.*
Investive Mehrkosten der Niedrigenergiebauweise. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.
- *Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des 11. Deutschen Bundestags, 1991.*
Schutz der Erde. Economica Verlag, Bonn.
- *Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. Deutschen Bundestags, 1995.*
Mehr Zukunft für die Erde. Economica Verlag, Bonn.
- *Feist, W. et al., 1994.*
Wirtschaftlichkeit von Niedrigenergiehäusern. Sonnenenergie & Wärmetechnik, Heft 4/94, S. 32-38.
- *Feist, W., 1994.*
Innere Gewinne werden überschätzt. Sonnenenergie & Wärmetechnik, Heft 1/94, S. 19-23.
- *Feist, W., und J. Werner, 1994.*
Passivhaus Darmstadt – Gesamtenergiekennwert < 32 kWh/(m²a). BBaubl., Heft 2/92.
- *Feist, W., 1991.*
Unzulänglichkeiten des Rechenverfahrens nach dem Entwurf der neuen Wärmeschutz-Verordnung. Sonnenenergie & Wärmepumpe, 16. Jg., Heft 6/1991, S. 11-14.
- *Feist, W., 1989.*
Das vereinfachte Heizenergieprogramm STATBIL/ENBIL. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.
- *Feist, W., und J. Klien, 1989.*
Das Niedrigenergiehaus. Karlsruhe.
- *Feist, W., 1988.*
Passivhaus-Bericht Nr. 1: Forschungsprojekt Passive Häuser - Zielsetzungen. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.
- *Feist, W., und B. Adamson, 1988.*
Konstruktionsmerkmale von Niedrigenergiehäusern in der Bundesrepublik Deutschland: Zusammenfassung, Empfehlungen. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.
- *Feist, W., 1986a.*
Primärenergie- und Emissionsbilanzen von Dämmstoffen. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.

- *Feist, W., 1986b.*
Ist Wärmespeichern wichtiger als Wärmedämmen? Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.
- *Freie Hansestadt Bremen, Der Senator für Umweltschutz und Stadtentwicklung, Energieleitstelle, 1993.*
Förderrichtlinie „Wärmeschutz im Wohngebäudebestand“ nach § 8 BremEG vom 11.2.93.
- *Gruson, C., und A. Kerschberger, 1993.*
Kostenermittlung für wärmetechnische Maßnahmen an der Gebäudehülle. Studienprogramm Energie, Teilstudie B1, der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“.
- *Hessische Landesregierung, 1992.*
Richtlinien für die Förderung von Energieeinsparungs- und Modernisierungsmaßnahmen an Wohngebäuden mit Landesmitteln. Staatsanzeiger vom 29.06.92.
- *Hinz, E., und W. Feist, 1992.*
Forschungs- und Demonstrationsgebäude Niedrigenergiehaus Schrecksbach – Abschlußbericht. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.
- *IBP, Fraunhofer Institut für Bauphysik, 1988.*
Das Münchner Energiespar-Testhaus. EB 20/1988, Stuttgart.
- *IWU, Institut Wohnen und Umwelt, 1995.*
Elektrische Energie im Hochbau – Ein Leitfaden zur Berechnung und Einsparung von elektrischer Energie in Gebäuden.
Reihe Studien zur Energiepolitik, Hess. Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten, Darmstadt / Wiesbaden.
- *IWU, Institut Wohnen und Umwelt, 1994a.*
Empirische Überprüfung der Möglichkeiten und Kosten im Gebäudebestand und bei Neubauten Energie einzusparen und die Energieeffizienz zu steigern (ABL und NBL). Endbericht für die Deutsche Bundesstiftung Umwelt in Kooperation mit der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages. Darmstadt.
- *IWU, Institut Wohnen und Umwelt, 1994b.*
Leitfaden „Energiebewußte Gebäudeplanung“, 5. Auflage. Reihe Studien zur Energiepolitik, Hess. Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten, Darmstadt / Wiesbaden.
- *IWU, Institut Wohnen und Umwelt, 1990.*
Energiesparpotentiale im Gebäudebestand. Reihe Studien zur Energiepolitik, Hess. Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten, Darmstadt / Wiesbaden.
- *Loga, T., und H. Menje, 1994.*
Mehrkosten für Wärmeschutz und Nahwärmeversorgung in der „Niedrigenergiesiedlung Distelweg“ (Niedernhausen). Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.
- *Loga, T., und H. Menje, 1992.*
Die „Niedrigenergiesiedlung Distelweg“ in Niedernhausen Projektdarstellung. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.
- *Loga, T., T. Köhler und W. Ebel, 1992.*
Dokumentation zum „Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung“ – Exemplarische Darstellung des Einsatzes in der Praxis. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.

- *Menje, H., 1993.*
 Dichtheit von Niedrigenergiehäusern am Beispiel der „Niedrigenergiesiedlung Distelweg“. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.
- *Rohrmann, B. 1995*
 Sozialwissenschaftliche Evaluation hessischer Niedrigenergiehäuser, Darmstadt 1995
- *Werner, J., U. Rochard, J. Zeller und M. Laidig, 1995.*
 Meßtechnische Überprüfung und Dokumentation von Wohnungslüftungsanlagen in hessischen Niedrigenergiehäusern Endbericht. Ing.-Büro ebök, Tübingen; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.
- *Werner, J., und W. Eicke-Hennig, 1995.*
 Checkliste Kontrollierte Wohnungslüftung Planung, Abnahme, Ausführung, Wartung. Ing.-Büro ebök, Tübingen; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.
- *Wärmeschutzverordnung, 1982 (WSchVO 1982).*
 Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden. BGBl. I v. 24.2.82, S. 209; in Kraft vom 1.1.84- 31.12.94.
- *Wärmeschutzverordnung, 1995 (WSchVO 1995).*
 Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden. In: Bundesbauministerium (Hrsg.), 1994. Verbessertes Wärmeschutz als Gemeinschaftsaufgabe. Bonn; in Kraft seit 1.1.95.