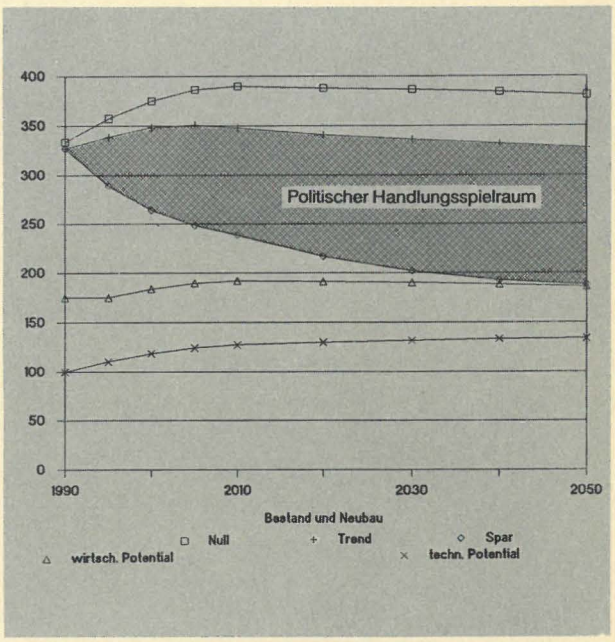
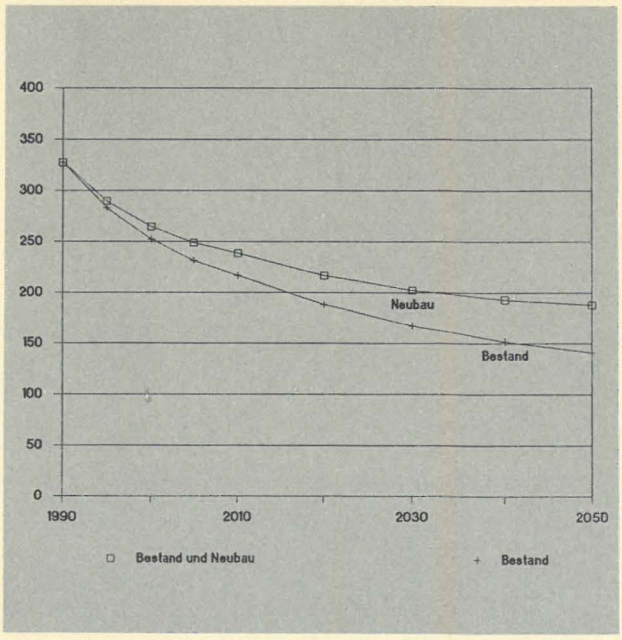
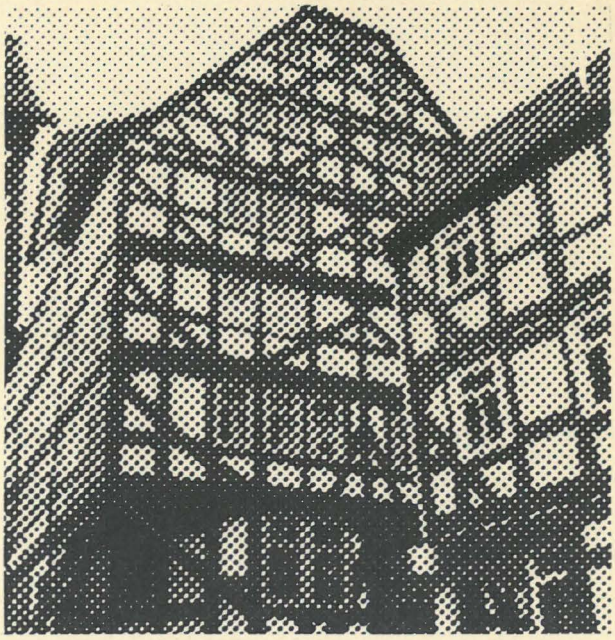
HESSISCHES MINISTERIUM
FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNIK

ENERGIESPARPOTENTIALE IM GEBÄUDEBESTAND







STUDIEN ZUR ENERGIEPOLITIK IN HESSEN

Energiesparpotentiale im Gebäudebestand

Institut Wohnen und Umwelt

Witta Ebel
Werner Eicke
Wolfgang Feist
Olaf Hildebrandt
Hans-Peter Hilpert
Jobst Klien
Wolfgang Kröning
Helmut Schmidt
Benedikt Siepe
Uwe Wullkopf

Darmstadt 1990

Energiesparpotentiale im Gebäudebestand

Wissenschaftliche Bearbeitung:

Dr. Witta Ebel	(Wissenschaftl. Mitarbeiterin IWU)
Dipl.-Ing. Werner Eicke	(Wissenschaftl. Mitarbeiter IWU)
Dipl.-Phys. Wolfgang Feist	(Wissenschaftl. Mitarbeiter IWU)
Dipl.-Ing. Olaf Hildebrandt	(EBÖK Tübingen)
Dipl.-Ing. Hans-Peter Hilpert	(Wissenschaftliches Zentrum 3 der Gesamthochschule Kassel)
Dr.-Ing. Jobst Klien	(Wissenschaftl. Mitarbeiter IWU)
Dipl.-Ing. Wolfgang Kröning	(Wissenschaftl. Mitarbeiter IWU)
Dr. Helmut Schmidt	(Wissenschaftl. Mitarbeiter IWU)
Dipl.-Ing. Benedikt Siepe	(ARENHA Hannover)
Dr. Uwe Wullkopf	(Geschäftsführer IWU)

Sachbearbeitung:

Dipl.-Ing. Wilfried Gabler
Dipl.-Ing. Anthi Gatsia
Dipl.-Ing. Eberhard Hinz
Dieter Schreiber

Schreibarbeiten:

Gabi Kartscher-Geiß
Ines Nowak
Vera Ohms
Gisela Spalt
Birgit Weingärtner

Reprotechnik:

Reda Hatteh

ISBN-Nr. 3-927846-07-4
Institut Wohnen und Umwelt
Darmstadt 1990

VORBEMERKUNG

Die vorliegende Studie ist ein Werkstattbericht zum Projekt "Energiesparpotentiale im Gebäudebestand" des Instituts Wohnen und Umwelt.

Die Ergebnisse dieses Projekts sind die Grundlage für einen Bericht, den das Institut Wohnen und Umwelt im Auftrag der Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestags im Oktober 1989 erstellt hat. Dieser Bericht trägt den Titel "Altbaumodernisierung und -sanierung bei Wohngebäuden" (Studie A 1.2 b) und wird vom Bundestag veröffentlicht werden.

INHALTSVERZEICHNIS

1. **Einordnung** 1

2. **Einflußgrößen auf den Heizenergieverbrauch** 4

2.1 Der Einfluß des Wärmeschutzes der (lichtundurchlässigen) Außenbauteile: Wände, Dächer, Böden 4

2.1.1 Primärenergie- und Umweltbilanz von Wärmedämmungen 5

2.1.2 Verminderung von Wärmebrücken 6

2.1.3 Winddichtigkeit der Konstruktion 8

2.1.4 Beachtung der Regeln des Wassertransportes 9

2.1.5 Vermeidung von Bauschäden 9

2.1.6 Verbesserung der Behaglichkeit 10

2.1.7 Innenluftqualität und Wohngesundheit 10

2.1.8 Wärmeschutz und Schallschutz 12

2.1.9 Wirtschaftlichkeit 12

2.2 Der Einfluß der Lüftung 13

2.2.1 Die Unzulänglichkeit der freien Fugenlüftung 15

2.2.2 Stoßlüftung 15

2.2.3 Bedarfslüftung mit maschineller Abluft 16

2.2.4 Wärmerückgewinnung mit Luft/Luft-Wärmetauscher 17

2.3 Der Einfluß von Wärmeverlusten und passiv solaren Energiegewinnen durch Fenster 17

2.4 Der Einfluß der Gebäudemasse 19

2.5 Zusätzliche Maßnahmen zur passiven Nutzung von Sonnenenergie 20

2.6 Der Einfluß von internen Wärmequellen 22

2.7 Der Einfluß unterschiedlicher Raumtemperaturen 23

2.8 Der Einfluß der Nachtabsenkung 23

2.9 Der Einfluß des Heizsystems 24

2.10 Der Einfluß der Gebäudenutzer 25

Literatur zu Kapitel 2 27

3. Gebäudetypologie im Bestand 30

3.1 Zur Datenlage des Wohnungsbestands 30

3.2 Zur Wahl der Gebäudetypenmethode 32

3.3 Beschreibung der Gebäudetypologie - Haustypenmatrix 36

Haustypenmatrix 39/40

Literatur zu Kapitel 3 41

4. Energiesparmaßnahmen im Wohngebäudebestand der Bundesrepublik Deutschland 42

4.1 Bauphysikalische Grundsätze bei der wärmetechnischen Gebäudesanierung 44

4.1.1 Vermeidung von Bauschäden durch Wasserdampfdiffusion 44

4.1.2 Wärmetechnische Gebäudesanierung als Beitrag zur Bausubstanzerhaltung 49

4.1.3 Auswirkung wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen auf das Raumklima 51

4.1.4 Raumluftqualität und Wärmeschutz 51

4.1.5 Umweltverträglichkeit wärmetehnischer Sanierungsmaßnahmen 52

4.1.6 Das Verhältnis von architektonischer Gestaltung und wärmetechnischer Gebäudesanierung 52

4.1.7 Integration der Anforderungen der Denkmalpflege in die wärmetechnische Gebäudesanierung 54

4.1.8 Durchführung wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen im Zuge von Instandsetzungs-, Erneuerungs- oder Modernisierungsmaßnahmen 64

4.2. Kosten und Wirtschaftlichkeit 68
4.2.1 Wirtschaftlichkeit als Beurteilungskriterium für energiesparende Maßnahmen 68
4.2.2 Kritik statischer Berechnungsmethoden 71
4.2.3 Dynamische Methoden zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit 72
4.2.4 Kosten für die eingesparte Kilowattstunde Endenergie 75
4.2.5 Rahmendaten 77
4.2.6 Kosten wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen 78
4.2.6.1 Gesamtkosten und Zusatzkosten 78
4.2.6.2 Optimale Dämmstoffstärken 81

4.3. Katalog wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen 89
4.3.1 Überblick über die Maßnahmen im TREND-Szenario 89
4.3.2 Überblick über die Maßnahmen im SPAR-Szenario 92
4.3.3 Katalog wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen: Einzelmaßnahmen 95
4.3.3.1 Bauteil: Außenwand 96
4.3.3.2 Bauteil: Geneigtes Dach 108
4.3.3.3 Dämmung des Dachbodens / der Obergeschoßdecke 111
4.3.3.4 Bauteil: Flachdach (Kaltdach) 117
4.3.3.5 Bauteil: Flachdach (Warmdach) 120
4.3.3.6 Bauteil: Kellerdecke und Kellerwände 123
4.3.3.7 Bauteil: Fenster 126

Literatur zu Kapitel 4 129

5. Objektbezogene Einsparpotentiale 136

5.1. Untersuchungsmethode 136
5.1.1 Beschreibung des Energiebilanzmodells STATBIL 136
5.1.2 Definition der Zustände IST, UR und START für die Wärmebilanzrechnungen 143
5.1.3 Standardbedingungen 144
5.1.3.1 Standardnutzung 144
5.1.3.2 Standard-Heizsystem 147
5.1.4 Die Maßnahmenketten TREND und SPAR 149

5.2. Dokumentation der untersuchten Gebäude 151

Literatur zu Kapitel 5 175

6. Erfolge wärmetechnischer Gebäudesanierungen im Gebäudebestand 176

6.1. Einfamilienhäuser 176

6.1.1 Wärmetechnische Sanierung eines Dreifamilienhauses in Bad Hersfeld 176
6.1.2 Wärmetechnische Gebäudesanierung eines Einfamilienhauses in München 178
6.1.3 Umbau und Erweiterung eines Einfamilienhauses mit Einliegerwohnung zum Niedrigenergiehaus 179
6.1.4 Ökologisch orientierter Umbau eines Stall- und Scheunengebäudes in ein Einfamilienhaus in Mosbach 181
6.1.5 Teilmaßnahme Außenwanddämmung an einem Einfamilienhaus 182
6.1.6 Wärmeschutzmaßnahmen bei der Sanierung eines denkmalgeschützten Fachwerkhauses in Konstanz 183

6.2. Mehrfamilienhäuser 185

6.2.1 Wärmetechnische Sanierung von zwei achtgeschossigen Mehrfamilienhäusern in Kassel 185
6.2.2 Wärmetechnische Sanierung eines Mehrfamilienhauses in Hanau 187
6.2.3 Wärmetechnische Sanierung eines Mehrfamilienhaus-Komplexes in Kassel 188
6.2.4 Wärmetechnische Sanierung eines Hochhauses in Göteborg 190

Literatur zu Kapitel 6 191

7. Einsparpotentiale im Gebäudebestand 192

7.1 Gegenwärtiger Gebäudebestand 192
7.1.1 Aufteilung des Wohngebäudebestands 192
7.1.2 Heizenergieverbrauch der Gebäudetypen 195
7.1.3 Nachträgliche energetische Sanierungen 196
7.1.4 Aufteilung des Energieverbrauchs auf den Gebäudebestand 199

7.2 Zielwerte für Energiekennzahlen im Gebäudebestand 201

7.3 Einsparpotentiale 208

7.4 Gesamte Einsparpotentiale 210

Literatur zu Kapitel 7 217

8. Szenarien für den zukünftigen Heizenergieverbrauch der Haushalte 218

8.1 Internationale Erfahrungen 218

8.2 Ersatzzyklen 219

8.3 Modellrechnungen 221
8.3.1 Methode 221
8.3.2 Annahmen 222
8.3.3 Die Entwicklung des spezifischen Nutzenergiebedarfs im Gebäudebestand 226
8.3.4 Die Entwicklung des gesamten Nutzenergiebedarfs (einschließlich Neubau) 232

Literatur zu Kapitel 8 236

9. Beheizungsstruktur und Emissionsminderungspotential 237

9.1 Aufteilung des Gebäudebestands auf Beheizungsarten 237

9.2 Ermittlung der Emissionen 1987 245

9.3 Das Emissionsminderungspotential durch bauliche Maßnahmen im Gebäudebestand bis zum Jahr 2005 246

9.4 Emissionosreduktionspotential durch rationelle Versorgungstechnik 249

9.4.1 Thermodynamische Obergrenze für Heizzahlen 249

9.4.2 Emissionsreduktionspotential durch Sanierung und Optimierung der gegenwärtigen Beheizungsstruktur 250

9.4.3 Emissionsreduktionspotential durch den Einsatz rationeller Versorgungstechniken, Abfallenergien und regenerativer Energiequellen 251

Literatur zu Kapitel 9 261

10. Hemmnisse für die Ausschöpfung vorhandener Energiesparpotetiale im Gebäudebestand 263

10.1 Hemmnisse bei statischer Betrachtung 264

10.2 Zusätzliche Hemmnisse bei dynamischer Betrachtung 268

10.3 Zusätzliche Hemmnisse infolge der Nichtbeachtung externer Effekte 270

11. Instrumente zur Ausschöpfung vorhandener Nutzenergie-Einsparpotentiale im Gebäudebestand 272

11.0 Einleitung 272

11.1 Förderung der integrierten und unabhängigen Energieberatung 274

11.2 Bedeutung der Bauteilerneuerungszyklen für die wärmetechnische Gebäudesanierung 285

11.3 Energiekennzahl 287

11.3.1 Kritik der Wärmeschutzverordnung 287
11.3.2 Funktionale Normen 288
11.3.3 Vorteile der Einführung von Energiekennzahlen 290
11.3.4 Handlungsmöglichkeiten 292

11.4 Verbesserung des administrativen Instrumentariums: Gesetz zur Einsparung von Energie (EnEG) von 1976 und seine Verordnungen 294

11.5 Förderprogramme 297

11.5.1 Bestehende Regelungen 299
11.5.2 Förderprogramme zur wärmetechnischen Gebäudesanierung 301
11.5.3 Bund-Länder-Förderprogramm "Wärmetechnische Gebäudesanierung" 303
11.5.4 Kopplung der Förderung an Auflagen und Erfolgskontrolle 308

11.6 Wohnungswirtschaftlicher Handlungsbedarf 309

11.7 Energiesteuer und Umweltabgaben 310

11.8 Forschungsbedarf 318

11.8.1 Erstellung regionaler Haustypologien 318
11.8.2 Wärmetechnische Sanierungskonzepte 319
11.8.3 Mustersanierungen, begleitende Forschung 320
11.8.4 Angepaßte Konstruktionsdetails für typische Sanierungsfälle 321
11.8.5 Neue Komponenten für weitergehende Energieeinsparung 322

11.9 Notwendigkeit eines abgestimmten Instrumentenbündels 323

Literatur zu Kapitel 11 326

12. **Ausblick: Zukünftig zu erwartende weitere Fortschritte bei Komponenten und Konzepten zum Energiesparen im Gebäudebestand** 332

12.1 Entwicklung neuer Dämmstoffe und Dämmsysteme 332

12.2 Neue Fenstergläser und Fensterbauarten 335

12.3 Effizienzverbesserung bei der Lüftung 339

12.4 Systeme zur passiven/aktiven Solarenergienutzung in Gebäuden 341
12.4.1 Fenster 341
12.4.2 Transparente Wärmedämmung von opaken Bauteilen 341
12.4.3 Solare Hybridsysteme 341

12.5 Zu erwartende Energiesparpotentiale mit Zukunftstechnologien in zwei ausgewählten Fällen des Gebäudebestands 342

12.6 Konsequenzen für das (technische) Einsparpotential 351

Literatur zu Kapitel 12 354

Dokumentation der untersuchten Gebäude *Anhangband*

1. Einordnung

Im Jahre 1987 betrug der Endenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland 2090 TWh. Der Energieeinsatz für die Raumwärme betrug dabei 730 TWh oder 35 %. Die Raumwärme ist damit die Einzelanwendung mit dem höchsten Anteil am Endenergieverbrauch. Gleichzeitig ist sie die Energieform mit dem geringsten Exergieanteil, und es liegt auf der Hand, daß daher gerade in diesem Bereich ein minimaler Einsatz hochwertiger Energierohstoffe ausreichen muß zur Erbringung der gewünschten Energiedienstleistung, einer Raumtemperatur von ca. 18-20^{o}C. Die technischen Möglichkeiten zur Verminderung des Heizenergiebedarfs werden in Kapitel 2 vorgestellt und diskutiert.

Am einfachsten sind Maßnahmen zur Verringerung des Energieverbrauchs beim Neubau zu realisieren, da diese Zielsetzung von vornherein in die Planung einbezogen werden kann. So kann beim Neubau auf eine geringe wärmetauschende Außenfläche geachtet werden, die Orientierung und Größe der Fenster kann optimiert werden. Ein sehr guter Wärmeschutz läßt sich besser in den Gesamtaufbau integrieren als nachträglich unter den gegebenen Randbedingungen anbringen. Auch die Details - Vermeidung von Wärmebrücken, winddichte Anschlüsse - sind beim Altbau schwieriger zu realisieren.

Dennoch wäre es ein Fehler, auf energiesparende Bauweise nur beim Neubau zu achten. Denn der größte Teil der Bausubstanz wird noch auf lange Sicht aus Gebäuden bestehen, die bereits heute stehen. Beim Neubau handelt es sich im wesentlichen um einen Zubau, da nur ein geringer Teil des Gebäudebestands abgerissen wird. Eine Untersuchung von Prognos /Prognos 1987/ zeigt eine praktisch konstante Wohnfläche in Gebäuden vor 1985 über einen Prognosezeitraum von 35 Jahren. Der Abriß wird hier weitgehend ausgeglichen durch aktivierte Wohnfläche aus dem Bestand (z.B. durch Dachausbau). Obwohl nach dieser Prognose im Jahr 2020 ein Viertel der Wohnfläche in nach 1985 erstellten Gebäuden liegen würde, könnte der gesamte Heizenergieverbrauch nur dann vermindert werden, wenn auch im Altbau entsprechende Energiesparmaßnahmen durchgeführt würden.

Maßnahmen zur Verringerung des Energieeinsatzes für die Raumheizung umfassen sowohl die Verbesserung der Heizungstechnik als auch die Verminderung des Nutzwärmebedarfs. Entsprechend dem vorliegenden Auftrag konzentrieren wir uns in dieser Studie auf den Nutzwärmebedarf. Tatsächlich ist hier auch - einerseits - der höhere Beitrag zur Energieeinsparung zu erwarten. Wie in dieser Arbeit gezeigt wird, liegt das Einsparpotential durch heute technisch durchführbare und wirtschaftlich vertretbare bauliche Energiesparmaßnahmen bei 52 %. Andererseits stehen der Realisierung dieser Maßnahmen mehr Hemmnisse entgegen. Wie in Kapitel 11 gezeigt wird, kommt hier der Verbesserung des Kenntnisstands aller beteiligten Gruppen - der Bauherren, Architekten, Ingenieure und Handwerker- eine große Bedeutung zu. Nicht zuletzt diesem Ziel dient die ausführliche Beschreibung der einzelnen Maßnahmen in Kapitel 4 sowie der detaillierte Nachweis der objektbezogenen Einsparpotentiale in Kapitel 5. Schließlich wird auch mit jeder Sanierung eines Gebäudes oder Bauteils, bei der keine oder nur ungenügende Wärmeschutzmaßnahmen ergriffen werden, für lange Zeit die Chance verpaßt, den Energieverbrauch wesentlich zu senken (vgl. Kap. 4, 11.2).

Dagegen müssen Heizungsanlagen in der Regel nach spätestens 20 Jahren erneuert werden, und da alle am Markt angebotenen neuen Anlagen erheblich bessere Nutzungsgrade haben als alte, ergibt sich eine Einsparung von 10 - 30 % je nach Einzelfall als automatischer Nebeneffekt.

Darüberhinaus wäre allerdings der verstärkte Einsatz von Brennwerttechnik wünschenswert sowie die Versorgung mit Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung über kostengünstige Nah- und Fernwärme-Transportsysteme. Diese Möglichkeiten werden in Kap. 9.4 dargestellt.

Die vorliegende Studie beschränkt sich auf den Heizenergieverbrauch im Bereich der Wohngebäude. Für diesen Bereich steht besseres statistisches Datenmaterial zur Verfügung als für die anderen Sektoren. Darüberhinaus wird mit 470 TWh/a ca. zwei Drittel der Endenergie für die Raumwärme von den privaten Haushalten verbraucht. Für die Haushalte selbst spielt die Raumwärme die größte Rolle: Ihr Anteil am Endenergieverbrauch beträgt fast 80 %.

Die Ergebnisse für die Wohngebäude lassen sich jedoch weitgehend auf andere Gebäude übertragen. Insbesondere trifft dies auf die in Kapitel 4 beschriebenen Maßnahmen zu, die an allen Gebäuden durchgeführt werden können. Auch für die Gebäude selbst sind vergleichbar hohe Einsparpotentiale zu erwarten, mit Ausnahme vor allem der Gebäude, die sich in der Nutzung sehr wesentlich von Wohngebäuden unterscheiden, z. B. Gebäude mit hohen inneren Wärmequellen. Daß sich hohe Einsparungen im gesamten Raumwärmebereich erzielen lassen, wird vor allem auch durch die Erfahrungen aus Schweden bestätigt (vgl. Kap. 8.1). Der Schwerpunkt der vorliegenden Studie liegt auf der Darstellung und Bewertung der technischen Maßnahmen zur Heizenergieeinsparung, d.h. die Energiedienstleistung, hier repräsentiert durch die durchschnittliche Raumlufttemperatur, bleibt unverändert. Genaugenommen wird die Energiedienstleistung durch die meisten Maßnahmen verbessert, da die Oberflächentemperaturen erhöht werden, damit werden auch die Bereiche nahe der Außenflächen uneingeschränkt nutzbar und das Raumklima verbessert (vgl. 2.1.6). Dies wird erfahrungsgemäß jedoch nicht durch Absenkung der Raumlufttemperatur kompensiert, sondern als Komfortverbesserung angenommen - ein Effekt, der eine zusätzliche Motivation zur Durchführung von Wärmeschutzmaßnahmen darstellt.

Die mögliche Einsparung durch den Verzicht auf einen Teil der Energiedienstleistung durch Absenkung der durchschnittlichen Raumlufttemperatur wird in dieser Arbeit ebenfalls quantifiziert. Sie liegt mit ca. 9 % pro Kelvin bei Gebäuden im Bestand erheblich unter den technischen Potentialen. Vor allem ist selbst bei anfänglich hoher Motivation kein langfristiger Einspareffekt zu erwarten, wie auch die Entwicklung nach den Ölpreisschocks gezeigt hat. Bleibende Energieeinsparungen können nur durch technische Maßnahmen garantiert werden.

Die in dieser Studie im Detail vorgestellten Maßnahmen (Kap. 4) sind technisch erprobt und wirtschaftlich vertretbar. Sie sind die Grundlage für die Ermittlung der objektbezogenen Einsparpotentiale in Kap. 5 sowie die Hochrechnungen in Kap. 7 und Kap. 8. Die technischen Möglichkeiten zur Heizenergieeinsparung sind damit bei weitem nicht ausgeschöpft. Bei einer höheren Akzeptanz von Wärmeschutzmaßnahmen ist es wahrscheinlich, daß mittel- und langfristig weitergehende Techniken entwickelt und zur Marktreife gebracht werden. Ein Ausblick ist in Kap. 12 dargestellt.

2. Einflußgrößen auf den Heizenergieverbrauch

Die durch die thermische Hülle eines Gebäudes durchtretenden Energieströme stehen in einem Fließgleichgewicht: über eine Jahresperiode sind die insgesamt von innen nach außen tretenden Energieströme ("Wärmeverluste") gleich groß wie die Summe aus eingestrahlter Sonnenenergie, innerer Wärmeabgabe von Personen und Geräten und der zugeführten Heizwärme ("Wärmegewinne"). Im mitteleuropäischen Klima überwiegen bei allen traditionell gebräuchlichen Bauformen und Bauteilen in der kalten Jahreszeit die Verluste bei weitem die freien Wärmegewinne: es muß zusätzlich Energie zur Heizung eingesetzt werden.

Die Höhe des verbleibenden Heizenergieverbrauchs kann dabei auf verschiedenen Wegen beeinflußt werden. Die Kenntnis dieser Einflüsse ist entscheidende Voraussetzung, wirksame Maßnahmen zur Energieeinsparung auszuwählen und zu projektieren.

Zu unterscheiden sind zwei Kategorien von Einflüssen:

- der Einfluß der Gebäudenutzer,
- der Einfluß von Baukonstruktion und Haustechnik,

welche allerdings auf vielfältige Weise miteinander verwoben sind. Wir beginnen mit der Darstellung der baulich-technischen Einflüsse, da sich hieraus die nutzungsbedingten Einflüsse am Ende leichter ableiten lassen.

2.1 Der Einfluß des Wärmeschutzes der (lichtundurchlässigen) Außenbauteile: Wände, Dächer, Böden

Der jährliche Heizwärmeverlust durch ein lichtundurchlässiges Bauteil ist dem mittleren Temperaturunterschied von innen nach außen proportional. Bezogen auf die Zeit- und Flächeneinheit ist der Wärmedurchgangskoeffizient (kurz "k-Wert" in $W/(m^2K)$) der Proportionalitätsfaktor /Feist-Adamson 1987/. In unserem Klima wird der Wärmeverlust nur geringfügig durch die auf der Außenoberfläche teilweise absorbierte direkte und indirekte Sonneneinstrahlung verringert /Feist 1985/.

Unabhängig vom k-Wert des Bauteils beträgt die Verringerung 0 % (völlig verschattete Oberfläche) bis maximal 15 % (sehr dunkel, verschattungsfrei optimal nach Süden ausgerichtete Fläche an einem windstillen Standort). In allen Fällen (also auch für Südflächen) wird durch eine Verbesserung des Wärmeschutzes eine deutliche Energieeinsparung erreicht, welche bei Erhöhung der Dämmstoffstärke proportional zur k-Wert-Abnahme ansteigt. Gegenüber den im Gebäudebestand in aller Regel anzutreffenden Konstruktionen (k-Werte um 1,2 bis 1,6 $W/(m^2K)$) lassen sich die Verluste durch vernünftig zugeschnittene Wärmeschutzmaßnahmen um 60 bis 85 % senken.

Wärmeschutzmaßnahmen sind daher im Gebäudebestand die wichtigsten allgemein einsetzbaren Energiesparmaßnahmen, zumal sie sich ohne grundsätzliche bauliche Veränderungen nachträglich an bestehenden Bauteilen ausführen lassen.

Für die Energieeinsparung ist es zunächst unerheblich, ob ein zusätzlicher Wärmeschutz

- als Wärmedämmung außen auf eine bestehende Konstruktion (Wand/Dach/Boden) aufgebracht,
- innenseitig an einer Hüllfläche zugefügt,
- oder in vorhandene Luftschichten (Kerndämmung) eingebracht wird.

Beim Neubau oder der vollständigen Erneuerung eines Bauteils besteht als vierte, grundsätzlich gleichwertige Alternative, die Materialdämmung durch Verwendung z. B. von dämmendem Mauerwerk. Bei näherer Betrachtung muß jedoch bei allen Maßnahmen eine Reihe jeweils spezifischer Besonderheiten sorgfältiger berücksichtigt werden, wenn optimale Energie- und Kosteneinsparung erreicht werden soll und negative Auswirkungen (die bei unsachgemäßer Anwendung bis zu Bauschäden führen können) vermieden werden sollen.

2.1.1 Primärenergie- und Umweltbilanz von Wärmedämmungen

Bei der Herstellung von Wärmeschutzmaterial wird Energie aufgewendet und in der Regel werden Luftschadstoffe an die Atmosphäre abgegeben. Entscheidend für eine Bewertung ist die Gesamtbilanz von der Herstellung bis zur Energieeinsparung und Umweltentlastung beim Einsatz als Wärmedämmung. Eine ausführliche Untersuchung /Feist 1986/ ergab:

- Bei einem energieaufwendigen Dämmstoff (wie z.B. Styropor) wird für die Herstellung einer 12,5 cm dicken Dämmschicht pro Quadratmeter Bauteilfläche ein Herstellungs-(Primär)-Energieaufwand von 66 kWh erforderlich. Als Wärmedämmung eingesetzt, spart diese jährlich jedoch auch in ungünstigen Fällen mindestens 77 kWh Primärenergie ein. Nutzbar ist eine richtig ausgeführte Dämmung mindestens 25 Jahre. Der Herstellungsenergieaufwand kann daher im Vergleich zur erzielten Einsparung beim Heizbetrieb vernachlässigt werden.
- Ein Maximum der erzielbaren Nettoprimärenergieeinsparung liegt bei heute marktgängigen Dämmstoffen bei Dämmdicken zwischen 33 und 200 cm.
- Für die Schadstoffbilanzen (Stickoxide, Schwefeldioxid, Kohlendioxid) ergibt sich das gleiche Bild wie für Primärenergie. Aus der Sicht des Umweltschutzes ist es daher wünschenswert, erheblich größere Dämmstoffstärken als bisher üblich einzusetzen.
- Dem Einsatz von Flourchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) in Dämmstoffen am Bau steht keine entsprechende Umweltentlastung beim Heizbetrieb gegenüber. Im Bereich des Hochbaus gibt es nach unserer Kenntnis keine Notwendigkeit, FCKW-geschäumte Dämmstoffe einzusetzen. Alle im folgenden beschriebenen Aufgaben lassen sich vielmehr durch FCKW-freie Stoffe wie Mineralwolle, expandiertes Polystyrol, Zelluloseflocken, Schaumglas, FCKW-frei geschäumtes Polyurethan, Holzfaserplatten u.a. erfüllen.

2.1.2 Verminderung von Wärmebrücken

Wärmebrücken sind Störstellen in der gedämmten Gebäudeaußenhülle, über welche mehr Wärme abfließt, als in den umgebenden ungestörten Bereichen. Beispiele sind: eine durchkragende Stahlbetonplatte (z.B. Balkon), ein nicht sauber ausgeführter Anschluß von Wand- und Dachdämmung, angrenzende Innenwände bei der Außenwand-Innendämmung sowie Anschlüsse von Fenstern, Decken und Böden.
Bei schlechter Ausführung können Wärmebrücken zu ernsthaften Problemen wie Schwitzwasserbildung an den Innenoberflächen führen - abgesehen davon, daß sie die Wirksamkeit des Wärmeschutzes herabsetzen. Durch sorgfältige Behandlung der Details wird die Wirksamkeit des Wärmeschutzes stark verbessert und der Schutz der Baukonstruktion nachhaltig gesichert.

- Durch außenliegende Dämmungen wird das Temperaturniveau in der ursprünglichen Konstruktion allgemein angehoben und damit werden negative Folgeerscheinungen von Wärmebrücken in aller Regel eingedämmt oder beseitigt. Auch bei Außendämmungen sollte aber auf eine möglichst lückenlose Dämmhülle geachtet werden: Dämmung bei Fenster- und Türanschlüssen mindestens 3 cm über den Rahmen führen, unteren Abschluß der Außenwanddämmung nahtlos in die Dämmung der Kellerwände übergehen lassen (Perimeterdämmung), Anschluß von Wand- und Dachdämmung sorgfältig ausführen.

- Beim Altbau lassen sich Wärmebrücken im allgemeinen nicht so vollständig vermeiden oder stark reduzieren wie beim Neubau. Häufig bleibt hier nur das "ringsherum-Einpacken" von vorhandenen Schwachpunkten.

- Bei der Innendämmung muß der Verringerung von Wärmebrücken besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden: durch innenliegende Dämmschichten wird die Temperatur in der ursprünglichen Konstruktion abgesenkt. Fehlt die Dämmung nun in einem Bereich oder endet sie, so können am Rand erheblich reduzierte Temperaturen auftreten, die Anlaß zu schwerwiegenden Bauschäden geben können. Bei Beachtung einiger Regeln und sorgsamer Ausführung ist dies aber vermeidbar und auch durch Innendämmungen lassen sich dann die Verhältnisse gegenüber dem ursprünglichen Zustand nachhaltig verbessern:
  - Innendämmungen müssen immer auch im Bereich der Fensterlaibung mit mindestens 2 cm Dämmstoffstärke ausgeführt werden.
  - Lücken in einer Innendämmung (z. B. hinter einem Schrank) sind unbedingt zu vermeiden.
  - An eine innengedämmte Außenwand angrenzende Innenwände und Decken sind mit Hilfe einer keilförmig auslaufenden Dämmung mindestens 20 cm weit in den Innenraum hinein zu dämmen. Bei Fußböden ist der Anschluß an die Trittschalldämmung (Stahlbetondecken) vorteilhaft. Bei Holzbalkendecken sollte die Dämmung durch die Decke hindurch ungestört fortgesetzt werden /Fingerling 1988/.

Eine Fülle von Details zur Vermeidung und Verringerung von Wärmebrücken finden sich in den Wärmebrückenkatalogen von /Mainka 1986/, /SIA 99-1985/ und /Hauser 1989/. Praxisgerechte Standardlösungen für Anschlußprobleme bei der Innendämmung sollten mit besonderem Nachdruck entwickelt werden, zumal gerade im Wohnungsbestand die Innendämmung für eine Reihe von Objekten die einzig praktikable Möglichkeit darstellt. Aus der genannten Problematik heraus sollte andererseits überall dort, wo dies mit vertretbarem Aufwand möglich erscheint, einer außenliegenden Dämmung der Vorzug gegeben werden.

2.1.3 Winddichtigkeit der Konstruktion

Ritze und Fugen in der Wand- und Dachkonstruktion müssen im Interesse der Vermeidung von Bauschäden abgedichtet werden /Carlsson 1980/:

- Durch Fugen kann Schlagregen in die Konstruktion eindringen. Dies ist die häufigste Schadensursache z. B. bei Fachwerkhäusern.
- Auch Luftströme von innen nach außen transportieren viel Feuchtigkeit, die in der Konstruktion kondensieren kann.
- Der Wärmeschutz wird durch Undichtheiten stark verringert. Nicht selten stellen sich lästige Zugerscheinungen ein /Knublauch 1987/.

Winddichtigkeit steht nicht im Widerspruch zur Diffusionsoffenheit (vgl. Abschnitt 2.1.4). Ein direkter Luftzug durch die Konstruktion muß unbedingt vermieden werden. Dies behindert die im Vergleich dazu sehr langsam ablaufende Diffusion nicht. Der erforderliche ausreichende Luftwechsel findet durch bewußtes Stoßlüften durch Fenster und Türöffnung oder besser durch verstellbare Lüftungsöffnungen z. B. in den Fensterrahmen, am besten jedoch durch aktive Wärmerückgewinnungsanlagen statt (vgl. Abschnitt 2.2 "Lüftung").

Gut winddicht sind in aller Regel beidseitig verputzte Mauersteinwände, Betondecken und heute auch Fenster- und Türöffnungen. Sehr sorgfältig muß die Winddichtheit bei Leichtbaukonstruktionen hergestellt werden. In Schweden haben sich hierbei innenseitig verlegte geschlossene Folienbahnen bewährt. Diese werden, wo erforderlich, an Anschlußstellen mindestens 20 cm überlappt und festgeklemmt, an den Rändern aufgerollt und mittels Latten festgeklemmt bzw. in den Innenputz

angrenzender Wände eingeputzt sowie an Fenster- und Türrahmen an vorgesehenen Falzen eingeklemmt.

Gute Darstellungen findet man in /HMWT 1989: Energiesparinformation Nr. 5/, /Handbuch 1983/ und in /Carlsson 1980/.

2.1.4 Beachtung der Regeln des Wassertransportes

Viele Bauschäden entstehen durch in oder an den Bauteilen kondensierenden Wasserdampf. Dieser entsteht in den Wohnungen (z. B. bei der Atmung) und wird zu 98 % mit dem Luftwechsel nach außen abgeführt. Der Rest diffundiert sehr langsam z. B. durch die Wandkonstruktion. Ist dabei an einer Stelle der Sättigungspunkt für Wasserdampf in Luft überschritten, so entsteht Wasser und durchfeuchtet die Konstruktion. Beste Abhilfe ist ein außenliegender Wärmeschutz. Innendämmungen sind hier problematischer: eine Untersuchung der Verhältnisse nach der einschlägigen Norm /DIN 4108/ muß in jedem Fall empfohlen werden. Im Zweifel muß eine innen vor der Dämmung liegende Dampfbremse oder Dampfsperre angebracht werden, damit der in der Innenluft gelöste Wasserdampf gar nicht erst in die Konstruktion gelangen kann. Wenn als raumseitige Verkleidung einer sorgfältig verlegten und an den Rändern sauber angeschlossenen Dampfsperre eine ca. 1 cm starke Gipsfaser- oder Gipskartonplatte angebracht wird, liegen ausreichende Verhältnisse für eine kurzzeitige Wasserdampfpufferung vor. /Feist-Klien 1989/, /BUND 1989/.

2.1.5 Vermeidung von Bauschäden

Durch sachgerecht ausgeführte Wärmeschutzmaßnahmen lassen sich eine Reihe von Bauschäden nachhaltig vermeiden:

- Bei ausreichendem Wärmeschutz sind die Innenoberflächen von Bauteilen auch in Kälteperioden so warm, daß bei genügendem Grundluftwechsel eine Wasserdampfkondensation nicht befürchtet werden muß. Erfahrungen zeigen, daß nachträgliche Wärmeschutzmaßnahmen bei Feuchteproblemen Abhilfe leisten.

- Die thermischen Belastungen in der Konstruktion vermindern sich durch die Vergleichmäßigung des Temperaturverlaufs.

- Eine sorgfältig angebrachte dämmende Hülle erfüllt gleichzeitig zusätzliche Schutzfunktionen (z. B. gegen sauren Regen, Sauerstoff u.a.).

Uneingeschränkt gilt das für außenliegende Dämmschichten. Innendämmungen können, wenn sie sorgfältig und unter Beachtung der in 2.1.2 bis 2.1.4 genannten Gesichtspunkten angebracht werden, die Anfälligkeit für feuchtebedingte Bauschäden ebenfalls verringern. Bei unsachgemäßer Ausführung besteht bei Innendämmungen aber durchaus die Gefahr zusätzlicher Bauschäden. Von daher ist es gerade bei der einfach erscheinenden Innendämmung ratsam, kompetente Fachleute und Fachbetriebe zuzuziehen.

Die Vermeidung von Bauschäden und der dauerhafte Erhalt der Bausubstanz ist ein wichtiger Grund für die Ausführung von Wärmeschutzmaßnahmen über die Energieeinsparung und Umweltentlastung hinaus.

2.1.6 Verbesserung der Behaglichkeit

Durch Verbesserung des Wärmeschutzes steigt die Oberflächentemperatur der raumumschließenden Flächen. Hiermit nimmt der Wärmeentzug des menschlichen Körpers durch Strahlung ab, es entsteht ein gleichmäßiges Strahlungsklima. Dies wirkt sich vorteilhaft auf Wohlbefinden und Wohngesundheit aus. Insbesondere aus diesem Grund werden in Schweden deutlich höhere Anforderungen an den Wärmeschutz gestellt als nach der deutschen Wärmeschutzverordnung /Schwed 1989/.

2.1.7 Innenluftqualität und Wohngesundheit

Entgegen häufig geäußerter Befürchtung beeinflußt die Wärmedämmung von Außenbauteilen die Qualität der Innenluft nicht: die Befürchtungen hängen mit der falschen Vorstellung zusammen, Wärmedämmung sei eine "Abdichtung" gegen den Luftaustausch. Selbstverständlich sollen Wand-, Dach- und Bodenkonstruktionen aus vielen Gründen auch genügend winddicht ausgeführt werden (vgl. 2.1.3) wie dies für eine geputzte Mauersteinwand beispielsweise schon traditionell erfüllt ist.

Die Wärmedämmung hat die unabhängige und zusätzliche Aufgabe den Wärmedurchgang durch Wärmeleitung zu verringern - dadurch jedoch wird die Konstruktion weder dichter noch undichter gegen Stoffdurchgang.
Eine ausreichende Abfuhr von Gerüchen, Schadstoffen und anderen Belastungen der Raumluft muß in der Tat gewährleistet sein. Diese Funktion hat eine hygienisch einwandfreie Gebäudelüftung (vgl. Abschnitt 2.2), durch den Wärmeschutz der Außenbauteile wird dieser Vorgang überhaupt nicht beeinflußt.
Dies gilt auch für die radioaktive Belastung durch das Gas Radon, welches aus dem Boden und aus mineralischen Baustoffen in die Wohnungen gelangt. Wärmeschutzmaßnahmen führen zu keiner Erhöhung der Radonbelastung, im Gegenteil, sie können mit Maßnahmen zur Reduktion der Radonkonzentration verbunden werden /Feist-Klien 1989/, /Brennan 1986/.

Die gesundheitliche Bewertung von Baustoffen nimmt heute einen hohen Rang ein. Grundsätzlich ist es richtig, Schadstoffabgaben an der Quelle so weit wie möglich zu reduzieren. In bezug auf Wärmedämmstoffe können folgende zusammenfassende Aussagen gemacht werden /Fischer 1986/:

- Stäube aus Mineralfaserdämmstoffen sind nach umfassender Auswertung vorliegender Untersuchungen nicht im Verdacht, beim Menschen Krebs auszulösen. In geringen Mengen abgegebene Stäube belasten die Umwelt nicht: im Netto wird die Umweltbelastung durch die erreichte Energieeinsparung reduziert,

- Formaldehydhaltige Schäume sollten im Wohnbereich nicht eingesetzt werden.

- Aus Styropor in geringsten Mengen austretendes monomeres Styrol liegt bereits kurz nach der Anbringung von Dämmplatten deutlich unter einem Tausendstel der gültigen MAK-Werte und ist daher selbst unter ungünstigsten Bedingungen ohne gesundheitsrelevante Nachteile.

- Für Schaumglas, Kokosfaserdämmstoff, Holzfaserplatten, Blähperlite und Zellulosedämmstoff gibt es bisher keinerlei Hinweis auf gesundheitlich bedenkliche Eigenschaften oder Inhaltsstoffe.

2.1.8 Wärmeschutz und Schallschutz

Wärmeschutzmaßnahmen können den Schallschutz verschlechtern, aber auch verbessern. Dies hängt entscheidend von den gewählten baukonstruktiven Details ab /Ehm 1986/, /Handbuch 1983/, /Lochner 1979/, /Rückward 1986/. Fest angebrachte, elastische Dämmstoffe verschlechtern meist den Schallschutz. Werden Schallbrücken vermieden, unelastische Dämmstoffe verwendet und die Masse der Verkleidung hoch gewählt, so kann auch bei innenliegenden Dämmungen der Schallschutz verbessert werden.

2.1.9 Wirtschaftlichkeit

Bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Wärmeschutzmaßnahmen sind eine Reihe von Gesichtspunkten zu beachten:

- Einer Energiesparmaßnahme dürfen nur die Kosten zugerechnet werden, die nicht aus anderen Gründen ohnehin entstanden wären.
- Bei baulichen Maßnahmen zur Erhaltung, Pflege und Erneuerung sollte grundsätzlich überlegt werden, ob nicht Wärmeschutzmaßnahmen zu nur geringen Mehrkosten gleich mit ausgeführt werden können /Zapke 1981/.
- Gebäude und Bauteile sind sehr langlebige Güter. Die Amortisationszeit ist daher kein geeigneter Maßstab für die Beurteilung von baulichen Energiesparmaßnahmen. Vielmehr müssen die finanzmathematisch über die Nutzungsdauer der Investition einschließlich Zins kumulierten Gesamtkosten betrachtet werden /Feist 1983/. Dieser Ansatz läßt sich anschaulich unmittelbar in (reale) Kosten pro eingesparter Kilowattstunde Endenergie umrechnen.
- Innerhalb der für die Nutzung von Gebäuden relevanten Zeiträume wird Energie sicher wieder deutlich teurer werden. Investitionen sollten sich daher nicht an den (zufälligen) Tagespreisen (z. B. für Heizöl) orientieren. In dieser Arbeit wird als Grundlage das vorgegebene Preisszenario der Enquete-Kommission verwendet.

Bei einem Wärmeschutzverbundsystem aus Styropor zur Außendämmung von Außenwänden z. B. zeigt die Gesamtkostenkurve (Zins und Tilgung für die

nachträglich durchgeführte Dämmaßnahme minus der jährlichen eingesparten Energiekosten) einen zwischen 9 und 17 cm sehr flachen Verlauf mit einem kaum ausgeprägten Optimum bei 12,6 cm. Diese Dämmstoffdicke wäre somit wirtschaftlich optimal /Feist 1986/. Bei energiewirtschaftlicher und umweltorientierter Betrachtung sollten die Dämmstärken eher höher gewählt werden. Auch im Sanierungsfall gibt es kaum baukonstruktive Einschränkungen, die geringere Dämmstoffstärken erforderlich machen würden (eine Ausnahme ist die Kerndämmung bei vorgegebenen Luftzwischenraum). Abstriche werden aber u. U. aus gestalterischen Gründen oder wegen der Verringerung von Nutzflächen (z. B. bei Innendämmung) erforderlich. Dämmstoffstärken unter 12 cm sind jedoch weder aus der Sicht der Energieeinsparung und Umweltentlastung vertretbar noch wirtschaftlich sinnvoll.

Detaillierte Kostenrechnungen zu den in dieser Arbeit empfohlener Dämmaßnahmen werden an entsprechender Stelle folgen.

2.2 Der Einfluß der Lüftung

Für Gesundheit und Wohlbefinden ist gute Raumluftqualität Voraussetzung. Jüngste Untersuchungen haben gezeigt, daß die aus hygienischen Gründen erforderliche Lufterneuerung heute in vielen Fällen nicht gegeben ist. Die Lüftung muß sich am Bedarf orientieren und nicht an falsch verstandenen Energiesparzielen.
Eine ausreichende Innenluftqualität kann nur durch Austausch der verbrauchten Innenluft durch (im allgemeinen heute noch) weniger belastete Außenluft erfolgen. Die Höhe der erforderlichen Frischluftzufuhr richtet sich dabei vor allem nach der Schadstoffbelastung der Innenluft an

- Kohlendioxid (CO_2), dessen Konzentration 0,10 %, die sg. "Pettenkofergrenze" nicht überschreiten sollte,
- Gerüche, die störend empfunden werden und meist im selben Verhältnis ansteigen wie der CO_2-Gehalt,
- Wasserdampf, der von Sanitäreinrichtungen, Kochstellen, Zimmerpflanzen und dem Menschen selbst abgegeben wird und zur Vermeidung von Kondensation an Bauteilen und Möbeln abgeführt werden muß. Seine Konzentration im

Raum sollte zwischen 35 und 60 % liegen, (bei unzureichendem Wärmeschutz der Hüllflächen geringer),

- Radon, welches als radioaktives Gas mit ebenfalls strahlenden Tochterkernen die höchste Strahlenbelastung der Menschen darstellt. Quelle ist besonders das Erdreich unter einem Gebäude, so daß durch Abdichtmaßnahmen an der Sohle oder der Kellerdecke die Belastung häufig stark reduziert werden kann,
- Kohlenmonoxid, das bei unvollständiger Verbrennung in Feuerstellen in der Wohnung und beim Rauchen entstehen kann,
- Stickoxide, die ebenfalls aus Feuerstellen, aber auch aus angrenzenden Garagen oder verkehrsreichen Straßen stammen kann,
- organische Verbindungen, die aus Reinigungsmitteln, Desinfektionsmitteln, Lösungsmitteln, Farbstoffen, Baustoffen, Fußbodenbelägen, Möbeln und Tabakrauch stammen. Besonders Formaldehyd und Holzschutzmittel sind als gesundheitsgefährdende Stoffe publik geworden. Entscheidend ist bei diesen (wie anderen Innenluftbelastungen) die Reduzierung der Schadstoffabgabe an der Quelle;
- Hausstaub, welcher als eine der Hauptursachen für allergische Erkrankungen wie Asthma angesehen wird /Lethi 1984/,
- Bakterien, Viren und Pilzsporen, die insbesondere bei zu hohen Feuchtigkeiten gut gedeihen.

Der hygienisch erforderliche Frischluftbedarf sollte sich unter normalen Umständen nur nach den unvermeidbaren Quellen von Verunreinigungen richten, welche durch der Menschen selbst versursacht werden /Gezondheidsraad 1984/. Die Schadstoffabgabe muß an den Quellen verringert werden.

Schon Max von Pettenkofer legte den grundlegenden Ansatz dar, der sich auf die Kohlendioxidproduktion und Körpergeruch bezog. Für einen maximalen CO_2-Gehalt der Innenluft von 0,10 % ist eine Mindestfrischluftzufuhr von etwa 25 m^3 pro Person und Stunde erforderlich. Mit dieser in Deutschland verwendeten Grenze liegt man auf der sicheren Seite im internationalen Vergleich. Bei den heute in Deutschland üblichen Raumbelegungen ergibt sich daraus eine stündliche Lufterneuerungsrate von 0,3 bis 0,6 1/h. Wie läßt sich dieser Frischluftbedarf hygienisch zufriedenstellend und energiesparend erreichen? - Hierzu die folgenden zusammenfassenden Ausführungen.

2.2.1 Die Unzulänglichkeit der freien Fugenlüftung

Durch Wind und Temperaturauftrieb verursachte freie Lüftung durch Undichtigkeiten in der baukonstruktiven Hülle (z. B. Fugen in der Wand, zwischen Dachsparren und Wärmedämmung, um die Fensterlaibung u.a.) ist für die betroffene Konstruktion gefährlich: es kann zu Feuchteausfall und damit schweren Bauschäden kommen. Der Beitrag der freien Lüftung zu einem hygienischen Luftwechsel ist zweifelhaft: je nach Witterung und Windanfall ergeben sich ständig ändernde Lüftungsverhältnisse. Der Luftwechsel ist dann bei windstillem Wetter zu gering, um eine ausreichende Luftqualität zu ergeben, bei stürmischem Wetter aber so hoch, daß bereits unangenehme Zugerscheinungen auftreten. Trotz erhöhtem Luftwechsel bei starkem Wind kann es noch Räume geben, die nur unzureichend mit Frischluft versorgt sind.

Um Bauschäden zu vermeiden und einen wirklich an den Bedarf angepaßten Luftwechsel zu ermöglichen, muß die Gebäudehülle einschließlich Fenster so dicht wie möglich sein und keine unkontrollierten Fugen aufweisen.

2.2.2 Stoßlüftung

Bei der Stoßlüftung muß der Nutzer selbst die Verantwortung für die regelmäßige Erneuerung der Raumluft übernehmen. Dies geschieht durch Öffnen der Fenster für kurze Zeitintervalle (z. B. 15 min. alle 2 Stunden). Tabellen über die Luftwechselraten bei gekippten, halb, ganz oder auf Durchzug geöffnete Fenstern weisen eine große Schwankungsbreite auf. Eine exakte "Einstellung" der Lüftung auf den Bedarf ist mit dieser Methode nicht erreichbar. Erfahrungen zeigen, daß die bewußte Lüftung häufig zu gering ist, vor allem, wenn die Bewohner über längere Zeit tagsüber außerhalb der Wohnung sind.
Soll eine hygienisch einwandfreie Luftqualität erreicht werden, so muß bei Anwendung der Stoßlüftung wegen der schlechten Regelbarkeit meistens ein höherer Luftwechsel in Kauf genommen werden, als er hygienisch erforderlich wäre. Wir haben in dieser Arbeit für den künftigen Luftwechsel in Wohnräumen ohne Lüftungsanlage daher minimal den Wert 0,6 1/h angesetzt, auch wenn dieser Wert in einigen Fällen über dem heute anzutreffenden Luftwechsel liegen sollte.

2.2.3 Bedarfslüftung mit maschineller Abluft

Eine gute Lösung zur Sicherstellung einer hygienisch einwandfreien Raumluftqualität unabhängig von der Witterung und vom Verhalten der Nutzer ist die Bedarfslüftung. Die einfachste Form besteht darin, daß den Räumen Frischluft wie gewohnt als Außenluft über verstellbare Zuluftöffnungen z. B. über den Fenstern zugeführt wird, die verbrauchte Luft jedoch zentral aus den Räumen mit der höchsten Luftbelastung (Küche, Bad und WC) durch einen Abluftventilator abgesaugt wird. Ein solches Abluftsystem hat folgende Vorteile:

- Auch bei ungünstigen Wind- und Auftriebsverhältnissen ist immer eine ausreichende Frischluftversorgung aller Räume gewährleistet.
- Die Luftmenge ist von zufälligen Schwankungen (z. B. des Windes) unabhängig.
- Die Luftmenge läßt sich raumweise und insgesamt auf den jeweiligen Bedarf einstellen.
- Durch die bedarfsgerechte Einstellung läßt sich eine hohe Raumluftqualität trotz vertretbar geringer Energieverluste erreichen.
- Der Stromverbrauch des Abluftventilators ist nur extrem gering (für eine Wohnung 15 bis 30 Watt).
- Durch den Unterdruck in den Räumen mit der größten Luftbelastung werden Verunreinigungen nahe an der Quelle abgesaugt. Verbleibende Undichtheiten in der Konstruktion werden nur von außen nach innen durchströmt: damit kann eine schädliche Kondensation von feuchter Innenluft in Wand- und Dachaufbauten angeschlossen werden.
- Das System ist relativ kostengünstig (etwa 3000 DM pro Wohneinheit).

Als Nachteil bleibt, daß die in der verbrauchten und abgeführten Fortluft enthaltene Energie ungenutzt an die Umwelt abgeführt wird.

Bei richtiger Dimensionierung und Nutzung erlaubt dieser einfache Typ der Bedarfslüftung, die Lüftungswärmeverluste angepaßt an den hygienisch erforderlichen Frischluftbedarf gering zu halten und heute an vielen Orten bestehende Probleme mit unzureichender Lüftung zu beseitigen.

2.2.4 Wärmerückgewinnung mit Luft/Luft-Wärmetauscher

Die verbrauchte Innenluft wird durch Abluftdüsen (meist in Küche, Bad, WC) angesaugt und zum Wärmetauscher geführt. Sie wird als Fortluft nach Wärmeabgabe an die von außen angesaugte Frischluft über Dach abgeführt. Die frische Außenluft wird erwärmt aus dem Wärmetauscher den Räumen über Zuluftventile zugeführt.

Die Einstellung des Strömungsgleichgewichtes bei den Anlagen ist nicht immer einfach, wie amerikanische und schwedische Erfahrungen zeigen. Eine unabdingbare Voraussetzung für solche Anlagen ist eine wirklich sehr dichte Außenhülle des Gebäudes. Die Wärmerückgewinnung beträgt bei gut eingestellten Anlagen im Durchschnitt der Heizzeit mehr als 50 %, Werte um 75 % sind erreichbar.

In /Feist-Klien 1989/ wird gezeigt, daß die netto mit solchen Anlagen erreichbare Primärenergieeinsparung nur dann interessant ist, wenn die Wärmerückzahl hoch und der Stromverbrauch für den Betrieb der Lüfter sehr gering gehalten werden kann. Dort wird auch dargestellt, daß sich heute marktdurchschnittliche Anlagen durch die erzielte Energiekosteneinsparung allein nicht amortisieren. Die durch eine Wärmerückgewinnungsanlage entstehenden Mehrkosten gegenüber reinem Abluftsystem müssen daher in Beziehung zur verbesserten Behaglichkeit und zur erhöhten Raumluftqualität gesehen werden.

2.3 Der Einfluß von Wärmeverlusten und passiv solaren Energiegewinnen durch Fenster

Transparente Bauteile der Gebäudehülle (Fenster) weisen sowohl erhöhte Wärmeverluste infolge eines höheren Wärmedurchgangs, als auch Wärmegewinne durch passiv genutzte Sonneneinstrahlung auf. Die Energiebilanz für Fenster ist aus einer Reihe von Gründen nicht nur vom Fenster selbst, sondern auch von der Lage seines Einbaus, der Größe und Art des Raumes und der Beschaffenheit der anderend Hüllflächen abhängig. Eine verläßliche Bestimmung der passiv nutzbaren Sonnenenergie ist daher nur fallweise durch Energiebilanzen unter Einbeziehung von Orientierung, Verschattung, Dämmstandard der übrigen Hüllflächen, Gebäudemasse und Regelfähigkeit der Heizanlage möglich /Feist-Klien 1989/.

In der hier vorliegenden Arbeit werden sowohl die Wärmeverluste der Fenster als auch die solaren Wärmegewinne mit Hilfe des Wärmebilanzprogramms STATBIL für die jeweiligen Objekte bestimmt. Hierdurch ist eine Aussage für die jeweils objektweise optimale Gestaltung von Fenstertyp und Fenstergröße möglich. Um jedoch zu einer vorläufigen allgemeinen Aussage über die zu erwartenden Effekte zu kommen, sollen hier die Ergebnisse für einen in /Feist-Klien 1989/ dargestellten Idealfall kurz zitiert werden:

Für ein großes Einfamilienhaus wurde die Größe der verschattungsfrei streng nach Süden ausgerichteten Fensterflächen rechnerisch variiert.

- Bei Verwendung von gewöhnlicher Zweischeibenisolierverglasung sinkt dabei der resultierende Nettoheizwärmeverbrauch zunächst geringfügig ab, wenn der Fensterflächenanteil von 0 auf 50 % ansteigt. Darüber steigt der Verbrauch wieder an, wenn von (empfehlenswerten) k-Werten der Wand von 0,3 W/(m^2K) ausgegangen wird.
- Die Vergrößerung der Südfensterfläche mit gewöhnlicher Isolierverglasung kann vor diesem Hintergrund selbst bei idealen verschattungsfreien Verhältnissen nicht als Energiesparmaßname angesehen werden.
- Bei Verwendung von Wärmeschutzverglasung (das sind Zweischeiben-Isoliergläser mit einer infrarotreflektierenden Beschichtung auf der inneren Scheibe und Argonfüllung, welche einen k-Wert von etwa 1,5 W/(m^2K) aufweisen) sinkt der Verbrauch mit zunehmendem Südfensterflächenanteil zunächst bis zu einem Anteil von 65 % um 17 % ab, um darüber hinaus in etwa konstant zu bleiben.

Wird unter Umweltgesichtspunkten eine optimale Energieeinsparung gewünscht, so ist im Bestand zunächst ein Wärmeschutz von Wand und Dach auf Wärmedurchgangswerte unter 0,3 W/(m^2K) erstrebenswert. Sodann ergibt sich für alle Orientierungen und bei allen Verschattungsverhältnissen eine deutliche Energieeinsparung durch Verwendung von Wärmeschutzverglasung (gegenüber gewöhnlicher Zweischeibenisolierverglasung).
Der Einfluß des Verglasungsanteils auf der Südseite ist unter diesen Umständen jedoch nur gering, der Fensterflächenanteil kann also nach anderen Kriterien als

der Energieeinsparung bestimmt werden. Wegen des relativ hohen baulichen Aufwandes bei der Änderung von Fensterflächen im Gebäudebestand wird man daher in den meisten Fällen bei den vorgefundenen Abmessungen der Fenster bleiben. Aus energietechnischer Sicht gibt es keine Einwände gegen ein solches Vorgehen.
Die Ausrichtung von Fensterflächen zur Sonne läßt sich im Bestand in der Regel nicht ändern, eine ausführliche Diskussion erübrigt sich daher an dieser Stelle. Wenn es um Fenstererweiterungen in bestehenden Gebäuden geht, so ist aus energietechnischer Sicht südorientierten Flächen ($< 20^{o}$) ein klarer Vorzug zu geben.

Eine Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von wärmetechnisch verbesserten Fenstern ergibt sich in der Regel nur dann, wenn neue Fenster aus anderen Gründen ohnehin eingebaut werden müssen. Da dies jedoch nach den üblichen Erneuerungsraten im hier relevanten Zeitraum erfolgen wird, ist ein Wirtschaftlichkeitsvergleich gegenüber dem Einsatz von gewöhnlichem Zweischeibenisolierglas möglich. Dies wird in den in dieser Arbeit durchgeführten Gutachten bei den einzelnen Objekten für den Einsatz einer Wärmeschutzverglasung diskutiert.

Eine Veränderung der Fensterflächen wird im allgemeinen jedoch nicht kalkuliert, da diese im Bestand aufwendig und kostenintensiv ist und daher als Energiesparmaßnahme nicht in Betracht kommt. Wird in Einzelfällen aus anderen als energietechnischen Gründen die Fensterfläche verändert, so werden die daraus resultierenden Einflüsse auf den Heizwärmeverbrauch relativ gering sein, solange (wie empfohlen) Wärmeschutzverglasungen eingesetzt werden.

2.4 Der Einfluß der Gebäudemasse

Entgegen vielfach aufgestellten Behauptungen hat die Energiespeicherung in einer Gebäudemasse mit Energieeinsparung nichts zu tun. Speicher sind allein in der Lage, Energie von einem Zeitpunkt zum anderen zu verlagern: dadurch kann der Energieeinsatz verringert (z. B. wenn Sonnenenergie vom Tag in die Nacht verlagert wird), aber auch erhöht werden (wenn ein Gebäude trotz Nachtabsenkung infolge hoher Speicherwirkung auch nachts viel Wärme verliert).

Eine Reihe von Untersuchungen /Feist-Klien 1989/, /Feist-Adamson 1988/, /Feist 1985/ haben gezeigt, daß in unserem Klima der Einfluß der Wärmespeicherfähigkeit auf den jährlichen Heizwärmeverbrauch eines Gebäudes nur sehr gering ist. Im allgemeinen steigt der Verbrauch bei Erhöhung der Speichermassen geringfügig an, weil die Wirksamkeit der Nachtabsenkung verringert wird. Dagegen wird die Behaglichkeit im Sommer durch hohe innere Speichermassen in Verbindung mit Nachtlüftung erhöht.
Vor diesem Hintergrund sind Maßnahmen zur Veränderung der Speichermasse eines bestehenden Gebäudes nicht als Energiesparmaßnahme anzusehen. Auch die Behaglichkeit im Sommer wird durch Maßnahmen zur erhöhten Lüftung und Verschattung von Fenstern wirksamer und kostengünstiger erreicht.
In der vorliegenden Untersuchung werden daher Veränderungen an der Gebäudemasse der Haustypen nicht diskutiert.

2.5 Zusätzliche Maßnahmen zur passiven Nutzung von Sonnenenergie

Systeme zur passiven Nutzung von Sonnenenergie können bestehen in

- verglasten Vorbauten,
  also Wintergärten, Solargewächshäusern, verglasten Balkons o.ä. Die in solche Vorbauten gesteckten Erwartungen sind nach den Erfahrungen der letzten Jahre nur begrenzt in Erfüllung gegangen. Auf keinen Fall können sie Maßnahmen zum verbesserten Wärmeschutz, zur hygienisch erforderlichen Raumlüftung oder den Einsatz verbesserter Wärmeschutzfenster ersetzen - sie können diese nur ergänzen und dann bei richtiger Ausführung und energiebewußter Nutzung zu einer gewissen zusätzlichen Energieeinsparung führen. Selbst in sehr günstigen Fällen ist die Investition in solche Anbauten unter dem Gesichtspunkt der Energieeinsparung allein jedoch nicht wirtschaftlich. Die Glasvorbauten sind daher vor allem als architektorisch interessante Ergänzungen zur Erhöhung des Wohnwertes bei umfassenden Sanierungen im Bereich des Gebäudebestandes anzusehen. Auf eine Diskussion als reine Energiesparmaßnahme kann in dieser Arbeit verzichtet werden.

- durchscheinenden (transluzenten) Dämmschichten /Götzberger 1985/,
  die als Außendämmung auf Wände oder Dächer aufgebracht werden und die Sonnenstrahlung zur absorbierenden Oberfläche durchlassen, aber den Wärmeverlust der aufgeheizten Wand nach außen wirksam verhindern. Bei günstigen Verhältnissen kann die Energiebilanz einer solchen "Sonnenwand" in der gesamten Heizzeit positiv werden. Probleme ergeben sich vor allem für den sommerlichen Hitzeschutz. Im Altbaubestand wird die Anwendbarkeit durch eine Reihe von Umständen stark eingeschränkt;
  - der Anteil der geeigneten, vernünftig zur Sonne orientierten und wenig verschatteten Flächen ist nicht sehr hoch,
  - der Einsatz einer transluzenten Dämmung führt in jedem Fall zu einer starken Veränderung des äußeren Erscheinungsbildes einer Fassade (traditionelle Wärmeschutzmaßnahmen sind mit beliebig gestalteten Außenoberflächen möglich),
  - die Kosten der Systeme sind derzeit noch sehr hoch.

  In dieser Untersuchung werden transluzente Wärmedämmsysteme daher zunächst nicht einbezogen. Sollten solche Systeme in Zukunft in breiterem Maß verfügbar werden, so bieten sie eine Alternative zu den hier behandelten traditionellen Dämmverfahren mit mindestens vergleichbarer Energieeinsparung.

- Solare Hybridsysteme,
  die passive Solarenergienutzung mit aktiven Elementen wie Hilfspumpen und Hilfsventilatoren ergänzen. Es gibt vielfältige Varianten solcher Systeme, welche sich in unserem Klima aber erst in der Erprobung befinden:
  - Luftkollektoren zur Vorwärmung von Frischluft oder Erwärmung von Umluft mit Schwerkraftantrieb oder Ventilator,
  - Wärmerohr-Fassadenkollektoren, die nach dem Prinzip der thermischen Diode arbeiten,
  - Fassadenkollektoren in Verbindung mit Wärmespeicherung in Innenbauteilen in einem Gebäude,
  - entlüftete Glasvorbauten oder Glashüllen um ein Gebäude.

  Die genannten Systeme lassen sich insbesondere auch mit transluzenter Wärmedämmung als Abdeckung konzipieren. Hierdurch ergeben sich zahlreiche

Perspektiven für eine Unterstützung der Heizung durch Sonnenenergie, von denen einige in Zukunft durchaus die Schwelle zur Wirtschaftlichkeit überschreiten könnten.

Voraussetzung für den effizienten Betrieb solcher solarer Hybridsysteme ist jedoch ein bereits sehr stark im Wärmeverbrauch reduziertes Gebäude, da die Energiebeiträge sonst viel zu bescheiden sind. Die in dieser Arbeit vor allem behandelter Maßnahmen zur Verringerung der Wärmeverluste durch Transmission und Lüftung sind also zunächst notwendig, um den solaren Systemen in Zukunft eine Chance zum breiteren Einsatz und damit zur weiteren Energieeinsparung zu ermöglichen.

2.6 Der Einfluß von internen Wärmequellen

Abwärmequellen von Personen und Geräten in Wohnungen verringern den jährlichen Heizenergieverbrauch. In /Feist-Adamson 1988/ wurde die Nutzbarkeit ganzjährig ungeregelt im Innenraum freigesetzter Wärme für verschiedene Baustandards zu 48 % bis 67 % bestimmt. Dabei ist einsehbar, daß mit zunehmender Höhe der internen Wärme deren Nutzbarkeit abnimmt.
Entgegen der häufig verwendeten suggestiven Wortschöpfungen "freie Wärme" oder "Gratiswärme" ist die interne Abwärme keinesfalls kostenlos. Bei einer ganzjährigen Ausnutzung der internen Wärmequellen von rund 60 % kostet die indirekt aus Haushaltsstrom über Geräteabwärme erzeugte Heizenergie ca. 37 Pfennig pro Kilowattstunde, außerdem führt eine vermehrte Wärmefreisetzung zu ungünstigerem Innenklima im Sommer. Daher ist es sinnvoll, interne Abwärmequellen so klein wie möglich zu halten und besser mit kontrolliert zugeführter Wärme zu heizen (vgl. auch /Blomsterberg 1985/). Möglich ist dies insbesondere durch den Einsatz stromsparender Haushaltsgeräte (vgl. /Feist 1987/).
Für die vorliegende Studie bedeutet dies, daß für den zukünftigen Heizenergieverbrauch die relativ geringe Abwärme künftiger, wesentlich effizienterer Haushaltsgeräte angenommen wird. Daraus ergibt sich eine (geringfügige) Erhöhung des Heizenergieverbrauchs.

2.7 Der Einfluß unterschiedlicher Raumtemperaturen

Nach Untersuchungen in /Feist-Adamson 1988/ erhöht sich der jährliche Heizenergieverbrauch bei Erhöhung der Raumlufttemperatur um 1°C in einem Gebäude

entsprechend dem typischen Zustand des Gebäudebestandes in Deutschland	um 8 %
entsprechend der gültigen Wärmeschutzverordnung	um 9 %
entsprechend Dämmung nach dem schwedischen Standard SBN 1980	um 10 %

Der Verbrauch verändert sich dabei in guter Näherung linear mit der Temperaturdifferenz. Der Einfluß der Innentemperatur ist nach diesen Ergebnissen höher als häufig angenommen, der relative Einfluß steigt sogar bei einer wärmetechnischen Verbesserung der Bausubstanz. Selbstverständlich ist auch dieser Wert vom speziellen Gebäudetyp abhängig. Daher wird in dieser Arbeit für alle behandelten Gebäudeklassen die Änderung des Verbrauchs mit unterschiedlicher Innentemperatur angegeben.

2.8 Der Einfluß der Nachtabsenkung

Während in einem Gebäude mit schlechter Wärmedämmung (entsprechend dem IST-Zustand im durchschnittlichen Bestand) durch Nachtabsenkung (15°C Solltemperatur statt 20°C tagsüber) im Durchschnitt etwa 11 % Heizenergieeinsparung erzielt werden können, sind dies in einem sanierten, gut gedämmten Haus nur noch ungefähr 7 %. Die Bedeutung der Nachtabsenkung nimmt also mit verbessertem Dämmstandard (und auch mit Erhöhung der Gebäudemasse) ab.

Im allgemeinen bieten moderne Heizanlagen die Möglichkeit zur Nachtabsenkung. Diese sollte auch nach baulichen Energiesparmaßnahmen beibehalten bleiben - da die Gefahr einer zu starken Auskühlung der Wohnungen durch guten Wärmeschutz nicht mehr gegeben ist, kann häufig eine vollständige Nachtabschaltung der Heizanlage betrieben werden, wodurch sich die Einsparung noch um die vermiedenen Betriebsbereitschaftsverluste der Heizung erhöht.

Sollen in kalten Witterungsperioden zu lange Aufheizzeiten am Morgen vermieden werden, so empfiehlt sich die Inbetriebnahme der Anlage bereits 1/2 oder 1 Stunde vor dem morgendlichen Aufstehen.

2.9 Der Einfluß des Heizsystems

Für die hier vorliegende Arbeit sind folgende Punkte von Bedeutung:

- Die Anforderungen an die Regelfähigkeit der Heizanlage werden umso größer, je höher der Anteil der Sonneneinstrahlung und der inneren Wärmequellen am Heizleistungsbedarf ist, da diese Gratiswärmen zeitlich sehr stark schwanken. Aus diesem Grund muß ein auf die Energieeinsparung abgestimmtes Heizsystem die Wärmeabgabe sehr rasch drosseln und raumweise völlig ausschalten können.
- Dies setzt flinke Systeme zur Wärmeabgabe (wie Konvektoren, kleine Radiatoren oder Raumluftheizung), raumweise Thermostatventile und eine gute Regelung voraus.
- Die Bereitstellung von Wärme erfolgt in einem Wärmeerzeugunger unter Aufwand von Energie. Entscheidend für die Umweltverträglichkeit eines Heizsystems ist der gesamte Primärenergieaufwand, der zur Bereitstellung von einer Kilowattstunde Nutzwärme gebraucht wird und der gesamte Ausstoß an Umweltgiften (insbesondere Stickoxide, Schwefeldioxid und Kohlendioxid) entlang der Versorgungskette.
- Für einen modernen, energiesparenden Wärmeerzeuger ist insbesondere ein möglichst kleiner Betriebsbereitschaftsverlust wichtig. Die meisten heute am Markt umgesetzten Niedertemperatur Öl- und Gasspezialkessel haben geringe Betriebsbereitschaftsverluste unter 1,5 %.

Gegenstand dieser Arbeit ist die Energieeinsparung durch bauliche Maßnahmen, die Heizungstechnik wird in der oben zitierten gesonderten Untersuchung dargestellt. Um Aussagen über die End- und Primärenergieeinsparung sowie über die Umweltentlastung der dargestellten Maßnahmen treffen zu können, müssen Annahmen bzgl. der verwendeten Heizsysteme getroffen werden.

Wir haben uns daher von folgenden Überlegungen leiten lassen: Im hier zugrundeliegenden Betrachtungszeitraum (bis zum Jahr 2050) werden mit Sicherheit alle heute vorhandenen Heizsysteme unabhängig von den politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen durch neue ersetzt sein. Dabei werden die Gebäude die

überwiegende Zeit mit dem neuen Heizsystem versorgt. Neue Wärmeerzeuger können dabei in jedem Fall als künftig bzgl. der Energie- und Umwelteffizienz nahe bei den heute am Markt angebotenen besten Anlagen angesehen werden. Aufgrund des Erneuerungszyklus der Heizanlagen laufen die Ersatzprozesse hier selbstständig ab und können durch staatliche Maßnahmen allenfalls beschleunigt werden.

Für die Angabe der End- und Primärenergieeinsparung sowie der Umweltentlastung durch die hier diskutierten baulichen Maßnahmen wird daher von einem zentral geregelten, modernen Wärmeerzeuger entsprechend den marktbesten angebotenen Systemen ausgegangen. Selbstverständlich wird eine Ausrüstung mit Thermostatventilen angenommen. Dadurch sind die hier ermittelten Energie- und Kosteneinsparungen und auch die Umweltentlastung geringer, als wenn mit den weniger effizienten alten Heizanlagen gerechnet würde. Letzteres wäre jedoch vor dem Hintergrund des langen Betrachtungszeitraumes unzulässig.

2.10 Der Einfluß der Gebäudenutzer

Die Nutzer eines Gebäudes haben entscheidenden Einfluß auf den Heizenergieverbrauch. Breit angelegte Felduntersuchungen haben gezeigt, daß auch in baugleichen und technisch gleich ausgestatteten Gebäuden der Heizwärmeverbrauch unterschiedlicher Nutzer um einen Faktor 2 schwanken kann (/Wick 1981/, /Lundström 1986/, /Lange 1985/, /ARENHA 1986/, /Lundgren 1989/). Die Mittelwerte des Verbrauchs über eine hinreichend große Gesamtheit stimmen jedoch gut mit den baulichen und haustechnischen Standards überein.

Die Untersuchung von Lundgren (1989) hat gezeigt, daß sich die auftretenden Verbrauchsunterschiede unterschiedlichen Verhaltensmustern zuordnen lassen. 98 % der auftretenden Varianz läßt sich durch

- Differenzen der Raumtemperaturen und
- unterschiedliches Lüftungsverhalten

erklären. Damit kann das Nutzerverhalten klar auf die dadurch veränderten physikalischen Randbedingungen (vgl. 2.2 und 2.7) zurückgeführt werden.

Aus diesen Erkenntnissen ergeben sich einige für die vorliegende Arbeit wichtige Grundsätze:

- Verbrauchswerte für einzelne Wohnungen sind ohne genaue Kenntnis der Verhaltensmuster der betreffenden Bewohner nicht unbedingt typisch für eine

bestimmte Bauweise oder technische Ausstattung. Erst Verbrauchsmittelwerte einer Gesamtheit von mindestens ca. 20 baugleichen Wohneinheiten lassen das Nutzerverhalten einigermaßen eliminieren. Für einzelne Objekte ist daher stets eine Rückrechnung auf ein Standard-Nutzerverhalten erforderlich.

- Der größte Nutzereinfluß wird über die Raumtemperaturen vermittelt. Daher lassen sich mögliche nutzungsbedingte Energieeinsparpotentiale durch eine Absenkung der mittleren Raumtemperaturen abbilden. Dies wird in dieser Arbeit für die verschiedenen Gebäudetypen durchgeführt.

- Bauweise und haustechnische Anlagen sollten so ausgelegt sein, daß sie den Nutzern ein energiesparendes Verhalten erleichtern. Insbesondere sollten keine zeitraubenden Verhaltensregeln erforderlich sein, um gesunde, behagliche und energiesparende Bedingungen einzustellen. Die Abrechnung muß nach Verbrauch und in kurzen Zeitabschnitten erfolgen, damit der Zusammenhang zwischen Verbrauch und Kosten nachvollziehbar bleibt. Verhaltensbedingte Energiesparpotentiale vollständig ausschöpfen zu wollen ist eine Utopie und nicht unbedingt uneingeschränkt wünschenswert (Vision des "Kalorienstaates"). Bei technisch und baulich sehr gutem Standard ist der Spielraum, den ein Nutzer zur Erreichung niedriger Energieverbräuche bei hygienischer Raumlüftung und behaglichem Innenklima besitzt, sehr groß. Verbesserter wärmetechnischer Standard ist daher auch eine "Behaglichkeitsversicherung" für künftige Energiekrisen.

Literatur zu Kapitel 2

/ARENHA 1986/ Arbeitsgemeinschaft Energieberatung Hannover, Energiekonzept Nienberg/Weser; Band 9 der Reihe "örtliche und regionale Energieversorgungskonzepte; PBE Jülich 1986

/Blomsterberg 1985/ Arne Blomsterberg: Superinsulation and warm air heating in Sweden. National Testing Institute; Boras, Sweden 1985

/BUND 1989/ Bund Umwelt- und Naturschutz Deutschland: "Umweltfreundliches Bauen"; Stuttgart 1989

/Brennan 1986/ T. Brennan and Bill Turner: "Defeating Radon"; in solar age, March 1986, S. 33ff

/Carlsson 1980/ B. Carlsson, A. Elmroth, P.-A. Engvall: "Airtightness and thermal insulation" Bericht D37:1980 des Schwedischen Bauforschungsrates, Stockholm 1980

/DIN 4108/ Wärmeschutz im Hochbau; Deutsches Institut für Normung, Berlin 1981

/Ehm 1986/ H. Ehm: Zukunftsweisender Schall- und Wärmeschutz, Wksb20 / 1986

/Feist 1983/ Wolfgang Feist: Zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit bei wärmetechnischen Sanierungsmaßnahmen, Skriptum im Weiterbildenden Studiengang Energietechnik, Gesamthochschule Kassel 1983

/Feist 1985/ W. Feist: Ist Wärmespeichern wichtiger als Wärmedämmen? IWU, 1985

/Feist 1986/ Wolfgang Feist, Institut Wohnen und Umwelt Darmstadt: Primärenergie- und Emissionsbilanzen von Dämmstoffen, IWU, Darmstadt 1986

/Feist 1987/ W. Feist, Institut Wohnen und Umwelt GmbH: Stromsparpotentiale bei den privaten Haushalten in der Bundesrepublik Deutschland; in Sievert (Hrsg.): Zukünftiger Strombedarf-Bedeutung von Einsparmöglichkeiten; Verlag TÜV Rheinland, Köln 1987

/Feist-Adamson 1987/ W. Feist, B. Adamson: Kooperationsprojekt: Konstruktionsmerkmale von Niedrigenergiehäusern in der Bundesrepublik Deutschland. Parameterstudie, IWU, Darmstadt 1987

/Feist-Adamson 1988/ W. Feist, B. Adamson: Konstruktionsmerkmale von Niedrigenergiehäusern in der Bundesrepublik Deutschland. Zusammenfassung - Empfehlungen, IWU, Darmstadt 1988

/Feist-Klien 1989/ W. Feist, J. Klien: Das Niedrigenergiehaus Karlsruhe 1989

/Fingerling 1988/ Karl-Heinz Fingerling: Fachwerkschäden - Fachwerkerhaltung; Isofach, Kassel 1988

/Fischer 1986/ Manfred Fischer: "Gesundheitliche Gefahren von Baustoffen - Erfahrungen und Erkenntnisse"; DAB6/1986

/Gezondheidsraad 1984/ Gezondheidsraad: Advies inzake het Binnenhuisklimat, The Hague, January 1984

/Götzberger 1985/ A. Götzberger und J. Schmid: Review of Components for Passive Solar Energy Utilization; Int. J. Solar Energy, 1985

/Handbuch 1983/ (Schweizer) Bundesamt für Konjunkturfragen: Handbuch Planung und Projektierung wärmetechnischer Gebäudesanierungen; Bern 1983

/Hauser 1989/ Wärmebrückenkatalog, Gesamthochschule Kassel 1989

/HMWT 1989/ Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik: Energiesparinformation Nr. 5, Wiesbaden 1989

/Knublauch 1987/ Knublauch, Schäfer, Sidon: Über die Luftdurchlässigkeit geneigter Dächer; gi 108 (1987)

/Lange 1985/ E. Lange, Techn. Universität Lund: unveröffentl. Manuskript über die Messungen an 32 Niedrigenergiehäusern in Waldemarsro/Malmö; 1985 mit freundlicher Genehmigung des Autors

/Lethi 1984/ H. Lethi: Vacuum - Cleaner - Friend or Foe; in: Indoor Air 5, Swedish Council for Building Research, Stockholm 1984

/Lochner 1979/ D. Lochner: Wärme- und Schalldämmung im Innenausbau; Köln 1979

/Lundgren 1989/ Thomas Lundgren: Bostäder san brukarstyrda energisystem; Byggforskuningsradet, Stockholm, R7: 1989

/Lundström 1986/ E. Lundström: Occupant influence on energy consumption in single-family dwellings; Swedish Council for Building Research, Document D5: 1986

/Mainka 1986/ Mainka, Paschen: Wärmebrückenkatalog; Stuttgart 1986

/Rückward 1986/ W. Rückward: Luftschalldämmung, Trittschalldämmung; Bauphysik 8 (1986), Heft 2

/Schwed 1989/ Boverket: Nybyggnadsregler; BFS 1988: 8; Stockholm 1989

/SIA 99 - 1985/ Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, SIA 99: Wärmebrückenkatalog, Zürich 1985

/Wick 1981/ B. Wick: Sparobjekt Einfamilienhaus: Zürich 1981

/Zapke 1981/ W. Zapke: Wärmeschutz und Modernisierung bei Mehrfamilienhäusern, BBauBl. 1981, H.7

3. Gebäudetypologie im Bestand

3.1 Zur Datenlage des Wohnungsbestands

Der Versuch, einen Überblick über die den Raumwärmebedarf bestimmenden "energietechnischen Verhältnisse" der gegenwärtig im Bundesgebiet vorhandenen Wohngebäude zu erhalten, stößt auf eine Reihe von Schwierigkeiten.
Daten, die unmittelbare Rückschlüsse auf den Raumwärmebedarf der Wohngebäude erlauben, werden in der allgemeinen amtlichen Statistik nicht erhoben. Für kommunal oder regional begrenzte Studien zum Energieeinsparpotential mußten sie bisher stets gesondert ermittelt werden.

In der amtlichen Statistik werden Merkmale der Bauform und Baukonstruktion, die die wichtigsten Kennzeichen der "energietechnischen Verhältnisse" eines Gebäudes bilden, nicht oder nur sporadisch (für bestimmte Bestände und bestimmte Zeiträume) wiedergegeben. Die statistischen Angaben zur Baustruktur beschränken sich im wesentlichen auf das Verhältnis Wohnungen zu Gebäude (Wohngebäude mit 1, 2, 3, 4 etc. Wohnungen), auf die Baualtersklassen und auf die Ausstattungsstandards (Art der Beheizung, Sanitärausstattung der Wohnungen mit WC, Bad, Dusche).
Daraus folgt die Einteilung des Wohnungsbestandes in Ein- und Mehrfamilienhäuser: Wohngebäude mit ein und zwei Wohnungen sind Ein- und Zweifamilienhäuser (EFH bzw. EZFH), und Wohngebäude mit drei und mehr Wohnungen gelten als Mehrfamilienhäuser (MFH), obwohl auch Gebäude mit drei Wohnungen nach Bauform und Art der Nutzung häufig in reinen Einfamilienhausgebieten zu finden sind und dementsprechend zur "Einfamilienhausbebauung" gehören können. Das ist beispielsweise häufig der Fall bei großzügigen, ursprünglich von einer Familie bewohnten Wohngebäuden aus der Entstehungszeit bis 1918, wie sie in typischen "Villengebieten" zu finden sind. Andererseits zählen Einfamilienhäuser mit einer, meist kleinen Einliegerwohnung, die im Lauf der Zeit (nach der Zählung) gar nicht mehr vermietet sondern mit der ersten Wohnung zusammenhängend genutzt wird, zu Zweifamilienhäusern (ZFH).

Die Verwendung der in der Statistik gebäuchlichen Begriffe EFH/ZFH/MFH schafft somit eine gewisse schematische Vereinheitlichung in der Vorstellung von Bautypen, die mit der Realität nicht immer übereinstimmt.

Die Einteilung des Wohnungsbestandes nach Baualtersklassen variiert von Zählung zu Zählung durch Differenzierungen innerhalb bestimmter Altersgruppen. Die Gebäude- und Wohnungszählung 1968 (GWZ 68) hatte vier Altersklassen für Wohnungen und drei Altersklassen für Wohngebäude; die 1 %-Wohnungsstichprobe von 1978 hatte fünf Altersklassen für Gebäude und Wohnungen. In den ersten Veröffentlichungen der GWZ 87 werden die Wohngebäude in sechs und die Wohnungen in sieben Baualtersklassen aufgeteilt. Die für diese Untersuchung verwendete Gebäudetypologie teilt den Bestand ebenfalls in sieben Baualtersklassen ein; von geringen Abweichungen abgesehen, entsprechen sie denen der GWZ 87.

Das Baualter bildet ein wichtiges Merkmal zur Charakterisierung der energietechnischen Verhältnisse eines Gebäudes, da sich zu jeder Zeit oder Bauepoche bestimmte, allgemein übliche, gebräuchliche Konstruktionsweisen finden lassen. Solche ursprünglich relativ einheitlichen Konstruktionsweisen werden aber in ihrer energietechnischen Relevanz verändert durch die zahlreichen Modernisierungen, die der Gebäudebestand im Laufe der Zeit erfahren hat und weiterhin erfährt. So haben allein die gemeinnützigen Wohnungsunternehmen aus ihrem Bestand von knapp 3,4 Mio Wohnungen (1988) - das sind ca. 23 % des Gesamtbestandes an Mietwohnungen im Bundesgebiet - in den Jahren von 1978 - 1988 rund 2,7 Mio Wohnungen modernisiert. Bei etwa jeder vierten bis sechsten modernisierten Wohnung (je nach Jahrgang) wurden Maßnahmen zur Wärme- und Schalldämmung durchgeführt.
Im privat genutzten Bestand, bei den von den Eigentümern bewohnten Ein- und Zweifamilienhäusern und den Eigentumswohnungen (insgesamt 39,3 % aller Wohnungen 1987 ohne Freizeitwohnungen) dürfte die Modernisierungsrate noch höher sein.

Für den Heizenergiebedarf eines Gebäudes ausschlaggebend ist neben der konstruktiven Ausbildung von Dach, Außenwand, Fenster, Erdgeschoßboden/Kellerdecke) das Merkmal "Bauform" (freistehendes, ein- oder zweiseitig angebautes

Gebäude, Geschoßzahl). Zum Merkmal "Bauform" machen die baustrukturellen Daten der amtlichen Statistik keine Angaben - bis auf die Neubauzugänge (Baufertigstellungsstatistik) der Jahre ab 1983. Hier werden für das Bundesgebiet (allerdings ohne Bayern) die fertiggestellten Wohngebäude unterschieden nach Einzelhaus, Doppelhaus, gereihtes Haus, sonstiger Haustyp.

Da also die Strukturdaten der Gebäudestatistik für eine genauere Beschreibung der energierelevanten Merkmale der Wohngebäude nicht ausreichen, müssen diese Merkmale auf andere Weise erfaßt werden.

3.2 Zur Wahl der Gebäudetypenmethode

In zahlreichen Studien, die in den vergangenen Jahren zur Ermittlung des Energieeinsparpotentials im Wohnungsbestand von Kommunen oder Landkreisen durchgeführt wurden, ist neben der zunehmend häufiger eingesetzten Gebäudetypen- (oder Haustypen-) Methode auch die

- Siedlungstypenmethode und die
- Tarifraummethode

verwendet worden.

Vorwiegend für Marketingstudien von Energieversorgungsunternehmen wurde mit der Tarifraummethode gearbeitet, weil mit aufbereiteten Daten der Unternehmen (Kundennummern, Verbräuche, Tarifraumzahlen) ohne besonderen zusätzlichen Erhebungsaufwand gerechnet werden konnte. Allerdings mußten verschiedene Ungenauigkeiten in Kauf genommen werden, weil z. B. Tarifraumzahlen nicht immer mit der Realität übereinstimmen (zusätzliche, durch An- oder Ausbau zu Wohnzwecken gewonnene Räume waren nicht gemeldet worden), und Annahmen, beispielsweise über die Durchschnittsverbräuche (pro Raum) bei nicht leitungsgebundenen Energien, getroffen werden mußten. Strukturelle Merkmale der Gebäude werden bei dieser Methode im allgemeinen nicht berücksichtigt, so daß eine Einschätzung der künftigen Veränderungen des Wärmebedarfs aufgrund von Verbesserungen des energietechnischen Standards der Gebäude nicht möglich ist.

Um einen besseren Bezug zur Baustruktur des Untersuchungsgebietes zu bekommen, wurde die Tarifraummethode nicht selten kombiniert mit einer "Bebauungstypen-" oder Gebäudetypenmethode.
Für Wärmebedarfsermittlungen größerer Gebiete wurde häufig die Siedlungstypenmethode eingesetzt, die sich vorwiegend der bereits aggregierten Daten der Gemeindestatistik (für Bezirke, Ortsteile, Blockseiten) und der Versorgungsgebiete von Energieversorgungsunternehmen bedient. Es sind möglichst homogene Siedlungstypen -- d. h. Gebiete mit möglichst einheitlichen Gebäudetypen -- zu betrachten; die Gebietsgrenzen dürfen sich, um die Datenbasis nicht zu gefährden, mit den statistischen Abgrenzungen nicht überschneiden. Einerseits sind bei dieser Methode erhebliche Vereinfachungen (mit dem Ziel von Vereinheitlichungen) erforderlich, andererseits weisen die Ergebnisse teils beträchtliche Spannweiten auf. Um aussagekräftigere Ergebnisse, als sie für eine Grobanalyse gebraucht werden, zu bekommen, wird die Siedlungstypenmethode oft auch mit der Gebäudetypenmethode kombiniert.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung, die Höhe der Investitionskosten für einen geringeren Raumwärmebedarf und die Grenzen der Wirtschaftlichkeit eines verbesserten energietechnischen Gebäudestandards angeben zu können, erfordert es, daß die Untersuchungen gebäudebezogen (gegenwärtige Ausgangslage = IST-Zustand) und maßnahmebezogen (im Hinblick auf verschiedene Stufen der energietechnischen Standardanhebung) durchgeführt werden.

Deshalb wurde für die Untersuchung die "Gebäudetypen-" oder "Haustypen"-Methode zugrundegelegt. Danach werden alle wesentlichen für den Wohnungsbestand des Bundesgebietes repräsentativen Haustypen abgebildet, um auf der Basis einer näherungsweise ermittelten -- oder, bei unzureichender Datenlage, geschätzten -- Häufigkeitsverteilung die typischen energierelevanten Verhältnisse des Wohnungsbestandes insgesamt zu erhalten.

Mit den in der "Abbildung" eines Haustyps dargestellten konstruktiven Daten können theoretische Hochrechnungen für verschiedene energiesparende Baumaßnahmen am Dämm- und Heizsystem des Gebäudes durchgeführt werden, die als Ergebnis konkrete Aussagen zum Raumwärmeeinsparpotential bieten. Die Zuverlässigkeit dieser Aussagen hängt ab von der Richtigkeit der Annahmen zur Häufig-

keitsverteilung der jeweiligen Haustypen im Gesamtbestand der Wohngebäude und zur Häufigkeitsverteilung bestimmter Konstruktionsarten.

Die In den letzten Jahren zahlreich durchgeführten Studien zur Ermittlung des Heizenergieverbrauchs und zur Quantifizierung des Einsparpotentials für Kommunen und Landkreise, sogar auch für ein Bundesland (Baden-Württemberg), wie die Studien für

- Bonn
- Bremen/Bremerhaven
- Darmstadt
- Freiburg
- Kassel
- Norderstedt
- Landkreis Nienburg/Weser
- Schwalm-Eder-Kreis
- Wilhelmshaven

(Literaturbeispiele: Heide u. a., 1981; ARENHA u. a., 1986; UTEC/ARENHA, 1988) konnten sich bei der Häufigkeitsverteilung der Haustypen auf den kommunal oder regional abgegrenzten Bestand auf Auswertungen der kommunalen Statistik, von Luftbildern, teils von Bauakten, auf Experteninterviews in den Bauämtern und auf eigene Erhebungen durch Begehungen stützen.

Demgegenüber mußte sich in dieser Untersuchung die Verteilung der Haustypen auf den Gebäudebestand des gesamten Bundesgebietes an mehreren Grundlagen orientieren:

- an der Praxiserfahrung von Experten, die als Verfasser von Energie- und Struktur-Studien an zahlreichen Gebäudetypologien gearbeitet haben,
- an verschiedenen Datenaufbereitungen zur Verteilung von Wohngebäuden und Wohnungen,
- an den ersten Auswertungen der Gebäude- und Wohnungszählung 1987 (Knop, 1989).

Die Häufigkeitsverteilung der Gebäudetypen auf den Bestand an Wohngebäuden im Bundesgebiet insgesamt konnte deshalb ohne weitere Erhebungen, die zur Zeit nicht vorliegen, nur als relativ grobe Einschätzung vorgenommen werden.

Einige Hinweise zur Verteilung der Wohngebäude und Wohnungen im Bundesgebiet liefert eine Übersicht über ihre Verteilung auf siedlungsstrukturelle Kreistypen 1982.

Tabelle 3.2: Wohgebäude und Wohnungen am 31. 12. 1982 nach siedlungsstrukturellen Kreistypen

Gebietsgliederung	Wohngebäude		Wohnungen in Wohn- und Nichtwohngebäuden		
	1 000	%	1 000	%	je Wohngebäude
Regionen mit großen Verdichtungsräumen					
Typ 1 Kernstädte	2 012	17,4 %	7 979	30,6 %	4,0
Typ 2 Hochverdichtetes Umland	2 410	20,9 %	5 006	19,2 %	2,1
Typ 3 Sonstiges Umland	1 206	10,4 %	2 031	7,8 %	1,7
zusammen	5 627	48,7 %	15 015	57,6 %	2,7
Regionen mit Verdichtungsansätzen					
Typ 4 Kernstädte	463	4,0 %	1 504	5,8 %	3,3
Typ 5 Umland	3 253	28,2 %	5 649	21,7 %	1,7
zusammen	3 715	32,2 %	7 153	27,5 %	1,9
Ländlich geprägte Regionen					
Typ 6A mit ungünstiger Struktur	1 722	14,9 %	2 933	11,2 %	1,7
Typ 6B Alpenvorland mit günstiger Struktur	487	4,2 %	975	3,7 %	2,0
zusammen	2 209	19,1 %	3 908	14,9 %	1,8
Bundesgebiet ...	11 552	100,0 %	26 076	100,0 %	2,3

Quelle: Statistisches Bundesamt Wiesbaden: Fachserie 5, Reihe S.4 "Räumliche Entwicklung der Bautätigkeit und Bauwirtschaft", 1977 bis 1982, Februar 1984, S. 8 + 9, eigene Berechnungen

Darin zeigt sich, daß 30,6 % aller Wohnungen in den Kernstädten der "Regionen mit großen Verdichtungsräumen" liegen und zwar in Gebäuden mit durchschnittlich vier Wohnungen je Wohngebäude. Mehr als die Hälfte der Wohnungen (57,6 %) finden sich in den "Regionen mit großen Verdichtungsräumen", etwas mehr als ein Viertel der Wohnungen (27,4 %) in den "Regionen mit Verdichtungsansätzen", während in den ländlich geprägten Regionen 15 % des Wohnungsbestandes liegt. In den beiden letztgenannten Strukturtypen differiert die Zahl der Wohnungen pro Wohngebäude nur geringfügig (1,9 bzw. 1,8 Wohnungen je Wohngebäude).

Die Anteile der 11 928 429 Wohngebäude 1987 an den verschiedenen Baualtersklassen zeigt folgende Übersicht:

Wohngebäude errichtet von ... bis ...				
bis 1918	1919 - 1948	1949 - 1968	1969 - 1978	1979 oder später
19,4 %	13,8 %	35,2 %	18,9 %	12,7 %

(Quelle: Knop, 1989)

3.3 Beschreibung der Gebäudetypologie - Haustypenmatrix

Zur Abbildung der energierelevanten Kriterien des Gebäudebestandes wurden für die vorliegende Untersuchung 29 Gebäudetypen gebildet, mit denen die baulich-konstruktiven Merkmale des Bestands an Wohngebäuden insgesamt repräsentativ dargestellt werden können. Der Anspruch auf Repräsentativität der Gebäudetypologie wird aus der Erfahrung abgeleitet, daß zu bestimmten Entstehungszeiten, also bei einheitlichen Baujahrgängen, für bestimmte Bauformen auch weitgehende Übereinstimmungen in der Konstruktionsart, der Dimensionierung der Bauelemente und der Materialwahl festzustellen sind.
Für die Einschätzung des Raumwärmeeinsparpotentials entscheidend ist bei jedem Gebäudetyp

- die Ausbildung der Außenwand (mit Fensteranteil und Art der Fensterkonstruktion),
- der Kellerdecke (Erdgeschoßboden),
- der Dachdecke (Obergeschoßdecke),
- des Daches,

jeweils mit Angaben zur Dimensionierung, zum Material und zu Dämmschichten der Bauteile

- sowie die Kenndaten des Heizungssystems für das Gebäude.

Diese Merkmale werden für jeden einzelnen Gebäudetyp mit einem Photo des entsprechenden Modellgebäudes auf einem Datenblatt systemtypisch dargestellt und beschrieben.

Die Bauformen wurden in die drei Gruppen

- Einfamilienhaus (EFH),
- Reihenhaus (RH),
- und kleines Mehrfamilienhaus (KMH)

eingeteilt und für jeweils sieben Baualtersklassen als Gebäudetypen beschrieben.
Zusätzlich wurden als weitere Bauformen

- das große Mehrfamilienhaus mit 5 - 8 Geschossen mit vier Baualtersklassen (GMH) und
- das Wohnhochhaus mit zwei Baualtersklassen (HH)

in die Gebäudetypologie aufgenommen.

Die Einteilung der Baualtersklassen orientiert sich einerseits an den auch in den Großzählungen berücksichtigten klassischen Schnittstellen der Verfassungs- und Gebietsänderungen im staatlichen System (1918/19 Gründung der Weimarer Republik, 1948/49 Gründung der Bundesrepublik Deutschland, 1968 Gebäude- und Wohnungszählung, 1978 Wohnungsstichprobe) und andererseits an den Zeitpunkten, zu denen für den Wohnungsbau wichtige Rahmenrichtlinien (Änderung von DIN-Vorschriften, Inkrafttreten der Wärmeschutzverordnung) wirksam wurden.
Die sieben Baualtersklassen umfassen die Entstehungszeiten

- bis 1918
- 1919 bis 1948

  Bauten aus diesen Entstehungszeiträumen werden in der Statistik zum "Altbau" gezählt.
- 1949 bis 1956

  In diesen ersten Nachkriegsjahren wurden aufgrund angespannter Materialmärkte, niedriger Anforderungen in Bauvorschriften und des hohen Wohnungsbedarfs häufig qualitativ einfache Baukonstruktionen mit geringen Materialstärken in Kauf genommen. Bis 1956 erlaubte die Mauerwerks-DIN beispielsweise 11,5 cm starke tragende Wände in Wohngebäuden bis zu zwei Geschossen. Diese DIN-Vorschrift wurde 1956 geändert. Die Mindestwandstärken für tragende Wände erhöhten sich auf 17,5 cm. Die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz nach der DIN 4108 wurden nicht immer eingehalten.
- 1957 bis 1968

  Die Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz nach der DIN 4108 wurden in diesen Jahren im allgemeinen eingehalten und gelegentlich überer-

füllt. Am Ende dieses Zeitraums steht die Gebäude- und Wohnungszählung 1968 mit umfangreichem Datenmaterial zur Gebäudestruktur.

- 1969 bis 1977

  Ergänzende Bestimmungen zur DIN 4108 sowie die erste Ölpreiskrise führten dazu, daß im allgemeinen der erforderliche Mindestwärmeschutz nach der DIN 4108 übertroffen wurde.

- 1978 bis 1984

  Die 1977 eingeführte erste Wärmeschutzverordnung (I. WSchVO) zeigt bei den ersten Wohngebäuden dieser Baualtersklasse ihre Auswirkungen. 1978 wurde die 1 %-Wohnungsstichprobe durchgeführt.

- 1985 oder später

  Die 1984 in Kraft getretene II. WSchVO prägt sich jetzt im wärmedämmtechnischen Standard der Wohngebäude aus. Im übrigen sind aus diesem Zeitraum die jüngsten Baujahrgänge unter den gegenwärtig geltenden Rahmenbedingungen des Wohnungsbaus erfaßt.

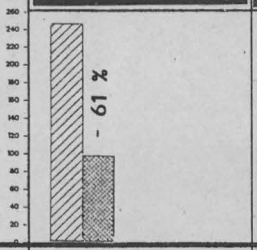
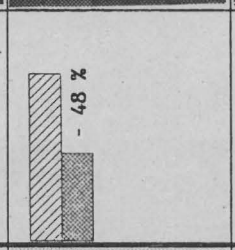
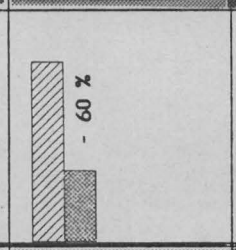
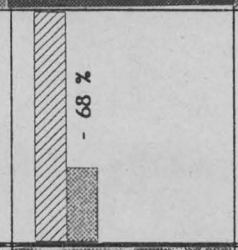
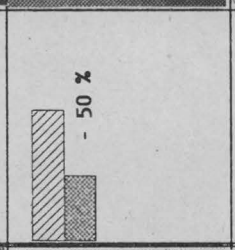
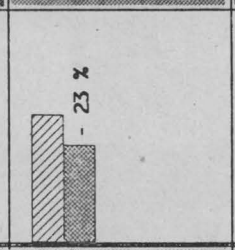
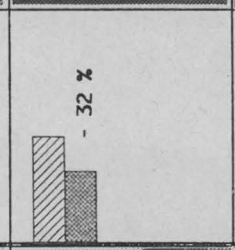
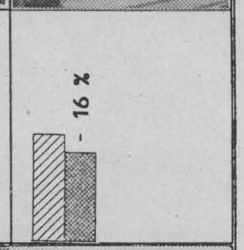
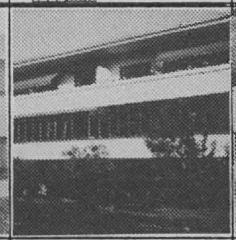
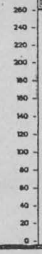
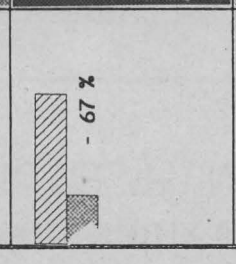
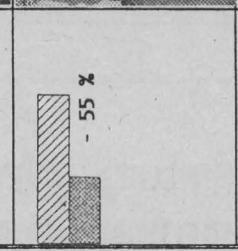
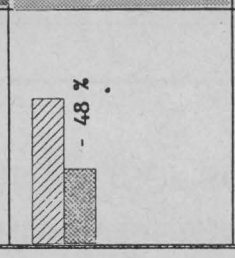
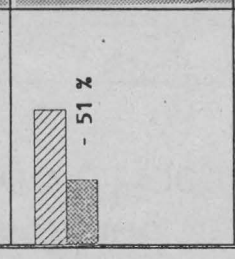
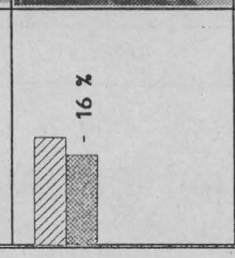
Eine Übersicht über die Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz von 1948 bis 1988 (Wärmedämmgebiet II) zeigt folgende Tabelle

Norm/ Verordnung	ab	k_{min} in W/(m²K) für				
		Wand	Fenster	Dach	Dachboden	Kellerdecke
DIN 4108	1952	1,56	5,2[1]	1,46	0,8	1,01
DIN 4108	1969	1,56	5,2[1]	1,10	0,8	1,01
erg.Best. DIN 4108	1974	1,56	3,5[2]	0,89	0,68	0,83
WSchVO	1977	1,06	3,5	0,45	0,45	0,80
Neufassung DIN 4108, Teil 2 WSchVO gültig seit	1982 1.1.1984	0,75	3,1	0,30	0,30	0,55

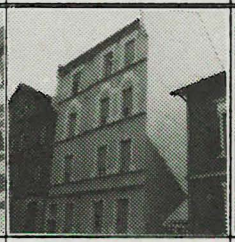
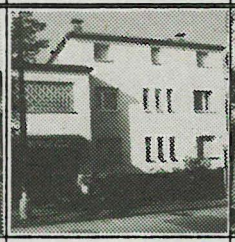
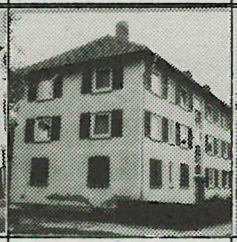
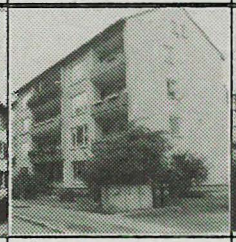
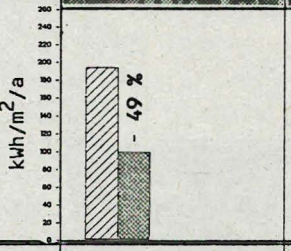
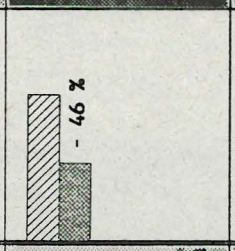
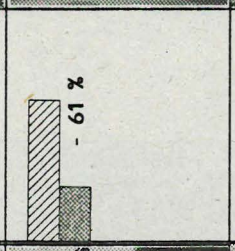
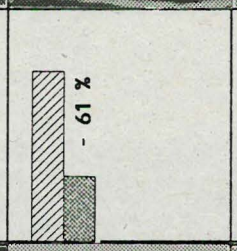
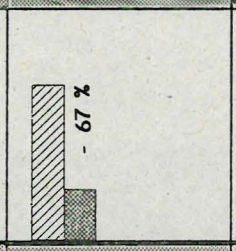
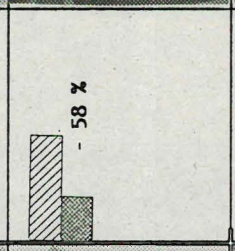
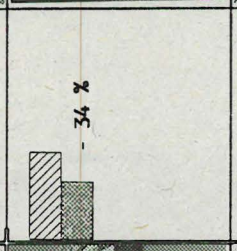
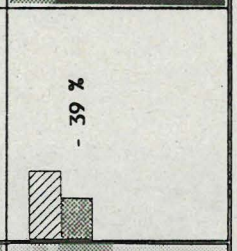
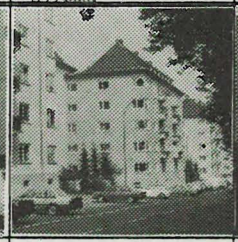
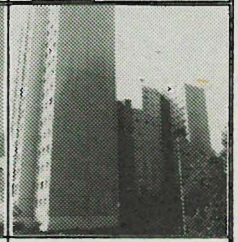
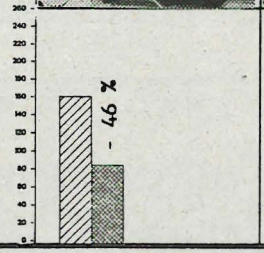
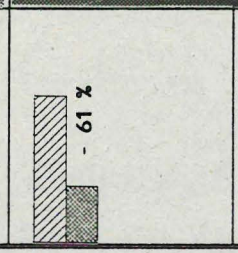
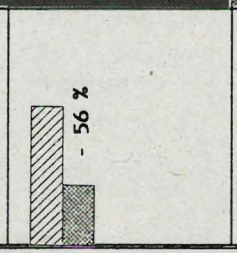
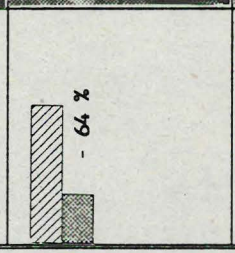
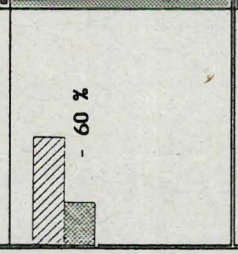
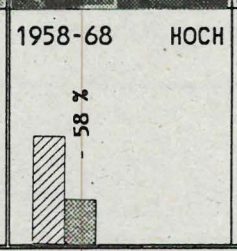
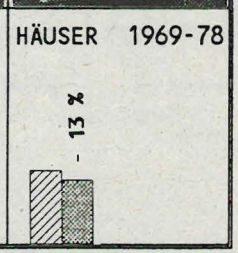
[1] Keine Festlegung in der DIN, k-Wert entspricht Einfachverglasung.
[2] Doppel-/Verbundfenster empfohlen.

Die folgende Haustypenmatrix (S. 39-40) gibt einen Überblick über die Gesamtheit der in die Untersuchung einbezogenen Gebäudetypen und die jeweils wirtschaftlich erzielbaren Nutzenergieeinsparpotentiale (vgl. im einzelnen Kapitel 7.).

Haustypenmatrix Bundesrepublik Deutschland
freistehende Ein/Zweifamilienhäuser (EFH) und Reihenhäuser (RH)

Typ	A	B	C	D	E	F	G	H
Charakter	Fachwerk	Massiv					I. WSVO	II. WSVO
Baualtersklasse	-1918	-1918	1919-1948	1949-1957	1958-1968	1969-1978	1979-1983	1984-1987
freistehende Einfamilienhäuser								
E F H kWh/m²/a	 - 61 %	 - 48 %	 - 60 %	 - 68 %	 - 50 %	 - 23 %	 - 32 %	 - 16 %
Reihenhäuser RH	spezifischer Nutzenergiebedarf ▨ IST und wirtschaftlich erreichbare Werte ▩ 13 Pf/kWh							
kWh/m²/a	 - 51 %	- 67 %	 - 55 %	 - 48 %	 - 51 %	 - 16 %	 - 21 %	

Haustypenmatrix Bundesrepublik Deutschland
kleine (KMH) und große (GMH) Mehrfamilienhäuser sowie Hochhäuser (HH)

Typ	A	B	C	D	E	F	G	H
Charakter	Fachwerk	Massiv					I. WSVO	II. WSVO
Baualtersklasse	-1918	-1918	1919-1948	1949-1957	1958-1968	1969-1978	1979-1983	1984-1987
kleine Mehrfamilienhäuser								
K M H bis vier Geschosse								
große Mehrfamilienhäuser und Hochhäuser	spezifischer Nutzenergiebedarf ▨ IST und wirtschaftlich erreichbare Werte ▩ 13 Pf/kWh							
G M H und H H								

Literatur zu Kapitel 3:

Heide, R., Hennig, V., Volwahsen, A.:
Einsparpotential von Heizenergie in den Wohngebäuden Baden-Württembergs, Stuttgart, 1981

ARENHA/ESP/FPB:
Energiestudie für den Landkreis Nienburg/Weser, BfLR (Hrsg.), Bonn, 1986

UTEC/ARENHA:
Einsparpotentiale beim Raumwärmebedarf im Wohngebäudebestand in Bremen und Bremerhaven, Bremen, 1988

Knop, W.:
Bestand an Gebäuden und Wohnungen 1987, in: Wirtschaft und Statistik 8/1989, S. 483 - 489

4. Energiesparmaßnahmen im Wohngebäudebestand der Bundesrepublik Deutschland

Für die wärmetechnische Sanierung des Gebäudebestands steht eine große Zahl entwickelter, am Markt verfügbarer Dämmstoffe und Dämmsysteme zur Verfügung, die bereits seit Jahrzehnten erfolgreich eingesetzt werden /Vgl. Kapitel 6 Erfolge wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebestand/. Ein Abwarten auf erst in der Entwicklung befindliche zukünftig nutzbare Systeme ist weder sinnvoll noch erforderlich. Soweit zukünftig Dämmsysteme wie z.B. die transparente Wärmedämmung zur Marktreife gelangen, können sie im zeitlichen Verlauf der Gebäudewärmedämmung ihren Platz unter den heute schon verfügbaren Systemen finden.

Es gilt grundsätzlich, daß die wärmetechnische Gebäudesanierung nicht mit einem einzigen "universellen" Dämmsystem ausgeführt werden kann. Pro Gebäudetyp oder Siedlungsgebiet gelten für die Wahl des Dämmsystems jeweils unterschiedliche technische und architektonische Restriktionen, die eine sorgfältige, sachgerechte Auswahl der jeweils einsetzbaren unterschiedlichen Dämmsysteme pro Bauteil und pro Gebäude erforderlich machen (Verschattung, Grenzabstände, städtische oder dörfliche Bebauung, Orientierung, Fassadenaufbau und Fassadenbaustoff, Bauteilkonstruktion etc.).

Für den Erfolg wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen besteht jedoch ein unabweisbarer Entwicklungsbedarf auf der Ebene der sorgfältigen Bauausführung von Dämmaßnahmen im Bereich der zuständigen Handwerksgewerke.

Für die wärmetechnische Gebäudesanierung stehen die folgenden Dämmsysteme zur Verfügung:

Außenwand:

- Außendämmung mit dem Wärmedämmverbundsystem
- Außendämmung mit der Vorhangfassade
- Kerndämmung zweischaligen Mauerwerks
- Innendämmung mit Dampfsperre

Fenster und Außentüren:

- Einfachfenster-, Verbundfensterrahmen oder Kastenfenster
- Energiesparende Verglasungsarten wie Wärmeschutz-Isolierverglasung mit k-Werten bis 1,3 W/(m^2K)
- Wärmegedämmte Türprofile mit k-Werten um 1,0 W/(m^2K)
- Wärmegedämmte Klappläden oder Rolläden mit optimierten Mini-Rolladenkasten oder hochgedämmten Kästen aus Polystyrol-Hartschaum.
- Aufarbeitung historischer Holztüren und Holzfenster (Kasten- und Verbundfenster) mit Einbau einer Lippendichtung.

Keller:

- Dämmung der Kellerdecke von unten mit Dämmplatten, Mineralfaser-Aufspritzdämmung oder Sanierung des Fußbodenaufbaus von oben mit Einbau einer Dämmschicht.
- Dämmung der Kelleraußenwände von innen mit Dämmplatten und separater Verkleidung oder Dämmverbundplatten mit integrierter Dampfsperre

Geneigtes Dach:

- Dämmung zwischen den Sparren
- Dämmung auf den Sparren
- Dämmung auf und zwischen Sparren
- Dämmung zwischen und unter den Sparren
- Dämmung unter den Sparren
- Dämmung auf der Dachbodenfläche

Flachdach:

- Umkehrdach (Warmdach)
- Verfüllung der Luftschicht von Kaltdächern mit dem Einblasdämmverfahren, Sanierung der raumseitigen Dampfsperre.
- Einblasen von Dämmstoff in die Luftschicht von Kaltdächern bei Verbleib eines ausreichenden Belüftungsraumes (Mehrfamilienhäuser).
- Umwandlung von Kaltdächern zu Warmdächern durch eine zusätzliche Dämmschicht auf der alten Dachhaut (Umkehrdach) und Verfüllung der Luftschicht mit Dämmstoff (wahlweise zusätzlich: Sanierung der inneren Dampfsperre).
- Dämmung des Flachdachs auf der Raumseite mit Dampfsperre.

Neben diese wesentlichen Systeme zur Verbesserung des Wärmeschutzes im Gebäudebestand treten noch eine Vielzahl von Detail- und Sonderlösungen.

4.1 Bauphysikalische Grundsätze bei der wärmetechnischen Gebäudesanierung.

Wie bei allen baulichen Maßnahmen sind bei der Ausführung wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehüllfläche bauphysikalische Erfordernisse zu beachten. Unsachgemäße Dämmaßnahmen können zu Bauschäden führen. Die DIN 4108 beschreibt die Regeln der Technik, die eine bauschadensfreie Dämmausführung garantieren.

4.1.1 Vermeidung von Bauschäden durch Wasserdampfdiffusion

In der Vergangenheit haben einzelne auf unsachgemäße Dämmausführungen zurückgehende Bauschäden durch Tauwasserausfall in Bauteilen zu spürbaren Vorurteilen gegen die Wärmedämmung geführt, anstatt folgerichtiger die unsachgemäße Ausführung in den Vordergrund der Kritik zu rücken. Als Schlagworte einer verfehlten Diskussion mögen hierfür die "atmende" Außenwand und der "Taupunkt" gelten, der in der Diskussion oft mit dem Nullpunkt des Temperaturprofils eines Bauteils verwechselt wird. (Vgl. zum Stand der Diskussion die Öffentliche Anhörung der SPD-Bundestagsfraktion zum Thema "Energiesparen im Bauwesen" 1985). Eine umfassendere Darstellung wissenschaftlicher Aussagen im Bereich der Bauphysik ist als Beitrag zum Abbau von Hemmnissen (Eindämmung der Vorurteilsflut) erforderlich. Die Aktivierung der Bauschadensforschung und von Untersuchungsreihen an bestehenden Gebäuden (z.B. feuchtetechnische Untersuchungen an innengedämmten Fachwerkhäusern) sind erforderlich, um mit dokumentierten Praxiserfahrungen die ablaufenden bauphysikalischen Prozesse zu dokumentieren, die Erfordernisse zu verdeutlichen und für eine bessere Bauausführung nutzen zu können.
Die folgenden Konstruktionsbeispiele zeigen, daß durch richtig angebrachte und ausgeführte Dämmaßnahmen die bauphysikalischen Verhältnisse in den Bauteilen verbessert werden. Es treten in der Regel zwei positive Auswirkungen ein:

- die Dämmung erhöht die Innenoberflächentemperatur des Bauteils. Dadurch wird die Behaglichkeit im Innenraum erhöht. Am deutlichsten kann dieser Vorgang beim Austausch von einscheibenverglasten Fenstern durch Isolier- oder Wärmeschutzisolierverglasung beobachtet werden.
- Durch Außendämmung oder durch Dampfsperren bei Innen- und Dachdämmung wird die Wasserdampfdiffusion durch massive Baustoffe so beeinflußt, daß ein im ungedämmten Bauteil vorhandener Tauwasserausfall durch die Dämmung reduziert oder ganz beseitigt werden kann.

Die Beispielrechnungen für die Wasserdampfdiffusion wurden mit dem in der DIN 4108, Teil 5 (Glaserverfahren) vorgeschriebenen Berechnungsverfahren ausgeführt.

Beispiel 1: Umwandlung eines Kaltdaches (belüftet) zum Warmdach, (Mehrfamilienhaus in Hanau)

Das Gebäude wurde mit einem flach geneigten Holzdachaufbau (Kaltdach) errichtet, das im Zuge des Ausbaus des letzten Geschosses zu Wohnzwecken durch ein Umkehrdach ergänzt wurde. Das Dach ist seit mehr als 20 Jahren bauschadensfrei. Die gut dimensionierte Dämmschicht sorgt für ein behagliches Raumklima im Winter wie im Sommer (Vermeidung von Überhitzung). Da die Dämmung das Temperaturprofil im Aufbau erhöht, baut sich der Wasserdampfpartialdruck bis zur Dachhaut soweit ab, daß der rechnerisch auftretende Tauwasserausfall in der sommerlichen Verdunstungsperiode wieder austrocknet und unter den Grenzwertanforderungen der DIN 4108 bleibt.

Wasserdampfdiffusionsberechnung nach DIN 4108
Aufbau:

- Kiesauflage	
- Polystyrolplatten extrudiert	0.08 m
- Dachhaut Bitumendachpappe	0.008 m
- Brettschalung	0.024 m
- Luftraum	0.055 m
- Polystyrol	0.04 m
- Tapete	

Tauwassermenge: 107 Gramm pro m^2 Verdunstungsmenge: 164 Gramm pro m^2

Der Aufbau ist zulässig, da die ausfallende Tauwassermenge weit unter den Grenzwerten der DIN 4108, Teil 3 liegt (1,0 kg bzw. 0,5 kg Tauwasser pro m^2 bei einem Ausfall an nicht kapillar wasseraufnahmefähigen Grenzschichten sowie maximal 3 % massebezogene Feuchtegehalt-Erhöhung bei Holz zulässig). Würde zusätzlich die Luftschicht gedämmt und die untere Dämmschicht durch eine in den Stößen durch Verspachtelung abgedichtete Gipskartonplatte geschützt, könnte der ohnehin minimale rechnerische Tauwasserausfall auf 67 Gramm pro m^2 (159 Gramm/m^2 Verdunstungsmenge) reduziert werden. (Vgl. zum

Tauwasserschutz durch Umkehrdächer auch: /(Cziesielski/Raabe, Reihe "Tauwasserschutz" in Bauphysik 3/1985/).

Beispiel 2: Flachdach (Warmdach), (Hochhaus Darmstadt - Kranichstein)

Aufbau:

- Dachhaut	0.008 m
- Polystyrolplatten	0.10 m
- Dampfsperre mit Ausgleichsbahn	0.004 m
- Gefälle-Ortbeton	0.055 m
- Stahlbeton-Fertigteil	0.20 m
- Innenputz	0.015 m

Tauperiode, Kondensatanfall: 1 Gramm pro m^2
Verdunstungsperiode, Verdunstungsmenge: 5 Gramm pro m^2.

Das Gebäude wurde 1971 errichtet. Der Aufbau ist seit diesem Zeitpunkt bauschadensfrei, die Konstruktion nach DIN 4108 zulässig.

Beispiel 3: Nachträglich gedämmte Außenwand mit dem Wärmedämmverbundsystem (Einfamilienhaus in Kassel)

Die Außenwände des Einfamilienhauses wurden 1986 mit einem 6 cm starken Wärmedämmverbundsystem (Polystyrolplatten, mineralischer Verputz) von außen nachträglich wärmegedämmt (vgl. das Einfamilienhaus im Kapitel 6.1.3 "Erfolge wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebestand"). Der Sanierung waren Schäden am Verputz vorausgegangen, die auf der Bauweise (geschoßhohe Leichtbetontafeln) beruhten. Durch die Dämmung sollten neben der erwarteten Energieeinsparung auch die Wärmespannungen in der Wand und damit die Putzschäden dauerhaft beseitigt werden. Es wurde eine k-Wert-Verbesserung von 1,308 auf 0,394 W/(m^2K) erzielt. Das System hat sich mittlerweile im dritten Jahr bewährt. Die Bewohner verweisen auf die gestiegene Wohnbehaglichkeit und den deutlich sichtbaren Energiespareffekt. Tauwasserschäden sind nicht aufgetreten, was auch aufgrund der rechnerischen Ermittlung nicht zu erwarten war. Die Wasserdampfdiffusionsberechnung nach DIN 4108 ergibt die folgenden diffusionstechnischen Verhältnisse vor und nach der Dämmung:

Außenwand ungedämmt Aufbau:

Innenputz	0.015 m
Leichtbeton	0.24 m
Kunststoff-Außenputz	0.01 m

Tauperiode, Kondensat: 5 Gramm pro m^2
Verdunstungsperiode, Verdunstungsmenge: 936 Gramm pro m^2

Außenwand gedämmt; Aufbau:	
Innenputz	0.015 m
Leichtbeton	0.24 m
Kunststoffaußenputz	0.01 m
Ansetzmörtel	0.0005 m
Polystyrolplatten	0.06 m
Rauhputz (gewebearmierte Grundbeschichtung)	0.02 m

Tauperiode, ausfallendes Kondensat: 0 Gramm pro m^2
Verdunstungsperiode, Verdunstungsmenge: 0 Gramm pro m^2

Durch die Dämmung werden die bauphysikalischen Verhältnisse in der Außenwand günstig beeinflußt. Ein leichter Tauwasserausfall im ungedämmten Zustand kann auf Null verringert werden. Die Wand ist nach der Dämmung tauwasserfrei, die Innenoberflächentemperatur liegt bei -10 Grad Celsius außen um 5,4 Grad Celsius höher als im ungedämmten Zustand. Der Temperaturverlauf im gesamten massiven Wandprofil ist ausgeglichener und liegt im Niveau über dem ungedämmten Zustand.

Beispiel 4: Dämmung von Fachwerkaußenwänden (Sichtfachwerk), (Einfamilienhaus in Sachsenberg, Hessen).

Bei der Dämmung von Fachwerkwänden ist ähnlich wie bei Dächern im Alt- und Neubau ein besonderer Abdichtungsaufwand erforderlich, da es sich hier um eine Holz-Leichtbaukonstruktion handelt und die Holzkonstruktion vor eindiffundierendem und mit warmer Raumluft durch Fugen und Ritzen einströmenden Wasserdampf geschützt werden muß.

Im Bereich der Fachwerksanierung werden in der gegenwärtigen Baupraxis jedoch leider häufig völlig ungeeignete, die Entstehung von Bauschäden begünstigende Ausführungen gewählt. Dies geht auf Unkenntnis der bauphysikalischen Gesetzmäßigkeiten, Voreingenommenheit gegenüber modernen Baustoffen wie Dampfsperren und Kenntnismängeln über Ausführungsdetails und -erfordernisse bei Handwerk, Architekten und Behörden zurück.

Als Beispiel hierfür wird eine Ausführungsempfehlung für den Außenwandaufbau von Fachwerkhäusern des Hessischen Landesamtes für Ernährung, Landwirtschaft und Landentwicklung (HLELL) herangezogen. Die Empfehlung wird vor allem mit der Vermeidung von Kunststoffen am historischen Fachwerkbau begründet. "Folgerichtig" wird eine Innendämmung ohne Dampfsperre, sowie Dämmaterialien

wie Kork und Holzwolleleichtbauplatten, zudem noch in geringer Dicke und mit ungünstigen Wärmedämmeigenschaften empfohlen. /HLELL 1987/.

Aufbau Fachwerkaußenwand (16 cm Querschnitt), Gefach Aufbau nach einer Empfehlung des HLELL:

Schicht	Dicke in m	Lamda W/(mK)	μ-Wert (-)
Dämmputz	0.06	0.2	20
Hochlochziegel	0.115	0.5	10
Holzwolleleichtbauplatte	0.05	0.093	2
Innenputz	0.015	0.7	10

Tauwasserausfall: 1221 Gramm pro m^2
Verdunstungsmenge: 1980 Gramm pro m^2

Im Bereich der Holzbalken liegt die Tauwassermenge bei 675 Gramm pro m^2 und die Verdunstungsmenge bei 436 Gramm pro m^2, der Tauwassereintrag trocknet also nicht mehr gänzlich aus, was zu einem Aufschaukeln der Tauwassermengen führt.

Der von der HLELL empfohlene Aufbau ist nach DIN 4108, Teil 3, Ziffer 3.2.1. c) unzulässig. Dies gilt sowohl für das Gefach, bei dem die Tauwassermenge über den zulässigen 1,0 kg/m^2 liegt, als auch für die Balkenbereiche, in denen die Tauwassermenge im Sommer nicht wieder austrocknet.

Beispiel eines diffusionstechnisch korrekten Aufbaus einer Fachwerk-Außenwand

Schicht	Dicke in m	Lambda W/(mK)	μ-Wert (-)
Mineralischer Putz	0.01	0.87	35
PU-Ortschaum	0.02	0.035	100
Holzwolleleichtbauplatte	0.05	0.093	5
Steinwolle	0.2	0.035	1
Dampfsperre (PE-Folie)	0.0003	0.45	500000
Gipskartonplatte	0.0125	0.21	8

Bei dieser Ausführung wird durch die Dampfsperre ein diffusionstechnisch zulässiger Aufbau erreicht. Der Aufbau bleibt tauwasserfrei. Voraussetzung ist eine einwandfreie Ausführung der Dampfsperre (vgl. 4.3.3 im Katalog wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen). Zusätzlicher Effekt: Die Innenoberflächentemperatur der Außenwand liegt bei - 10 Grad Celsius Außentemperatur bei 19,45 Grad Celsius (2,55 Grad höher als bei dem von der HLELL empfohlenen Aufbau) . Damit wird ein behaglicheres Innenklima (Wärmestrahlung) erzielt. Auch in den Bereichen der geometrischen Wärmebrücken ist die Innenoberflächentemperatur höher, so daß

eine hohe Sicherheit gegen Oberflächenkondensation und Schimmelbefall gegeben ist. Weitere diffusionstechnisch einwandfreie Dämmkonstruktionen für Fachwerkaußenwand werden gezeigt in: FPB, "Universitätsstadt Marburg, Energiekonzept nördliche Altstadt", Marburg 1987 /FPB 1987/.

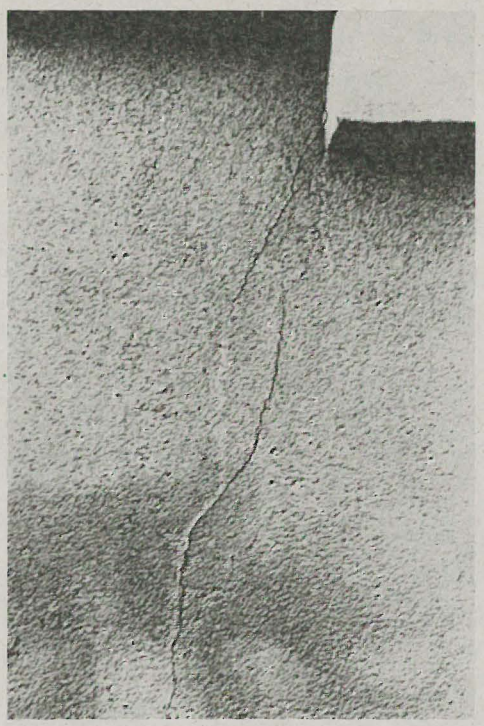
4.1.2 Wärmetechnische Gebäudesanierung als Beitrag zur Bausubstanzerhaltung

Durch sachgerechte Bauausführung von Dämmaßnahmen werden Bauschäden vermieden. Darüber hinaus können durch die wärmetechnische Gebäudesanierung auch vorhandene Schäden reduziert oder beseitigt werden.
Vorhandene Schimmelbildung oder Oberflächenkondensation auf den Innenoberflächen von Außenwänden oder Betondecken werden durch eine Außendämmung oder sorgfältige Innendämmung beseitigt, da die Innenoberflächentemperatur der betroffenen Bauteile durch die Dämmung angehoben wird. (Vgl. zum Problem: /Erhorn 1988/).

Foto: Bei diesem Konstanzer Wohngebäuden werden nur die Außenecken der Wände gedämmt. Die Wohnungsbaugesellschaft beseitigt damit Schimmelbildung in den Raumecken, die nach dem Einbau neuer Fenster aufgetreten war.

Vorhandene Risse im Außenputz gehen häufig auf Baustoffe mit unterschiedlicher Wärmeausdehnung zurück und bilden sich nach Neuanstrichen innerhalb kürzerer Zeiträume häufig wieder neu. Typische Stellen hierfür sind Heizkörpernischen, schiebende Betondecken (Auflager), Betonringanker. Eine Außendämmung der Wand schafft hier dauerhaft Abhilfe, da der Dämmstoff Wärmespannungen in gewissem Maße aufnimmt und die Spannungen durch die Dämmung ohnehin reduziert werden.

Foto: Putzrisse an einem 1985 sanierten Wohngebäude der Jahrhundertwende Darmstadt-Martinsviertel. Wärmedämmverbundsysteme sind gleichzeitig Schutz vor solchen Putzrissen, da sie Dehnungspannungen bis zu einem gewissen Umfang aufnehmen können.



Die Ursache von **Betonschäden** liegt nicht nur in der Carbonisierung des Betons oder in einer zu geringen Überdeckung der Bewehrungsstähle. Aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit von Beton findet auch Tauwasserausfall im Innern vieler Betonaußenbauteile statt. Eine Dämmung mit dem System Vorhangfassade oder einem Wärmedämmverbundsystem reduziert hier nicht nur die Wärmeverluste, sondern beseitigt den Tauwasserausfall durch Erhöhung der Innentemperatur des Bauteils. Die für die Carbonisierung verantwortlichen Luftschadstoffe werden von

der Betonoberfläche ferngehalten, so daß auch ein Beitrag für eine dauerhafte Betonschadensvermeidung geleistet wird. In größerem Umfang wird eine energiegerechte Betonschadenssanierung an Außenwänden 1990 in Berlin, Märkisches Viertel durchgeführt /Weidlich 1990/.

4.1.3 Auswirkung wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen auf das Raumklima

Durch die Dämmung der Außenbauteile ist eine Verbesserung des Raumklimas zu erwarten und auch nachgewiesen. Der Grund für diesen positiven Effekt liegt in der Erhöhung der Innenoberflächentemperatur der Außenbauteile. Bauteile mit höheren Temperaturen bewirken eine geringere Wärmestrahlung von der Hautoberfläche des Bewohners. Die Behaglichkeit in gedämmten Gebäuden ist damit wesentlich besser als in wärmetechnisch nicht sanierten Gebäuden. (Vergleiche hierzu auch das Kapitel "2.1.6 Verbesserung der Behaglichkeit".)
Die Auswertung der Meßwerte des Münchener Energiespar-Testhauses (wärmetechnisch saniertes Einfamilienhaus, Baujahr 1937; siehe Kapitel 6.) belegen die Erhöhung der Innenoberflächentemperaturen der Gebäudeaußenbauteile: Außenwände, Dach und Kellerwände um im Mittel 2 - 6 K. Das Temperaturniveau über den Querschnitt der Außenwand (Vollziegelmauerwerk) ist nach Anbringung des 8 cm starken Wärmedämmverbundsystems "..um bis zu 10 K angestiegen..", die Raumlufttemperaturen sind bei gleicher Behaglichkeit im Mittel um ca. 1-2 Grad Celsius geringer als vor der Dämmung /IRB Forschungsbericht T 2071, 1989/. Das Bewohnerurteil: "Es ist einfach behaglicher im Haus" /SZ vom 07.01.1989/.

4.1.4 Raumluftqualität und Wärmeschutz

Bereits im Kapitel 2.1.6 und 2.2 wurde das Verhältnis von Innenluftqualität, Wohngesundheit und Dämmaßnahmen sowie die wesentlichen Innenluftbelastungsfaktoren dargestellt. Auf die Schadstoffbelastung der Innenraumluft hat die nachträgliche Dämmung von Bauteilen keine negative Auswirkung - ausreichende Wohnungslüftung vorausgesetzt. Eine Verbesserung der Raumluftqualität kann im Zuge der wärmetechnischen Gebäudesanierung durch den bewußten Einsatz von Abluftanlagen mit oder ohne Wärmerückgewinnung zur Wohnungslüftung erzielt werden. (Vgl. hierzu: Energiespar-Information 8 des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft und Technik "Lüftung in Wohngebäuden").

4.1.5 Umweltverträglichkeit wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen

Dämmstoffe weisen eine positive Umwelt- und Primärenergiebilanz auf. Aus der Sicht der Umwelt- und Primärenergiebilanz liegen optimale Dämmstoffstärken zwischen 30 und 40 cm. Für die Beurteilung der Umweltverträglichkeit des Einsatzes von Dämmstoffen sind nur Bilanzverfahren sinnvoll /Feist-Klien 1989; Feist 1986/, die die gesamte Kette von der Dämmstoffproduktion bis zum Einbau umfassen und die durch Dämmung vermiedenen Schadstoffemissionen berücksichtigen. (Vgl. hierzu auch Kapitel 9. Emissionen).
Mit FCKW geschäumte Dämmstoffe lassen sich in der wärmetechnischen Gebäudesanierung vermeiden. Sie weisen bereits in der gegenwärtigen Praxis aufgrund ihres hohen Preises mit nur 5 % Anteil ein kleines Marktvolumen unter den Dämmstoffen auf und sind auch deshalb besonders leicht ersetzbar /GDI-Baumarktstatistik, 1988/. Seit 1989 gibt es bereits bauaufsichtlich zugelassene Polyurethanplatten am Markt, die ohne FCKW geschäumt sind und einen Lambda-Wert von 0,03 W/(mK) gewährleisten.

4.1.6 Das Verhältnis von architektonischer Gestaltung und wärmetechnischer Gebäudesanierung.

Die vorhandenen Dämmsysteme für Außenwände, Dächer und die verfügbaren energiesparenden Verglasungsarten bieten in ihrer Vielfalt Lösungen, die in hohem Maße eine architektonische Verträglichkeit der wärmetechnischen Gebäudesanierung garantieren.
Durch Dämmung kann die architektonische Qualität von Gebäuden sogar verbessert werden. Die Wärmedämmung kann den Rückgriff auf regionsspezifische Materialien wie Schindeln, Holzverbretterungen oder Schiefer begünstigen (Vorhangfassade).
Die im Fassadenbild der Bundesrepublik Deutschland dominierenden verputzten Fassadenansichten können mit dem System Thermohaut gedämmt werden, das die verputzte Außenansicht wiederherstellt. Klinkerfassaden werden durch eine nachträgliche Kerndämmung in ihrem Erscheinungsbild nicht beeinträchtigt. Diese Kerndämmung kann zur Erzielung eines noch höheren Wärmeschutzes mit einer Innendämmung mit sorgfältig ausgeführter Dampfsperre kombiniert werden. Verklin-

kerungen mit integrierter Dämmung oder neue Vormauerschalen mit Kerndämmung bilden weitere Lösungen für Sichtmauerwerk und Klinkerfassaden. Im Zuge schwedischer Sanierungen im Mietwohnungsbau wurden Vormauerungen mit 12 cm Dämmstoff bereits häufiger realisiert.

Dachdämmung und Dacheindeckung bzw. Dachformgebung sind voneinander unabhängig. Mindestens sechs verschiedene Arten der Dachdämmung in Dutzenden von Anbietervarianten sind am Markt verfügbar.

Auch die Fensterform wird durch energiesparende Verglasungsarten nicht tangiert. Einfachfenster wie Kastenfenster oder vorhandene Verbundfenster lassen sich ohne Eingriff in das äußere Erscheinungsbild mit Wärmeschutzisolierverglasung aus- oder nachrüsten. Wärmegedämmte Türen sind in der Formgebung nicht anders als herkömmliche Außentüren. Zu erhaltende historische Außentüren lassen sich ohne Veränderung des äußeren Erscheinungsbildes mit einer Dichtung nachbessern, da im Rahmen von Sanierungs- oder Instandsetzungsarbeiten eine Aufarbeitung in der Regel ohnehin ansteht. Da das Türblatt historischer Außentüren zumeist aus Holz besteht und nur kleinere Verglasungseinsätze angetroffen werden, ist auch der Dämmwert solcher Türen nicht ungünstig. Nachbesserung von Glasbausteinwänden durch innere Verglasungen sind von außen nicht sichtbar.

Ornamentierte Putzfassaden lassen sich im Zuge von Dämmaßnahmen sogar erstmalig herstellen. In diesen Fällen läßt sich eine eintönige Fassadenansicht durch Dämmung strukturieren und lebendiger gestalten. Durch solche Ornament-Elemente aus mineralischem Verputz und Dämmstoff oder Glasschaum-Recyclingprodukten können auch vorhandene Ornamentierungen nach Ausführung der Dämmaßnahme wieder hergestellt werden. Die äußere strukturierte Deckschicht wird dabei, wie bei der Restaurierung und in der Denkmalpflege üblich, mit einer vom historischen Vorbild abgenommenen Schablone in mineralischen Verputz nachgebildet.

Regionaltypische Bauweisen wie z.B. das Bremer Reihenhaus, das Schwarzwaldhaus, das Fränkische Steinhaus oder die typische Bebauung des Voralpengebietes können in ihrem Wärmeschutzstandard verbessert und in ihrem äußeren Erscheinungsbild erhalten bleiben. Dachdämmung, Wärmeschutzisolierverglasung und die Dämmung der Kellerdecke haben keinerlei Auswirkungen auf die Erscheinung der Gebäude. Das Fassadenbild bleibt bei der Wahl einer Innendämmung völlig erhalten. Bei vielen dieser regionaltypischen Gebäude ist eine Innendämmung auch deshalb sinnvoll, weil gezielt die beheizten Teile der Gebäude gedämmt werden können. Bei

den oftmals anzutreffenden großen Baukörpern sowie Wohn- und Nutzflächen werden i.d.R. nur Teile zu Wohnzwecken (beheizt) genutzt, so daß eine vollflächige Dämmung von außen, die zwangsläufig auch die dauernd nichtbeheizten Gebäudeteile einbeziehen würde, wenig sinnvoll wäre.
Für strukturierte Klinkerfassaden, historische, denkmalgeschützte und/oder strukturierte Fassaden und in allen Fällen, in denen am architektonischen Gestaltungsbild und an den vorhandenen Materialien der Außenansicht keine Veränderung vorgenommen werden soll, ist die Innendämmung die richtige Lösung. Solche Gebäude verfügen i.d.R. über genügend groß bemessene Innenräume, so daß eine Dämmschichtstärke von 6 cm im Hinblick auf den Wohnflächenverlust tolerierbar ist.
Die verschiedenen Gebäudebeispiele in Kapitel 6 zeigen deutlich, daß wärmetechnische Gebäudesanierung und Erhaltung oder Verbesserung einer architektonisch ansprechenden Gebäudeansicht durchaus harmonieren.

4.1.7 Integration der Anforderungen der Denkmalpflege in die wärmetechnische Gebäudesanierung.

Durch die Anforderungen der Länder-Denkmalschutzgesetze werden rund 15 % der bundesrepublikanischen Gebäudesubstanz erfaßt. Denkmalgeschützte Bestände finden sich vor allem in den Gebäudealtersklassen und Gebäudetypen: Fachwerkgebäude vor 1918, massive Wohngebäude vor 1918 (vor allem Gründerzeitgebäude und Reihenhäuser), Wohngebäude mit Baujahr zwischen 1918 und 1948. Eine Ausdehnung auf Mehrfamilienhaus- und Reihenhaustypen mit Baujahr zwischen 1948 bis 1967, soweit sie als geschlossene Wohnsiedlungen angelegt wurden, ist z.Z. in der Diskussion. Angesichts dieses Umfanges kommt kooperativen Lösungen zwischen Denkmalpflege und wärmetechnischer Gebäudesanierung eine hohe Bedeutung zu. Eine solche Kooperation der Programme von Denkmalpflege und wärmetechnischer Gebäudesanierung ist möglich. Berührungspunkte mit entsprechendem Abstimmungsbedarf ergeben sich bei der Sanierung der folgenden Bauteile:

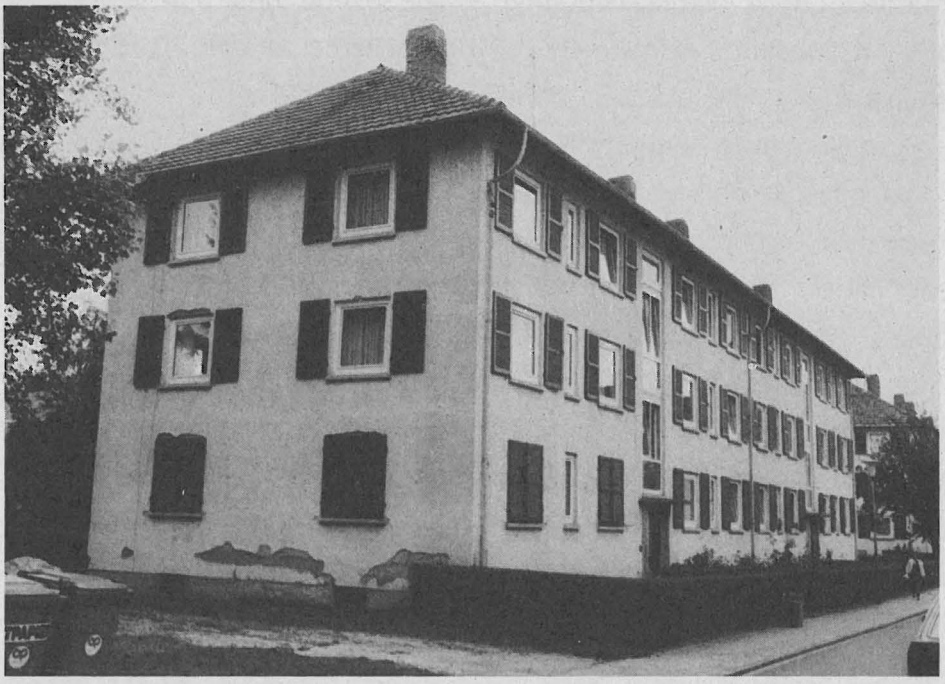
- Außenwände
- Fenster, Außentüren, Glasbausteinsegmente
- Klappläden oder Rolläden

Hierbei kann die wärmetechnische Sanierungsplanung Unterstützungsbeiträge für die Denkmalpflege erbringen. Umgekehrt können im Rahmen der Denkmalpflege die Erfordernisse der Energieeinsparung in die Pflege und den Erhalt der historischen Gebäudesubstanz eingebracht werden. Hierbei stehen Denkmalpflege und Wärmeschutzplanung oftmals vor den gleichen Problemen: Fehlerhafte und mit geringer Sorgfalt sowie bauphysikalisch falsch ausgeführte Dämm- wie auch sonstige Instandsetzungsmaßnahmen haben in der Vergangenheit Bauschäden im historischen Baubestand hervorgerufen. Wärmeschutz wurde deshalb für den Bereich der denkmalgeschützten Bausubstanz oftmals abgelehnt (z.B. für Fachwerkgebäude). Es ist jedoch erforderlich zu erkennen, daß nicht der Wärmeschutz zu Zerstörungen in der Bausubstanz führt, sondern die fehlerhafte Ausführung von Dämmaßnahmen, wie jede fehlerhafte Ausführung einer anderen Instandsetzungsmaßnahme auch (z.B. diffusionsdichte Anstriche). In einer abgestimmten Vorgehensweise können solche Mängel vermieden werden, wenn das für die Ausführung von Dämmaßnahmen wesentliche Wissen in Fachregeln für denkmalgeschützte Gebäudetypen umgesetzt werden. Gerner ist zuzustimmen, wenn er vor Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen für denkmalgeschützte Gebäude "gewissenhafte Voruntersuchungen" fordert /Gerner, Seehausen 1989/.

Der Beitrag der wärmetechnischen Sanierungsplanung für die Denkmalpflege

Im Rahmen von Sanierungskonzepten ist die Einbringung der Anforderungen der Denkmalpflege offensiv, systematisch und zum richtigen Zeitpunkt in der Planungsphase möglich. Entsprechende Dämmsysteme können in der Vorlaufphase bereits ausgewählt und für den jeweiligen Baubestand empfohlen werden, z.B. im Zuge der Aufstellung einer wärmetechnischen Gebäudetypologie für ein Siedlungsgebiet. Demgegenüber ist die heutige Situation oftmals durch eine zu späte Beteiligung der Denkmalpflege im Modernisierungsprozeß gekennzeichnet, was häufig zu Zielkonflikten führt. Die folgenden Gebäudefotos zeigen Mehrfamilienhäuser aus dem Baujahr 1956. Beim linken Gebäude wurden die Klappläden entfernt und es zeigt sich deutlich, in welchem Maße das äußere Erscheinungsbild negativ tangiert wird. Diese Beseitigung geht nicht auf eine wärmetechnische Gebäudesanierung zurück. Im Gegenteil: Im Zuge wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen können die Klappläden als zusätzlicher Wärmeschutz wieder eine Funktion erlangen. Lösungen für die Anbringung zeigt das Beispiel des Höhrle-Hauses in Konstanz (s.u.).

Fotos: Mehrfamilienhäuser in Heppenheim, Baujahr 1956 (KMH-D)



Integration von Wärmeschutz und Denkmalschutz am Beispiel der Sanierung des Höhrle-Hauses in Konstanz

Das Gebäude wurde als repräsentatives Wohnhaus vor 1775 (Jahr des letzten nachweisbaren Umbaus) im Rennaissancestil direkt am Bodenseeufer errichtet. Es steht unter Denkmalschutz. Die Fachwerkaußenwandkonstruktion (Weichholz) wurde durch einen an den Gebäudeecken und Fensterlaibungen mit Lisenen und Kapitellen strukturierten Verputz als Steinhaus (kaschierend) verkleidet. Die Gefachausmauerungen bestanden aus Bruchsteinen und Vollziegeln, die Beheizung wurde mit 4 Einzelöfen vorgenommen, die Fenster waren als Einfachfenster mit Einfachverglasung ausgebildet. Das Gebäude stand ab 1942 leer und wurde von der Stadt Konstanz dann über mehrere Jahrzehnte als Behelfswohnquartier für Obdachlose genutzt. Die Wohnfläche beträgt 220 m^2. Durch mangelnde Pflege und Instandhaltung kam es zu größeren Bauschäden wie abblätternden Putz, Regenwasserschäden, faulenden Balken und Sparren, aufsteigender Feuchtigkeit aus dem Keller-Bruchsteinmauerwerk. Das Gebäude wurde 1984 durch einen Architekten angekauft und grundständig saniert, nachdem wegen der Anforderungen der Denkmalpflege über einen längeren Zeitraum zahlreiche Interessenten ihre Kaufabsicht aufgegeben hatten.

Foto: Gebäudezustand nach der Sanierung

Die Sanierung wurde mit dem Denkmalpflegeamt Freiburg abgestimmt. Einvernehmlich konnten folgende Lösungen realisiert werden:

Die moderne Gebäudenutzung sieht Wohn- und Büronutzung sowie den Einbau eines Schwimmbades im Keller vor. Der schadhafte Verputz der Außenwände wurde entfernt, die Außenwände mit einem 5 cm dicken Wärmedämmverbundsystem (Polystyrolplatten) gedämmt und mit mineralischem Verputz in der Außenstruktur des historischen Putzes, glatt abgerieben, versehen. Die Formen der Lisenen und Eckausbildungen wurden mit Schablonen gesichert und auf der Dämmung wiederhergestellt. Die Fenster wurden als Isolierglasfenster mit historischer Sprossenteilung wiederhergestellt. Die Rahmen waren leicht nach außen vorzusetzen, um zur Sicherung der historischen Laibungstiefe die Dämmschichtdicke auszugleichen. Um die Kosten und die Wärmebrückenwirkung zu reduzieren, wurden die Fensterbänke aus Deco-Profilen (Dämmstoff und mineralische Beschichtung) hergestellt. Auch die verrotteten Fensterläden waren zu erneuern. Die Anbringung der neuen hölzernen Klappläden stellte trotz der Dämmung kein Problem dar. Das Dach wurde zwischen den Sparren wärmegedämmt (12 cm) und mit historischem Eindeckmaterial (Biberschwanz) eingedeckt. Die Sparrendach-Konstruktion hätte hier sogar noch eine dickere Dämmschichtstärke ohne Veränderung der Aufbauhöhe ermöglicht. Statt Beheizung durch Einzelöfen wird das Gebäude heute zentral mit einem atmosphärischen Gaskessel beheizt.

Die langfristige Lösung zum Erhalt des Gebäudes lag in der Kombination von Sanierung und Wärmeschutztechniken:

Die Fachwerkkonstruktion wird durch die äußere Dämmung vor äußerer Regenbeanspruchung und Tauwasserausfall im Innern geschützt. Das abgestimmte Gesamtpaket der Wärmeschutzmaßnahmen ermöglicht heute trotz moderner Nutzung und Beheizung des Gebäudes einen Heizenergieverbrauch von nur 15-18 m^3 Erdgas pro m^2 Wohnfläche, obwohl ein Schwimmbad beheizt wird und die Raumtemperaturen im Schwimmbad 29 Grad Celsius betragen.

Die Vorteile dieser gelungenen Integration von Denkmalschutz und Wärmeschutz:

- Erhalt und Wiederherstellung des denkmalgeschützten Wohngebäudes
- Sicherheit vor Bauschäden, auch langfristig
- Verbesserung der Bausubstanz, Wertsteigerung
- Behaglicheres Wohnen
- geringer Heizenergieverbrauch
- Emissionsminderung aus der Gebäudeheizung

Foto: Detail Eckausbildung

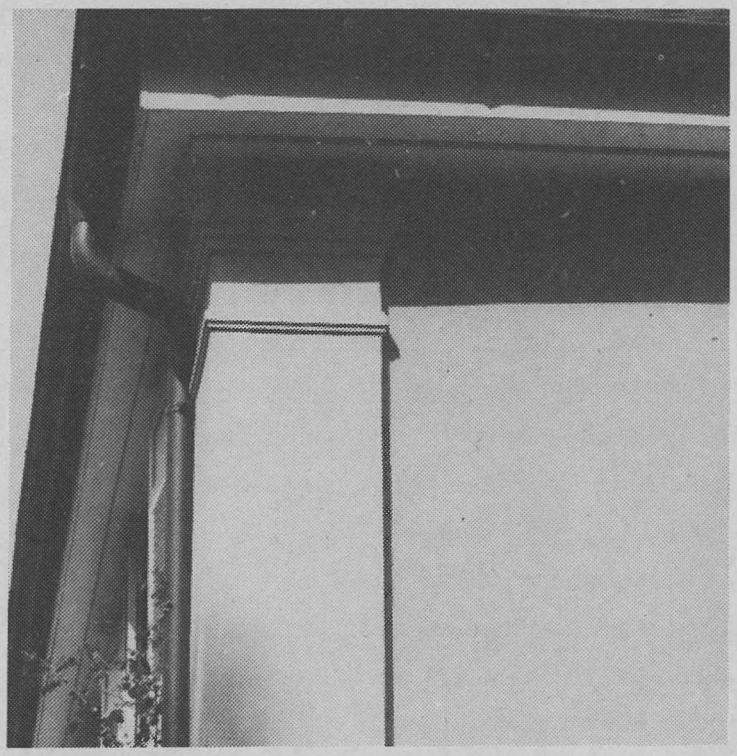
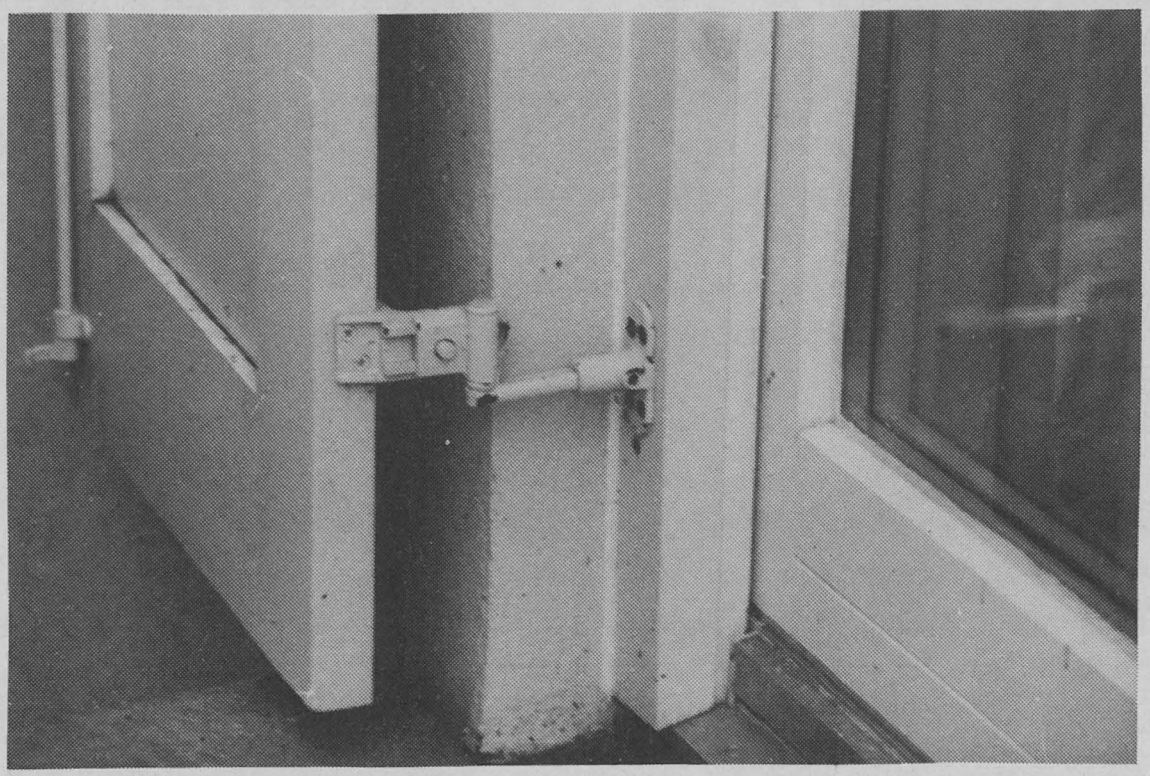


Foto: Detail Aufhängung der Klappläden



Der Beitrag der Denkmalpflege in der wärmetechnischen Gebäudesanierung

Mit der Verschärfung der Umweltprobleme und dem bedeutenden Anteil der Gebäudeheizung an den klimagefährdenden Emissionen /Enquete-Zwischenbericht, 1988/ werden auch die Grundsätze der Denkmalpflege zukünftig um Antworten auf die sich hieraus ergebenden Fragen nach einer Verbesserung des Wärmeschutzes auch und gerade in den historischen Gebäudebeständen erweitert werden müssen. Bereits heute sind zerstörende Umwelteinflüsse auf Einzeldenkmale ein wesentliches Problem für die Denkmalpflege. In diesem Sinne argumentiert bereits das Nationalkomintee zur Vorbereitung des Europäischen Denkmalschutzjahres 1975, wenn es ausführt: "Denkmalschutz heißt ja nicht nur im musealen Sinn zu konservieren, sondern heißt vor allem, im Rahmen moderner Stadtentwicklungspolitik unser historisches Erbe in das Leben von heute zu integrieren, damit menschlicher Maßstab und Qualität unserer Umwelt auch für die Zukunft erhalten bleiben" /BmBau Städtebaubericht 1975/. Unter den sich heute schärfer als 1975 stellenden Herausforderungen der Umweltbelastung sollte der "Erhaltungsgedanke" auch stärker als bisher auf die Reduzierung der Emissionen aus der Gebäudeheizung denkmalgeschützter (aber modern genutzter) Wohngebäude ausgedehnt werden. Gerade in den denkmalgeschützen Gebäudebeständen mit dünnen Fachwerkaußenwänden, Vollziegelaußenmauerwerk mit k-Werten über 1,2 W/(m^2K) und Außenwänden mit 24 cm dünnem Aufbau der Nachkriegszeit 1945 stellen sich wärmetechnische Sanierungserfordernisse in besonderem Maße, da sich diese Bausubstanz i.d.R. auch durch hohe Heizenergieverbräuche, einen hohen Ölanteil an der Energieträgerstruktur, oftmals noch Kohle- und Holzfeuerung in Einzelöfen und damit eine überdurchschnittliche Umweltbelastung auszeichnet.

Lösungsmöglichkeiten im Bereich der Fenstererneuerung

Im denkmalgeschützten Gebäudebestand ist der Ersatz von Fenstern nicht immer erforderlich. In Beständen mit historisch besserem Baustandard finden sich Kasten- und Verbundfenster mit noch guter Qualität, bei denen die Rahmen nur aufgearbeitet werden brauchen. Diese Maßnahme läßt sich z.B. mit dem Einbringen einer Lippendichtung in den Flügelrahmen und einer zusätzlichen inneren Wärmeschutz-Isolierverglasung verbinden. Auch innere Vorsatzscheiben in Holzrahmen oder der Einbau eines zweiten, inneren Fensters sind bereits realisiert. In den letzten 10 Jahren ist die Zahl der architektonisch verfehlten Neufenster zurückgegangen, was auch auf ein entsprechend flexibles Angebot der Fensterindustrie zurückgeht. Über

die Energieberatung und das Herausstellen positiver wärmetechnisch sanierter Beispiele ist es zusätzlich möglich, für Lösungen bei der Fenstererneuerung einzutreten, die Wärmeschutz und Denkmalschutz integrieren. Ein gutes Beispiel eines solchen offensiven Aufgreifens der Anforderungen des Denkmalschutzes bietet die Energiespar-Information Nr. 1 des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft und Technik zum Thema: "Energieeinsparung an Fenstern und Außentüren".
Es sind die unterschiedlichsten Problemlösungen möglich: Eine außenbündige Lage des Fensters kann nach Dämmaßnahmen durch Vorsetzen des Fensterrahmens wiederhergestellt werden. Dies ist wärmetechnisch sogar eine ideale Lösung, da die Wärmebrückenwirkung der äußeren Laibung auf Null reduziert wird (vgl. Beispiel des Höhrle-Hauses). Bei intakten Rahmen ist nur die Verglasung gegen Wärmeschutz-Isolierverglasung auszuwechseln. Ein inneres Zusatzfenster macht die Konstruktion zum Kastenfenster, so daß das äußere historische Erscheinungsbild erhalten bleibt. Dies gilt auch für innere Vorsatzscheiben. Grundsätzlich sollte der Lösung Vorrang gegeben werden, bei der die geringste Sprossenteilung für die energiesparende Verglasungsebene in Frage kommt, da der Randverbund der Scheiben als bedeutende Wärmebrücke wirkt. Er ist umso länger, je kleiner die Scheiben sind. Solche Lösungen kommen den Anforderungen der Denkmalpflege entgegen, bedeuteten sie doch den Erhalt oder Wiedereinbau von Kasten- und Verbundfenstern oder die Favorisierung von inneren Zusatzfenstern. Nur bei Einfachfenstern gibt es nur eine Verglasungsebene. Hier ist jedoch die Sprossenteilung in der Regel nicht sehr kleinteilig. Wo dies der Fall ist, sollte beim Fensterersatz entweder das Aufkleben von Sprossen (innen und außen) geprüft oder durch Klappläden oder wärmegedämmte Mini-Rolläden eine Teilkompensation der Wärmebrückenwirkung des Randverbundes herbeigeführt werden.
Technische Probleme, die eine hohe Dämmqualität der Verglasung im denkmalgeschützten Gebäudebestand verhindern könnten, existieren nicht. Erforderlich sind eine frühzeitige Abstimmung mit dem Investor und entsprechende Zuschußprogramme der Denkmalpflege.

Lösungsmöglichkeiten für Fachwerkgebäude

Ohne Einfluß auf das äußere Erscheinungsbild können beim Fachwerkhaus die folgenden Bauteile gedämmt werden:

- Dach oder Dachboden
- Kellerdecke oder Fußbodenaufbau

- Fenster.

Besondere Anforderungen stellt die Dämmung der Außenwände, wenn es sich um Sichtfachwerk handelt, oder wenn verkleidetes Fachwerk zu Sichtfachwerk umgewandelt werden soll. Für den Bedeutungsumfang muß darauf verwiesen werden, daß Sichtfachwerkaußenwände innerhalb des Fachwerkgebäudebestandes keineswegs dominierend sind.

Die gegenwärtige Diskussion verläuft in die Richtung, durch Herausnahme der Fachwerkaußenwände aus den Anforderungen der Wärmeschutzverordnung auf eine gute und weitergehende Dämmung zu verzichten. Darüber hinaus wird sogar hervorgehoben, daß die WSVO bei baulichen Veränderungen bestehender Gebäude nicht auf eine Begrenzung der Wärmeverluste durch Undichtigkeiten besteht /HMI, Vollzug WSVO, 1988/. Durch Undichtigkeiten z.B. in Dächern oder Fachwerkkonstruktionen können jedoch über ausströmende warme und damit feuchte Raumluft nicht nur die Energieverluste ansteigen, sondern vor allem Bauschäden entstehen, wenn die Raumluftfeuchte durch den Abkühlungsprozeß in der Konstruktion als Tauwasser ausfällt. Hier ist entscheidend, daß die Nutzungs- und Beheizungsbedingungen in historischen und denkmalgeschützten Fachwerkgebäuden gegenüber dem früheren Zustand heute völlig verändert sind. Die Gebäude werden in der Regel zentral beheizt, die Raumtemperaturen liegen höher, und es wird mehr Wohnfläche über einen längeren Zeitraum beheizt, als dies in der historischen Nutzungsphase mit Einzelöfen der Fall war. Die Feuchtebelastung des Innenluftvolumens ist damit gegenüber der historischen Bau- und Nutzungsphase deutlich nach oben verschoben, durch Badeinbau treten in Einzelräumen zusätzlich Feuchtebelastungsspitzen auf. Moderne Nutzung, Beheizung und Heiztechnik in denkmalgeschützten Gebäuden sollte deshalb durch Wärmeschutztechnik an der Gebäudehülle ergänzt werden. Dies ist der einzige Weg, um Schäden durch Wasserdampfdiffusion zu vermeiden.

Sollen die Fachwerkaußenwände als Sichtfachwerk ausgebildet werden, besteht die Möglichkeit der Innendämmung. Die Dämmung kann auch noch in die Gefache hineingezogen werden, wobei ein Grundgerüst aus massivem Gefachbaustoff aus Gründen des Schallschutzes i.d.R. unverzichtbar ist. Die Innendämmung ist mit einer in allen Anschlüssen und Durchdringungen sowie Stößen sorgfältig dicht ausgeführten Dampfsperre zu versehen. Es gehört zu den drängenden Problemen der Ausführung von Innendämmungen, daß gegenwärtig bereits bei der Formulierung von Ausschreibungen Fehler programmiert werden, indem die not-

wendigen Dichtungsarbeiten nicht positioniert werden. Die Dampfsperre ist auch deshalb erforderlich, weil Fachwerkgebäude heute nicht mehr "historisch" genutzt und beheizt werden. Die moderne Nutzung impliziert, wie oben dargestellt, eine höhere Feuchtebelastung des Gebäudeinnenvolumens. Ist eine Außendämmung nicht möglich, können nur durch den Einbau dampfsperrender Schichten durch Diffusion und auf Undichtigkeiten beruhende Schäden mit Sicherheit vermieden werden.

Aus Brandschutzanforderungen und aus Gründen des Feuchteschutzes von außen wurden viele Fachwerkaußenwände schon im historischen Zustand verkleidet (oftmals auch nur die Wetterseiten) oder verputzt ausgeführt. Die Verkleidung diente stets dem "Wetterschutz", also vor allem der Verhinderung von äußerer Durchfeuchtung durch Schlagregen. Dies beleuchtet ein Problem des Sichtfachwerks, das unabhängig von der Verbesserung des Wärmeschutzstandards existiert und gelöst werden muß. Für verkleidete Gebäude bieten sich die Dämmsysteme:

- Vorhangfassade (z.B. mit regionalen Verkleidungsmaterialien)
- Thermohaut, verputzt

an.

Die Innen- und Gefachdämmung kann durch ein Dämmsystem ergänzt werden, das vor allem die äußere Schlagregensicherheit erhöht. Polyurethan-Ortschaum (CO_2-geschäumt) wird außen mit einer Kletterschalung auf die Gefachausmauerung oder -füllung aufgebracht und verschließt in seiner kurzen Flüssigphase alle Zapflöcher und sonstigen Fehlstellen im Holzständerwerk, die sonst eines idealen Angriffspunkt für Regenwasser bieten würden. Die Dämmwirkung der dünnen PU-Schicht (2-3 cm) tritt hier als Zusatzeffekt in Erscheinung. Der PU-Schaum dient als Putzträger z.B. für einen mineralischen Außenputz /Fingerling 1986/.

Bedeutung effizienter Heiztechnik bei Einzeldenkmalen

Nur fünf Prozent der Altbausubstanz werden als Baudenkmal eingestuft /Gerner;Seehausen, 1988/. Insbesondere bei diesen Einzeldenkmalen ist eine Veränderung der äußeren Ansicht und der vorhandenen Außenmaterialien nicht möglich, solange der Zerfallsprozeß eine solche Änderung nicht erzwingt. Für diese Gebäude sollte eine besonders effiziente Heiztechnik eingesetzt werden, wobei Wirtschaftlichkeitsüberlegungen deutlich in den Hintergrund treten müßten. In Frage kommen vor allem:

- Der Anschluß an eine Nah- oder Fernwärmeversorgung
- Brennwertkessel auf Erdgas- oder Flüssiggasbasis

- Brennstoffbetriebene Wärmepumpen.

Darüber hinaus ist die Ausstattung der Fenster mit Wärmeschutz-Isolierverglasung (z.B. Kastenfenster oder Verbundfenster mit innere Zusatzscheibe), in vielen Fällen auch die Innendämmung mit sorgfältig ausgeführter Dampfsperre, eine Dämmung des Daches und der Kellerdecke von unten (z.B. aufgespritzte Steinwolle) möglich, ohne das äußere Erscheinungsbild zu verändern. In der Summe ergeben sich damit auch für Einzeldenkmale eine Vielzahl von Techniken, die für die Senkung des Heizenergieverbrauchs eingesetzt werden können.

4.1.8 Durchführung wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen im Zuge von Instandsetzungs-, Erneuerungs- oder Modernisierungsmaßnahmen

Die Kopplung wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen an ohnehin anstehende Instandsetzungs- Erneuerungs- oder Modernisierungsmaßnahmen hat eine hohe Bedeutung.

Der Sanierungsbedarf der Gemeinnützigen Wohnungswirtschaft wie auch für die Gesamtwohnungsbestände über die Städtebauförderung wird nach wie vor als sehr hoch eingeschätzt. Die Anmeldungen der Gemeinden im Städtebauförderungsprogramm übersteigen die vorhandenen Mittel. Im Bereich der Gemeinnützigen Wohnungsbaugesellschaften wird jährlich eine wachsende Zahl von 175.000 (1978) bis 305.000 (1988) Wohnungen modernisiert /Gesamtverband Gemeinnütziger Wohnungsunternehmen e.V., Modernisierungsstatistik, 1989/. Der Erneuerungs- und Instandsetzungsprozeß im Bereich der Ein- und Zweifamilienhäuser ist augenfällig.

Es kommt darauf an, diese günstigen Zeitpunkte, zu denen ohnehin baulicher Aufwand entsteht, für die zusätzliche Anbringung eines optimalen Wärmeschutzes zu nutzen.

Bisher wurden diese Modernisierungs- und Instandsetzungzeitpunkte nur äußerst bedingt auch für die Verbesserung des Wärmeschutzes am jeweiligen Bauteil genutzt. Im Verfahren der einfachen Stadterneuerung, den Dorferneuerungsprogrammen, der Modernisierungsprogramme der Länder, und in den wohnungspolitischen Sonderprogrammen wie den Aussiedler-Wohnungsbau, die Förderung von Dachgeschoßausbauten etc. werden die Erfordernisse der Energieeinsparung i.d.R. nicht integriert /Dehnen 1989/ /Baugesetzbuch 1987/. Die Stadt- und Dorfer-

neuerungsprogramme sehen i.d.R. auch die Möglichkeit der Anmeldung und Förderung von Maßnahmen vor, die der Energieeinsparung dienen, die Energieeinsparung wird jedoch nicht explizit genannt. Im Rahmen der Städtebauförderung sind keine Projekte der anmeldenden Kommunen bekannt, in denen explizit Wärmeschutz und moderne Heiztechnik verbessert werden sollten. Im Bereich der Dorferneuerung ist der Kreis der in die Förderung einbezogenen Bausubstanz sehr klein (historische, ortstypische Bebauung) und werden Energiesparmaßnahmen auch nur begrenzt gefördert /Richtlinien Hessen/.

Im Bereich des Gesamtverbandes Gemeinnütziger Wohnungsunternehmen sank der Anteil der modernisierten Wohnungen mit Maßnahmen im Bereich Wärme- und Schalldämmung seit 1978 bis 1987 sogar von rund 20 % auf rund 13 % ab, wobei diese Zahlen noch keine Aussage über die Qualität der Dämmaßnahmen ergeben. Die Referenzgebäude in der Gebäudetypologie zeigen deutlich, daß die im Bereich der Wohnungsbaugesellschaften ergriffenen Dämmaßnahmen in der Dämmschichtdicke suboptimal sind. Bei Dachdämmungen liegen sie zwischen 4 und 12 cm, bei Außenwandwärmedämmungen bei max. 6 cm. Nach wie vor wird Isolierverglasung statt Wärmeschutz-Isolierverglasung eingebaut. Nach Auslaufen des 4,35 Mrd.-Förderprogrammes von Bund und Ländern sowie dem gesunkenen Energiepreisniveau verzeichnen die Anbieter von Dämmsystemen auch einen ausgesprochen verhaltenen Markt im Bereich der Ein- und Zweifamilienhäuser /Auskunft: HECK-Dämmsysteme, STOTMEISTER-Dämmsysteme 1989/.

Durch Maßnahmenkopplung können die Kosten für die Dämmung optimiert werden. Einige Positionen fallen ohnehin an, andere können sogar entfallen. Auf eine anstehende Erneuerung des Außenputzes mit Abschlagen des Altverputzes kann z.B. verzichtet werden, wenn stattdessen ein Wärmedämmverbundsystem auf den bestehenden Verputz aufgebracht wird. Für weniger tragfähige Putzuntergründe gibt es Schienenhalterungs-Systeme. Damit lassen sich bei Gesamtinvestitionskosten von 100 DM pro m^2 für ein 12 cm starkes Wärmedämmverbundsystem mit Polystyroldämmplatten Kosten von 35 - 40 DM pro m^2 einsparen, die nicht der Dämmung, sondern der Instandsetzung zuzuordnen sind.. Zusätzlich ist die Gerüststellung mit ca. 8 DM pro m^2 ohnehin auch bei der reinen Putzerneuerung erforderlich.

Ist eine Dachneueindeckung erforderlich, kann eine Dämmung zwischen den Sparren auf der vorhandenen Innenverkleidung oder begrenzten Dämmschicht mit einer Aufdoppelung des Sparrens und einer damit höheren Dämmschichtdicke

kombiniert werden. Als Zusatzkosten zur ohnehin geplanten Maßnahme treten nur der Preis der Konterlatte für die Aufdoppelung (ca. 10 DM pro m^2) sowie der zusätzliche Aufwand für Dämmstoff und Dämmung mit ca. 8 bis 12 DM in Erscheinung, so daß bei z.B. 130 m^2 Dachfläche mit einem Kostenmehraufwand von rund 2.600 DM der Wärmeschutzstandard noch einmal deutlich verbessert werden kann.

Die folgenden Erneuerungszyklen und -maßnahmen können für eine Kopplung mit wärmetechnischen Sanierungsmaßnahmen genutzt werden. Die Erneuerungszyklen sind orientiert an den Angaben des Gesamtverbandes der gemeinnützigen Wohnungswirtschaft und des BMdF.

- Außenputz	20-40 Jahre
- Sichtbeton	27-50 Jahre
- Dacheindeckung	16 bis 50 Jahre
- Flachdachbahnen	13-20 Jahre
- Fußboden	20-30 Jahre
- Innenputz	40 Jahre
- Vorhangfasssade	25-30 Jahre
- Dachrinnen und Fallrohre	16-20 Jahre
- Estrich	27 - 80 Jahre
- Fenster und Türen	20 - 80 Jahre
- Rolläden	20 Jahre
- Verglasungen	13 Jahre
- Isolierverglasungen	13-27 Jahre

/BmBau 1987; Schmitz 1984/.

Die Bauteillebensdauer sinkt durch Luftverschmutzung deutlich ab. Dies ist in den Lebensdauerzyklen noch nicht berücksichtigt. Durch verbesserten Wärmeschutz und die damit verbundene Senkung des Luftverschmutzungsgrades (Gebäudeheizung emittiert über Dach in geringer Höhe) ist umgekehrt langfristig wieder eine Erhöhung der Bauteillebensdauern zu erwarten.

Für die Kombination von Wärmeschutz und Instandsetzungs- oder Modernisierungsmaßnahmen im Gebäudebestand bieten sich die folgenden Maßnahmen an:

- Außenanstrich
- Außenputzerneuerung oder Teilerneuerung
- Säuberung einer Klinkerfassade
- Neuverfugung einer Klinkerfassade
- Erneuerung der Platten einer Vorhangfassade
- Erneuerung oder Teilerneuerung des Innenputzes

- Erneuerung eines Holzfußbodens
- Einbringen von Parkettfußböden
- Ersatz von einscheibenverglasten Fenstern
- Austausch einer defekten Isolierverglasung
- Erneuerung der Eindeckung bei geneigten Dächern
- Ausbau des Dachs zu Wohnzwecken
- Erneuerung der inneren Dachverkleidung
- Sanierung der Gaubenverkleidung
- Sanierung einer defekten Dachhaut eines Flachdachs
- Sanierung von Bauschäden in Dächern mit unzureichender Dampf- und Windsperre
- Aufsetzen eines Satteldaches auf ein Flachdach zur Abwehr von Regenschäden
- Sanierung von Wärmebrücken zur Abwehr von Feuchte- und Schimmelbildung in Wohnräumen
- Modernisierung der Sanitärräume
- Modernisierung von leerstehenden Fachwerkhäusern
- Modernisierung der Wohnungsbestände der fünziger und sechziger Jahre aus Gründen der Wohnqualitätsverbesserung
- Sanierung von Betonschäden

4.2 Kosten und Wirtschaftlichkeit

4.2.1 Wirtschaftlichkeit als Beurteilungskriterium für energiesparende Maßnahmen

Für die Träger von Investitionsentscheidungen über Energiesparmaßnahmen ist es wichtig, über geeignete Auswahlmethoden und -kriterien zu verfügen. Neben den Problemen technischer Effizienz stehen bei heizungstechnischen oder bautechnischen Maßnahmen zur Wärmebedarfsreduzierung Fragen der Wirtschaftlichkeit zur Debatte. Technisch effiziente Formen der Energieverwendung und Einsparpotentiale werden oft nicht realisiert, weil der Investor keine Kenntnis hat oder sich unsicher ist, ob sich diese Investitionen für ihn einzelwirtschaftlich lohnen. Neben anderen wichtigen Hemmnissen ist diese mangelnde Kenntnis oder Beurteilungsfähigkeit der Vorteilhaftigkeit von Energiesparinvestitionen ein wichtiger Grund, weshalb größere Potentiale für eine rationelle Energienutzung nicht ausgeschöpft werden.

Nachfolgend werden Fragen der Beurteilung der Vorteilhaftigkeit von Investitionen rationeller Energienutzung und ihrer Finanzierungsprobleme unter vornehmlich betriebswirtschaftlichen Aspekten behandelt: die einzelnen Verfahren beziehen sich nur auf diejenigen Kosten und Nutzen, die quantifizier- bzw. monetär bewertbar und dem jeweiligen Projekt/Investitionsvorhaben verursachergerecht zurechenbar sind. Die Grenzen des Maßstabes "einzelwirtschaftliche Rentabilität" können kurz wie folgt zusammengefaßt werden:

a) Wirtschaftlichkeitsrechnungen können - entgegen häufig anzutreffender Ansicht - keine exakten Werte für zukünftige Kosten und künftigen Nutzen von Investitionen liefern. Alle Aussagen sind mit Unsicherheiten behaftet, die auf der unvollständigen Kenntnis künftiger Entwicklungen (z.B. Zins, Energiepreise) beruhen. Nur innerhalb dieser "Bandbreite" - die im übrigen u. U. bis zu ± 15 % der urspr. bestimmten Kosten ausmachen kann - kann eine Wirtschaftlichkeitsrechnung überhaupt verlässliche Aussagen machen.

b) Für die Bestimmung der Wirtschaftlichkeit gibt es unterschiedliche methodische Ansätze (Kapitalwertmethode, Methode des internen Zinssatzes, ...), die zu unterschiedlichen Rangfolgen bei der relativen Beurteilung verschiedener

Investitionsvarianten führen können. Insbesondere entstehen durch unterschiedliche Nutzungsdauern der Investitionsalternativen Verzerrungen beim Vergleich der verschiedenen Methoden. Die Entscheidung für ein bestimmtes Wirtschaftlichkeitskriterium wird nach Zielsetzungen und Werthaltungen des Investors getroffen und kann zu unterschiedlichen Entscheidungen führen.

c) Ansätze für die ökonomische Beurteilung von wärmetechnischen Maßnahmen werden auch häufig falsch, unvollständig oder methodisch unzureichend gemacht. Solche Fehler sind zwar prinzipiell vermeidbar, aber so weit und systematisch verbreitet, daß Vorsicht bei der Betrachtung von Wirtschaftlichkeitsrechnungen geboten erscheint.

d) Selbst bei methodisch einwandfreiem Vorgehen, realistischer Abschätzung aller eingehenden Parameter und sorgfältiger Analyse kann eine vergleichende Wirtschaftlichkeitsrechnung häufig keine Entscheidung zwischen unterschiedlichen Investitionsalternativen liefern. In vielen Fällen liegen nämlich die Ergebnisse der betriebswirtschaftlichen Rechnung für verschiedene Alternativen so nah nebeneinander, daß das Wirtschaftlichkeitskriterium allein keine vernünftige Entscheidung erlaubt. Insbesondere ist dies häufig bei der Bestimmung "optimaler" Investitionskennwerte, z.B. der "optimalen Dämmstoffdicke", der Fall: hier ergeben sich in sehr vielen Fällen extrem flach ausgebildete Kostenoptima, so daß angesichts der Unsicherheiten vieler Kalkulationsparameter von einem exakt bestimmbaren Optimum nicht die Rede sein kann. Vielmehr gibt es einen ganzen Bereich "relativ optimaler" Maßnahmen, unter denen nun eine Entscheidung nach anderen als wirtschaftlichen Kriterien vorzunehmen ist.

e) Auch in der Praxis werden Investitionsentscheidungen häufig gerade nicht nach betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten gefällt, sondern nach ganz anderen Kriterien. Fragen wie Finanzierbarkeit von Investitionen, ästhetische Gesichtspunkte, tradierte Verhaltensmuster oder Komfort- oder Repräsentationswünsche sind häufig entscheidende Motive für Investitionen. Für diese Gesichtspunkte ist es u. U. nicht oder nur schwer möglich, sie monetär auszudrücken oder eine Monetarisierung wird gar nicht gewünscht.

f) Neben den unter e) angesprochenen "subjektiven" Maßstäben, die neben der Wirtschaftlichkeit Einfluß auf Investitionsentscheidungen haben, gibt es durchaus "objektive" Kriterien, die neben der Wirtschaftlichkeit von großer Wichtigkeit sind. Darunter fallen z. B.:

- Komforterhöhungen (z.B. angenehmeres Raumklima, bequemere Bedienung), die sich meist nicht oder nur schwer finanziell quantifizieren lassen.
- Sicherheitsgesichtspunkte (z.B. höhere Versorgungssicherheit durch höhere eigene Reserven an Energieträgern).
- Umweltkriterien (z.B. geringere Emission und damit Schutz der menschlichen Gesundheit und der betroffenen Ökosysteme).
- Wertsteigerungen (z.B. Erhalt und Konservierung von Bausubstanz, künstlerische Gestaltung).
- Soziale Auswirkungen (z.B. Schaffung von Kommunikationsbereichen, Verbesserung des Wohnumfeldes).

All diese - sicher bedeutenden - Gesichtspunkte sind einer rein ökonomischen Betrachtung nur schwer zugänglich und werden in aller Regel auch bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen nicht berücksichtigt. Selbst wenn es (unter großem Aufwand!) gelingt, einige dieser Gesichtspunkte monetär auszudrücken, so sind doch immer noch wichtige Eigenschaften der Alternativen nicht gleich und müssen deshalb zur Auswahl als solche als Kriterien herangezogen werden. Wirtschaftlichkeitsrechnungen führen nur unter "ceteris paribus"-Bedingungen zu verläßlichen Rangfolgen.

g) Volkswirtschaftliche Kriterien müssen nicht immer im Einklang mit der betriebswirtschaftlichen Rechnung stehen. Z.B. ist bei betriebswirtschaftlicher Kostengleichheit zwischen einer Variante mit hohen Energiekosten (z.B. durch Bezug von Erdöl) und einer Variante mit hohen Kapitalkosten (z.B. durch Erneuerung der Heizanlage) volkswirtschaftlich die letzte Alternative sehr viel wünschenswerter, da die entstehenden Kosten in diesem Fall vollständig der nationalen Wirtschaft zugute kommen, während sie im ersten Fall größtenteils für importierte Rohstoffe ausgegeben werden müssen. Dieser Zusammenhang hat wiederum Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt - dies unterstreicht das volkswirtschaftliche Interesse an energetischen Sanierungsmaßnahmen über die einzelwirtschaftlichen Rentabilitätsgrenzen hinaus und macht u.a. deutlich,

weshalb finanzielle Förderprogramme für Energiesparinvestitionen volkswirtschaftlich sinnvoll sein können und nicht als verlorene Subventionen aufgefaßt werden dürfen.

4.2.2 Kritik statischer Berechnungsmethoden

Die Kostenvergleichsrechnung berücksichtigt nur die anfallenden Kosten ohne die Nutzen (d.h. hier die Energieeinsparung) zu betrachten. Es ist jedoch in den meisten Fällen der Realität nicht möglich, ausschließlich unter Berücksichtigung der Kosten die vorteilhafteste Investitionsmöglichkeit herauszufinden. Hierzu sind zusätzliche Informationen über die erwarteten Erträge (eingesparte Energiekosten) notwendig. Die eigentliche Zielgröße ist bei einer privatwirtschaftlichen Energieinvestition der Nettonutzen, der über die Kosten hinausgehende Erlöse zur Voraussetzung hat.

Die Gewinnvergleichsrechnung stellt Kosten und Erlöse eines Investitionsobjekts einander gegenüber und prüft, ob bzw. wann die Investition gewinnträchtig ist. Notwendige Informationen zur Anwendung dieses Verfahrens sind außer den Kosten auch die zu erwartenden Erlöse. Während bei der Gewinnvergleichsrechnung zwar die Zielgröße privatwirtschaftlicher Investitionstätigkeit, der Gewinn, Verwendung findet, gründet diese Methode ihre Ergebnisse auf einen mehr oder weniger willkürlich langen (oder kurzen) Zeitraum, auf den Kosten und Erlöse bezogen sind. Spätere Veränderungen (z.B. durch Reparaturen, Preisänderungen) finden keine Berücksichtigung. Auch diese Methode ist daher unvollständig und nur sehr eingeschränkt aussagefähig.

Die Amortisationsrechnung versucht einige zu grobe Vereinfachungen zu vermeiden, und vergleicht die voraussichtliche Nutzungsdauer einer Anlage mit dem Zeitraum der Amortisation des in der Anlage investierten Geldes, d.h. dem Zeitraum, in dem das investierte Geld an den Investor zurückgeflossen ist. Es wird der Zeitraum ermittelt, in dem sich die Investitionsausgaben aus den Erträgen (hier: Energieeinsparungen) zurückzahlen lassen. Bei der "dynamischen Amortisationszeit" ist die Verzinsung des eingesetzten Kapitals eingeschlossen, bei der "statischen Amortisationszeit" nicht. In beiden Fällen findet die Zeit nach dem Amortisationszeitpunkt keine Berücksichtigung; wenn ein bestimmtes Investitions-

objekt sich gegenüber einem anderen schneller amortisiert, sagt dies jedoch nicht viel über dessen Vorteilhaftigkeit während der gesamten Lebensdauer der Anlage.

Insgesamt berücksichtigen die statischen Methoden zur Berechnung der privatwirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit von Investitionen nur wenige Faktoren, die in der Realität von Einfluß sind. Sie vernachlässigen wichtige Größenrelationen und bilden daher die Realität nur unvollständig ab. Ihre Ergebnisse sind daher nur dann wichtig, wenn diese Größen berechtigterweise vernachlässigt werden können.

4.2.3 Dynamische Methoden zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit

Die dynamischen Methoden beziehen das zeitliche Auseinanderfallen von Einnahmen und Ausgaben (bzw. Einzahlungen und Auszahlungen) in die Berechnung der Vorteilhaftigkeit einer Investition ein, während die Kosten- und Gewinnvergleichsrechnung die Zeitkomponente vollständig außer acht lassen, und die Amortisationsrechnung den Zeitraum der Nutzung einer Investition lediglich bis zum Zeitpunkt des Kapitalrückflusses einbezieht.

Bei der Kapitalwertmethode ist das Kriterium der Kapitalwert einer Investition. Jede Zahlung oder Einnahme wird mit dem Kapitalzinssatz zurückgezinst auf den Bezugszeitpunkt, das Ergebnis ist der Barwert. Der Kapitalwert ist die Summe der Barwerte aller Zahlungen (kapitalisierter Gewinn oder Verlust). Der Kapitalwert ist somit die Differenz aller mit dem kalkulatorischen Zinssatz auf den einheitlichen Bezugszeitpunkt abgezinsten erwarteten Einnahmen und Ausgaben des Investitionsobjekts.
Ein Investitionsvorhaben ist dann absolut vorteilhaft, wenn sein Kapitalwert gleich Null oder größer als Null ist; d.h. der Wert der abdiskontierten Überschüsse übersteigt die Anschaffungsausgaben (bzw. die Verzinsung des investierten Geldes übersteigt den marktüblichen Zins). Eine Investition ist vorteilhafter als alternative Vorhaben, wenn sein Kapitalwert größer ist als die Kapitalwerte der Investitionsalternativen.
Wesentliche Problem bestehen darin, den "richtigen" Kalkulationszinssatz zu finden und die unterschiedliche Preisentwicklung wichtiger Faktoren wie der Energiekosten adäquat zu berücksichtigen.

Bei der internen Zinsfußmethode wird die Kapitalwertfunktion nach dem Zinssatz aufgelöst; es wird derjenige Zins ermittelt, der den Kapitalwert der Investition gerade gleich Null werden läßt. Der interne Zinsfuß zeigt die Effektivverzinsung (interne Rendite) einer Investition. Ein Investitionsvorhaben ist vorteilhaft, wenn der interne Zinsfuß mindestens so groß ist wie der Kalkulationszinsfuß ist (der einen geforderten Mindestzinssatz, z.B. den Kapitalmarktzins, angibt).

Die Annuitätenmethode ist ebenfalls äquivalent zur Kapitalwertmethode. Unter Berücksichtigung der Zinsen wird der Kapitalwert in über die Nutzungsdauer gleich hohe jährliche Kosten umgerechnet. Die Höhe dieser jährlichen Zahlungen heißt Annuität. Die Annuität berechnet sich aus dem Kapitalwert durch Multiplikation mit dem Annuitäts- oder Wiedergewinnungsfaktor, der nur von der Kalkulationszinssatz und der Nutzungsdauer abhängt. Der Kapitalwert wird also auf die Zahl der Nutzungsperioden der Investition verteilt (periodisiert). Es wird der durchschnittliche Jahresgewinn oder -verlust (d.h. die Einkommensänderung) ermittelt, der sich während der Nutzungsdauer der Investition unter Berücksichtigung des Kalkulationszinses ergibt. Dazu werden alle Einnahmen und Ausgaben in zwei Zahlungsreihen umgewandelt, auf den Bezugszeitpunkt diskontiert und mit dem Wiedergewinnungsfaktor multipliziert.
Ein Investitionsvorhaben ist vorteilhaft, wenn die Annuität nicht negativ ist, bzw. bei mehreren Investitionen, wenn seine Annuität größer als die der Investitionsalternativen ist.
Da bei der Annuitätenmethode durchschnittliche jährliche Zahlungsgrößen (Durchschnittsgewinn bzw. -kosten pro Jahr) ermittelt werden, sind die Ergebnisse anschaulicher als bei der Kapitalwertmethode.

Alle dynamischen Methoden unterstellen eine Wiederanlagemöglichkeit des freiwerdenden Geldes, eine Voraussetzung, die der Realität oft nicht entspricht. Wenn sich die Investitionsalternativen hinsichtlich Nutzungsdauer und Kapitalbindung unterscheiden, müssen außerdem die "Differenzinvestitionen" unterstellt werden, um die Alternativen vergleichbar zu machen.

In der Wirklichkeit beeinflussen die unterschiedlichen Informationsmöglichkeiten (Information über die zu erwartenden Einnahmen-/Ausgabenveränderungen und

deren Komponenten sowie über Kalkulationszinssätze, Inflationsraten, Nutzungsdauer der Anlage etc.) die Möglichkeit der Methoden in großem Ausmaß (insbesondere ist der Informationsbedarf der verschiedenen Methoden unterschiedlich). In der Realität liegen meist weder alle erwünschten Informationen vor, noch sind sie vollständig ermittelbar (mangelnde Zurechenbarkeit von Kosten und Erlösen, mangelnde Vorhersehbarkeit der Höhe und des Zeitpunktes ihres Eintreffens etc.). Ihre Anwendung liefert daher nur mehr oder weniger verläßliche Indikatoren für die privatwirtschaftliche Vorteilhaftigkeit einer Investition. Unter den beschriebenen Restriktionen liefern die dynamischen Verfahren, insbesondere die Kapitalwert- und Annuitätenmethode praktikable Möglichkeiten zur Beurteilung der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit von Investitionsvorhaben, da sie die zeitliche Struktur von Einnahmen und Ausgaben zu erfassen versuchen und daher eine genauere Beurteilung der Wirtschaftlichkeit erlauben als die vorher geschilderten statischen Verfahren.

4.2.4 Kosten für die eingesparte Kilowattstunde Endenergie

Als Beurteilungskriterium für die Wirtschaftlichkeit wird in dieser Studie die **Annuitätenmethode** verwendet, die äquivalent ist zur Kapitalwertmethode (vgl. 4.2.3). Dabei werden die durch die Sparmaßnahme entstehenden zusätzlichen Investitionskosten I (d.h. die Mehrkosten gegenüber der normalen Instandsetzung) auf jährliche Kapitalkosten umgelegt, die über die Nutzungsdauer der Maßnahme konstant sind. Die gesamten Jahreskosten ergeben sich aus den Kapitalkosten, den durchschnittlichen jährlichen Energiekosten sowie gegebenenfalls Zusatzkosten (z.B. Wartungskosten oder Hilfsenergie):

$$K_S = a \cdot I + P \cdot E_S + Z$$

K_S = durchschnittliche Jahreskosten nach der Sparmaßnahme
a = Annuitätsfaktor
I = Investitionskosten für die Sparmaßnahmen (nur Mehrkosten)
P = Preis für die Energieeinheit im Durchschnitt über die Nutzungsdauer
E_S = jährlicher Energieverbrauch nach Durchführung der Maßnahme
Z = eventuelle jährliche Zusatzkosten

Ohne die Sparmaßnahme wären die Jahreskosten:

$$K_O = P \cdot E_O$$

K_O = durchschnittliche Jahreskosten ohne Maßnahmen
E_O = jährlicher Energieverbrauch ohne Maßnahmen

Die Maßnahme ist wirtschaftlich, wenn eine Kosteneinsparung erzielt wird, also
$K_S < K_O$.

Dies ist äquivalent zu

$$P > P_{Ein} = \frac{a \cdot I + Z}{E_{Ein}}$$

P_{Ein} hat die anschauliche Bedeutung des "Preises für die eingesparte Einheit Energie". Eine Maßnahme ist also genau dann wirtschaftlich, wenn der Preis P_{Ein} für die eingesparte Kilowattstunde Energie geringer ist als der zukünftige über die Nutzungsdauer gemittelte Preis P für die bezogene Kilowattstunde Energie.

Diese Darstellung hat folgende Vorteile:

- Als unmittelbarer Vergleichswert für einen tatsächlichen Energiepreis ist der "Preis für die eingesparte Kilowattstunde Energie" eine anschaulichere Größe als Kapitalwerte oder gesamte Jahreskosten.

- In die Berechnung des Beurteilungswertes P_{Ein} gehen als Annahme über die zukünftige Entwicklung nur die Kapitalmarktzinsen ein (sowie gegebenenfalls Preissteigerungen für eventuelle Zusatzkosten Z), nicht dagegen die Energiepreissteigerung. Damit kann der "Preis für die eingesparte Energie" verläßlicher berechnet werden als Kapitalwerte bzw. mittlere jährliche Gesamtkosten.
  Die unsichere zukünftige Energiepreisentwicklung steckt ausschließlich in der Vergleichsgröße P, dem mittleren zukünftigen Energiepreis. Die aus der Berechnung von P_{Ein} hergeleitete Aussage: "Die Maßnahme ist wirtschaftlich ab einem mittleren zukünftigen Energiepreis von $P = P_{Ein}$" ist damit vergleichsweise unempfindlich gegenüber Veränderungen bei den Annahmen.

- Der "Preis für die eingesparte Einheit Energie", P_{Ein}, ist ein Beurteilungskriterium für die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme, anhand dessen nicht nur alternative Maßnahmenlösungen, sondern auch völlig unterschiedliche Maßnahmen aus verschiedenen Bereichen miteinander verglichen werden können. Da P_{Ein} außerdem eine Vergleichsgröße für den Preis der bezogenen Energie ist, können anhand dieser Größe Einsparmaßnahmen mit verschiedenen Energiebereitstellungstechnologien verglichen werden.

4.2.5 Rahmendaten

Die in der vorliegenden Studie verwendeten Rahmendaten entsprechen den Vereinbarungen, die von der Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" für das im Jahr 1989 erstellte Studienpaket getroffen wurden. Im einzelnen werden folgende Annahme gemacht:

Grundsätzlich wird mit realen Preisen gerechnet. Der reale Kapitalzins beträgt 4 % p.a. Für die Umrechnung auf nominale Verzinsungen wird eine Inflationsrate von 2,5 % p.a. angenommen.

Für die Entwicklung der realen Energiepreise (Bezugsjahr 1987) wurden folgende Annahmen unterstellt (Trend-Entwicklung):

Pf/kWh	1987	1995	2000	2005	2010
Haushaltsstrom	28,7	25,6	28,3	29,8	32,2
Haushaltsstrom, Arbeitspreis	21	20	23	25	28
Heizstrom	12,3	10,1	11,1	12,4	13,8
Heizöl (HEL)	3,8	4,4	5,1	6,2	7,7
Erdgas *)	5,5	5,6	6,4	7,4	9,1
Steinkohle	7,1	8,4	9,2	10,0	10,9
Braunkohle	7,3	9,1	10,0	10,9	11,8

*) bezogen auf den oberen Heizwert

Die Angaben sind jeweils als Endpreise für die Haushalte zu verstehen.

Für das **Sparszenario** wurden deutlich höhere Energiepreise unterstellt:
Danach sind die Preise für Brennstoff im Jahr 2005 um 5,4 Pf/kWh höher als bei der Trendentwicklung, beim Strom liegen sie um 7 Pf/kWh höher.

Unter diesen Annahmen wären bei der Trendentwicklung und einer Beheizung mit Brennstoff (Mittelwerte) im Jahr 1990 Energiesparmaßnahmen, die eine Nutzungsdauer von 25 Jahren haben, bis zu einem Preis von ca. 6 Pf. für die "eingesparte Kilowattstunde Energie" wirtschaftlich. Bei der für die Sparvariante unterstellten Entwicklung liegt die Wirtschaftlichkeitsgrenze 1990 bei 11 Pf/kWh, bis 1993 würde sie auf 13 Pf/kWh steigen.

4.2.6 Kosten wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen

4.2.6.1 Gesamtkosten und Zusatzkosten bei Kopplung wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen an die Bauteilerneuerungszyklen.

Gesamtkosten wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebestand

Die Kosten der wärmetechnischen Sanierungsmaßnahmen wurden aus vorliegenden Ausschreibungsergebnissen, Kostenangaben in der Literatur zur Altbaumodernisierung und Instandsetzung, Bauforschungsberichten, sowie durch Recherchen bei einzelnen Dämmstoffherstellern bestimmt /Schmitz 1985/ /Fahrenholtz 1988/ /. Schmitz 1990/ /IfB 1986/ /IfB o.J./ /IBK 1988/ /HECK 1989/ /LOBA 1990/ /Kerschberger 1989/ /Hermann 1990/ /RWE 1990/ /S.T.E.R.N. 1990/ /IKE + FfB 1986/ /Weidlich 1989/ /Bremer Energiebeirat 1989/ /GhK 1988/.

Die Preisannahmen (differenziert in die Gesamtkosten und den Kostenanteil für Instandsetzung des jeweiligen Bauteils) sind in den Katalogen der gewählten wärmetechnischen Sanierungsmaßnahmen für das TREND-Szenario und das SPAR-Szenario (Tabelle 4.3.1 und 4.3.2, S. 90 ff) dokumentiert.

Das Preisniveau ist auf eine mengenmäßig mittlere Leistung mit normalen bis leichten Erschwernissen bezogen. Die Kostenangaben orientieren sich an mittleren bis unteren Preisen, da zu erwarten ist, daß mit einer Verstetigung und Vergröße-

rung des wärmetechnischen Sanierungsvolumens die gegenwärtig anzutreffenden sehr großen Preisspannen bis zu 80 % bei gleichen Gewerken nach unten nivelliert werden:

- Mit einer Zunahme des Auftragsvolumens können sich die Handwerksfirmen auf die Fertigungstechniken im Bereich der wärmetechnischen Gewerke einstellen.
- Eine Verstetigung des Auftragsvolumens macht betriebliche Vorinvestitionen kalkulierbarer und rentabler.
- Ein kontinuierliches Auftragsvolumen in Wärmeschutzmaßnahmen wird die Zunahme von Fähigkeiten in der Bauausführung bewirken. Während die Lohnkostenanteile für Dämmaßnahmen gegenwärtig in der Größenordnung von 60 bis 83 % liegen /Schmitz 1984/, ist künftig mit einer Senkung zu rechnen.
- Sogenannte "Angstzuschläge" bei der Preisbildung, die heute Preisunterschiede bis zu 80 % bewirken können, werden durch eine zunehmende Anbieterkonkurrenz abgebaut.
- Ein vergrößertes Auftragsvolumen für wärmetechnische Sanierungsmaßnahmen wird auf örtlicher Ebene auch die Preistransparenz über Wärmeschutzmaßnahmen verbessern.

Wärmeschutz-Zusatzkosten bei Kopplung von Wärmeschutzmaßnahmen an den Bauteilerneuerungszyklus

Die Kosten der wärmetechnischen Sanierungsmaßnahmen werden gesplittet ausgewiesen: Die Gesamtkosten verringern sich um den Kostenanteil für Instandhaltung, wenn Wärmeschutzmaßnahmen im Gebäudebestand in Verbindung mit Instandsetzungs- oder Modernisierungsmaßnahmen ausgeführt werden. Nur wenn keine weiteren nennenswerten baulichen Mehrkosten entstehen, sind Wärmeschutzmaßnahmen auch unabhängig vom Instandhaltungszyklus auszuführen (z.B. Einblasdämmung Flachdach, Steildach). Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung werden nur die Zusatzkosten der Dämmung angesetzt.
Bei Kopplung von Instandsetzungs- mit Wärmeschutzmaßnahmen kann eine Verbesserung des Wärmedämmstandards mit geringsten Zusatzkosten realisiert werden:

- Kosten für die Baustelleneinrichtung, Gerüststellung, Beiputzen nach Fenstererneuerung, Neuverputz oder Teilerneuerung des Verputzes, Abnahme von

Fassadenplatten, Abfuhr von Bauschutt, Außenanstrich, Sanierung der Flachdachhaut, Innenverkleidung von Wänden, Kellerdecken und Dächern sind Bestandteile der Gebäudeinstandsetzung. Diese Kosten werden der Instandhaltung zugeordnet und sind in den Tabellen 4.3.1. und 4.3.2 ausgewiesen.

- Durch die Dämmaßnahme können bei verschiedenen Bauteilen auch einzelne konventionelle Sanierungsschritte und damit Kosten vermieden werden, die bei reiner Instandsetzung entstanden wären. Vermeidbare Sanierungsschritte sind von Fall zu Fall: Abschlagen oder Teilerneuern des Außen- oder Innenputzes, Entfernung alter Dachdichtungsbahnen bei Flachdächern, Teile der Betonsanierung oder die Reduzierung von Stemmarbeiten, Spachtelungen, Sanierung von Rissen und die Fugensanierung. Diese möglichen Kosteneinsparungen wurden in den Katalogen der wärmetechnischen Sanierungsmaßnahmen nicht berücksichtigt, stellen also für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen ein Sicherheitspotential dar. Dies gilt auch für die Vermeidung erhöhter Kosten durch nicht schadensgerechte Gebäudesanierung: Die Zusatznutzen von Wärmedämmaßnahmen im Bereich der Substanzerhaltung und Bauschadensbeseitigung können zur Vermeidung von Mehrfachkosten führen. Dies ist bei der Betonsanierung oder der Riß- und Fugensanierung der Fall, wenn über einen langfristigen Zeitraum evtl. mehrfach erforderliche Instandsetzungsmaßnahmen vermieden werden können. So steht z.B. wiederholten Malerarbeiten zur Sanierung von Putzrissen an der Außenwand in der Höhe von zwei bis dreimaligen Kosten in Höhe von jeweils 35 DM/m^2 eine einmalige Investition für ein Wärmedämmverbundsystem in Höhe von 100,00 DM/m^2 gegenüber, die das Problem dauerhaft beseitigen kann. Auch solche möglichen Kostengutschriften für Wärmeschutzmaßnahmen wurden in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt.

Das Prinzip der Maßnahmenkopplung ist bereits bei der Heizkesselerneuerung in der Praxis üblich.

4.2.6.2 Optimale Dämmstoffstärken

Bei nachträglichen Wärmeschutzmaßnahmen tritt immer wieder das Problem auf, welche Dämmstoffstärken sinnvollerweise zu wählen sind. Weit verbreitet ist die Praxis, die Dämmstoffdicken an der Untergrenze des gerade noch vertretbaren zu halten. In diesem Abschnitt soll untersucht werden, **welche Dicken** für eine nachträgliche Dämmung aus betriebswirtschaftlicher Sicht gewählt werden sollten.

Hierzu wurden für verschiedene Maßnahmentypen die Investitionskosten ermittelt sowie die Energieeinsparung berechnet, jeweils in Abhängigkeit von der Dämmstoffstärke. Die Investitionskosten setzen sich jeweils zusammen aus einem Fixkostenanteil sowie einem Anteil, der proportional zur Dämmschichtdicke ist:

$I(d) = I(0) + i \cdot d$

d = Dämmstoffdicke

$I(d)$ = Investition bei Dämmstoffdicke d

i = Zusatzkosten pro Längeneinheit zusätzlicher Dämmstoffdicke.

Die jährliche Energieeinsparung E(d) wurde in Abhängigkeit von der Dämmstoffstärke berechnet, wobei jeweils Gebäude aus dem Bestand vor Einführung der Wärmeschutzverordnung zugrundegelegt wurden (k-Wert ca. 1,4 $W/(m^2K)$). Bereits suboptimal gedämmte Bauteile mit wesentlich besseren k-Werten sind ohnehin in den meisten Fällen unter der Bedingung der wirtschaftlichen Rentabilität nicht energetisch sanierbar. Dies wurde bei der Berechnung der Einsparpotentiale in Kapitel 7 und 8 berücksichtigt. Die Ermittlung "optimaler" Maßnahmen erübrigt sich daher in diesem Falle.

Für die Berechnung der Endenergieeinsparung wurde eine moderne Ölheizung zugrundegelegt. Für die Berechnung der Kosten wurde von den Preisszenarien der Enquete-Kommission für den Energieträger Öl angegangen (vgl. 4.2.5), dem dort vereinbarten realen Kapitalzinssatz von 4 % sowie einer Nutzungsdauer von 25 Jahren für nachträgliche Dämmaßnahmen.
Aus diesen Angaben wird der Kapitalwert $K_{Ein}(d)$ für die während der Nutzungsdauer eingesparten Energiekosten berechnet:

$$K_{Ein}(d) = E(d) \cdot \sum_{t=1}^{n} \frac{P(t)}{(1+p)^t}$$

$$= E(d) \cdot P(0) \cdot \frac{1+s}{p-s} \cdot \left(1 - \left(\frac{1+s}{1+p} \right)^n \right)$$

$$= E(d) \cdot k$$

$K_{Ein}(d)$ = Kapitalwert der eingesparten Energiekosten

$E(d)$ = jährlich eingesparte Endenergie

n = Nutzungsdauer

p = Kapitalzinssatz

s = jährliche Energiepreissteigerung ($s \neq p$)

$P(t)$ = Preis für die eingesparte Energieeinheit im t-ten Jahr nach der Maßnahme

k = Kapitalwert für Energiekosten für eine Energieeinheit pro Jahr

In den Abbildungen 4.2.6-1 bis 4.2.6-3 sind für verschiedene Maßnahmen die Kostenkurven I(d) und $K_{Ein}(d)$ über der Dämmstoffdicke aufgetragen. Während I(d) linear ist, geht $K_{Ein}(d)$ proportional zu E(d) in eine Sättigung über (mehr als der Verlust durch das Bauteil kann nicht eingespart werden).
Die gesamte Kosteneinsparung K(d) ergibt sich dann aus

$$K(d) = K_{Ein}(d) - I(d)$$
$$= k \cdot E(d) - i \cdot d - I(0)$$

Diese Kurve ist ebenfalls in den Abbildungen dargestellt. K(d) hat ein Maximum bei einer Dämmstoffstärke d_{opt}, dem betriebswirtschaftlichen Optimum. Die Lage dieses Optimums hängt bei gegebenen Rahmendaten im wesentlichen von den spezifischen Investitionskosten i für eine zusätzliche Längeneinheit Dämmstoffdicke ab. Das Optimum hängt dagegen nicht von dem Fixkostenanteil I(0) ab, der die Kurve nur nach oben oder unten verschiebt. Die Abhängigkeit vom ursprünglichen k-Wert des ungedämmten Bauteils besteht in einer Verschiebung entlang der Dickenachse, denn der durch die Dämmaßnahme erzielbare wirtschaftlich optimale k-Wert ist von der Ausgangssituation unabhängig.

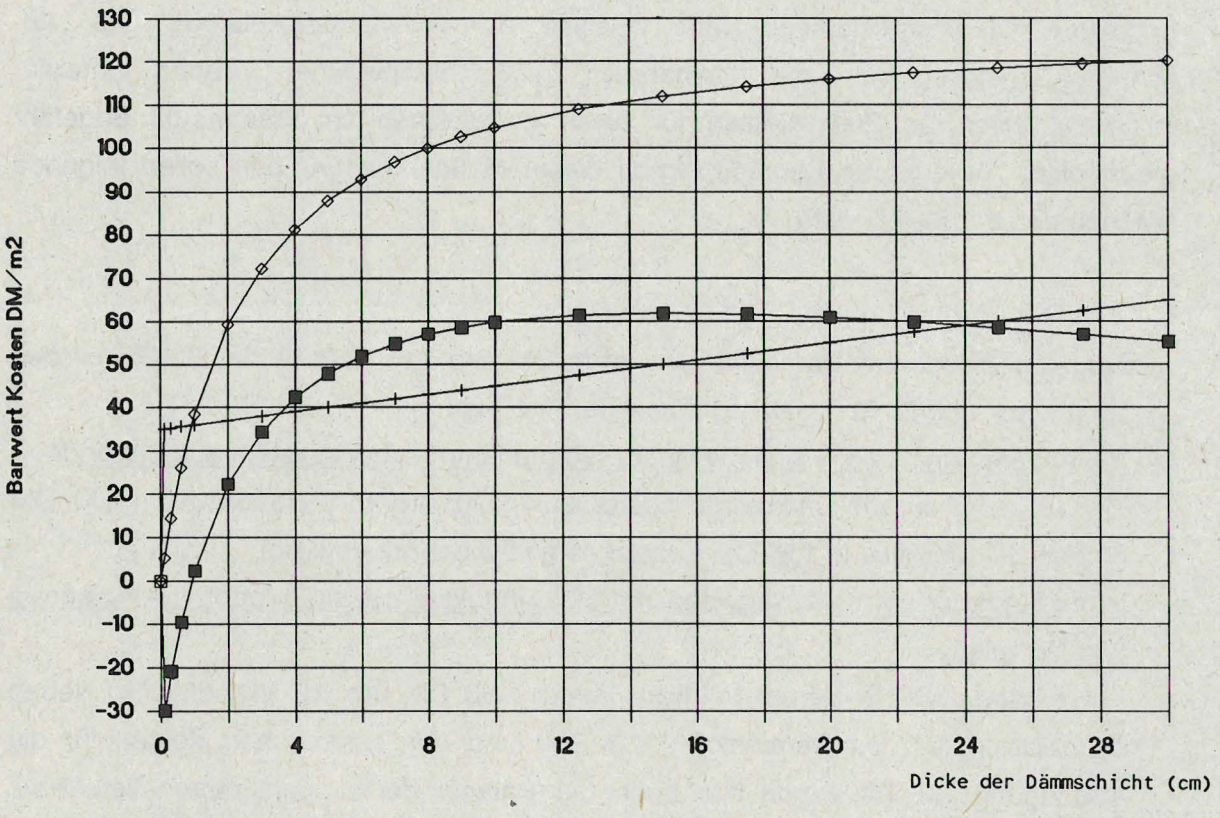
Damit ist der Faktor i die bestimmende Einflußgröße für die Berechnung der optimalen Dämmstoffstärken. Nach Analyse der Maßnahmenkataloge (vgl. Abschnitt 4.3) lassen sich die Maßnahmen in 3 verschiedene Gruppen einteilen, innerhalb derer die Zusatzkosten für einen zusätzlichen cm Dämmstoff ungefähr gleich sind. Als typische Repräsentanten dieser Maßnahmengruppen sollen folgende Maßnahmen dargestellt werden:

a) Steildachwärmedämmung mit Mineralwolle
   Ein zusätzlicher cm Dämmstoff kostet 1 DM pro m^2 Dachfläche (80 Pf für den Dämmstoff und 20 Pf Zusatzkosten bei der Anbringung)
b) Außendämmung einer Wand mit einem Wärmedämmverbundsystem aus Styropor
   Ein zusätzlicher cm Dämmstoff kostet 2,50 DM pro m^2 Wandfläche (1,00 DM für den Dämmstoff und 1,50 DM Zusatzkosten bei der Anbringung)
c) Innendämmung einer Außenwand mit Verbundplatten aus Styropor, Dampfsperre und Gipsplatte
   Ein zusätzlicher cm Dämmstoffdicke kostet 6,80 DM pro m^2 Wandfläche. Neben den Kosten für den Dämmstoff (1,00 DM) und den zusätzlichen Kosten für die Anbringung (67 Pf) wurde hier auch der Barwert der zu zahlenden Miete bzw. der entgangenen Mieteinnahmen für den durch die Wärmedämmung verlorenen Innenraum berücksichtigt (5,13 DM).

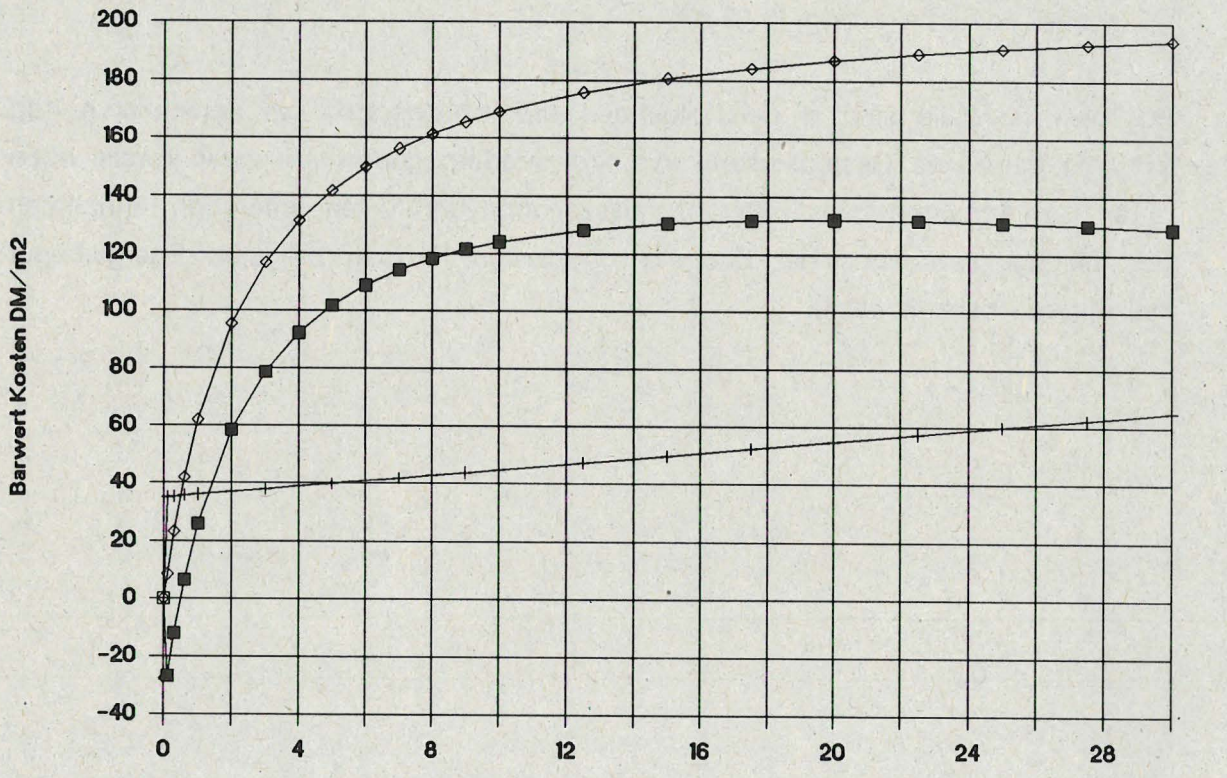
Für die drei Fälle sind in den folgenden drei Abbildungen die Kostenkurve I(d), K_{Ein} (d) sowie die Gesamtkostenkurve K(d) wiedergegeben und zwar jeweils oben unter den Annahmen des Referenzpreisszenarios und unten unter den Annahmen des Hochpreisszenarios der Enquete-Kommission für den billigsten Energieträger Heizöl (vgl. Abschnitt 4.2.5).

Abbildung 4.2.6-1: Wirtschaftlichkeit einer Steildachdämmung mit Mineralwolle

Referenzpreisszenario



Hochpreisszenario



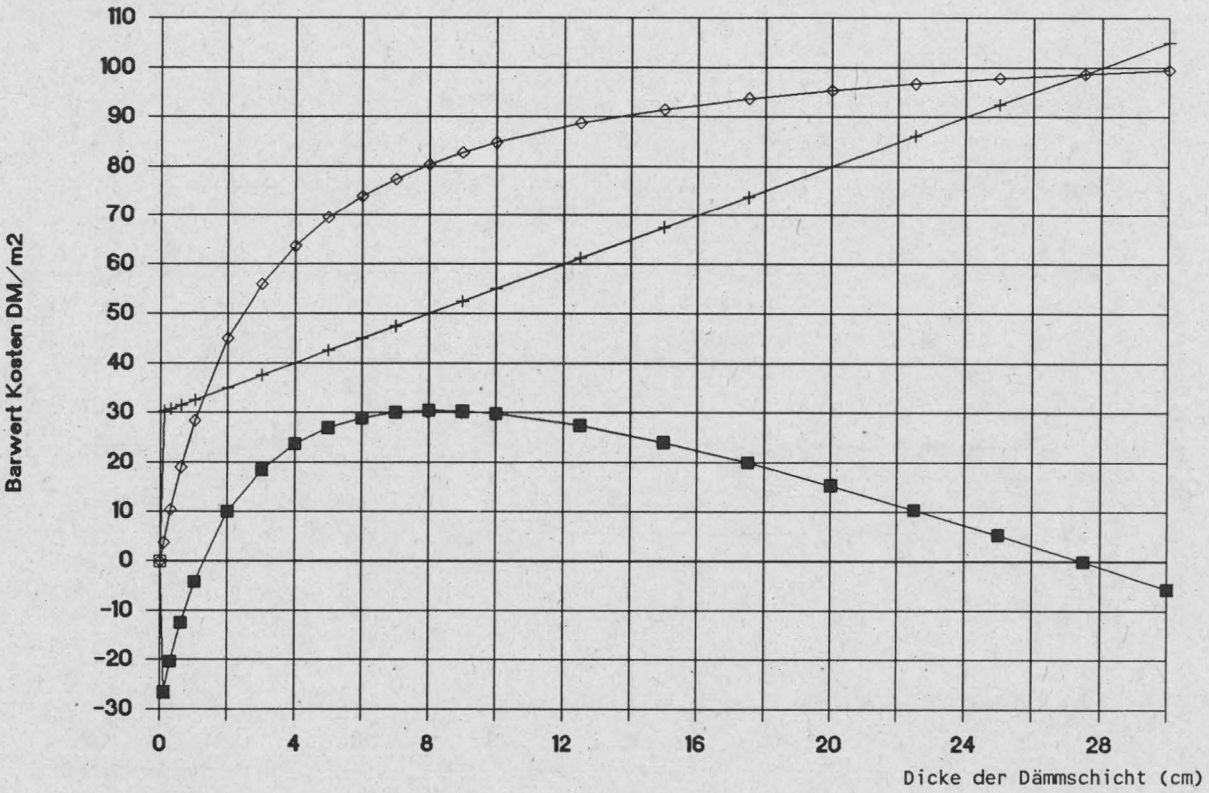
■ Netto-Einsparung (Energiekosteneinsparung abzügl. Investitionskosten)

\+ Investitionskosten

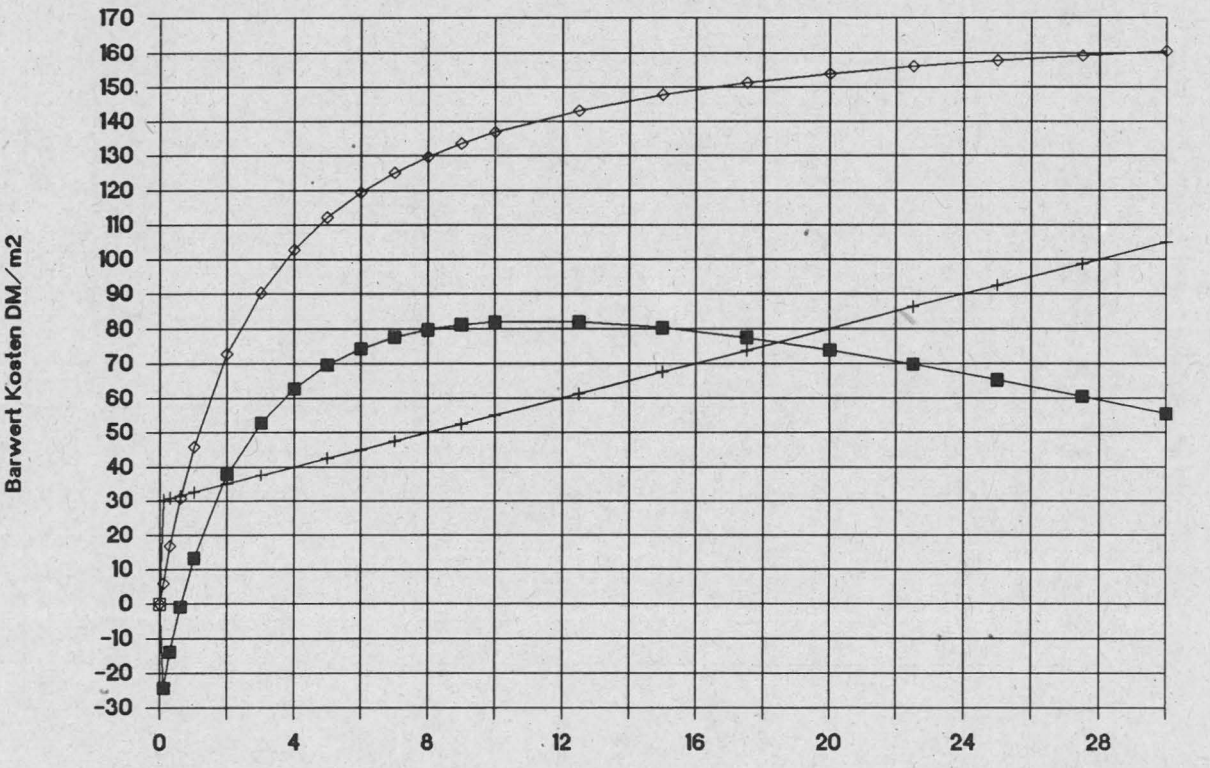
◇ Energiekosten-Einsparung

Abbildung 4.2.6-2: Wirtschaftlichkeit einer Thermohaut aus Polystyrol

Referenzpreisszenario



Hochpreisszenario



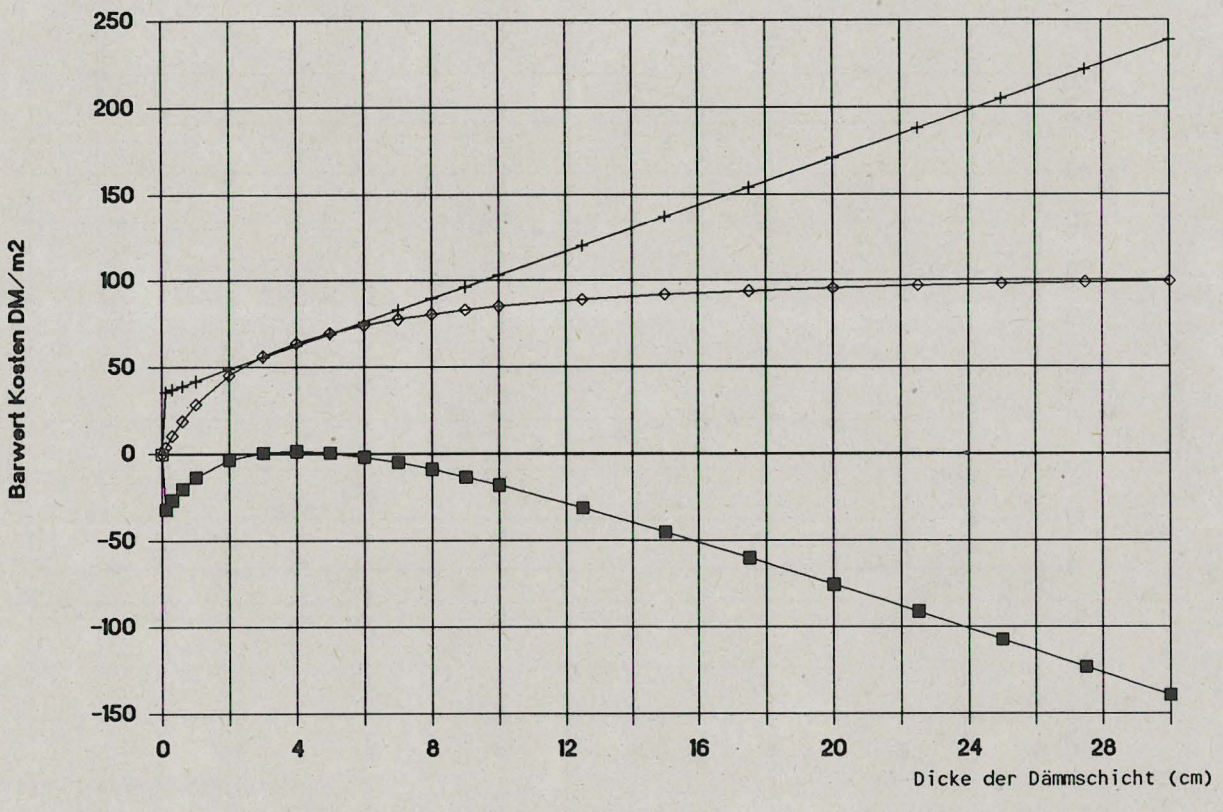
■ Netto-Einsparung (Energiekosteneinsparung abzügl. Investitionskosten)

\+ Investitionskosten

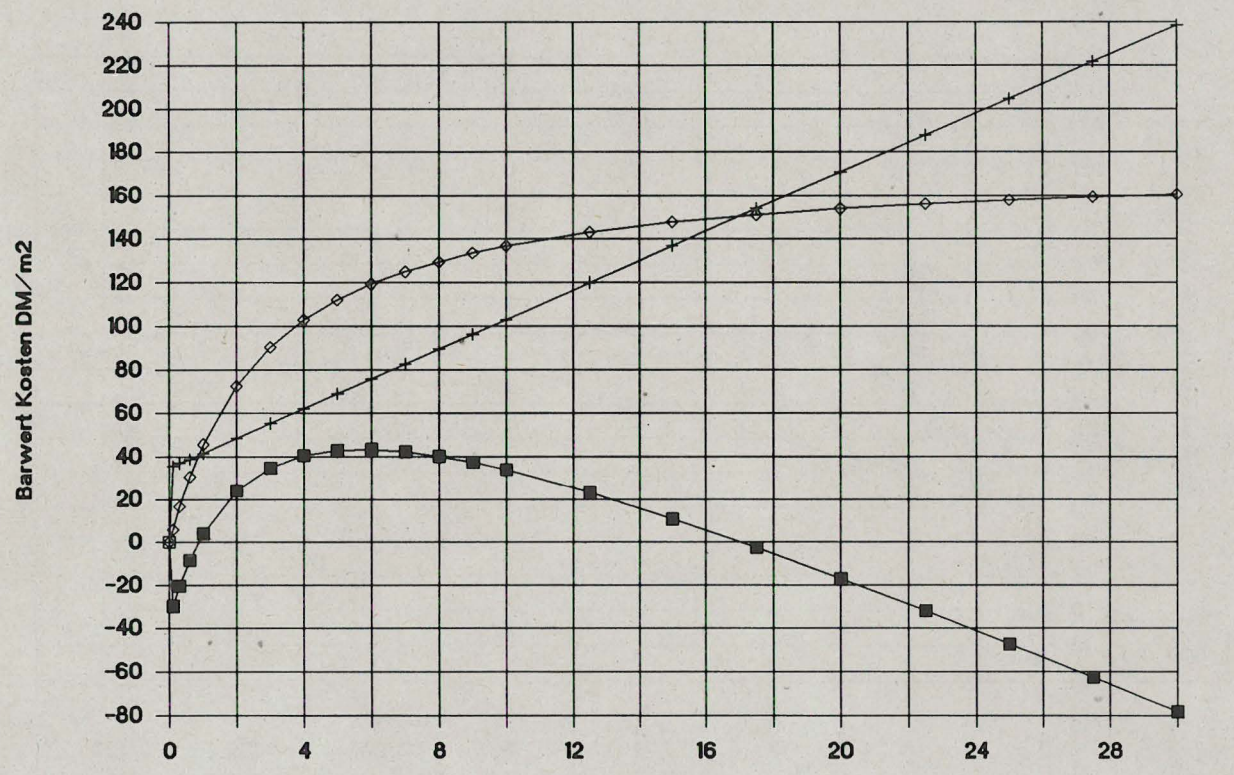
◇ Energiekosten-Einsparung

Abbildung 4.2.6-3: Wirtschaftlichkeit einer Innendämmung

Referenzpreisszenario



Hochpreisszenario



■ Netto-Einsparung (Energiekosteneinsparung abzügl. Investitionskosten)

\+ Investitionskosten

◇ Energiekosten-Einsparung

Die Gesamtkostenkurve K(d) verläuft jeweils im Bereich des Optimums sehr flach. Vor dem Hintergrund der unsicheren Preisentwicklungen müssen Dämmstoffstärken, bei denen die gesamte Kosteneinsparung nur um wenige Prozent vom Optimum abweicht, aus betriebswirtschaftlicher Sicht als gleichwertig angesehen werden. Damit erhält man als Ergebnis nicht nur einen optimalen Punkt, sondern eine Spannbreite von Dämmstoffstärken, die wirtschaftlich sinnvoll sind. Bei einer tolerierten Abweichung von 3 % vom optimalen Betriebsergebnis gibt Tabelle 4.2.6 eine Übersicht über die Spannweite wirtschaftlich sinnvoller Dämmstoffstärken.

Tabelle 4.2.6
Wirtschaftlich sinnvolle Dämmstoffstärken

Referenzpreisszenario	optimale Dämmstoff-stärke (cm)	minimal sinnvolle Dämmstoff-stärke (cm)	maximal sinnvolle Dämmstoff-stärke(cm)
Steildachdämmung mit Mineralwolle	14,7	9,7	21,8
Außendämmung einer Wand mit Wärmedämmver-bundsystem/Styropor	8,3	5,5	12,0
Innendämmung mit Ver-bundplatte/Styropor	3,9	2,3	5,9

Hochpreisszenario	optimale Dämmstoff-stärke (cm)	minimal sinnvolle Dämmstoff-stärke (cm)	maximal sinnvolle Dämmstoff-stärke(cm)
Steildachdämmung mit Mineralwolle	19,5	13,4	27,9
Außendämmung einer Wand mit Wärmedämmver-bundsystem/Styropor	11,3	7,8	15,9
Innendämmung mit Ver-bundplatte/Styropor	5,7	3,8	8,3

Aus der Übersicht in Tabelle 4.2.6 ist zu erkennen, daß heute übliche Dämmstoffstärken sich im Bereich der aus betriebswirtschaftlicher Sicht minimal sinnvollen Dämmstoffstärken befinden, und zwar unter Zugrundelegung einer unteren Preisentwicklung für den billigsten Energieträger Heizöl. Diese Dämmstoffstärken wurden den Maßnahmen der Maßnahmenkette TREND (vgl. 4.3) zugrundegelegt. Die Orientierung an der Untergrenze ist aber aus folgenden Gründen nicht sinnvoll:

- Bei höheren Energiepreisen sind diese geringen Dämmstoffstärken deutlich außerhalb der Spanne der betriebswirtschaftlich sinnvollen Dicken. Dies ist ebenfalls aus Tabelle 4.2.6 zu erkennen.

- Innerhalb der Spanne **betriebswirtschaftlich praktisch nicht unterscheidbarer Maßnahmen** sollten die **ökologisch sinnvollsten** ausgewählt werden:
  Bei einer zu der wirtschaftlichen Betrachtung analogen Erstellung der Primärenergiebilanz (während der Nutzungsdauer eingesparte Primärenergie abzüglich Primärenergieaufwand bei der Herstellung) ergibt sich für den energieaufwendigen Dämmstoff Styropor eine optimale Dämmstoffstärke von 33 cm, die aus dieser Sicht sinnvollen Dämmstoffstärken liegen zwischen 17 und 60 cm /Feist 1986/. Bei anderen Dämmstoffen liegen diese Werte noch höher. Entsprechende Ergebnisse erhält man für die Emissionsbilanzen. Aus ökologischen Gründen sollte man sich daher an der aus betriebswirtschaftlicher Sicht maximal sinnvollen Dämmstoffstärke orientieren.

Die für die SPAR-Maßnahmenkette gewählten Dämmstoffstärken (20 cm Mineralwolle im Dach, 12 cm Thermohaut, 6 cm Innendämmung) entsprechen den maximal sinnvollen Dämmstoffstärken im Referenzpreisszenario und gleichzeitig etwa den optimalen Dämmstoffstärken des Hochpreisszenarios. Sie sind damit nicht nur bei einer hohen Energiepreisentwicklung, sondern auch bei einer geringen Energiepreissteigerung betriebswirtschaftlich sinnvoll.
Sie liegen aber noch keineswegs an der Obergrenze für in Zukunft wirtschaftlich sinnvolle Dämmstoffstärken und noch weit entfernt vom ökologischen Optimum.

4.3. Katalog wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen

Der Katalog wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen wurde auf der Grundlage der Bauteilaufbauten der konkreten Beispielgebäude der Gebäudetypologie entwickelt. Für die vorhandenen Konstruktionen mit geringerem Wärmeschutzstandard (Bauteilkatalog) wurden jeweils technisch und wirtschaftlich sinnvolle Dämmaßnahmen ausgewählt. Für den "Katalog wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen" ist eine regionale Differenzierung und Ergänzung wünschenswert, um die jeweiligen örtlichen Besonderheiten in der Bausubstanz abzubilden. Solche, z.B. von den Ländern in Zusammenarbeit mit Kommunen oder Landkreisen herausgegebene wärmetechische Sanierungskataloge könnten in Zukunft einen hohen Stellenwert im Rahmen der Energieberatung für die Verbraucherberatung innehaben. In Verbindung mit der Aufstellung von Gebäudetypologien in Ländern, Städten, Landkreisen und Gemeinden wird direkt vor Ort Transparenz über die auswählbaren Energiespartechniken pro Gebäudetyp geschaffen. Damit werden die Umsetzungschancen für die Wärmedämmung im Gebäudebestand erhöht. Kataloge wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen bilden ein hervorragendes Instrument der Energieberatung.

4.3.1 Überblick über die Maßnahmen im TREND-Szenario

Der TREND- Katalog gibt Maßnahmen in üblicher Ausführungsqualität wieder. Diese erweisen sich als an den Untergrenzen für wirtschaftlich sinnvolle Dämmstoffstärken unter Zugrundelegung des Niedrigenergiepreisszenarios orientiert (vgl. Abschnitt 4.2.6). Diese Maßnahmen sind suboptimal aus folgenden Gründen:

- Aus ökologischen Gründen sollte die Obergrenze für wirtschaftlich sinnvolle Dämmstoffstärken angestrebt werden (vgl. 4.2.6.2).
- Vor dem Hintergrund der Unsicherheit der Energiepreisentwicklung muß auch mit höheren Energiepreisen gerechnet werden. In diesem Fall sind die TREND-Maßnahmen deutlich unwirtschaftlicher als weitergehendere Maßnahmen.
- Suboptimale Sanierungen verhindern auf lange Sicht weitergehendere Maßnahmen, da diese für einen langen Zeitraum nicht mehr wirtschaftlich durchgeführt werden können.

Tabelle 4.3.1: Überblick über die Maßnahmen des TREND-Katalogs

DARSTELLUNG DER GEWÄHLTEN WÄRMETECHNISCHEN SANIERUNGSMASSNAHMEN FÜR DAS TREND-SZENARIO

LÜFTUNG	Reduziert Luftwechsel auf	Gesamtkosten DM/m	davon Instandhaltung DM/m	Nutzungsdauer in Jahren
Abdichten von Fugen an den Fensterrahmen (Eigenlst.)	0,6 h^{-1}	5,00	./.	3
Lippendichtung in Fensterflügelrahmen einfräsen	um 0,5 h^{-1}	15,00	./.	15
Fugendichtung an allen Bauteilfugen mit Dichtbändern/ Spritzdichtung	0,6 h^{-1}	22,00	./.	15

AUSSENWAND				
Maßnahme	Dämmschichtdicke in cm	Gesamtkosten DM/m^2	davon Instandhaltungsanteil	Nutzungsdauer in Jahren
Vorhangfassade: Dämmplatten, Hinterlüftung, Außenverkleidung	6	140,00	90,00	25
Thermohaut: Dämmplatten auf Altverputz, gewebearmierter Neuverputz	6	85,00	40,00	25
Innendämmung: Dämmplatten, Dampfsperre, Deckschicht	3	40,00	./.	25
Kerndämmung: Einblasen von Dämmstoff in Luftschicht zweischaliger Außenwände	4 - 8	30,00	./.	25
Heizkörpernischen dämmen: Dämmplatten mit ALU-Deckschicht	1 - 2	8,00	./.	15

KELLER				
Kellerdecke von der Unterseite mit Dämmplatten ohne Deckschicht bekleben	3	20,00	./.	25
Keller dämmen: Wände beheizter u. Decken kalter Räume m. Dämmplatten, Dampfsperre u. Deckschicht versehen	3	30,00	./.	25
Erdgeschoß-Fußboden erneuern: Dämmplatten und Estrich (schwimmender Estrich)	3	55,00	50,00	25

OBERGESCHOSS-DECKE				
Dachbodenfläche mit Dämmplatten belegen (begehbar)	10	40,00	./.	25

STEILDACH				
Maßnahme	Dämmschichtdicke in cm	Gesamtkosten DM/m^2	davon Instandhaltungsanteil	Nutzungsdauer in Jahren
Dämmstoff in Dachschrägen u. Kehlbalken winddicht einbauen, Dampfsperre	10	45,00	./.	25
Einblasdämmung in Sparrenzwischenraum u. Kehlbalkenlage belüftet	10	30,00	./.	25
Auf-Sparren-Dämmung, Dampfsperre, Holzschalung (neue Eindeckung)	12	120,00	60,00	25

FLACHDACH				
Kaltdach: Einblasdämmung in den Belüftungsraum, Sanierung der Dampfsperre	8 - 10	35,00	./.	25
Warmdach: Umkehrdach, Dämmplatten auf alter Dachhaut, evtl. Kiesauflage	6	80,00	45,00	25

FENSTER/FENSTERTÜREN					
	k-Wert W/(m^2K)				g-Wert
Neue isolierverglaste Einfachfenster mit Holzrahmen einbauen lassen	2,6	560,00	560,00	25	0,77

HEIZVERHALTEN					
Sparsames Heizverhalten: Absenken der Raumtemperatur um 1° Celsius	./.	0	./.	./.	./.

4.3.2 Überblick über die Wärmeschutzmaßnahmen im SPAR-Szenario

Die Maßnahmen des SPAR-Katalog orientieren sich in ihrem Umfang am wirtschaftlichen Optimum auf der Grundlage des hohen Preisszenarios der Enquete-Kommission (Vgl. Abschnitt 4.2.6). Dies gilt für Investitionen im Jahr 1990. Aufgrund steigender Energiepreise würde sich das Optimum für in Zukunft auszuführende Maßnahmen nach oben verschieben. Von einer zeitlichen Dynamisierung der Maßnahmen wurde jedoch abgesehen. Es werden nur bereits heute am Markt verfügbare und wirtschaftlich rentable Maßnahmen beschrieben und in die Berechnung der Energiesparpotentiale einbezogen. Ein Ausblick auf weitergehende Maßnahmen ist in Kapitel 12 dargestellt.

Tabelle 4.3.2 gibt einen Überblick über die für die wärmetechnische Gebäudesanierung empfohlenen Wärmeschutzmaßnahmen mit ihren wichtigsten für die Berechnung des SPAR-Szenarios eingesetzten technischen und preislichen Kennziffern. Einzelne Maßnahmen werden noch detailliert dargestellt.

Tabelle 4.3.2:

KATALOG DER GEWÄHLTEN WÄRMETECHNISCHEN SANIERUNGSMASSNAHMEN FÜR DAS SPAR-SZENARIO

LÜFTUNG/VERBESSERUNG DER RAUMLUFTQUALITÄT				
Maßnahme	Reduziert Luftwechsel auf	Gesamtkosten DM	Abzügl. Kostenanteil f.Wohnhygieneverbess.	Nutzungsdauer in Jahren
Wärmerückgewinnungsanlage von Fachfirma einbauen lassen	0,3 h^{-1}	EFH/RH fix: 4500,00;pro m^2 Wohnfl.: 40,00 DM/m^2 MFH: $n^{2/3}$ 900kWhStrom/a Anlage	EFH/RH fix: - 1000,00 pro m^2 Wohnfläche: - 25,00 DM/m^2 MFH: Kosten/$WE^{2/3}$ - 350 kWh Strom/a/ Anlage	15

AUSSENWAND				
Maßnahme	Dämmschichtdicke in cm	Gesamtkosten DM/m^2	davon Instandhaltungsanteil	Nutzungsdauer in Jahren
Vorhangfassade: Dämmplatten, Hinterlüftung, Außenverkleidung	12	155,00	90,00	25
Thermohaut: Dämmplatten auf Altverputz, gewebearmierter Neuputz	12	100,00	40,00	25
Innendämmung: Dämmplatten, Dampfsperre, Deckschicht	6	45,00	./.	25
Kerndämmung plus 6 cm Thermohaut, verputzt	12	120,00	40,00	25
Neue Vormauerschale mit 12 cm Kerndämmplatten, hydrophobiert, unbelüftet	12	250,00	40,00	25
KELLER				
Kellerdecke von der Unterseite mit Dämmplatten ohne Deckschicht bekleben	5	25,00	./.	25
Keller dämmen: Wände beheizter und Decken kalter Räume mit Dämmplatten, Dampfsperre (Wände) u. Deckschicht vers.	5	35,00	./.	25
Dämmung unebener Kellerdecken mit Steinwolle-Spritzdämmung von unten	5	50,00	./.	25
Erdgeschoß-Fußboden erneuern: Dämmplatten und Estrich (schwimmender Estrich)	5	58,00	50,00	25
OBERGESCHOSS-DECKE				
Maßnahme	Dämmschichtdicke in cm	Gesamtkosten DM/m^2	davon Instandhaltungskosten	Nutzungsdauer in Jahren
Dachbodenfläche mit Dämmplatten belegen (begehbar)	20	50,00	./.	25
Dachboden: Dämmstoff auf Dachbodenfläche einblasen (nicht begehbar)	20	45,00	./.	25
Schütt-Dämmung auf Dachboden (nicht begehbar)	20	25,00	./.	25
Dachbodenfläche mit 10 cm Dämmplatten zusätzlich zur vorhandenen Dämmschicht abdecken (begehbar)	10	40,00	./.	25

STEILDACH	Dämmschicht-dicke in cm	Gesamtkosten DM/m²	davon Instand-haltungsanteil	Nutzungsdauer in Jahren	
Dämmstoffplatten zwischen und unter Sparren und Kehlbalken, winddicht, Dampfsperre. Bei Ausbau zu Wohnzwecken	20	55,00	./.	25	
Bei Neueindeckung: Dämmstoffplatten/bahnen in Dachschräge Kehlbalken/Abseiten mit Aufdoppelung der Sparren (winddicht, Dampfsperre)	20	125,00	60,00	25	
Zusatzdämmung bei Neueindeckung in Schrägen und Kehlbalken (Aufdoppelung)	12	117,00	60,00	25	
Zusatzdämmung: Dämmstoff in Belüftungsraum der Dachschräge u. auf Kehlbalkenlage einblasen (ausreichender Belüftungsquerschnitt verbleibt)	10	30,00	20,00	25	
wie vor	12	32,00	22,00	25	
FLACHDACH					
Kaltdach: Dämmstoff in Belüftungsraum einblasen mit Sanierung der Dampfsperre (Zusatzdämmung)	12	40,00	./.	25	
Kaltdach: wie vor, jedoch verbleibender Belüftungsquerschnitt über 5 cm	20	40,00	./.	25	
Kaltdach: Umkehrdach mit Dämmung des Belüftungsraumes und Dämmplatten auf alter Dachhaut	20	120,00	45,00	25	
Warmdach: Dämmplatten zweilagig auf vorh. Dachhaut, Kiesauflage o. ä.	14	95,00	45,00	25	
FENSTER-FENSTERTÜREN					
Maßnahme	k-Wert (W/m²K))	Gesamtkosten DM/m²	davon Instand-haltungsanteil	Nutzungsdauer in Jahren	
					g-Wert
Einfachfenster durch neue Fenster mit Wärmeschutz-Isolierverglasung ersetzen	1,5	630,00	560,00	25	0,69
vorhandene Isolierverglasung durch Wärmeschutz-Isolierverglasung ersetzen	1,5	280,00	210,00	15	0,69
Denkmalschutz: Fensterersatz durch neue Fenster mit Wärmeschutz-Isolierverglasung (Mehraufwand)	1,5	900,00	560,00	25	0,69

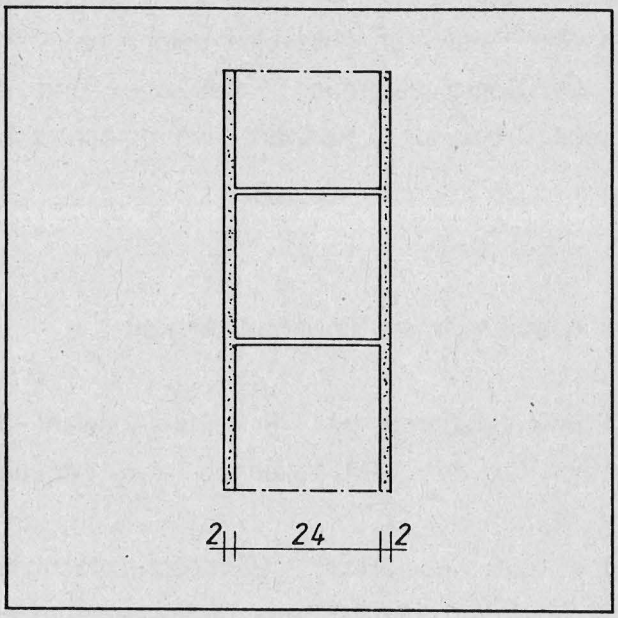
Der Katalog wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen für das SPAR-Szenario ist auch als Instrument zur Verbraucherinformation geeignet. Eine Erweiterung des kataloges sollte für die jeweils örtlich oder regional vorhandene Wohngebäudesubstanz die wesentlichen Bauteilaufbauten, die Verbesserungsmöglichkeiten durch Wärmeschutzmaßnahmen, eine Kostenorientierung als Instrument zur Preistransparenz, mögliche Restriktionen und besondere Ausführungshinweise beinhalten. Damit werden die Handlungsmöglichkeiten der Energieverbraucher deutlicher und ein hohes Maß an Entscheidungssicherheit bei der Auswahl wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen erreicht.

4.3.3. Katalog wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen: Einzelmaßnahmen

Die folgende Darstellung einzelner Dämmaßnahmen gibt für eine Auswahl der obigen Kurzdarstellung aller Maßnahmen für das SPAR-Szenario eine genauere Beschreibung.
Die Auswahl soll einen Überblick über die wesentlichen Wärmeschutztechniken ermöglichen. Auf die Darstellung von Maßnahmen, die im Betrachtungszeitraum aus wirtschaftlichen Gründen keine Berücksichtigung gefunden haben, wurde verzichtet.
Eine Dokumentation der detaillierten Angaben zur Wirtschaftlichkeit und den Bauteil-k-Werten einzelner Gebäudetypen befindet sich im Anlagenband.
Dieser "Katalog wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen" kann als Beispiel für regional zu erstellende Bauteilkataloge im Rahmen der Energieberatung gelten.
Der Bauteilkatalog ist für die jeweils vorhandenen typischen Bauteilkonstruktionen für Außenwand, Dach, Kellerdecke, Fenster/Außentüren, weitere Sonderbauteile sowie Heizung/Warmwasserbereitung/Lüftung zu gliedern.

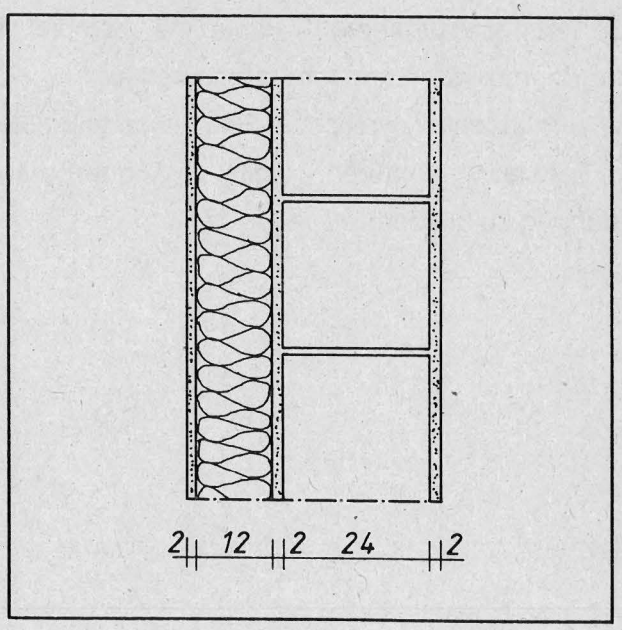
4.3.3.1. Bauteil Außenwand

Außenwanddämmung mit 12 cm Wärmedämmverbundsystem (Thermohaut)



AUSSENWAND	W/(mK)
Innenputz	0,35
Bimsstein	0,30
Außenputz	0,70

k = 0,95 W/(m²K)



AUSSENWAND	W/(mK)
Innenputz	0,35
Bimsstein	0,30
Putz	0,70
Dämmung	0,04
Außenputz	0,87

k = 0,25 W/(m²K)

IWU HAUS: R H D 1

- **Dämmaßnahme: Wärmedämmverbundsystem 12 cm (Thermohaut). Die Thermohaut ist bei verputzter Außenfassade ein geeignetes Dämmsystem, wenn die verputzte Gebäudeansicht erhalten bleiben soll.**

- Empfohlene Stärke: 12 cm

- Materialien: Hartschaum-, Mineralwolle- oder Korkplatten auf alten Verputz geklebt und gedübelt, gewebearmierter Neuputz, mineralischer oder Kunststoffputz.

- Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs: 0.045, 0.040 und 0.035 W/(mK).

- Wasserdampfdiffusionwiderstandsfaktor μ: Mineralwolle 1, Kork 5-10, Polystyrol 25 - 40

- Erzielbarer k-Wert des sanierten Bauteils: um 0,25 W/(m^2K)

- Gesamtkosten: 100 DM/m^2

- Kostenbestandteile (Richtwerte): Lohnkosten: 40 DM/m^2, Gerüst 7 DM/m^2, Dämmstoff Polystyrol 22 DM/m^2, Putzvorbehandlung 10 DM/m^2, Nebenarbeiten 4 DM/m^2, Übrige Materialkosten 17 DM/m^2.

- Abzüglich der Kosten einer ohnehin fälligen Fassadensanierung: Summe 40 DM/m^2 (Altputz abschlagen und abfahren 8-12 DM/m^2, Neuverputz: 28-40 DM/m^2, Gerüst 7 DM/m^2.

- Lebensdauer 25-40 Jahre (Lebensdauer des Putzes). Systeme mit über 20 Jahren Schadensfreiheit sind im Gebäudebestand bereits vorhanden.

- **Bauphysik:** Die Innenoberflächentemperatur der Wand wird um 2 bis 3 Grad Celsius angehoben, mit entsprechend positiven Auswirkungen auf das Raumklima. Der rechnerische Tauwasserausfall nach DIN 4108 reduziert sich durch die Dämmung und geht in vielen Fällen auf Null zurück. Evtl. geringe rechnerische Tauwasser-Restmengen trocknen in der Trocknungsperiode vollständig wieder aus. Durch die Reduzierung von Wärmebrücken wird ein Beitrag zur Bauschadensvermeidung und zur Behebung von Schimmelschäden und Wandoberflächenkondensation in Wohnungen geleistet. Die Schalldämmung der Außenwand kann bei Wahl mineralischer Dämmplatten verbessert werden.

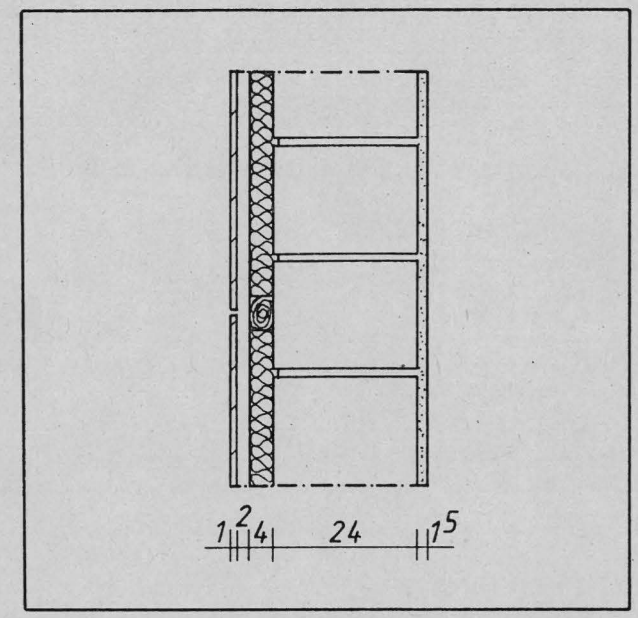
- **Mögliche Hemmnisse:** Finanzierungsprobleme der Mehrkosten gegenüber einer reinen Putzerneuerung oder eines Anstrichs. Kenntnismängel bei Bauausführenden und Architekten, Fehlurteile über die angebliche Beschränkung einer sogenannten "Wandatmung". Abstimmung mit Nachbarn bei Reihenhäusern. Bestehende Baugrenzen zum Straßenraum. Ausführung suboptimaler Dämmstärken (4 bis 6 cm) durch defensive Beratung ausführender Firmen, verursacht durch bauphysikalische Kenntnismängel. Niedrige und/oder schwer in ihrem Verlauf einschätzbare Energiepreise.

- **Ausführungshinweise:** Die Dämmung ist auch in die Laibungen der Fenster und Türen hineinzuziehen und zur Reduzierung der Wärmebrücke Kellerdeckenauflager ca. 50 cm über Höhe Kellerdecke in den Sockelbereich zu verlängern. Anschlußarbeiten für Regenfallrohre, Dachüberstände etc. sind erforderlich. Bei sehr losem Altverputz kann das System auch durch zusätzliche Schienenhalterungen stabilisiert werden. Eine äußere Ornamentierung kann durch Stilelemente aus Dämmstoff oder Glas-Schaumrecycling-Ornamente erstmalig angebracht oder nachgebildet werden.

- **Wirtschaftlichkeit des Wärmedämmverbundsystems:** Kosten der eingesparten Heizenergie (Endenergie) bei Ausführung im Bauteilerneuerungszyklus

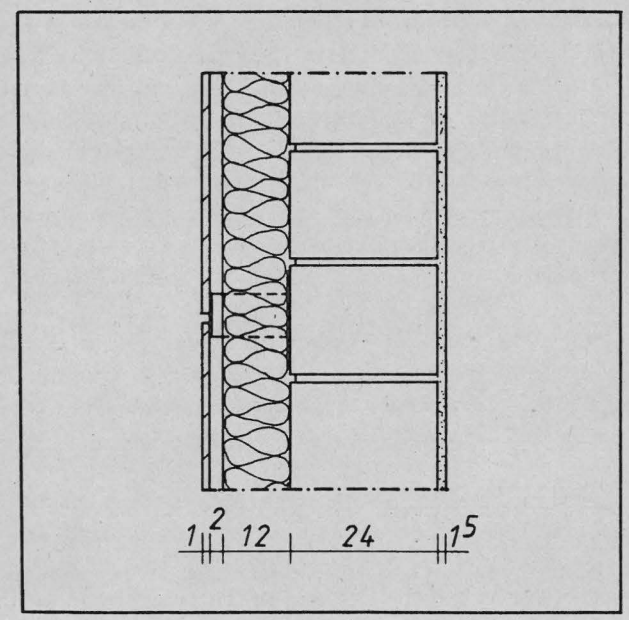
Gebäu-detyp	Kosten:Pf/eingesp. kWh Heizenergie.	Gebäu-detyp	Kosten:Pf/eingesp. kWh Heizenergie
EFHA	3,5	-	-
EFHB	5,2	RHB	4,3
EFHC	-	RHC	6,3
EFHD	4,9	RHD	8,1-11,2
EFHE	5,3	RHE	-
EFHF	17,5	RHF	5,6
EFHG	10,8	RHG	13,9
EFHH		RHH	13,7
KMHA	5,0	-	-
KMHB	5,8	GMHB	4,5
KMHC	8,4	GMHC	4,6
KMHD	4,8	GMHD	5,7
KMHE	3,8	GMHE	4,3
KMHF	6,3	GMHF	5,1
KMHG	9,9	HHE	9,9
KMHH	12,5	HHF	

Außenwanddämmung mit 12 cm Vorhangfassade (hinterlüftet)



AUSSENWAND	W/(mK)
Innenputz	0,70
KSV	0,70
MF.- Dämmung	0,04
Luftschicht	/
Verkleidung	/

k = 0,64 W/(m²K)



AUSSENWAND	W/(mK)
Innenputz	0,70
KSV	0,70
MF.- Dämmung	0,04
Luftschicht	/
Verkleidung	/

k = 0,28 W/(m²K)

IWU HAUS: K M H F

- **Dämmaßnahme: Vorhangfassade 12 cm (hinterlüftete Verkleidung).**

- Empfohlene Stärke: 12 cm

- Materialien: Hartschaum-, Kork-, oder Mineralwolleplatten A1 (Anforderung des Brandschutzes bei Gebäuden über 22 m Höhe). Befestigung: geklebt und gedübelt. Außenverkleidungsmaterialien z.B. aus Aluminium-, asbestfreie Faserzement-, keramische Platten, Acrylbetonplatten, Zinktafeln etc. Anbringung gemäß DIN 18 516.

- Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs: 0.045, 0.040 und 0.035 W/(mK).

- Wasserdampfdiffusionwiderstandsfaktor μ: Mineralwolle 1, Kork 5-10, Polystyrol 25-40

- Erzielbarer k-Wert des sanierten Bauteils: um 0,28 $W/(m^2 K)$

- Gesamtkosten: 155 DM/m^2

- Kostenbestandteile (Richtwerte): Lohnkosten: 50 DM/m^2, Gerüst 7 DM/m^2, Dämmstoff Polystyrol 22 DM/m^2, Verkleidung 50 - 120 DM/m^2, Nebenarbeiten 10 DM/m^2.

- Abzüglich der Kosten einer ohnehin fälligen Vorhangfassadensanierung (Verschmutzung, Bruch): Summe 90 DM/m^2 (Platten, Holztragkonstruktion und Dämmstoff abnehmen und abfahren 20 DM/m^2, Neue Verkleidung 50-120 DM/m^2, Gerüst 7 DM/m^2).

- Die Lebensdauer wird von der Qualität des Verkleidungsmaterials bestimmt. Bei späteren, nach Durchführung der Maßnahme anstehenden Erneuerungen der Verkleidung braucht die 12 cm dicke Dämmschicht nicht ersetzt zu werden.

- **Bauphysik:** Die Innenoberflächentemperatur der Außenwand wird um 2 bis 3 Grad Celsius angehoben, mit entsprechend positiven Auswirkungen auf das Raumklima. Die Konstruktion ist nach DIN 4108 ohne weiteren Nachweis ausreichend feuchtigkeitssicher bezüglich inneren Tauwasserausfalls, wenn der Belüftungsquerschnitt mindestens 200 cm^2 pro m Wandbreite beträgt (bei kleinformatigen Fassadenplatten $100 cm^2/m$) und ausreichende Zu- und Abluftöffnungen hergestellt werden (DIN 18 515, DIN 68 800). Der Belüftungsraum dient auch zur Abfuhr von eindringender Regenfeuchte und von Tauwasserniederschlag (Oberflächenkondensat) auf der Innenseite der Verkleidung bei Frost-Tau-Wechseln (Verkleidungsmaterial kann kühler werden als die Umgebungsluft). Evtl. geringe rechnerische Tauwasser-Restmengen trocknen in der Trocknungsperiode vollständig wieder aus. Durch die Reduzierung von Wärmebrücken wird ein Beitrag zur Bauschadensvermeidung und zur Behebung von Schimmelschäden und Wandoberflächenkondensation in Wohnungen geleistet. Die Schalldämmung der Außenwand kann bei Wahl von Mineralfaser-Dämmplatten verbessert werden.

- **Mögliche Hemmnisse:** Finanzierungsprobleme der Mehrkosten gegenüber einer reinen Erneuerung der Verkleidung. Kenntnismängel bei Bauausführenden und Architekten. Ausführung suboptimaler Dämmstärken (4 bis 6 cm) durch defensive Beratung ausführender Firmen. Keine Wirtschaftlichkeit der Maßnahme bei gegenwärtig niedrigen und schwer in ihrem Verlauf einschätzbaren Energiepreisen.

- **Ausführungshinweise:** Die Dämmung ist auch in die Laibungen der Fenster und Türen hineinzuziehen und zur Reduzierung der Wärmebrücke Kellerdeckenauflager ca. 50 cm über Höhe Kellerdecke in den Sockelbereich zu verlängern und auch bis Oberkante der Flachdachattika zu führen. Durch Übergang zu einer punktförmig befestigten Aluminiumtragkonstruktion können Kosten reduziert und die Wärmebrückenwirkung der Lattung beseitigt werden. Das Dämmaterial muß überall dicht anliegen und darf

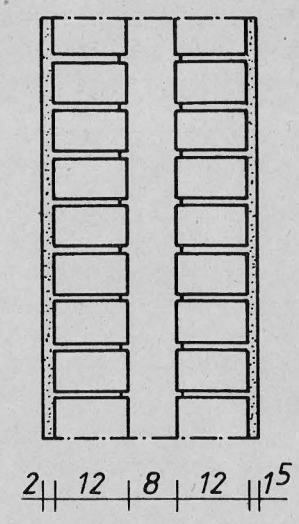
auch in den Plattenstößen keine Fehlstellen und Fugen aufweisen, um ein Unterströmen von Kaltluft zu verhindern. Erst die sorgfältige Ausführung sichert eine funktionierenden Wärmeschutz

- **Wirtschaftlichkeit der Vorhangfassade:** Kosten der eingesparten Energie (vgl. Abschnitt 4.2.4.) bei Ausführung im Bauteilerneuerungszyklus in Pfennig pro eingesparte kWh Heizenergie (Endenergie) in der folgenden Tabelle.

Gebäu-detyp	Kosten:Pf/eingesp. kWh Heizenergie.	Gebäu-detyp	Kosten:Pf/eingesp. kWh Heizenergie
EFHA	-	-	-
EFHB	-	RHB	-
EFHC	-	RHC	7,1
EFHD	-	RHD	12,2
EFHE	-	RHE	27,1
EFHF	18,8	RHF	6,2
EFHG	-	RHG	-
EFHH		RHH	-
KMHA	3,3	-	-
KMHB	-	GMHB	-
KMHC	9,0	GMHC	-
KMHD	-	GMHD	-
KMHE	4,2	GMHE	4,6
KMHF	15,0	GMHF	5,5-10,0
KMHG	10,8	HHE	10,7
KMHH	13,8	HHF	12,2

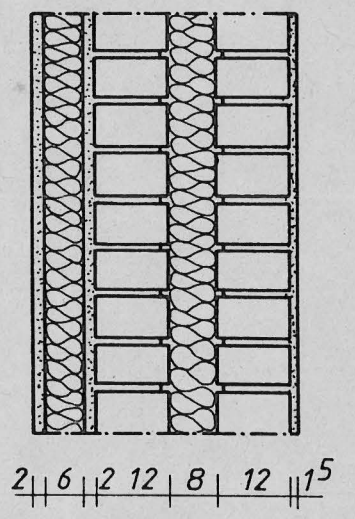
Außenwanddämmung durch Kerndämmung (Dämmung der Luftschicht von zweischaligem Mauerwerk) in Kombination mit einem Wärmedämmverbundsystem

Gebäudetyp: Einfamilienhaus 1919 - 1948 (EFHC)



AUSSENWAND	W/(mK)
Innenputz	0,70
Mauerwerk	0,68
Luftschicht	0,17
Mauerwerk	0,68
Außenputz	0,87

$k = 1{,}30$ W/(m²K)



AUSSENWAND	W/(mK)
Innenputz	0,70
Mauerwerk	0,68
Dämmung	0,04
Mauerwerk	0,68
Putz	0,87
Dämmung	0,04
Außenputz	0,87

$k = 0{,}23$ W/(m²K)

IWU HAUS: E F H C 2

- **Dämmaßnahme: Kerndämmung 8 cm in Kombination mit einem Wärmedämmverbundsystem 6 cm.**
  Bei diesem Gebäudetyp bestehen viele Verbindungspunkte zwischen innerer und äußerer Schale (Ankersteine, Geschoßdeckenauflage mind. 3 Schichten Vollmauerwerk, Fenster/Türstürze, Eckausbildung Vollmauerwerk. Diese Wärmebrücken werden durch die Kerndämmung nicht beseitigt. Erst die Kombination mit dem Wärmedämmverbundsystem stellt eine wärmetechnisch gute Lösung dar.

- Empfohlene Stärke: Insgesamt 12-14 cm

- Materialien für die Kerndämmung: Einblasdämmstoffe wie Steinwolle-Granulat oder Perlite (Blähgestein), hydrophobiert.

- Material für das Wärmedämmverbundsystem: Hartschaum-, Kork-, oder Mineralwolleplatten auf alten Verputz geklebt und gedübelt, gewebearmierter Neuputz, mineralischer oder Kunststoffputz.

- Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs: 0.055, 0.045 bzw. 0.040, 0.035 W/(mK).

- Wasserdampfdiffusionwiderstandsfaktor μ: Mineralwolle, Perlite 1, Kork 5-10, Polystyrol 25-40

- Erzielbarer k-Wert des sanierten Bauteils: um 0,23 $W/(m^2 K)$

- Gesamtkosten: 120 DM/m^2

- Kostenbestandteile (Richtwerte): Lohnkosten: 50 DM/m^2, Gerüst 7 DM/m^2, Dämmstoff Polystyrol 11 DM/m^2, Putzvorbehandlung 10 DM/m^2, Nebenarbeiten 4 DM/m^2, Übrige Materialkosten 17 DM/m^2; Einblasdämmung: 21 DM/m^2.

- Abzüglich der Kosten einer ohnehin fälligen Fassadensanierung: Summe 40 DM/m^2. Altputz abschlagen und abfahren 8-12 DM/m^2, Neuverputz: 28-40 DM/m^2, Gerüst 7 DM/m^2.

- Lebensdauer 25-40 Jahre (Putz-Lebensdauer). Systeme mit 20 Jahren Schadensfreiheit im Gebäudebestand bereits vorhanden. Nachträgliche Kerndämmung führt nicht zu Feuchteschäden oder zur Durchfeuchtung des Dämmstoffs im ehemaligen Luftzwischenraum, wenn die äußere Mauerwerksschale dicht gegen Regenwasser ist, wie die Untersuchung von Bauschäden und breite niederländische Erfahrungen zeigen.

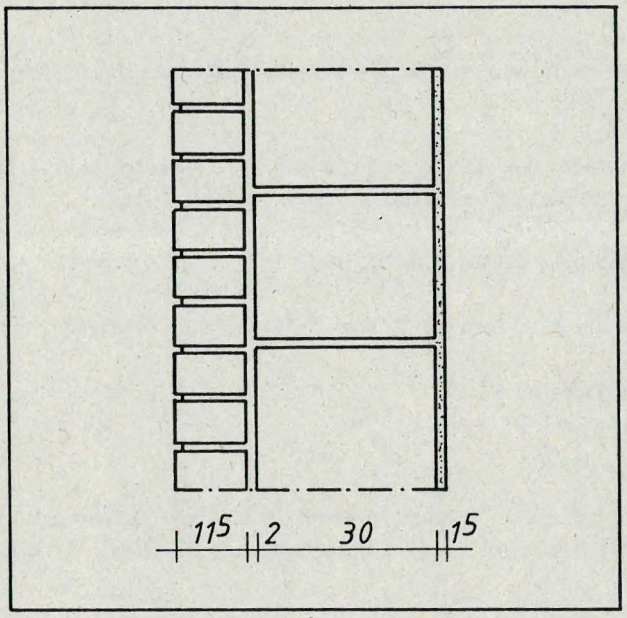
- **Bauphysik:** Die Innenoberflächentemperatur der Außenwand wird um 2 bis 3 Grad Celsius angehoben, mit entsprechend positiven Auswirkungen auf das Raumklima. Die Konstruktion ist nach DIN 4108 zulässig. Geringe rechnerische Tauwassermengen trocknen während der Verdunstungsperiode vollständig aus. chenfeuchtigkeit und Schimmelbildung auf der Innenoberfläche von Außenwänden.

- **Mögliche Hemmnisse:** Finanzierungsprobleme der Mehrkosten gegenüber einer reinen Putzerneuerung. Kenntnismängel bei Bauausführenden und Architekten. Beide Maßnahmen müssen aus Gründen der Kostensenkung von einem Unternehmen ausgeführt werden können. Ausführung suboptimaler Dämmstärken (4 bis 6 cm). Keine Wirtschaftlichkeit der Maßnahme bei gegenwärtig niedrigen und schwer in ihrem Verlauf einschätzbaren Energiepreisen.

- **Ausführungshinweise:** Die Dämmung ist auch in die Laibungen der Fenster und Türen hineinzuziehen und zur Reduzierung der Wärmebrücke Kellerdeckenauflager ca. 50 cm über Höhe Kellerdecke in den Sockelbereich zu verlängern.

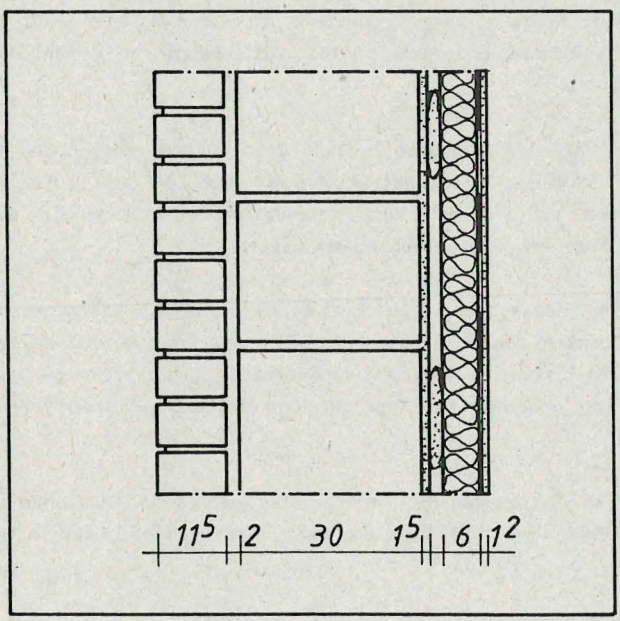
- **Wirtschaftlichkeit:** Kosten der eingesparten Energie (vgl. Abschnitt 4.2.4.) bei Ausführung im Außenputzerneuerungszyklus für den Gebäudetyp EFHC: 12,6 Pfennig pro kWh eingesparte Endenergie.

Außenwanddämmung: Innendämmung (6 cm)



AUSSENWAND	W/(mK)
Innenputz	0,70
Gasbeton	0,23
Schalenfuge	0,87
Vormauerschale	0,81

k = 0,60 W/(m²K)



AUSSENWAND	W/(mK)
Verbundplatte	0,05
Innenputz	0,70
Gasbeton	0,23
Schalenfuge	0,87
Vormauerschale	0,81

k = 0,31 W/(m²K)

IWU HAUS: E F H F

- **Dämmaßnahme: Innendämmung 6 cm.** Für Gebäudetypen mit

  - o Sichtfachwerk,
  - o Sichtmauerwerk,
  - o ornamentierte Putzfassaden (Gründerzeit etc.),
  - o Einzeldenkmale.

Mögliche Ausführungen:

- o Dämmstoffe zwischen Holzlattenkonstruktion auf altem Innenputz, sorgfältig ausgeführte Dampfsperre, an allen Anschlußstellen dicht ausgeführt, Innenverkleidung aus Holzschalung, Gipskarton- oder Gipsfaserplatten oder Holzfaserplatten.
- o Verbundplatten aus Dämmstoff (Hartschaum oder Mineralwolle) und Gipskarton- oder Gipsfaserplatten mit integrierter Dampfsperre (Aluminiumfolie), alle Fugen sorgfältig dicht ausgeführt.
- o Verbundplatten aus Dämmstoff (Hartschaum oder Mineralfaser) und Holzwolleleichtbauplatten mit integrierter Dampfsperre (Aluminiumfolie). Innenputz als innere Verkleidung.

- Empfohlene Dämmstoffstärke: 6 cm. Eine höhere Dämmstäkre führt wegen der bei der Inendämmung zwangsläufig verbleibenden Wärmebrücken zu keiner weiteren Energieeinsparung.

- Dämmstoffe: Hartschaum-, Mineralwolle- Foamglas- oder Korkplatten. Hartschaum-Dämmkeile 30 cm breit für die Dämmung einbindender Innenwände. Foamglasstreifen für die Dämmung der Deckenbalkenzwischenräume.

- Dampfsperren: Polyäthylenfolien 0,2 - 0,3 mm, Aluminiumfolien 0,05 mm (keine ALU-kaschierten Dachdämmstoffe), Kraftpapiere, Aluminium-Rauhfasertapete, Foamglasplatten, bitumenhaltige Anstriche, Heiß- oder Kaltbitumen.

- Wärmeleitfähigkeit der Dämmstoffe: 0.045, 0.040 und 0.035 W/(mK).

- Wasserdampfdiffusionwiderstandsfaktor μ: Mineralwolle 1, Kork 5-10, Polystyrol 25 - 40; Foamglas: praktisch dampfdicht; Aluminiumfolie 30.000.000, PE-Folie 100.000, Kraftpapiere ca. 10.000. Gipskartonplatten 8.

- Erzielbarer k-Wert des sanierten Bauteils: um 0,3 - 0,43 W/(m^2 K)

- Gesamtkosten: 45 DM/m^2

- Kostenbestandteile (Richtwerte): Lohnkosten: 25 DM/m^2, Dämmstoff Polystyrol 11 DM/m^2, Dampfsperre 2 DM/m^2, Nebenarbeiten, sonstiges 7 DM/m^2.

- Abzüglich der Kosten einer ohnehin fälligen Innenputzsanierung: Keine. Die bei der Innenputzsanierung ohnehin anfallenden Kosten für die Verkleidung wurden in die Gesamtkosten nicht eingerechnet. Auf Abschlagen oder eine Teilausbesserung des Altverputzes kann insbesondere bei der Wahl von Verbundplatten verzichtet werden (Kosteneinsparung).

- Lebensdauer mindestens 25 Jahre.

- **Bauphysik:** Die Innenoberflächentemperatur der Wand wird um ca. 2° C angehoben, mit entsprechend positiven Auswirkungen auf das Raumklima. An einbindenden Innenwänden und Massivdecken enstehen Zonen mit stark abgesenkter Oberflächentemperatur und erhöhtem Wärmeverlust (Wärmebrückenwirkung).

In Einzelfällen kann dies zu Oberflächenkondensation in Raumecken führen. Deshalb ist eine Dämmung solcher Bauteile mit einem 30 cm in den Raum hineingeführten Dämmkeil-Streifen erforderlich. Eine sorgfältig ausgeführte Dampfsperre (s.u.) sichert die Tauwasserfreiheit in der gedämmten Konstruktion. Der Verlust an Wärmespeichermasse der Außenwände hat keine negativen Auswirkungen auf das Inneraumklima. Die verbleibenden Speichermassen der Innenwände, Innendecken und des Mobiliars stellen mit rund 80 % der Gesamtmassen eine ausreichende Wärmespeicherung dar. Ein sog. "Barackenklima" ist deshalb in innengedämmten Räumen nicht festzustellen. Bei Hartschaumplatten kann eine erhöhte Schallängsleitung (Resonanzeffekt) durch die Wahl von Polystyrolhartschaum-Platten mit niedriger dynamischer Steifigkeit (s'≤ 30 MN/m^3) und Gipskartonplatten mit einer Dicke von 12,5 mm vermieden werden. Bei richtiger Produktwahl (z.B. Mineralwolledämmplatten) ist neben der Verbesserung des Wärmeschutzes auch eine Erhöhung des Schallschutzes der Außenwand möglich.

- **Mögliche Hemmnisse:** Fehlerhafte Informationen bei Hauseigentümern, Mietern, Bauausführenden und Architekten über die Innendämmung. Verbreitete Fehlurteile über die Bedeutung des Verlustes von Wärmespeichervermögen für das Raumklima bei innengedämmten Außenwänden. Fehlurteile über angeblich durch Innendämmung "zwingend" drohende Bauschäden. Teilweise auch Abneigung gegen Dampfsperren wegen vorhandener Fehlurteile über die angebliche Beschränkung einer sogenannten "Wandatmung". Kenntnismängel bei Bauausführenden und Architekten, die zu z.T. nicht sachgerechten Ausführungen geführt haben (fehlende oder undichte Dampfsperren, unverspachtelte Plattenfugen und Anschlüsse, nicht dichtgestoßene Dämmplattenanschlüsse **etc.**).

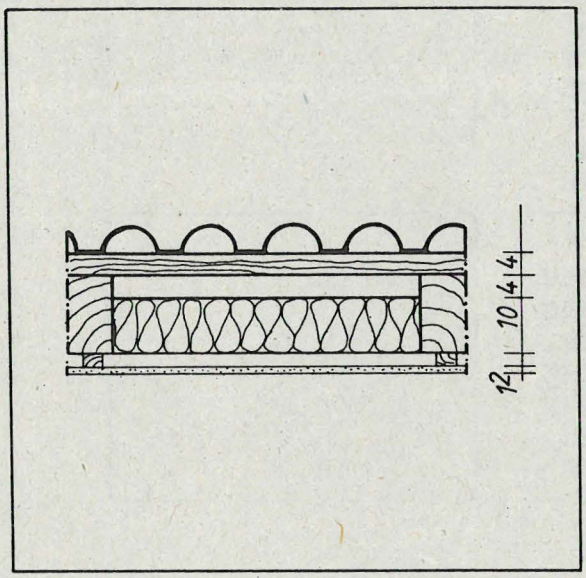
- **Ausführungshinweise:** Die Dämmung ist auch in die Laibungen der Fenster und Türen hineinzuziehen und zur Reduzierung der Wärmebrückeneffekte bei einbindenden Innenwänden und Massivdecken mit einem ca. 30 cm breiten Dämmkeilstreifen in den Bereich dieser Bauteile hinein zu verlängern. Verbundplatten sind dicht zu stoßen (mörtelfreie Anschlußfugen!). Dampfsperren sind nicht nur in der Fläche ohne Fehlstellen (Risse,Löcher) zu verlegen. Dichtheit muß auch an allen Anschlußpunkten, Durchdringungen und Stößen hergestellt werden. Die hierfür notwendigen Materialien sind marktgängig, die Techniken ohne besonderen Schwierigkeitsgrad auszuführen: Bei getrennter Ausführung von Dämmung und Innenverkleidung werden die Stöße der Dampfsperre mit doppelseitigem Klebeband 10 cm überlappt verklebt. Anschlüsse an Decken und Innenwände mit vorkomprimiertem Fugendichtungsband oder doppelseitigen Klebeband unter Anpreßleiste (gleichzeitig Konterlattung für die Verkleidung) gedichtet. Der Putzuntergrund ist bei Klebeband mit einem geeigneten Haftgrund vorzuprimern. Dampfsperren sind auch in die Laibungen hineinzuziehen und mit doppelseitigem Klebeband zu befestigen. Die Eckausbildung einbindender Innenwände und Decken ist mit Dämmkeilen auszuführen: Die Dampfsperre ist raumseitig auch über die Dämmkeile fortzuführen und mit doppelseitigem Klebeband (z.B. aus Butylkautschuk) auf dem Innenputz dicht anzuschließen; bei Verbundplatten kann z.B. ein ALU-Rauhfasertapetenstreifen auftapeziert werden.
  Bei Verbundplattenausführung genügt ein Ausspritzen aller Platten- und Anschlußfugen mit elastischem Kitt (Elastomer) und eine anschließende Verspachtelung aller Fugen gemäß den Anforderungen der DIN 18 181.Durchbrüche der dampfsperrenden Ebene durch Installationen sind zu vermeiden, dicht mit Silikon o.ä. auszuspritzen oder mit aufgeklebten Folienmanschetten zu sichern.
  Durch Aufnehmen der ersten beiden Dielen am Anschluß Fußboden/Außenwand entsteht Installationsraum für das Einbringen eines dampfdichten Foamglasstreifens (z.B. in Bitumen) auf der Außenwand zwischen den Balkenauflagern. Damit wird eine Verbesserung der Wärmedämmung auch in diesem Bereich erzielt. Gleichzeitig wird ein Tauwasserausfall an den besonders gefährdeten Holzbalkenköpfen verhindert. Diese Maßnahme ist grundsätzlich bei Gebäuden mit Holzbalkendecken zu empfehlen, wo es auch ohne Innendämmung zu Tauwasserschäden an den Balkenköpfen kommen kann.

- **Wirtschaftlichkeit:** Kosten der eingesparten Energie bei Ausführung im Instandhaltungszyklus in Pfennig pro eingesparte kWh Heizenergie (Endenergie).

Gebäu-detyp	Kosten:Pf/eingesp. kWh Heizenergie.	Gebäu-detyp	Kosten:Pf/eingesp. kWh Heizenergie
EFHA	3,8	-	-
EFHB	6,1	RHB	4,8
EFHC	7,3	RHC	7,2
EFHD	5,7	RHD	11,5-16,8
EFHE	6,3	RHE	26,3
EFHF	32,8	RHF	7,3
EFHG	14,8	RHG	20,5
EFHH	50,3	RHH	23,0
KMHA	6,1		
KMHB	7,1	GMHB	4,5
KMHC	10,5	GMHC	5,2
KMHD	5,6	GMHD	6,5
KMHE	4,3	GMHE	4,9
KMHF	7,8	GMHF	6,0
KMHG	14,4	HHE	6,4
KMHH	20,7	HHF	18,2

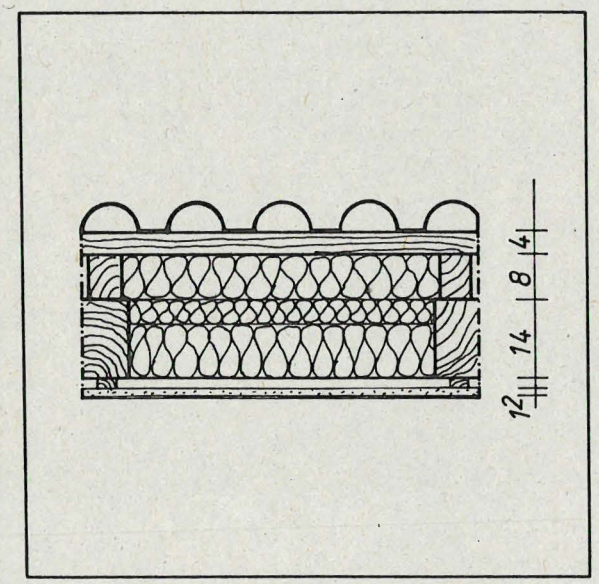
4.3.3.2 Bauteil: Geneigtes Dach

Dämmung des geneigten Dachs: Zwischen Sparren, Kehlbalken, Abseiten 12 - 20 cm mit Aufdoppelung des Sparrens von oben (bei vorhandem Innenausbau)



DACH	W/(mK)
Gk- Platte	0,21
Sparren 13%	0,13
Dämmung 87%	

k = 0,36 W/(m²K)



DACH	W/(mK)
Alu Rauhfaser	/
Gk- Platte	0,21
Sparren 12%	0,13
Dämmung 88%	0,038

k = 0,17 W/(m²K)

IWU HAUS: R H H

- **Dämmaßnahme: Einbau von Dämmstoff zwischen den Sparren mit Aufdoppelung des Sparrenquerschnitts bei Neueindeckung der Dachhaut. Bei vorhandener raumseitiger Innenverkleidung.**

- Empfohlene Stärke: 12 bis 20 cm, je nach vorhandenen Dämmstoff (Zusatzdämmung)

- Materialien: Dämmplatten, -keile oder Matten aus Mineralwolle, Hartschaum, Kork.

- Wärmeleitfähigkeit: 0.040, 0.035 und 0.030, 0.025, 0.020 W/(mK). Auf Hartschaum-Dämmstoffe, die mit FCKW geschäumt sind (OZON-Schicht zerstörende Wirkung) sollte verzichtet werden.

- Wasserdampfdiffusionwiderstandsfaktor μ: Mineralwolle: 1, Kork 5 - 10, Hartschaum 25 - 40

- Erzielbarer k-Wert des sanierten Bauteils: um 0,25 W/(m^2 K)

- Gesamtkosten: 125 DM/m^2

- Kostenbestandteile (Richtwerte): Dämmstoff 30 DM/m^2, Dacheindeckung 45 - 95 DM/m^2, Aufdoppelung für den Dämmstoff 12 DM/m^2, Dampfsperre 10 DM/m^2, Dachlattung 12 DM/m^2, Unterspannbahn 7 - 10 DM/m^2.

- Abzüglich der Kosten einer ohnehin fälligen Sanierung: Summe 60 DM/m^2. Dacheindeckung 45 - 95 DM/m^2, Dachlattung 12 DM/m^2, Unterspannbahn 7 - 10 DM/m^2.

- Lebensdauer 25-40 Jahre.

- **Bauphysik:** Dächer sind Leichtbauteile, bei denen der Dämmstoff den winterlichen wie sommerlichen Wärmeschutz übernimmt. Bei Leichtbauteilen ist der Wasserdampfdiffusion durch das Bauteil und dem Problem der Wärme- und Wasserdampfströmung durch Fugen und Ritzen im Dachaufbau besondere Beachtung zu schenken. Bauschäden gehen häufig auf einen luftundichten Dachaufbau zurück, bei dem warme, feuchte Raumluft in Fugen einströmt und es in der gedämmten Konstruktion zu Tauwasserausfall durch Abkühlung kommt. Die DIN 4108 stellt Anforderungen für die Gewährleistung einer bauschadenfreien Konstruktion. Bei der Festlegung des Dachaufbaus kann zwischen den folgenden Anforderungen gewählt werden:

  - o Einzelnachweis (Berechnung des Tauwasserausfalls nach dem Glaser-Verfahren).
  - o Dachaufbau ohne Belüftungsraum über der Dämmschicht. Die Tauwasserfreiheit muß entweder durch den Einzelnachweis oder durch eine raumseitige Dampfsperre mit einem S_d-Wert (Widerstand gegen Wasserdampfdiffusion) von 100 m (z.B. Aluminiumfolien 0,05 mm stark) gewährleistet werden.
  - o Dachaufbau mit Belüftungsraum über der Dämmschicht, dessen Dimensionierung (incl. Zu- und Abluftöffnungen) von der gedämmten Sparrenlänge abhängig ist (mind. 200 cm^2 pro m) und in der gesamten Dachfläche sichergestellt werden muß. Zusätzlich ist eine Dampfsperre erforderlich, deren S_d-Wert in Abhängigkeit der Sparrenlänge definiert ist (S_d: 2/5/10 m für Sparrenlängen ≤10 m/≤15 m/>15 m).
  - o Für alle Aufbauten: Fugendichtung nach dem "Stand der Technik".

- **Mögliche Hemmnisse:** Finanzierungsprobleme bei Hauseigentümern. Kenntnismängel bei Bauausführenden und Architekten. Ausführung suboptimaler Dämmstärken (10 cm) durch defensive Beratung ausführender Firmen. Starke Fehlinterpretationen der Anforderungen der DIN 4108 (Belüftungsraum über der Dämmschicht wird als Zwang verstanden) bewirken geringe Dämmstärken, da sie an der vorhandenen, meist geringen Sparrenhöhe, abzüglich 2-4 cm Belüftungsraum orientiert werden. Dachdeckerfirmen bieten den Wärmeschutz im Dach bei Dachneueindeckungen nicht offensiv an. Fachregeln des Dachdeckerhandwerkes berücksichtigen ausschließlich das "belüftete Dach" als handwerksgerechte Ausführung. Der

Anforderung nach einer sorgfältigen Fugendichtung wird bisher zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Dies mindert den möglichen Einspareffekt ausgeführter Dämmungen und bewirkt über teilweise auftretende Bauschäden ein z.T. negatives Image für Dachdämmungen. Für das bauliche Gewerk "Dachdämmung" bestehen zwischen den Innungen der Dachdecker, Zimmerer und des Ausbaugewerbes keine klaren Zuständigkeiten, mit entsprechenden Defiziten in den Berufsbildern.

- **Ausführungshinweise:** Durch Aufdoppelung des vorhandenen Sparrenhöhe wird die Möglichkeit des Einbaus einer großen Dämmstoffstärke von 16 bis 20 cm geschaffen. Wird das Kantholz für die Aufdoppelung etwas schmaler als der Sparren gewählt, kann auch dessen Wärmebrückenwirkung (Verschlechterung des Wärmeschutzes um bis zu 30 % durch die Sparrenprofile) teilweise reduziert werden. Die innere Dampfsperre ist nicht nur in der Fläche, sondern auch an allen Anschlußpunkten dicht auszuführen. Da die vorhandene Innenverkleidung bestehen bleibt (Innenputz, Gipsfaser- oder -kartonplatten), eignen sich ALU-Rauhfasertapeten, auftapezierbare Kraftpapiere, dampfsperrende Pappen mit integrierter Polyäthylenkleberschicht für die Herstellung einer nachträglichen dampf-und luftdichten Ebene. Bei Profilholzverkleidungen sind diese Lösungen nicht möglich. Hier kann baualtersgemäß i.d.R. von einer bereits existierenden Dampfsperre ausgegangen werden. Bestehen Zweifel über deren dichte Ausführung, ist die Aufdoppelung des Sparrens so zu dimensionieren, daß ein Belüftungsraum über der Dämmschicht angeordnet werden kann. Anderenfalls muß der Erneuerungszeitpunkt der Verkleidung abgewartet werden, um z.B. durch eine sorgfältig ausgeführte Polyäthylenfolie als innere Dampfsperre eine zusätzliche in der Fläche und an allen Anschlußpunkten und Durchdringungen dichte dampf- und luftsperrende Ebene herzustellen. Dies ist die beste Lösung, weil nur so die Wärmeverluste durch Luftströmung (bei einer vorhandenen, luftundichten Dampfsperre) reduziert werden können.

- **Wirtschaftlichkeit:** Kosten der eingesparten Energie bei Ausführung im Erneuerungszyklus des Daches in Pfennig pro eingesparte kWh Heizenergie (Endenergie).

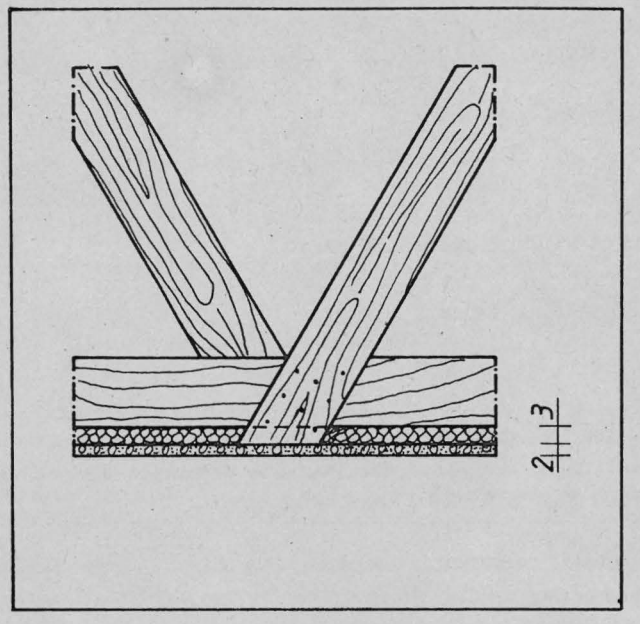
Gebäudetyp	Kosten:Pf/eingesp. kWh Heizenergie.	Gebäudetyp	Kosten:Pf/eingesp. kWh Heizenergie
EFHA	3,7**	-	-
EFHB	-	RHB	-
EFHC	7,2	RHC	-
EFHD	-	RHD	-
EFHE	8,1*	RHE	39,3
EFHF	22,8*	RHF	-
EFHG	25,9	RHG	36,9
EFHH	34,7	RHH	43,5
KMHA	26,7	-	-
KMHB	-	GMHB	26,7
KMHC	-	GMHC	-
KMHD	-	GMHD	-
KMHE	-	GMHE	-
KMHF	-	GMHF	-
KMHG	-	HHE	-
KMHH	13,3	HHF	-

* Für 20 cm Einblasdämmung in hohen Belüftungsraum (Wellstegträger)

** Dämmung zwischen/unter Sparren (55,00 DM/m^2)

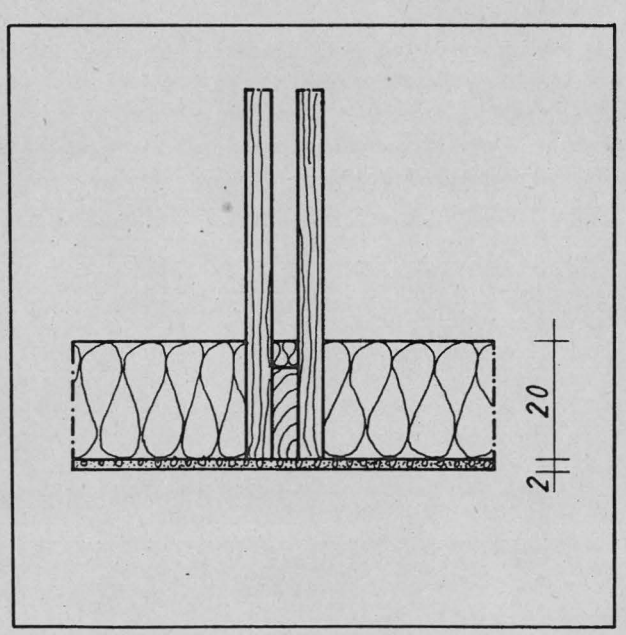
4.3.3.3 Dämmung des Dachbodens/ der Obergeschoßdecke

Dämmung der Obergeschoßdecke: 20 cm Einblasdämmstoff (nicht begehbar)



DECKE		W/(mK)
Rabitsdecke		0,47
Dämmung	90%	0,04
Holz	10%	0,13

k = 1,07 W/(m²K)



DECKE		W/(mK)
Rabitsdecke		0,47
Dämmung	92%	0,04
Holz	8%	0,13

k = 0,20 W/(m²K)

IWU HAUS: R H D

- **Dämmaßnahme: Einblasdämmung auf vorhandene, nicht begehbare Obergeschoßdecke. Besonders geeignet für sehr unebene Deckenflächen.**

- Empfohlene Stärke: 20 cm

- Materialien: Einblasdämmstoffe wie Steinwolleflockung, Zellulosedämmstoff, Perlite-Granulat.

- Wärmeleitfähigkeit: 0.050, 0.045 W/(mK).

- Wasserdampfdiffusionwiderstandsfaktor μ: Mineralwolle: 1, Zellulose: 1, Perlite: 3

- Erzielbarer k-Wert des sanierten Bauteils: um 0,20 W/(m^2 K)

- Gesamtkosten: 45 DM/m^2

- Kostenbestandteile (Richtwerte): Lohnkosten: 15 DM/m^2, Dämmstoff 30 DM/m^2.

- Abzüglich der Kosten einer ohnehin fälligen Sanierung: Keine.

- Lebensdauer 25-40 Jahre.

- **Bauphysik:** Die Innenoberflächentemperatur der Obergeschoßdecke wird um 2 bis 3 Grad Celsius angehoben, mit entsprechend positiven Auswirkungen auf das Raumklima. Die Dämmung liegt auf der kalten Seite der Konstruktion, Tauwasserausfall nach DIN 4108 findet nicht statt.

- **Mögliche Hemmnisse:** Das Dämmverfahren ist relativ unbekannt. Finanzierungsprobleme. Kenntnismängel bei Bauausführenden und Architekten. Ausführung suboptimaler Dämmstärken (10 cm). Niedrige und/oder schwer in ihrem Verlauf einschätzbare Energiepreise.

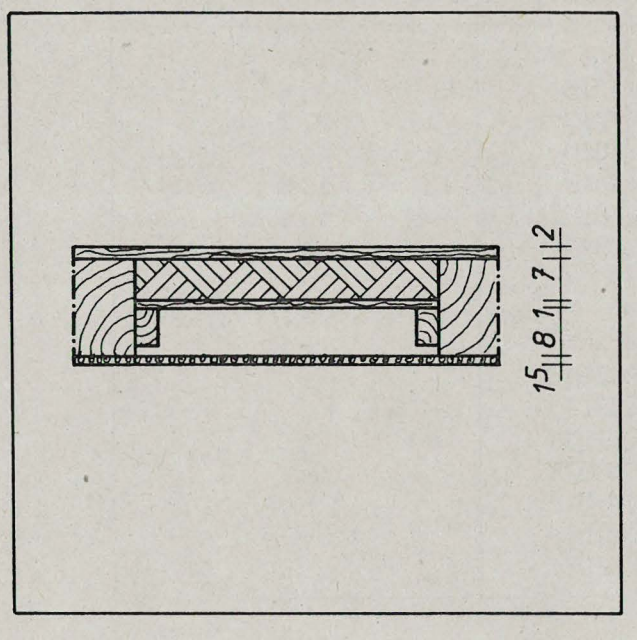
- **Ausführungshinweise:** Die Einblasdämmung ist ein einfach und schnell ausführbares Dämmverfahren, bei dem keine großen und die Wohnnutzung belastenden Nebenarbeiten anfallen. Der Dämmstoff liegt an allen Anschlüssen und Durchdringungen gut an. Damit kann die Dämmung nicht durch Kaltluft unterströmt werden, ein Vorteil insbesondere bei sehr unebenen Dachbodenaufbauten. Die Dämmschicht kann auch begangen werden, wenn sie danach an den Druckstellen wieder aufgelockert wird. Für die Dämmung und Fugendichtung der Dachbodenleiter muß eine handwerkliche Lösung angefertigt werden. Durch aufgelegte Dämmplatten ist der Wärmeschutz des Einstiegs zu verbessern. Hierzu ist in vielen Fällen das Rahmenfutter zu erhöhen. Durch eine eingefräste umlaufende Lippendichtung in die Leiterklappe kann das Eindringen kalter Zugluft vom Dachboden verhindert werden.

- **Wirtschaftlichkeit:** Kosten der eingesparten Energie in Pfennig pro eingesparte kWh Heizenergie (Endenergie).

Gebäu-detyp	Kosten:Pf/eingesp. kWh Heizenergie.	Gebäu-detyp	Kosten:Pf/eingesp. kWh Heizenergie
EFHA	-	-	-
EFHB	-	RHB	2,8*
EFHC	-	RHC	2,1
EFHD	-	RHD	6,2
EFHE	-	RHE	1,8
EFHF	-	RHF	4,8
EFHG	-	RHG	-
EFHH	-	RHH	-
KMHA	-	-	-
KMHB	-	GMHB	-
KMHC	-	GMHC	-
KMHD	-	GMHD	-
KMHE	2,1	GMHE	-
KMHF	-	GMHF	-
KMHG	-	HHE	-
KMHH	13,3	HHF	-

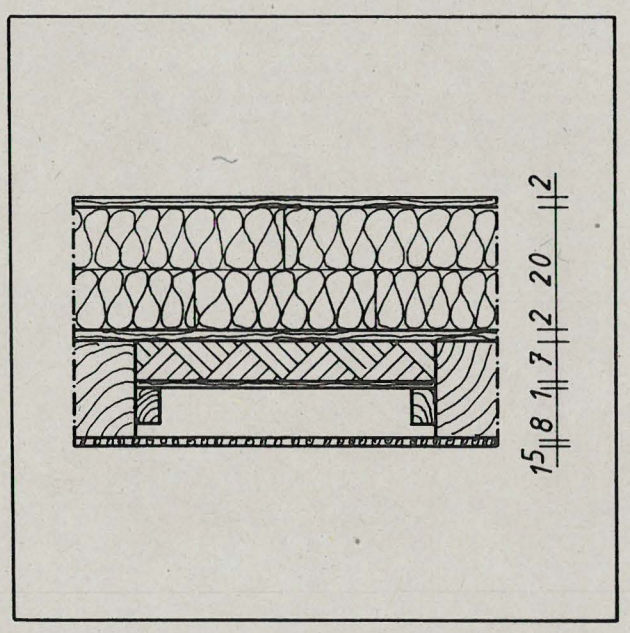
* Schüttdämmstoff 25,00 DM/m^2 Bauteilfläche

Dämmung des Dachbodens: Dämmplatten auf vorhandene Dielung (begehbar)



DACHBODEN	W/(mK)
Schilfrohr/Putz	0,47
Luft 85%	0,17
Balken 15%	0,20
Fehlboden	0,13
Schlacke	0,21
Dielung	0,13

k = 1,26 W/(m²K)



DACHBODEN	W/(mK)
Schilfrohr/ Putz	0,47
Luft 85%	0,17
Balken 15%	0,20
Fehlboden	0,13
Schlacke	0,21
Dielung	0,13
Dämmung	0,04
Dielung	0,13

k = 0,17 W/(m²K)

IWU HAUS: R H B

- **Dämmaßnahme: Auslegen von Dämmplatten auf die vorhandene Dielung. Abdeckung mit begehbaren Platten aus Holz oder Holzwerkstoffen (z.B. Hartfaserplatten (E 1).**

- Empfohlene Stärke: 20 cm

- Materialien: Hartschaum-, Mineralfaser-, Korkplatten, Verbundplatten aus Dämmstoff und Hartfaserplatte.

- Wärmeleitfähigkeit: 0.045, 0.040 W/(mK).

- Wasserdampfdiffusionwiderstandsfaktor μ: Mineralwolle: 1, Kork 5-10, Hartschaum 25 - 40, Hartfaserplatten: 70, Holzdielung 40

- Erzielbarer k-Wert des sanierten Bauteils: um 0,17 W/(m^2 K)

- Gesamtkosten: 50 DM/m^2

- Kostenbestandteile (Richtwerte): Lohnkosten: 15 DM/m^2, Dämmstoff 25 DM/m^2, Abdeckung 8 - 20 DM/m^2.

- Abzüglich der Kosten einer ohnehin fälligen Sanierung: Keine.

- Lebensdauer 25-40 Jahre.

- **Bauphysik:** Die Innenoberflächentemperatur der Obergeschoßdecke wird um 2 bis 3 Grad Celsius angehoben, mit entsprechend positiven Auswirkungen auf das Raumklima. Sommerliche Wärmebelastungen der Innenräume unter der Dachdecke werden spürbar reduziert. Die Konstruktion ist tauwasserfrei nach DIN 4108. Voraussetzung ist jedoch die Wahl einer nicht zu dampfdichten Deckschicht.

- **Mögliche Hemmnisse:** Finanzierungsprobleme. Kenntnismängel bei Bauausführenden und Architekten. Ausführung suboptimaler Dämmstärken (10 cm) durch defensive Beratung ausführender Firmen. Verbundplatten sind bis 14 cm Dämmschichtdicke erhältlich. Niedrige und/oder schwer in ihrem Verlauf einschätzbare Energiepreise.

- **Ausführungshinweise:** Das Material der Deckschicht sollte nicht zu dampfdicht sein. Bei Hartfaserplatten ist die Wahl von Platten mit einem geringen Anteil von Formaldehyd als Bindemittel (E1) sinnvoll. Der Dämmstoff muß auf der vorhandenen Dielenoberfläche überall dicht anliegen, damit er nicht durch Kaltluft unterströmt werden kann. Für die Dämmung und Fugendichtung der Dachbodenleiter muß eine handwerkliche Lösung angefertigt werden. Durch aufgelegte Dämmplatten ist der Wärmeschutz des Einstiegs zu verbessern. Durch eine in Klappe oder Rahmen eingefräste Lippendichtung kann das Eindringen kalter Zugluft vom Dachboden verhindert werden.

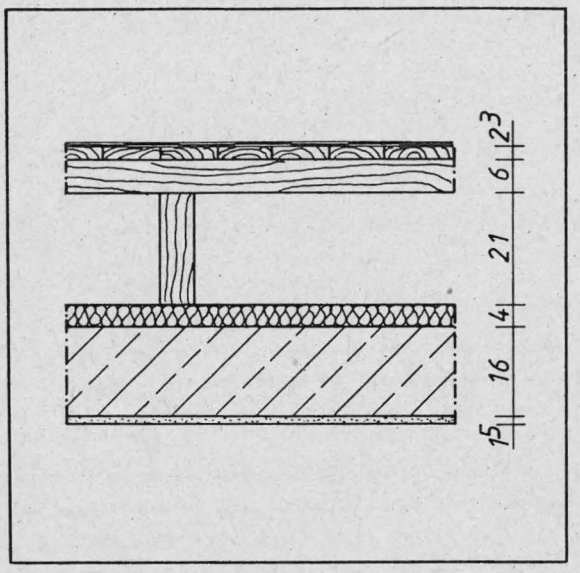
- **Wirtschaftlichkeit:** Kosten der eingesparten Energie in Pfennig pro eingesparte kWh Heizenergie (Endenergie).

Gebäu-detyp	Kosten:Pf/eingesp. kWh Heizenergie.	Gebäu-detyp	Kosten:Pf/eingesp. kWh Heizenergie
EFHA	-	-	-
EFHB	6,1	RHB	5,5
EFHC	-	RHC	-
EFHD	-	RHD	13,1
EFHE	-	RHE	1,9
EFHF	-	RHF	5,2
EFHG	-	RHG	-
EFHH	-	RHH	-
KMHA	7,8	-	-
KMHB	6,3	GMHB	8,4
KMHC	9,8	GMHC	5,8
KMHD	6,0	GMHD	-
KMHE	2,3	GMHE	-
KMHF	-	GMHF	-
KMHG	8,5*	HHE	-
KMHH	-	HHF	-

* Zusatzdämmung 10 cm begehbar.

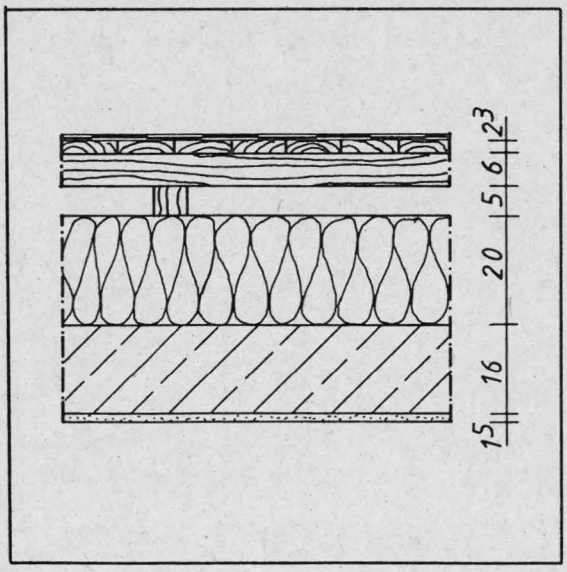
4.3.3.4 Bauteil: Flachdach (Kaltdach)

Dämmung des Flachdachs: 20 cm Dämmstoff in den Belüftungsraum einblasen. Bei Mehrfamilienhäusern mit hohen Belüftungsquerschnitten



DECKE	W/(mK)
Innenputz	0,70
Stahlbeton	2,10
MF.- Dämmung	0,04
Luftschicht	/
Dachhaut	/

k = 0,80 W/(m²K)



DECKE	W/(mK)
Innenputz	0,70
Stahlbeton	2,10
Einblasdämmung	0,045
Luftschicht	/
Dachhaut	/

k = 0,21 W/(m²K)

IWU HAUS: G M H E

- **Dämmaßnahme: Einblasdämmung in den vorhandenen hohen Belüftungsraum des Kaltdachaufbaus.** Diese Dachaufbauten sind vor allem bei Mehrfamilienhäusern der Baualtersklassen D bis G anzutreffen.

- Empfohlene Stärke: 20 cm

- Materialien: Einblasdämmstoffe wie Steinwolleflockung, Zellulosedämmstoff, Perlite-Granulat.

- Wärmeleitfähigkeit: 0.050, 0.045 W/(mK).

- Wasserdampfdiffusionwiderstandsfaktor μ: Mineralwolle: 1, Zellulose: 1, Perlite: 3

- Erzielbarer k-Wert des sanierten Bauteils: um 0,21 W/(m^2 K)

- Gesamtkosten: 45 DM/m^2

- Kostenbestandteile (Richtwerte): Lohnkosten: 15 DM/m^2, Dämmstoff 30 DM/m^2.

- Abzüglich der Kosten einer ohnehin fälligen Sanierung: Keine.

- Lebensdauer 25-40 Jahre.

- **Bauphysik:** Die Innenoberflächentemperatur der Obergeschoßdecke wird um 2 bis 3 Grad Celsius angehoben, mit entsprechend positiven Auswirkungen auf das Raumklima. Tauwasserausfall nach DIN 4108 findet nicht statt.

- **Mögliche Hemmnisse:** Das Dämmverfahren ist relativ unbekannt. Finanzierungsprobleme bei Wohnungsbaugesellschaften. Kenntnismängel bei Bauausführenden und Architekten. Ausführung suboptimaler Dämmstärken (10 cm) durch defensive Beratung ausführender Firmen. Bei Mehrfamilienhäusern liegt die Energiekosteneinsparung beim Mieter, die Investitionkosten müssen durch die Wohnungsbaugesellschaft oder den Vermieter getragen werden. Niedrige und/oder schwer in ihrem Verlauf einschätzbare Energiepreise.

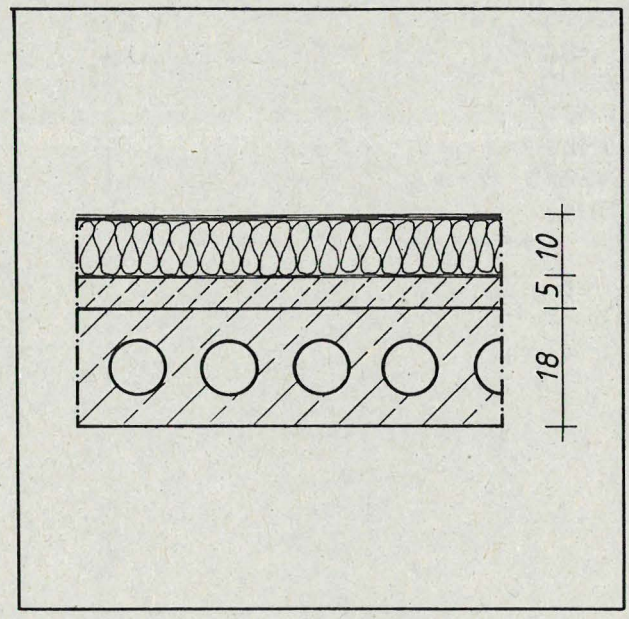
- **Ausführungshinweise:** Die Einblasdämmung ist ein einfach und schnell ausführbares Dämmverfahren, bei dem keine großen und die Wohnnutzung belastenden Nebenarbeiten anfallen. Der Dämmstoff liegt an allen Anschlüssen und Durchdringungen gut an. Damit kann die Dämmung nicht durch Kaltluft unterströmt werden.

- **Wirtschaftlichkeit:** Kosten der eingesparten Energie in Pfennig pro eingesparte kWh Heizenergie (Endenergie).

Gebäu-detyp	Kosten:Pf/eingesp. kWh Heizenergie.	Gebäu-detyp	Kosten:Pf/eingesp. kWh Heizenergie
KMHA	-	-	-
KMHB	-	GMHB	-
KMHC	-	GMHC	-
KMHD	-	GMHD	-
KMHE	2,1	GMHE	7,3
KMHF	5,6	GMHF	5,7
KMHG	-	HHE	-
KMHH	-	HHF	-

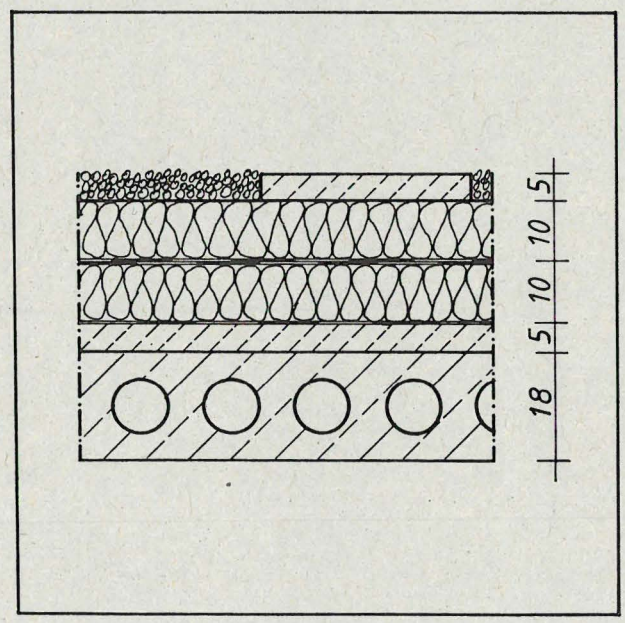
4.3.3.5 Bauteil: Flachdach (Warmdach)

Umkehrdach: 14 cm Dämmplatten auf vorhandene Dachhaut und Dämmschicht, Kiesauflage. Dämmung der Attikaaufbauten zur Reduzierung von Wärmebrückenwirkungen.



FLACHDACH	W/(mK)
Stahlbeton	2,10
Ausgleichbeton	2,10
Dampfsperre	/
Dämmung	0,04
Dachhaut	/

$k = 0{,}35\ W/(m^2K)$



FLACHDACH	W/(mK)
Stahlbeton	2,10
Ausgleichbeton	2,10
Dampfsperre	/
Dämmung	0,04
Dachhaut	/
PS-Dämmung	0,04
Kies- bzw. Betonplatten	0,70

$k = 0{,}19\ W/(m^2K)$

IWU HAUS: H H F

- **Dämmaßnahme: Auslegen von Hartschaum-Dämmplatten auf die vorhandene Dachhaut.** Befestigung mit Kiesbelag oder einzelnen Betonplatten.

- Empfohlene Stärke: 10-14 cm (6-10 cm baualtersgemäß vorhanden)

- Materialien: Feuchtigkeitsunempfindliche Hartschaum-Dämmplatten (z.B. extrudiert); auf FCKW-freies Material achten.

- Wärmeleitfähigkeit: 0.035 W/(mK).

- Wasserdampfdiffusionwiderstandsfaktor μ: Hartschaum 25 - 40, Polystyrol extrudiert: 80 - 300

- Erzielbarer k-Wert des sanierten Bauteils: um 0,25 $W/(m^2 K)$

- Gesamtkosten: 95 DM/m^2

- Kostenbestandteile (Richtwerte): Lohnkosten: 15 DM/m^2, Dämmstoff 35 DM/m^2.

- Abzüglich der Kosten einer ohnehin fälligen Sanierung: 45 DM/m^2.

- Lebensdauer 25-40 Jahre.

- **Bauphysik:** Bereits der vorhandene Warmdachaufbau ist zulässig nach DIN 4108. Durch die Erhöhung der Dämmschicht werden die bauphysikalischen Verhältnisse günstig beeinflußt. Die Oberflächentemperatur auf der Deckenunterseite wird um ca. 1-2 Grad erhöht. Auch in den oberen Raumecken wird die Temperatur angehoben (reduzierte Wärmebrückenwirkung). Das Raumklima wird positiv beeinflußt. Die vorhandene Dachhaut ist nur an den Schadensstellen zu sanieren. Die Dämmplattenlage des Umkehrdachs schützt die sanierte Dachhaut vor zerstörenden Einflüssen (Sonneneinstrahlung: UV-Einwirkung, Wärmedehnung).

- **Mögliche Hemmnisse:** Finanzierungsprobleme bei Wohnungsbaugesellschaften. Kenntnismängel bei Bauausführenden und Architekten, insbesondere über den Zusammenhang von Dämmung und Bauschadensvermeidung am Flachdach. Bei Mehrfamilienhäusern liegt die Energieeinsparung beim Mieter, die Investitionkosten müssen durch die Wohnungsbaugesellschaft oder den Vermieter getragen werden. Niedrige und/oder schwer in ihrem Verlauf einschätzbare Energiepreise.

- **Ausführungshinweise:** Bei Attikaaufbauten muß auch diese Betonkonstruktion mit Dämmstoff eingehüllt werden, um ihre Wärmebrückenwirkung zu reduzieren.

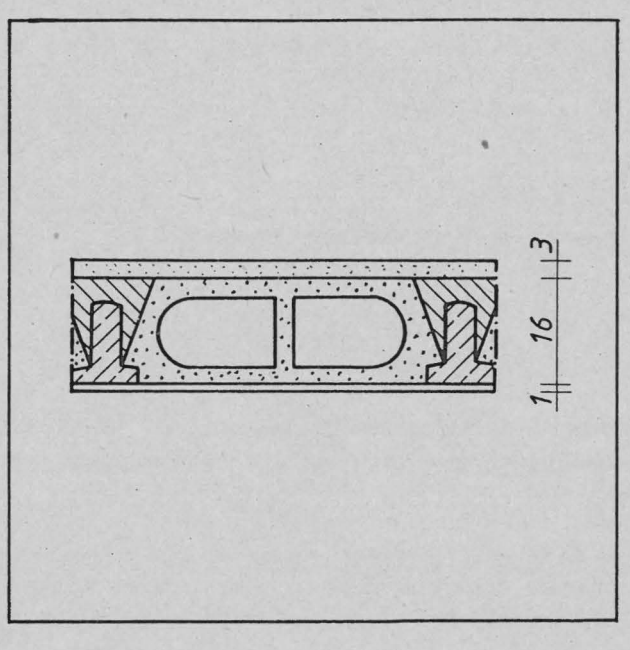
- **Wirtschaftlichkeit:** Kosten der eingesparten Energie bei Ausführung im Erneuerungszyklus des Daches in Pfennig pro eingesparte kWh Heizenergie (Endenergie).

Gebäu-detyp	Kosten:Pf/eingesp. kWh Heizenergie.	Gebäu-detyp	Kosten:Pf/eingesp. kWh Heizenergie
KMHA	-	RHC	2,7
KMHB	-	GMHB	-
KMHC	3,3	GMHC	-
KMHD	-	GMHD	8,6
KMHE	-	GMHE	-
KMHF	9,1	GMHF	19,1
KMHG	-	HHE	-
KMHH	-	HHF	36,9*

* 10 cm Zusatzdämmung

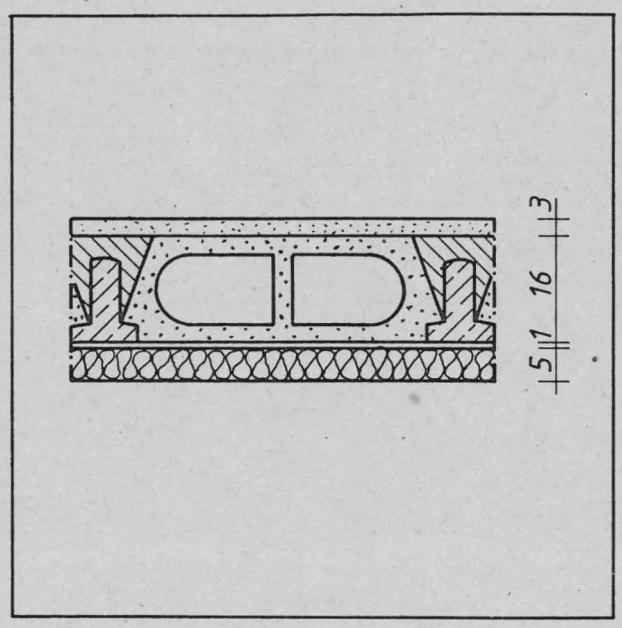
4.3.3.6 Bauteil: Kellerdecke und Kellerwände

Kellerdeckendämmung mit 5 cm Dämmplatten von der Unterseite



KELLERDECKE	W/(mK)
Estrich	1,40
Stahlbeton-	0,22
balkendecke	
Gipsputz	0,35

k = 0,89 W/(m²K)



Kellerdecke	W/(mK)
Estrich	1,40
Stahlbeton-	0,22
balkendecke	
Gipsputz	0,35
Dämmung	0,04

k = 0,42 W/(m²K)

IWU HAUS: R H D 1

- **Dämmaßnahme: Anbringung von 5 cm Dämmplatten unter die Kellerdeckenfläche.**

- Empfohlene Stärke: 5 cm

- Materialien: Hartschaum-, Mineralwolle- oder Korkplatten.

- Wärmeleitfähigkeit: 0.045, 0.040 W/(mK).

- Wasserdampfdiffusionwiderstandsfaktor μ: Mineralwolle: 1, Hartschaum 25 - 40, Kork 5 - 10

- Erzielbarer k-Wert des sanierten Bauteils: um 0,42 $W/(m^2 K)$

- Gesamtkosten: 25 DM/m^2

- Kostenbestandteile (Richtwerte): Lohnkosten: 15 DM/m^2, Dämmstoff 10 DM/m^2.

- Abzüglich der Kosten einer ohnehin fälligen Sanierung: Keine.

- Lebensdauer 25-40 Jahre.

- **Bauphysik:** Die Innenoberflächentemperatur des Erdgeschoßfußbodens wird um 1-2 Grad Celsius angehoben, mit entsprechend positiven Auswirkungen auf das Raumklima. Tauwasserausfall nach DIN 4108 findet nicht statt.

- **Mögliche Hemmnisse:** Geringe Kopfhöhen im Keller. Vorhandene Lattenverschläge müssen gekürzt werden. Unter der Decke angebrachte Rohrleitungen erfordern handwerklichen Aufwand. Kenntnismängel bei Bauausführenden und Architekten. Niedrige und/oder schwer in ihrem Verlauf einschätzbare Energiepreise.

- **Ausführungshinweise:** Dämmplatten werden mit Zementkleber unter der Kellerdecke befestigt. Auf eine rings um den jeweiligen Plattenrand verlaufende Verklebung ist zu achten (keine Einzel-Batzen), damit die Plattenschicht nicht von Kaltluft unterströmt werden kann. Eine Deckschicht ist nicht unbedingt erforderlich. Einzelne unter der Decke verlaufende Rohrleitungen müssen entweder ausgespart werden oder die Dämmschicht wird bei ausreichender Raumhöhe auf einzelne Dämmstreifen (Abstandhalter) verlegt.

- **Wirtschaftlichkeit:** Kosten der eingesparten Energie in Pfennig pro eingesparte kWh Heizenergie (Endenergie).

Gebäudetyp	Kosten: Pf/eingesp. kWh Heizenergie.	Gebäudetyp	Kosten: Pf/eingesp. kWh Heizenergie
EFHA	9,5	-	-
EFHB	12,7	RHB	8,4
EFHC	8,7	RHC	5,9
EFHD	6,3	RHD	3,3
EFHE	11,6*	RHE	16,4
EFHF	25,3	RHF	7,9
EFHG	8,5	RHG	11,2
EFHH	16,9	RHH	22,8
KMHA	6,7	-	-
KMHB	3,4**	GMHB	6,0
KMHC	5,2	GMHC	7,0
KMHD	3,5	GMHD	7,3
KMHE	9,5	GMHE	8,5
KMHF	8,7	GMHF	9,0
KMHG	25,8	HHE	8,2
KMHH	39,2	HHF	14,1

* Wände und Decken beheizter sowie Decken unbeheizter Räume

** Fußbodenerneuerung

4.3.3.7 Bauteil: Fenster

Wärmeschutzverglasung in bestehende Fensterrahmen einsetzen

- **Dämmaßnahme: Ersatz vorhandener Standard-Isolierverglasung (k-Wert 3,0 W/(m^2K)) durch Wärmeschutz-Isolierverglasung (k-Wert 1,3 W/(m^2K)) bei ohnehin anstehender Scheibenerneuerung.**

- Materialien: Zweischeibenglas mit Argonfüllung im Zwischenraum und einer farbneutralen Silberbedampfung der inneraumzugewandten Scheibe im Luftzwischenraum.

- k-Wert der Wärmeschutz-Isolierverglasung: 1,3 W/(m^2K).

- erzielbarer k-Wert saniert mit Holzrahmen: um 1,5 W/(m^2K)

- Gesamtkosten: 280 DM/m^2

- Abzüglich der Kosten einer Isolierglasscheibe: 210 DM/m^2.

- Lebensdauer 15 Jahre.

- **Bauphysik:** Die Innenoberflächentemperatur der Scheibe ist auch bei - 10 Grad Celsius Außentemperatur um 5 - 7 Grad Celsius höher als eine Standard-Isolierverglasung. Die Temperatur von Glasscheiben ist in hohem Maße entscheidend für ein behagliches Strahlungsklima in Wohnräumen.

- **Mögliche Hemmnisse:** Kenntnismängel bei Bauausführenden und Architekten. Niedrige und/oder schwer in ihrem Verlauf einschätzbare Energiepreise.

- **Ausführungshinweise:** Die Abmessungen der Wärmeschutz-Isolierverglasung unterscheiden sich nicht von Standard-Isolierverglasung. Sie kann deshalb in alle bereits isolierverglasten Fensterrahmen eingebaut werden, wenn durch Glasbruch oder am Ende der Lebensdauer der Scheiben ein Austausch erforderlich ist.

- **Wirtschaftlichkeit:** Kosten der eingesparten Energie in Pfennig pro eingesparte kWh Heizenergie (Endenergie).

Gebäudetyp	Kosten: Pf/eingesp. kWh Heizenergie.	Gebäudetyp	Kosten: Pf/eingesp. kWh Heizenergie
EFHA	9,1	-	-
EFHB	9,2	RHB	8,8
EFHC	9,4	RHC	9,8
EFHD	9,1	RHD	10,2
EFHE	11,7	RHE	9,7
EFHF	12,1	RHF	9,2
EFHG	9,8	RHG	12,0
EFHH	11,4	RHH	12,1
KMHA	8,1	-	-
KMHB	11,3	GMHB	8,3
KMHC	12,3	GMHC	9,6
KMHD	7,9	GMHD	8,3
KMHE	9,8	GMHE	8,9
KMHF	8,1	GMHF	8,7
KMHG	9,0	HHE	8,4
KMHH	17,2	HHF	7,8

Das Preisniveau für Dämmtechniken läßt sich durch Intensivierung des Dämmprozesses in vielen Fällen noch deutlich senken (Wärmeschutz-Isolierverglasung, Vorhangfassade, Thermohaut), wenn die Maßnahmen zum Standardangebot der ausführenden Handwerks-Gewerke werden. Neue Erkenntnisse und Produkte aus der zu intensivierenden Bauforschung und dem Bau von Niedrigenergie- und Nullenergiehäusern (Passive Häuser) sollten kostensparende konstruktive Lösungen für die folgenden Bereiche erbringen (Auswahl):

- Anbringung von Dämmstoffen in geneigten Dächern, wärmetechnische Sanierungskonzepte für Hochhäuser, Dämmung von unebenen Kellerdecken von unten.
- Abdichtung von Fugen und Ritzen gegen Luftströmung, Sanierung von Dampfsperren, langzeitbeständige dampfsperrende Folien, Fugendichtungstechnik, beständige Klebebänder.

Neben das vorhandene breite Angebot ergänzenden Produkten wie z.B. gedämmter Klappläden, der transparenten Wärmedämmung oder hochwärmedämmender Fenster mit k-Werten um 1,0 $W/(m^2K)$ kommt es vor allem auf die sorgfältige Bauausführung an, um den vollen Einsparerfolg zu realisieren und Bauschäden zu vermeiden.

Literatur zu Kapitel 4:

Literaturhinweise zu den bauphysikalischen und architektonischen Randbedingungen

Beck-Texte; Baugesetzbuch, München 1987

Bundesamt für Konjunkturfragen; Handbuch Planung und Projektierung wärmetechnischer Gebäudesanierungen, Bern 1983

Bundesamt für Konjunkturfragen; Wärmetechnische Gebäudesanierungen in der Praxis, Bern 1985

Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Städtebaubericht 1975, Bonn 1976

Buss H.; Aktuelles Tabellenhandbuch Feuchte, Wärme, Schall, Kissing 1987

DIN 4108, Wärmeschutz im Hochbau, Berlin 1985

Dehnen, H.; Ratgeber zur Modernisierung und Instandsetzung von Wohngebäuden, Bonn 1989

Enquete-Kommission des 11. deutschen Bundestages "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre"; Schutz der Erdatmosphäre - Eine internationale Herausforderung, Bonn 1988

Erhorn, H.; Schäden durch Schimmelbildung im modernisierten Mietwohnungsbau, in: Bauphysik 10/1988

Fingerling, K.-H.; Bauphysikalische Aspekte nachträglicher Wärmeschutzmaßnahmen; in: Institut Wohnen und Umwelt, Zukunftsweisender Wärmeschutz, Darmstadt 1986

Feist, Wolfgang; Primärenergie- und Emissionsbilanzen von Dämmstoffen, Darmstadt 1986

Fraunhofer Institut für Bauphysik; Das Münchner Energiespar-Testhaus, Stuttgart 1988

Freie Planungsgruppe Berlin (FPB); Universitätsstadt Marburg, Energiekonzept nördliche Altstadt, Berlin 1987

Gesamtverband der Dämmstoffindustrie, Baumarktstatistik 1989 und 1990

Gesamtverband Gemeinnütziger Wohnungsunternehmen e.V.; Modernisierungstatistik 1989

Gerner M.; Instandsetzen und Erhalten historischer Häuser, Wiesbaden 1978

Gerner/Seehausen; Denkmalschutz in Hessen, Wiesbaden 1988

Hessisches Landesamt für Ernährung, Landwirtschaft und Landentwicklung (HLELL); Holzbau im ländlichen Raum, Wiesbaden 1986

Hessisches Ministerium des Innern; Richtlinien für die Modernisierungs-, Energieeinsparungs- und Instandsetzungsmaßnahmen an Wohngebäuden mit Landesmitteln (Modernisierungsrichtlinien-Land), Wiesbaden 1987

Hessisches Ministerium für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz; Richtlinien für die Erneuerung der hessischen Dörfer, Staatsanzeiger vom 23. Juli 1984

Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik (Hrsg.); Energiesparinformationen Nr. 1, fortlaufend

SPD-Fraktion im deutschen Bundestag, Öffentliche Anhörung zum Thema "Energiesparen im Bauwesen", Protokolle, Bonn 1985

Schmitz H.; Altbaumodernisierung - Konstruktions-. und Kostenvergleiche, Köln 1984

Seiffert; Wasserdampfdiffusion im Bauwesen, Wiesbaden 1982

Simons K.; Lebensdauer von Bauteilen und Baustoffen, Forschungsarbeit im Auftrag des BMBau, Stuttgart 1987

Staatsanzeiger für das Land Hessen Nr. 16/1988; Vollzug der Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden vom 24. 02. 1982, bauliche Änderungen in bestehenden Gebäuden, Anwendung bei Fachwerkgebäuden.

Staatsanzeiger für das Land Hessen, Nr. 42/1988; Landesprogramm Einfache Stadterneuerung

Süddeutsche Zeitung vom 7.1.1989

Weidlich B., Energetische Nachbesserungen; in: bausubstanz 3/1990

Literaturhinweise zur Investitions- und Finanzierungsrechnung

Cube, H.L. (Hrsg.); Handbuch der Energiespartechniken, Bd. 1, Technische und wirtschaftliche Grundlagen, Karlsruhe 1983

Cube, H.L.; Handbuch der Energiespartechniken, Bd. 2, Spartechniken bei der Nutzung fossiler Energieträger, Karlsruhe 1983

Cube, H.L.; Handbuch der Energiespartechniken, Bd. 3, Nutzung regenerativer Energien und passive Spartechnik, Karlsruhe 1984

Däumler, K.-D.; Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung, 5. Aufl., Herne/Berlin 1987

Däumler, K.-D.; Praxis der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung, 2. Aufl., Herne/Berlin 1988

Deutsche Sektion der Internationalen Gesellschaft für Sonnenenergie e.V./Bundesverband Solarenergie e.V., Tagungsbericht Bewertung der Wirtschaftlichkeit regenerativer Energien, München 1982

Feist, W.; Wirtschaftlichkeit von Niedrigenergiehäusern, Darmstadt 1987

Freimann, J.; Betriebswirtschaftslehre für Sie, Bd. 1, 2. Aufl., München 1983

Freimann, J.; Plädoyer für eine alternative ökonomische Rationalität - Zur Kritik geldökonomischer Wirtschaftlichkeitsrechnungen, in: AGAT (Hrsg.), Technik für den Menschen, Frankfurt/M. 1982, S. 128 - 144

Gans, B., W. Looss, D. Zickler; Investitions- und Finanzierungstheorie, 3. Aufl., München 1977

Kruschwitz, L., Investitionsrechnung, 2. Aufl., Berlin 1985

Rostek, A., Haarmann, N.; Dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung für den Praktiker, in: Heizung-Lüftung/Klimatechnik-Haustechnik 32, Nr. 8, 1981

Schmidt, R.-H.; Grundzüge der Investitions- und Finanzierungstheorie, 2. Aufl., Wiesbaden 1986

Schüller, K.-H.; Methodisches Vorgehen bei Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Kraftwerken, Köln 1985

Verein deutscher Ingenieure; Berechnungen der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen. Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen. VDJ 2067, Blatt 1, Düsseldorf 1983

Verein deutscher Ingenieure; Wirtschaftlichkeit und Finanzierung, VDI-Bericht Nr. 684, Düsseldorf 1988

Literaturhinweise zu den Annahmen über Bauteilkosten

Bremer Energiebeirat; Abschlußbericht, Bremen 1989

Bremer Energiebeirat; Materialien zum Abschlußbericht, Band II, Bremen 1989

Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau; Bau- und Wohnforschung, Wirtschaftlichkeitsuntersuchung bei Baumaßnahmen des Bundes; Schriftenreihe, Bonn 1983

Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau; Städtebauliche Forschung, Kostenanalyse der Modellsanierung von Altbauten, Bonn 1976

Energiezentrum der Stadt Kassel; Auswertung von Ausschreibungen wärmetechnischer Gewerke 1987, unveröffentlichtes Manuskript

Fahrenholtz, G.; Handbuch für den Dachdeckermeister, Bochum 1988

Fingerling, K.-H.; Bauphysikalische Aspekte nachträglicher Wärmeschutzmaßnahmen; in: Institut Wohnen und Umwelt, Zukunftsweisender Wärmeschutz, Darmstadt 1986

Fraunhofer Institut für Bauphysik, Institut für Kernenergetik und Energiesysteme der Universität Stuttgart; Energiediagnose für Wohngebäude, Forschungsbericht, Stuttgart 1986

Gesamthochschule Kassel, Wissenschaftliches Zentrum Mensch und Umwelt; Mitteilung an die Verfasser, Ausschreibungsergebnis, Kassel 1989.

Gesellschaft für umweltfreundliche Technologie e.V.; Quartiersbezogenes Versorgungskonzept ür die Stadt Kassel, Teil II, Kassel 1984

HECK-Dämmsysteme, Preisliste 1989

Herrmann K.-E.; Zur wärmetechnischen Bewertung von Leichtmauermörteln; in: Deutsches Architektenblatt 1/1990

Institut für Bauforschung e.V.; Vergleich des Einflusses unterschiedlicher Konstruktionen, Baustoffe und Ausstattungen bei sonst gleichen Gebäuden auf die Herstellungs- und Baunutzungskosten, Hannover 1986

Institut für Bauforschung e.V.; Energieeinsparung im Gebäudebestand durch investive technische Maßnahmen, Studie im Auftrag des BMBau, Stuttgart, IRB-Verlag o.J.

Institut für das Bauen mit Kunststoffen e.V.; Energieeinsparung in Verbindung mit Schadensbeseitigung an Dach und Wand; Forschungsarbeit im Auftrag des BMBau, Stuttgart 1988

Kerschberger A., Weidlich B.; Energiegerechte Instandsetzung von Nachkriegswohngebäuden, in: bausubstanz 8/1989

RWE; RWE-Bau-Handbuch, Essen 1990

Schmitz/Böhning/Krings; Altbaumodernisierung im Detail, Köln 1989

Schmitz H.; Altbaumodernisierung - Konstruktions-. und Kostenvergleiche, Köln 1984

Schmitz H., Hutzelmeyer H., u.a.; Bauteilkosten, Modernisierung und Instandsetzung, Essen 1985

Schmitz, H-P.; Baukosten im Griff, Wiesbaden 1985

Stadt Kassel, Der Magistrat; Energieversorgungskonzept Kassel Quartierskonzepte, Studie des Batelle Instituts, Frankfurt am Main, Kassel 1984

S.T.E.R.N. Gesellschaft der behutsamen Stadterneuerung Berlin mbH; Bauelemente Katalog, Berlin 1990

Weeber + Partner; Temporärer Wärmeschutz am Fenster, Forschungsbericht im Auftrag des BMBau, Stuttgart 1985

Weidlich Ingenieurgesellschaft; Energiegerechte Bauschadenssanierung, Forschungsbericht für den BMBau, Stuttgart 1989

Weidlich Ingenieurgesellschaft; Energiegutachten Wohnhausgruppe 906, Berlin Märkisches Viertel, Berlin 1987

Literaturhinweise zum Bauteilkatalog:

Achtziger J.; Tauwasserbildung im Innern von zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung, in: Bauphysik 2/1984

Ahnert R., Krause K.; Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960, Wiesbaden 1986

Braun E.; Bitumen, Köln 1987

Bundesamt für Konjunkturfragen, Luftaustausch in Gebäuden, Bern 1988

Bundesamt für Konjunkturfragen; Handbuch Planung und Projektierung wärmetechnischer Gebäudesanierungen, Bern 1983

Bundesamt für Konjunkturfragen; Wärmetechnische Gebäudesanierungen in der Praxis, Bern 1985

Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Schriftenreihe; Sanieren und Modernisieren von Fachwerkbauten, Bonn 1981

Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bau und Wohnforschung; Praktische Untersuchung der Tauwasserbildung im Innern von Bauteilen mit Innendämmung, Stuttgart 1984

Böker H.; Trockenbaupraxis mit Gipskartonplattensystemen, Köln 1984

Brechner H., u.a.; Kalksandstein, Planung, Konstruktion, Ausführung, Hannover 1989

Christensen G., Prebensen K.; Zusatzdämmungen nach dem Umkehr-Prinzip im Vergleich zu Warmdach-Aufbauten, in: Bauphysik 4/1987

Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München; Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Wärmedämmstoffen, Gräfelfing 1984

Greubel D.; Diffusionsoffene Dachbahnen für die Instandsetzung, in: bausubstanz 3/1989

Hebgen H., Heck F.; Dächer, Decken, Fußböden mit optimalem Wärmeschutz, Düsseldorf 1975

Hebel; Handbuch für den Wohnbau, Emmering 1988

Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik (Hrsg.); Energiespar-Informationen Nr. 1 ff., fortlaufend

Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover; Langzeituntersuchungen an kerngedämmtem Mauerwerk, Stuttgart 1988

Institut für das Bauen mit Kunststoffen; Wärmeschutz bei Außenwänden, Darmstadt 1987

Institut für Ziegelforschung, Essen; Energieeinsparung durch Kerndämmung bei zweischaligem Mauerwerk, Forschungsbericht für den BMFT, Stuttgart o.J.

Liersch K; Belüftete Dach- und Wandkonstruktionen, Band 1 Vorhangfassaden, Wiesbaden 1981

Liersch K.; Belüftete Dach- und Wandkonstruktionen, Band 3 Dächer, Wiesbaden 1986

Mainka G.-W., Paschen H.; Wärmebrückenkatalog, Stuttgart 1986

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA); Luftdurchlässigkeit von Gebäudehüllen im Holzbau, Dübendorf 1989

Oswald R., Rogier D.; Schwachstellen beim Wärmeschutz, Studie im Auftrag des BMBau, Aachen 1986

Schild E.; Schäden an ausgeführten Außenwänden mit Kerndämmung, Studie im Auftrag des BMFT, Aachen 1983

Schild E. (Hrsg.); Aachener Bausachverständigentage 1984, Wärme- und Feuchtigkeitsschutz von Dach und Wand, Wiesbaden 1984

Schild E. (Hrsg.); Aachener Bausachverständigentage 1987, Leichte Dächer und Fassaden, Wiesbaden 1987

Schild E. (Hrsg.); Aachener Bausachverständigentage 1988, Problemstellungen im Gebäudeinnern, Wiesbaden 1988

Schild E. u.a.; Bauschäden im Wohnungsbau Teil II; Dortmund 1975

Trümper H., Universität Dortmund, Lehrstuhl für Technische Gebäudeausrüstung, Zusammenhänge zwischen Energieeinsparung und Raumluftfeuchtigkeit,Dortmund 1985

Wulkan, E.K.H.; Das Verhalten von Dämmstoffen in nachträglich verfülltem zweischaligen Mauerwerk mit Luftschicht, in: Bauphysik 4/1983

Zentralverband des deutschen Dachdeckerhandwerks; Richtlinien für die Planung und Ausführung von Dächern mit Abdichtungen, Köln 1988

5. Objektbezogene Einsparpotentiale der Referenzgebäude der Gebäudetypologie

5.1. Untersuchungsmethode

5.1.1 Beschreibung des Energiebilanzmodells STATBIL

Für die Berechnung der Gebäude-Energiebilanzen wurde das Programm ENBIL eingesetzt.

ENBIL (und das zugrundeliegende Bilanzmodell STATBIL) verwendet für die Bestimmung des Wärmeverbrauchs eines Gebäudes ein Einkapazitätenmodell. Alle wärmespeichernden Massen des Gebäudes werden entsprechend ihrem Gewicht für die thermische Trägheit des Baus in einem Punkt, dem "Zentrum des Gebäudes", zu einer äquivalenten inneren Wärmekapazität zusammengefaßt. Ein solches Vorgehen ist in jedem Fall dann gerechtfertigt, wenn die Entladezeitkonstanten und die Temperaturen der unterschiedlichen Speichermassen nicht zu stark voneinander verschieden sind. Aber auch bei relativ starken Temperaturunterschieden lassen sich bei Verwendung entsprechender Gewichte sehr gute Werte für die monatlichen und ganzjährigen Energiebilanzen erhalten.

Daß die Verwendung von Einkapazitätenmodellen für die Simulation des thermischen Verhaltens von Gebäuden recht gut mit den Messungen übereinstimmende Ergebnisse liefert, konnte Bernd Steinmüller in seiner Dissertation /Steinmüller 1981/ eindrucksvoll beweisen. Sogar der Verlauf der mittleren Innentemperatur unter verschiedenen äußeren Randbedingungen kann mit einem solchen Modell, wenn die zugehörige Differentialgleichung numerisch schrittweise integriert wird, gut simuliert werden.

Bei der praktischen Anwendung in der Energieberatung geht es jedoch gar nicht um die Simulation des thermischen Verhaltens eines Gebäudes im Detail. Vielmehr werden Angaben über die Energiebilanz des Hauses über längere Zeiträume benötigt, um die Wirksamkeit verschiedener Energiesparmaßnahmen abschätzen zu können. Hier kann ein Einkapazitätenmodell gute Dienste leisten: selbst wenn die

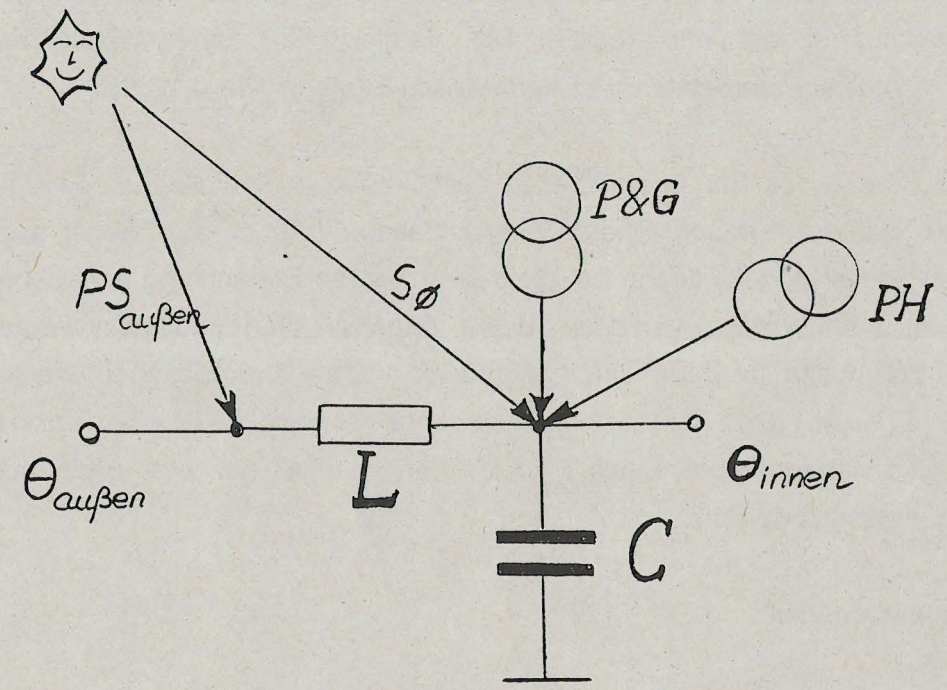
Simulation des Zeitverhaltens im Detail Abweichungen von den Meßwerten aufweist, so sind doch die zeitlich gemittelten Werte für die Energiebilanz in guter Übereinstimmung mit der Realität. Der Vergleich mit dynamischen Rechenprogrammen in einer Parameterstudie lieferte dieses Ergebnis /Feist 1989/.

Für die zum Zweck der Energiebedarfsbestimmung zu erstellenden Energiebilanzen ist daher die Verwendung eines Einkapazitätenmodells in aller Regel ausreichend. Grenzen dieses Modells liegen beispielsweise bei der Behandlung von Gebäuden mit zwei oder mehr Temperaturzonen, deren Regelverhalten deutlich voneinander abweicht. Hier sollte je Zone eine gesonderte Kapazität vorgesehen werden - dies vermag STATBIL nicht zu leisten. Wohl können solche Bilanzen jedoch mit ein paar Tricks näherungsweise aus Bilanzen von je einer der zwei oder mehr Zonen zusammengesetzt werden.

Das Gebäudemodell

Abb. 2 zeigt das Grundmodell eines Gebäudes als Einkapazitätennetzwerk. Die gesamte Wärmekapazität des Hauses ist auf die einzige innere Wärmekapazität C konzentriert. Diese Kapazität wird mit der einzigen Temperaturzone des Hauses identifiziert. Sie ist somit immer genau auf die jeweilige mittlere Raumtemperatur T_i aufgeladen. Diese mittlere Raumtemperatur ist weder die Raumlufttemperatur noch die Strahlungstemperatur der Raumumfassungsflächen, sondern ein geeigneter Mittelwert hiervon. I.a. wird diese Temperatur mit der empfundenen Temperatur, die eine im Raum befindliche Person wahrnimmt, recht gut übereinstimmen. Bei gut außengedämmten Häusern stimmen alle genannten Temperaturen meist fast überein.

Abb. 5.1.1-1: Das Gebäude als Einkapazitätenmodell (Zeichenerklärungen im Text)



Die Wärmeverlustströme, welche das Gebäude verlassen, lassen sich zu einem gemeinsamen Wärmeverluststrom P_V zusammenfassen. Dieser Verlustwärmestrom wird über den äquivalenten bezogenen Wärmeverlust L (der im elektrischen Analogon einem Leitwert entspricht) an die Außenluft abgegeben. Es gilt also:

$$P_V = L * (T_i - T_a) - P_S \qquad (1)$$

dabei sind T_i und T_a die Innen- bzw. Außentemperaturen und P_S die Verringerung des Wärmeverlustes durch auf die Außenoberfläche der nichttransparenten Bauteile auftreffende Solarstrahlung. Die Zusammensetzung des bezogenen Gesamtwärmeverlustes L (Maßeinheit W/K) aus Summe von k-Werten mal Flächen der Bauteile plus ausgetauschtem Raumluftvolumen mal Wärmekapazität der Luft wird später erläutert, ebenso die Bestimmung von P_S. Hier genügt der Hinweis, daß diese beiden Werte zu jedem Zeitpunkt durch die äußeren Randbedingungen (Außentemperatur und Strahlung) sowie die Eigenschaften des Gebäudes festliegen und berechnet werden können.

Wir werden künftig die aktuelle mittlere Rauminnentemperatur mit $T := T_i$ abkürzen.

Neben dem in (1) ausgedrückten Wärmeverluststrom kommen dem Gebäude weitere drei Energieströme als Gewinn zu:

Das solare Strahlungsangebot S_o

Durch die transparenten Bauteile gelangt solare Strahlungsenergie in die Räume. Sie kann zu jedem Zeitpunkt als Summe der effektiven Fensteröffnungen mal den jeweiligen spezifischen Strahlungsleistungen in Richtung der Öffnungen ermittelt werden. Das solare Energieangebot ist so als Wärmestrom S_o zu jedem Zeitpunkt vorgegeben.

Innere Wärmequellen $P_{P\&G}$

Zu jedem Zeitpunkt werden im Gebäude durch den Aufenthalt von Personen, den Betrieb von Geräten und die Bereitung von Warmwasser Abwärmeströme freigesetzt. Der Wärmestrom $P_{P\&G}$ tritt als weitere "Gratisenergie" zum solaren Angebot hinzu.

Heiz(nutz)leistung P_H

Je nach Betriebsart des Heizsystems kommt zu den genannten Wärmeströmen noch aktive Heizleistung P_H hinzu.

Die Speicherbilanz

Alle vier oben beschriebenen Wärmeströme treffen im Einkapazitätenmodell am Knotenpunkt der Gebäudewärmekapazität C zusammen. Der Speicherenergieinhalt E der Wärmekapazität wird durch die Speichergleichung

$$E = C * T \qquad (2)$$

beschrieben. Differenzieren von (2) nach der Zeit t liefert die Energiebilanz des Speichers:

$$\frac{d\,E}{d\,t} = C * \frac{d\,T}{d\,t} \qquad (3)$$

Der Energieerhaltungssatz (oder 1. Hauptsatz der Thermodynamik) sagt aus, daß diese Speicherenergiebilanz mit der Summe der dem Speicher zugeführten Energie identisch sein muß:

$$C * \frac{d\,T(t)}{d\,t} = P_H(t) + S_o(t) + P_{P\&G}(t) - P_V(t) \qquad (4)$$

Dies ist die dem Einkapazitätenmodell zugrundeliegende Bilanzgleichung. Da Solarangebot S_o und innere Wärmequellen von der Innentemperatur T nicht abhängen und die Abhängigkeit von $P_V(t)$ nach (1) eingesetzt werden kann, ergibt sich als Modellgleichung

$$C * \frac{dT(t)}{d\,t} = P_H(t)+S_o(t)+P_{P\&G}(t)-L*(T(t)-T_a(t))+P_S(t) \text{ oder}$$
$$C * \frac{dT(t)}{d\,t} = -\,L*T(t)+(P_H(t)+S_o(t)+P_{P\&G}(t)+L*T_a(t)+P_S(t)) \qquad (5)$$

eine inhomogene, lineare Differentialgleichung erster Ordnung für die Rauminnentemperatur T.

Diese Gleichung kann nun zur Grundlage der Simulation des Zeitverhaltens des Einkapazitätenmodells gemacht werden, indem (5) numerisch in Abhängigkeit von den Inhomogenitäten zeitschrittweise integriert wird (wie bei Steinmüller). Durch die besondere Einfachheit der Gleichung kann sie jedoch auch für einen überblickbaren Zeitraum mit einfachen Inhomogenitäten analytisch exakt gelöst werden. Eine solche Lösung liegt dem Gang der Berechnung bei STATBIL zugrunde.

Um Gleichung (5) zu einer Bestimmungsgleichung für den Verlauf der täglichen Innentemperatur T (bzw. der Heizleistung $P_H(t)$) zu machen, muß der Zeitverlauf von Solareinstrahlung $S_o(t)$, innerer Wärmeleistung $P_{P\&G}(t)$ sowie Außentemperatur T_a und P_S bekannt sein. Der genaue Zeitverlauf dieser Größen ändert sich nun von Tag zu Tag und Jahr zu Jahr beträchtlich. Andererseits stellt sich jedoch

heraus, daß kurzfristige Änderungen der Größen innerhalb weniger Stunden kaum einen Einfluß auf die Energiebilanz haben, da sie durch die thermische Trägheit des Gebäudes "weggemittelt" werden. Für die Aufstellung einer Energiebilanz spielt daher der exakte Zeitverlauf der Größen kaum eine Rolle, solange die Tagessummen und Tagesmittelwerte richtig getroffen werden und kurzfristige Wärmelasten (wie z.B. Einstrahlungsspitzen) nicht unzulässig verschmiert werden. Bei der Erstellung von monatlichen Bilanzen mit STATBIL stellte es sich heraus, daß bereits ein einfaches Verlaufsmodell für die Inhomogenitäten an einem Modelltag ausreicht, um hinreichend genaue Werte für den Heizenergieverbrauch zu erhalten.

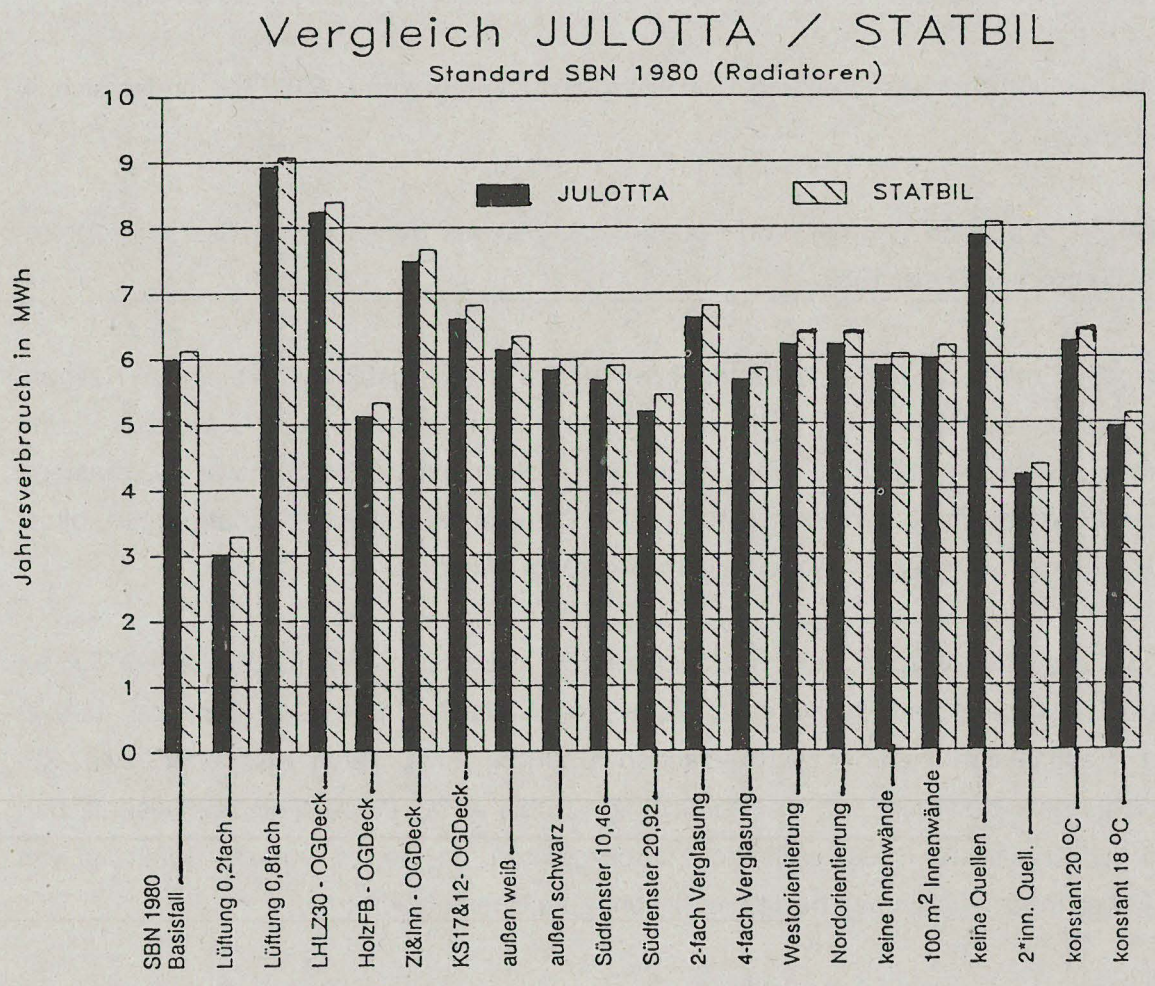
Eine ausführliche Beschreibung des Energiebilanzprogramms STATBIL findet sich in /Feist-Zolper/.

STATBIL wurde im Rahmen von Parameterstudien mit dynamischen Rechenprogrammen verglichen /Feist 1989/.

Ein über mehrere Jahre erprobtes international verwendetes dynamisches Rechenprogramm ist JULOTTA, das am Technischen Institut der Universität Lund entwickelt wurde /Källblad 1986/. Das gut dokumentierte Modell war Gegenstand internationaler Programmvergleiche, und nach den vorliegenden Erfahrungen bildet JULOTTA das thermische Gebäudeverhalten recht gut ab.

Abbildung 5.1.1-2 zeigt Vergleichsrechnungen zwischen STATBIL und JULOTTA für die Jahresenergieverbräuche einer Reihe von Varianten zu einem Gebäude, das in der Basisausführung der schwedischen Baunorm von 1980 entspricht. Alle Abweichungen bewegen sich im Bereich von 2 bis 4 %. Diese sind im wesentlichen auf jahreszeitliche Speichereffekte zurückzuführen. In Bezug auf die Wirkung von Wärmeschutzmaßnahmen besteht eine sehr gute Übereinstimmung.

Abbildung 5.1.1-2: Vergleich von JULOTTA und STATBIL



5.1.2. Definition der Zustände IST, UR, START für die Wärmebilanzrechnungen

Zur Ermittlung der Energiekennzahl und der Einsparpotentiale durch heizungstechnische und bauliche Maßnahmen werden für jedes Objekt eine Reihe von Varianten betrachtet. Diese Varianten werden in folgender Weise definiert:

- IST: kennzeichnet den momentanen baulichen und heizungstechnischen Zustand sowie die gegebene Nutzungsstruktur. Zu diesem Zustand gehört der gemessene Energieverbrauch. Unsichere Daten (in Bezug auf die Nutzung, evtl. auch der Heizanlage) sind so abzuschätzen, daß der berechnete und der gemessene Energieverbrauch innerhalb einer Toleranzgenauigkeit übereinstimmen.

- UR: Der UR-Zustand ist der bauliche Originalzustand (soweit zu ermitteln). Im UR-Zustand gibt es keine nachträglichen energetischen Sanierungen. Der UR-Zustand stimmt mit dem IST-Zustand überein, wenn keine nachträglichen energetischen Sanierungen durchgeführt wurden. Dieser Zustand wird deshalb gebraucht, weil die nachträglichen Energiesparmaßnahmen des zufälligen Objekts nicht bei allen Objekten der genannten Klasse des zugehörigen Gebäudetyps durchgeführt wurden. Die Heizungsanlage ist eine moderne Öl- oder Gas-Zentralheizung. Die Nutzung entspricht der Standard-Nutzung.

- START: Die Fenster sind (heute weitgehend übliche) Isolierglasfenster, sonst ist START mit UR identisch. START ist Ausgangszustand für die Maßnahmenketten.

5.1.3 Standardbedingungen

5.1.3.1 Standardnutzung

Mit Ausnahme des IST-Zustands wurde für alle Gebäude eine einheitliche Standardnutzung zugrundegelegt. Dadurch wird der Vergleich verschiedener Gebäude unter einheitlichen Rahmenbedingungen ermöglicht. Ferner soll die Standardnutzung möglichst durchschnittliche reale Bedingungen widerspiegeln, um einerseits mögliche Energieeinsparungen und deren Wirtschaftlichkeit realistisch einschätzen zu können, und um andererseits auf der Basis dieser Rahmendaten die gesamte Heizenergiebilanz für die Haushalte in der Bundesrepublik Deutschland erstellen zu können.

In diesem Abschnitt werden die getroffenen Annahmen dargestellt und begründet. Es zeigte sich, daß die Hochrechnung des Energieverbrauchs auf der Basis der untersuchten Gebäudetypen mit diesen Rahmendaten unerwartet genau dem in der Energiebilanz der Bundesrepublik ausgewiesenen Heizenergieverbrauch der Haushalte entsprach. Eine nachträgliche Anpassung der Annahmen über die durchschnittliche Nutzung war nicht erforderlich.

Raumtemperaturen

Die notwendige Raumtemperatur bewohnter Gebäude ist abhängig vom Behaglichkeitsempfinden des Nutzers. Je nach Tätigkeit und Kleidung liegt der als angenehm empfundene Bereich zwischen 18 und 21°C in Wohnräumen. I.a. werden bei nicht anstrengender, aber bewegter körperlicher Tätigkeit 20°C als ausreichend empfunden.

Detaillierte Untersuchungen über derzeit übliche Raumtemperaturen in Deutschland fehlen. Daher mußten Annahmen über die bei den Energiebilanzen zugrundezulegenden Temperaturen getroffen werden. Zur Einschätzung standen rund 1600 Fragebögen von Ein/Zweifamilienhausbesitzern zur Verfügung, für die individuelle Gutachten erstellt wurden. Aus der Bearbeitung der Energiegutachten lassen sich folgende Trends deutlich ablesen:

- ein erheblicher Teil des Gebäudes wird eingeschränkt bis selten beheizt

- die Temperatur des ständig beheizten Teils liegt selten über 20°C.

Für die Standardnutzung wurde daher angenommen, daß jeweils ein Drittel der Wohnfläche mit 20, 18 und 15°C beheizt wird. Die mittlere Raumtemperatur liegt dann bei 17,5°C.

Diese Annahmen beziehen sich zunächst nur auf Ein- und Zweifamilienhäuser. Für Mehrfamilienhäuser wurde die mittlere Temperatur mit 18°C um 0,5°C höher angesetzt, da hier der Anteil teilbeheizter Flächen im Verhältnis zu den ständig beheizten Flächen geringer ist.

Diese Standard-Temperaturen gelten nur für zentrale Heizsysteme. Als Standard-Heizung wurde jedoch eine zentrale Beheizung unterstellt (s.u.), so daß die Standardbedingungen miteinander kompatibel sind. Bei dezentralen Heizsystemen sind die durchschnittlichen Temperaturen geringer. Dies wurde für den Abgleich mit der Energiebilanz 1987 berücksichtigt (vgl. Kapitel 8 und 9).

Die oben angegebenen Temperaturen gelten für den Tag. Darüberhinaus wurde eine achtstündige Nachtabsenkung unterstellt.

Innere Wärmequellen

Die Höhe der inneren Wärmequellen wurde in Bezug auf Personenbelegung der Wohnungen, Wasserverbrauch und Ausstattung mit Haushaltsgeräten vom heutigen Durchschnitt abgeleitet, erwartete zukünftigen Veränderungen wurden jedoch mit einbezogen. Die Annahmen entsprechen der Standardnutzung im "Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung" /IWU - HMWT 1989/. Im einzelnen wurden folgende Annahmen getroffen:

Die Leistung pro Person beträgt im Durchschnitt (Erwachsene und Kinder) 80 W, die durchschnittliche tägliche Anwesenheitszeit beträgt 12 Stunden. Daraus ergibt sich eine Dauerleistung von 40 W pro Person.

Es wurde angenommen, daß die Haushalte eine sehr gute Ausstattung mit elektrischen Geräten aufweisen. Die Geräte selbst werden jedoch deutlich sparsamer, da die heute am Markt angebotenen Geräte effizienter sind als die im

Bestand vorhandenen Haushaltsgeräte. Im Hinblick auf eine in Zukunft verstärkte Bemühung um die Energieeinsparung gehen wir darüberhinaus davon aus, daß sich die Verbräuche zukünftiger Geräte in Zukunft eher an den sparsamsten heute am Markt angebotenen Geräten orientieren werden. Der Stromverbrauch liegt dann im Durchschnitt bei 700 kWh pro Person und Jahr (vgl. /Ebel 1989/). Davon fallen 75% in beheizten Räumen an, sind also maximal als Abwärme nutzbar. Daraus ergibt sich ein Dauerleistung von 60 W aus elektrischen Geräten pro Person.

Es soll hier noch einmal betont werden, daß es wichtig ist, gerade die Abwärme der elektrischen Geräte nicht zu überschätzen, wie dies häufig geschieht. Da die inneren Wärmequellen den Heizenergiebedarf vermindern, werden so leicht die verbleibenden Heizenergieverbräuche nach weitgehender Durchführung von Energiesparmaßnahmen unterschätzt. Paradoxerweise führt dann ein verschwenderischer Umgang mit Strom zu (relativ) höheren Einsparungen bei der Heizenergie. Zu einer konsequenten Einsparstrategie gehört aber erst recht der rationelle Umgang mit dem hochwertigen Energieträger Strom, zumal gerade im Bereich der Haushaltsgeräte die Erschließung der Einsparpotentiale in hohem Maße wirtschaftlich ist /Feist 1987/, /Ebel 1989/.

In der Energiebilanz häufig vergessen wird der Heizenergiebedarf für das Aufheizen des Kaltwassers, der aber bei einem guten Wärmeschutzstandard nicht mehr zu vernachlässigen ist. Dieser Effekt wirkt wie eine negative innere Wärmequelle. Bei Verwendung wassersparender Armaturen, die in Zukunft zum selbstverständlichen Standard gehören sollten, entspricht der Heizenergiebedarf für das Kaltwasser einer "Wärmequelle" mit einer Dauerleistung von -30 W pro Person.

Für die inneren Quellen zusammen ergibt sich damit eine Dauerleistung von 70 W pro Person. Bei einer durchschnittlichen Personenbelegung der Wohngebäude von 35 m^2 pro Person bei Mehrfamilienhäusern und 45 m^2 pro Person bei Ein- und Zweifamilienhäusern beträgt die Dauerleistung 2 W pro m^2 Wohnfläche bei Mehrfamilienhäusern und 1,6 W pro m^2 Wohnfläche bei Einfamilienhäusern.

Diese Wärmegewinne sind auch während der Heizperiode nicht in vollem Umfang nutzbar. Der Anteil der nutzbaren Wärmegewinne wird im Einzelfall im Energiebilanzprogramm berechnet (vgl. 5.1.1).

5.1.3.2 Standardheizung

Um die Vergleichbarkeit der baulichen Gebäudezustände zu gewährleisten sowie um klare Randbedingungen für die Beurteilung des Einspareffekts baulicher Energiesparmaßnahmen zu setzen, wurde für alle Gebäudetypen ein einheitliches Standard-Heizsystem definiert. Dieses wurde zugrundegelegt für die Zustände UR und START (vgl. 5.1.2.) sowie für alle Gebäudezustände, die durch die Durchführung von baulichen Energiesparmaßnahmen von den Originalzuständen abgeleitet sind.

Das für die vorliegende Studie definierte Standard-Heizsystem entspricht einer modernen Öl- oder Gas-Zentralheizung. Zentrale Öl- und Gasheizungen sind heute die häufigsten Heizsysteme. Es ist zu erwarten, daß die dezentralen Heizsysteme in Zukunft weitgehend vom Markt verdrängt werden. Innerhalb von 10-15 Jahren werden darüberhinaus alle alten Heizanlagen mit hohen Betriebs- und Bereitschaftsverlusten durch neue ersetzt sein, deren Nutzungsgrade dem heutigen Marktangebot entsprechen. Während des Hauptuntersuchungszeitraums dieser Studie wird somit die hier beschriebene Standardheizung das dominierende Heizsystem sein.

Im einzelnen wurden für das Standard-Heizsystem folgende Vereinbarungen getroffen:

Kesselwirkungsgrad:	90 %
Bereitschaftsverlust-Beiwert:	0,8 %
Vorlauftemperatur:	70 ^{o}C
Rücklauftemperatur:	55 ^{o}C
k*-Wert der Leitungen:	0,3 W/(mK)

Zentrale Regelung

Die Warmwasserbereitung wird nicht mitgerechnet, da in dieser Studie nur der Heizenergiebedarf untersucht wird.

Diese Annahmen über die Heizsysteme haben folgende Auswirkungen:

- Die Endenergieverbräuche sind geringer als im Durchschnitt heutiger zentraler Heizungssysteme. Dementsprechend sind auch die durch bauliche Energiesparmaßnahmen erzielbaren Endenergieeinsparungen geringer als bei durchschnittlichen heutigen Heizsystemen. Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen wird dadurch u. U. etwas ungünstiger beurteilt als es den gegenwärtigen Umständen entspräche.

- Da die Standardheizung geringere Bereitschaftsverluste aufweist als eine durchschnittliche heutige Zentralheizung, tritt die relative Endenergieeinsparung (bezogen auf den Verbrauch ohne Energiesparmaßnahmen) deutlicher hervor.

Neben dem Endenergieverbrauch der Gebäude wird aus der Energiebilanz auch der Nutzenergiebedarf berechnet. Die Hochrechnungen der Einsparpotentiale auf den gesamten Gebäudebestand in Kap. 7 und 8 werden für den Nutzenergiebedarf durchgeführt. Die Nutzenergieverbräuche der Gebäudetypen sowie die statistische Verteilung der verschiedenen Heizanlagen sind die Grundlage für die Berechnung des Endenergiebedarfs für die Raumheizung sowie für die Berechnung der zusätzlichen Einsparpotentiale durch heizungstechnische Maßnahmen in Kapitel 9. Dort werden, soweit aus der Statistik verfügbar, die tatsächlichen Verteilungen der Heizsysteme einschließlich der Prognose für die Zukunftsentwicklung verwendet.

5.1.4. Die Maßnahmenketten Trend und Spar

Es werden zwei Maßnahmenketten definiert:

- TREND: Kette von Gebäudevarianten, die durch sukzessive ausgeführte Sparmaßnahmen am Gebäude aus dem START-Zustand hervorgehen. Die Qualität der Maßnahmen entspricht dem Trend. Nichts ist darüber gesagt, in welchem Umfang diese Maßnahmen tatsächlich durchgeführt werden (vgl. Kapitel 8).

  Wenn der IST-Zustand nicht mehr dem UR- oder START-Zustand entspricht, wird der IST-Zustand in baulicher Hinsicht einem der TREND-Zustände nahekommen. In Bezug auf Heizanlage und Nutzung sind die TREND-Varianten jedoch mit dem START-Zustand identisch. Insbesondere werden folgende Maßnahmen berücksichtigt:

  - Neufenster mit Isolierverglasung
  - kleinere Maßnahmen (z. B. Heizkörpernischen dämmen)
  - Dachdämmung (Dachboden, Flachdach, Steildach)
  - Kellerdecken und/oder Kellerwanddämmung
  - Außenwandwärmedämmung (Außen/Innen-/Kerndämmung)
  - Absenken der Raumtemperatur um 1 Grad Celsius.

  Die Maßnahmen sind in Abschnitt 4.3 dokumentiert.

- SPAR: Kette von Gebäudevarianten, die durch sukzessive ausgeführte Sparmaßnahmen am Gebäude aus dem START-Zustand hervorgehen. Die Qualität der Maßnahmen entspricht dem heute technisch und wirtschaftlich erreichbaren Standard (vgl. Abschnitt 4.2.6).
  Alle SPAR-Varianten gehen von der Standardheizung und Standardnutzung aus, sind also in Bezug auf Heizungsanlage und Nutzungsstruktur mit dem START-Zustand identisch.

  Insbesondere werden folgende Maßnahmen berücksichtigt:

- Dachdämmung (Dachboden, Flachdach, Steildach).
- Kellerdeckendämmung, Dämmung der Kellerwände, Fußbodenerneuerung.
- Außenwandwärmedämmung (Außen-/Innen-/Kerndämmung mit Thermohaut kombiniert).
- Ersatz der Isolierverglasung durch Wärmeschutzisolierverglasung.
- Einbau einer Lüftungsanlage ohne/mit Wärmerückgewinnung.
- Absenken der Raumtemperatur um 1 Grad Celsius.

Die Maßnahmen sind in Abschnitt 4.3 dokumentiert.

- Temperaturabsenkung:

  Zur Quantifizierung der möglichen Energieeinsparung durch Verzicht auf Energiedienstleistungen wird die Raumtemperatur gegenüber der Standardnutzung um 1 K abgesenkt.

  Dies wird für zwei Zustände durchgeführt:

  - für den Zustand START
  - für den Endzustand der Maßnahmenkette TREND
  - für den Endzustand der Maßnahmenkette SPAR.

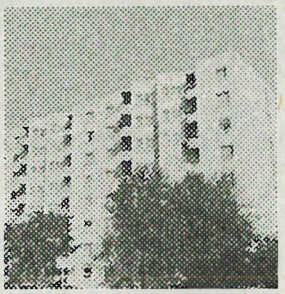
5.2 Dokumentation der untersuchten Gebäude

Die Gebäude sind mit ihren Maßnahmenketten, den damit verbundenen Investitionskosten, den erzielbaren Einsparungen sowie der wirtschaftlichen Bewertung der Maßnahmen vollständig im Materialband dokumentiert. Die Haustypenmatrix auf den Seiten 39 - 40 (Kapitel 3.) gibt einen Überblick über die Gebäudetypologie.

Das Vorgehen wird ab Seite 152 am Beispiel eines großen Mehrfamilienhauses der Baualtersklasse E (GMHE) demonstriert. Dargestellt sind die Zustände IST, UR, START sowie die Maßnahmenketten TREND und SPAR.
In Tabelle 5.2-1 sind die SPAR-Maßnahmen für dieses Gebäude im Überblick dargestellt.

Gebäude-Dokumentation
Objektdaten GMHE_I

IST - Zustand



Haustyp : Mehrfamilienhaus

Baualtersklasse : E 1958-1968

Umbautes Volumen: 11510 Kubikm

Wohnfläche : 3534 m²

Raumhöhe : 2.50 m

Luftwechsel : 0.60 1/h

HÜLLFLÄCHEN	Fläche / m²	k-Wert/ W/(m²K)
Dach und Dachgeschoßdecke	479.58	0.800
Außenwände	3134.59	1,760
erdberü. Bauteile, Kellerdecke	459.24	1.010
Außenwände vor Heizkörpern	115.20	2.140
gesamte Fensterfläche	687.03	Tag: 5.200
Nachts: Rolladen / Klappladen	687.03	Nacht: 5.200

WÄRMEBRÜCKEN (lineare)	Gesamtlänge / m	WBrüKoeff/ W/(mK)
Wärmebrücke-Perimet	135.99	0.046
Wärmebrücke-Laibung	1726.50	0.067
Wärmebrücke-Balkon	172.00	0.389

SOLARENERGIE Fenster	SÜD	OST/WEST	NORD	Gesamtdurchlaß
Fensterfläche / m²	26.59	646.13	14.31	0.4800

Wärmespeicherkapazi. = 180200 Wh/K

DATEN zur NUTZUNG

Tagsolltemperatur	= 18.37 °C	Nachtsolltemperatur	= 15.37 °C
Maximaltemperatur	= 24.00 °C	Leistung Pers/Geräte	= 7100 W
Dauer Nachtabsenk.	= 8.0 h	Wochenendabsenkung	: N

DATEN der HEIZANLAGE

Kesselleistung	= 370000 W	Kesselwirkungsgrad	= 99.0 %
Bereitschaftsverl.	= 0.100 %	Bereitschaftsabschaltung	: J
Länge Heizleitungen	= 85.60 m	k*-Wert (Leitungen)	= 0.300 W/m/K
Vorlauftemperatur	= 90.00 °C	Rücklauftemperatur	= 70.00 °C
Zentrale Regelung	: J		

DATEN zur WARMWASSERBEREITUNG Warmwasser wird mitgerechnet : J

WW-Verbrauch (60°C)	= 4100 l/d	WW-Systemkennzeichen	: SD
Anteil Durchlaufer.	= 100.00 %	Wirkungsgr. Durchlauf	= 99.00 %
Dez. Speichervolum.	= 0.000 m^3	Dez. Speicheroberflä.	= 0.00 m²
k-Wert Speicher	0.000 W/m²/K	Temperatur Speicher	= 60.0 °C
Länge Zuleitungen	= 1.000 m	Durchmesser Zuleitung	= 0.015 m

Brennstoffverbrauch zur Anpassung = 665660 kWh Fernwärme

ENBIL-Energiebilanz	
Referenzobjekt	GMHE_I
I W U	

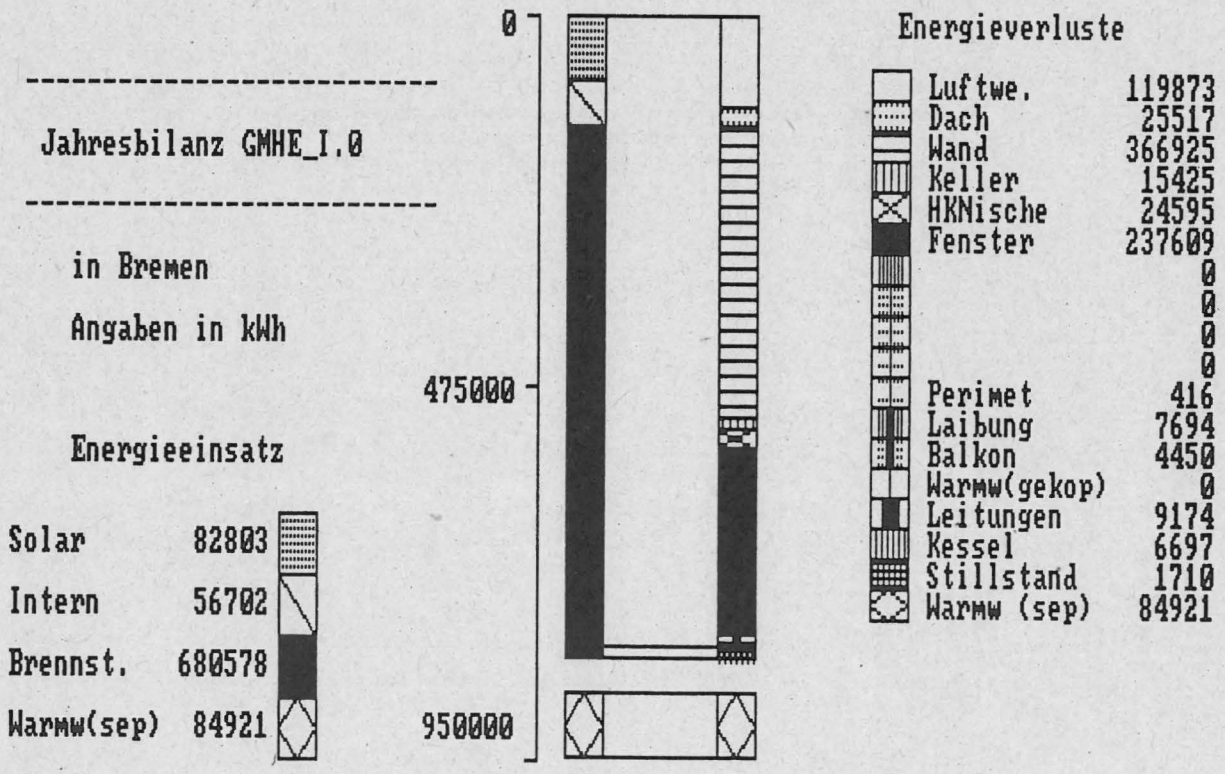
Der Energieeinsatz

Folgende Energieströme werden dem Haus zugeführt (in kWh/a) (in %):

Einstrahlung der Sonne durch die Fenster (nur Heizzeit)	82803	10
Wärmequellen im Innern des Gebäudes (Personen,Geräte)	56702	7
Brennstoff in der Heizanlage (Öl, Gas, Kohle,...)	680578	83
Summe Energieeinsatz	820083	100

Die Energieverluste

Die Wärmeverluste verteilen sich wie folgt	(in kWh/a)	(in %):
Lüftungswärmeverlust	119873	15
Dach und oberste Geschoßdecken	25517	3
Wärmeleitung durch die Außenwand	366925	45
Grundfläche, Kellerdecke und -wände	15425	2
Verluste durch die Heizkörpernischen	24595	3
Wärmeverluste durch die Fensterscheiben	237609	29
Wärmeverluste durch Wärmebrücken	12560	1
Warmwasser aus der Zentralheizung	0	0
Verluste der Heizanlage	17581	2
Summe Energieverluste	820083	100



Referenzobjekt GMHE_I

Verbrauchsbeurteilung

Der Brennstoffverbrauch des Gebäudes liegt im Referenzfall durchschnittlich bei 680578 kWh Fernwärme pro Jahr.
Zusätzliche Brennstoffe wurden dem Hauptenergieträger zugerechnet.

Dieser Verbrauch entspricht in Energieeinheiten (kWh) umgerechnet
680578 Kilowattstunden Fernwärme pro Jahr.
Die Energiekennzahl Heizung
(Endenergieverbrauch pro Jahr bezogen auf die Wohnfläche) beträgt

193 kWh/(m²a) .

Brennstoffkosten

Für Fernwärme liegt der Berechnung ein heutiger (1989) Durchschnittspreis von brutto 0.055 DM/kWh zugrunde .

Die Brennstoffkosten betragen daher momentan 37432 DM/Jahr.
Für die nächsten 25 Jahre wird eine durchschnittliche Teuerung von real 4.50 % pro Jahr für Energie angenommen.
Die durchschnittlichen Brennstoffkosten OHNE Energiesparmaßnahmen betragen dann im Mittel der nächsten 25 Jahre real 63794 DM/Jahr.
Dieser Vergleichswert ist für den Wirtschaftlichkeitsvergleich mit den auf den folgenden Seiten beschriebenen ENERGIESPARMASSNAHMEN zugrundgelegt (es wird Energie zu künftigen Preisen eingespart).

Kapitalkosten für Sparmaßnahmen

Für das eingesetzte Kapital sind Zinsen und Tilgung zu bezahlen.
Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde angenommen, daß die nachfolgenden Energiesparmaßnahmen zu den Bedingungen eines Hypothekendarlehens mit derzeit 4.0 % effektivem realem Jahreszins finanziert werden.

Gebäude-Dokumentation
Objektdaten GMHE_U

UR - Zustand

Haustyp : Mehrfamilienhaus

Baualtersklasse : E 1958-1968

Umbautes Volumen: 11510 Kubikm

Wohnfläche : 3534 m²

Raumhöhe : 2.50 m

Luftwechsel : 0.60 1/h

HÜLLFLÄCHEN	Fläche / m²	k-Wert/ W/(m²K)
Dach und Dachgeschoßdecke	479.58	0.800
Außenwände	3134.59	1.760
erdberü. Bauteile, Kellerdecke	459.24	1.010
Außenwände vor Heizkörpern	115.20	2.140
gesamte Fensterfläche	687.03	Tag: 5.200
Nachts: Rolladen / Klappladen	687.03	Nacht: 5.200

WÄRMEBRÜCKEN (lineare)	Gesamtlänge / m	WBrüKoeff/ W/(mK)
Wärmebrücke-Perimet	135.99	0.046
Wärmebrücke-Laibung	1726.50	0.067
Wärmebrücke-Balkon	172.00	0.389

SOLARENERGIE Fenster	SÜD	OST/WEST	NORD	Gesamtdurchlaß
Fensterfläche / m²	26.59	646.13	14.31	0.4800

Wärmespeicherkapazi. = 180200 Wh/K

DATEN zur NUTZUNG

Tagsolltemperatur	= 18.00 °C	Nachtsolltemperatur	= 15.00 °C
Maximaltemperatur	= 24.00 °C	Leistung Pers/Geräte	= 7100 W
Dauer Nachtabsenk.	= 8.0 h	Wochenendabsenkung	: N

DATEN der HEIZANLAGE

Kesselleistung	= 370000 W	Kesselwirkungsgrad	= 90.0 %
Bereitschaftsverl.	= 0.800 %	Bereitschaftsabschaltung	: N
Länge Heizleitungen	= 85.60 m	k*-Wert (Leitungen)	= 0.300 W/m/K
Vorlauftemperatur	= 70.00 °C	Rücklauftemperatur	= 55.00 °C
Zentrale Regelung	: J		

DATEN zur WARMWASSERBEREITUNG Warmwasser wird mitgerechnet : N

ENBIL-Energiebilanz	
Referenzobjekt	GMHE_U
I W U	

Der Energieeinsatz

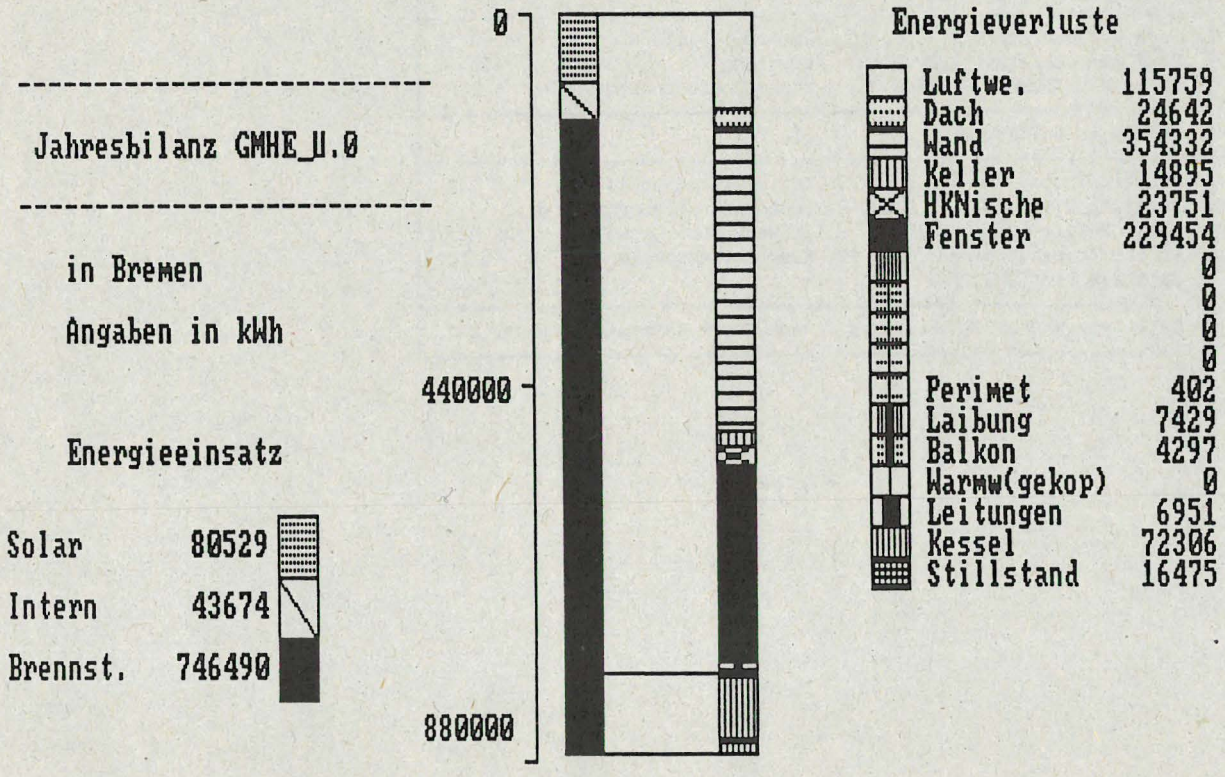
Folgende Energieströme werden dem Haus zugeführt (in kWh/a) (in %):

Einstrahlung der Sonne durch die Fenster (nur Heizzeit)	80529	9
Wärmequellen im Innern des Gebäudes (Personen,Geräte)	43674	5
Brennstoff in der Heizanlage (Öl, Gas, Kohle,...)	746490	86
Summe Energieeinsatz	870692	100

Die Energieverluste

Die Wärmeverluste verteilen sich wie folgt (in kWh/a) (in %):

Lüftungswärmeverlust	115759	13
Dach und oberste Geschoßdecken	24642	3
Wärmeleitung durch die Außenwand	354332	41
Grundfläche, Kellerdecke und -wände	14895	2
Verluste durch die Heizkörpernischen	23751	3
Wärmeverluste durch die Fensterscheiben	229454	26
Wärmeverluste durch Wärmebrücken	12128	1
Warmwasser aus der Zentralheizung	0	0
Verluste der Heizanlage	95732	11
Summe Energieverluste	870692	100



Referenzobjekt GMHE_U

Verbrauchsbeurteilung

Der Brennstoffverbrauch des Gebäudes liegt im Referenzfall durchschnittlich bei 74649 m^3 ERDGAS pro Jahr.
Zusätzliche Brennstoffe wurden dem Hauptenergieträger zugerechnet.

Dieser Verbrauch entspricht in Energieeinheiten (kWh) umgerechnet
746490 Kilowattstunden ERDGAS pro Jahr.
Die Energiekennzahl Heizung
(Endenergieverbrauch pro Jahr bezogen auf die Wohnfläche) beträgt

211 kWh/(m²a) .

Brennstoffkosten

Für ERDGAS liegt der Berechnung ein heutiger (1989) Durchschnittspreis von brutto 0.605 DM/m^3 zugrunde .

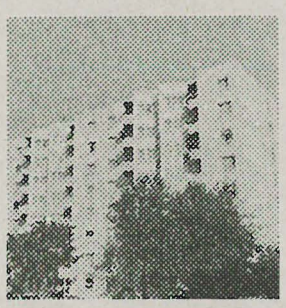
Die Brennstoffkosten betragen daher momentan 45163 DM/Jahr.
Für die nächsten 25 Jahre wird eine durchschnittliche Teuerung von real 1.30 % pro Jahr für ERDGAS angenommen.
Die durchschnittlichen Brennstoffkosten OHNE Energiesparmaßnahmen betragen dann im Mittel der nächsten 25 Jahre real 52270 DM/Jahr.
Dieser Vergleichswert ist für den Wirtschaftlichkeitsvergleich mit den auf den folgenden Seiten beschriebenen ENERGIESPARMASSNAHMEN zugrundgelegt (es wird Energie zu künftigen Preisen eingespart).

Kapitalkosten für Sparmaßnahmen

Für das eingesetzte Kapital sind Zinsen und Tilgung zu bezahlen.
Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde angenommen, daß die nachfolgenden Energiesparmaßnahmen zu den Bedingungen eines Hypothekendarlehens mit derzeit 4.0 % effektivem realem Jahreszins finanziert werden.

Gebäude-Dokumentation
Objektdaten GMHE_T

TREND - Maßnahmenkette



Haustyp : Mehrfamilienhaus

Baualtersklasse : E 1958-1968

Umbautes Volumen: 11510 Kubikm

Wohnfläche : 3534 m²

Raumhöhe : 2.50 m

Luftwechsel : 0.60 1/h

HÜLLFLÄCHEN	Fläche / m²	k-Wert/ W/(m²K)
Dach und Dachgeschoßdecke	479.58	0.800
Außenwände	3134.59	1.760
erdberü. Bauteile, Kellerdecke	459.24	1.010
Außenwände vor Heizkörpern	115.20	2.140
gesamte Fensterfläche	687.03	Tag: 2.600
Nachts: Rolladen / Klappladen	687.03	Nacht: 2.600

WÄRMEBRÜCKEN (lineare)	Gesamtlänge / m	WBrüKoeff/ W/(mK)
Wärmebrücke-Perimet	135.99	0.046
Wärmebrücke-Laibung	1726.50	0.067
Wärmebrücke-Balkon	172.00	0.389

SOLARENERGIE Fenster	SÜD	OST/WEST	NORD	Gesamtdurchlaß
Fensterfläche / m²	26.59	646.13	14.31	0.4300

Wärmespeicherkapazi. = 180200 Wh/K

DATEN zur NUTZUNG

Tagsolltemperatur	= 18.00 °C	Nachtsolltemperatur	= 15.00 °C
Maximaltemperatur	= 24.00 °C	Leistung Pers/Geräte	= 7100 W
Dauer Nachtabsenk.	= 8.0 h	Wochenendabsenkung	: N

DATEN der HEIZANLAGE

Kesselleistung	= 370000 W	Kesselwirkungsgrad	= 90.0 %
Bereitschaftsverl.	= 0.800 %	Bereitschaftsabschaltung	: N
Länge Heizleitungen	= 85.60 m	k*-Wert (Leitungen)	= 0.300 W/m/K
Vorlauftemperatur	= 70.00 °C	Rücklauftemperatur	= 55.00 °C
Zentrale Regelung	: J		

DATEN zur WARMWASSERBEREITUNG Warmwasser wird mitgerechnet : N

ENBIL-Energiebilanz

Referenzobjekt GMHE_T

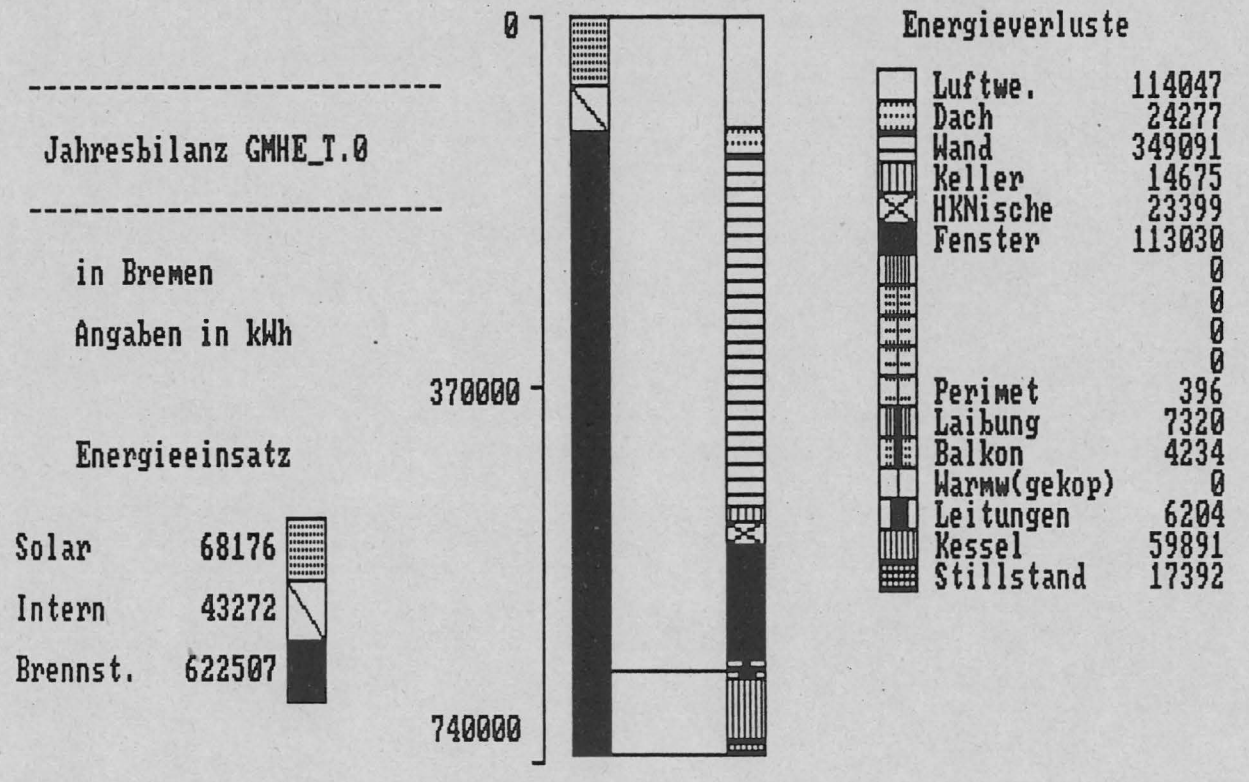
I W U

Der Energieeinsatz

Folgende Energieströme werden dem Haus zugeführt	(in kWh/a)	(in %):
Einstrahlung der Sonne durch die Fenster (nur Heizzeit)	68176	9
Wärmequellen im Innern des Gebäudes (Personen,Geräte)	43272	6
Brennstoff in der Heizanlage (Öl, Gas, Kohle,...)	622507	85
Summe Energieeinsatz	733955	100

Die Energieverluste

Die Wärmeverluste verteilen sich wie folgt	(in kWh/a)	(in %):
Lüftungswärmeverlust	114047	16
Dach und oberste Geschoßdecken	24277	3
Wärmeleitung durch die Außenwand	349091	48
Grundfläche, Kellerdecke und -wände	14675	2
Verluste durch die Heizkörpernischen	23399	3
Wärmeverluste durch die Fensterscheiben	113030	15
Wärmeverluste durch Wärmebrücken	11950	2
Warmwasser aus der Zentralheizung	0	0
Verluste der Heizanlage	83487	11
Summe Energieverluste	733955	100



Referenzobjekt GMHE_T

Verbrauchsbeurteilung

Der Brennstoffverbrauch des Gebäudes liegt im Referenzfall durchschnittlich bei 62251 m^3 ERDGAS pro Jahr.
Zusätzliche Brennstoffe wurden dem Hauptenergieträger zugerechnet.

Dieser Verbrauch entspricht in Energieeinheiten (kWh) umgerechnet
622507 Kilowattstunden ERDGAS pro Jahr.
Die Energiekennzahl Heizung
(Endenergieverbrauch pro Jahr bezogen auf die Wohnfläche) beträgt

176 kWh/(m²a) .

Brennstoffkosten

Für ERDGAS liegt der Berechnung ein heutiger (1989) Durchschnittspreis von brutto 0.605 DM/m^3 zugrunde .

Die Brennstoffkosten betragen daher momentan 37662 DM/Jahr.
Für die nächsten 25 Jahre wird eine durchschnittliche Teuerung von real 1.30 % pro Jahr für ERDGAS angenommen.
Die durchschnittlichen Brennstoffkosten OHNE Energiesparmaßnahmen betragen dann im Mittel der nächsten 25 Jahre real 43589 DM/Jahr.
Dieser Vergleichswert ist für den Wirtschaftlichkeitsvergleich mit den auf den folgenden Seiten beschriebenen ENERGIESPARMASSNAHMEN zugrundgelegt (es wird Energie zu künftigen Preisen eingespart).

Kapitalkosten für Sparmaßnahmen

Für das eingesetzte Kapital sind Zinsen und Tilgung zu bezahlen.
Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde angenommen, daß die nachfolgenden Energiesparmaßnahmen zu den Bedingungen eines Hypothekendarlehens mit derzeit 4.0 % effektivem realem Jahreszins finanziert werden.

Energiesparpaket 1

Beratungsobjekt GMHE_T

Nr	Wir empfehlen Ihnen, die folgenden ENERGIESPAR-Maßnahmen durchzuführen:	Investitions - kosten (DM)	Nutzungs- dauer (Jahre)
1	Dämmung des Flachdachs (Kaltdach) mit 10 cm Einblasdämmstoff (Fachfirma)	16785	25
	Summe Investitionskosten aller Maßnahmen	16785	

Energieeinsparung

Die Durchführung aller Energiesparmaßnahmen 1 bis 1 reduziert den Brennstoffverbrauch und die erforderliche Kesselleistung :

* gesamte Brennstoffeinsparung 1475 m^3 ERDGAS
* Einspareffekt in Prozent 2 % des heutigen Verbrauchs
* Ihr Verbrauch beträgt dann noch 60776 m^3 ERDGAS
* Wärmebedarf des Hauses (Kesselleistung) 271 - 331 Kilowatt (kW)

Wirtschaftlichkeit Einzelmaßnahme

Durch die Einzelmaßnahme Nr. 1 wird jährlich eine Endenergieeinsparung von 14747 kWh erreicht.
Dafür aufgewendete jährliche Kapitalkosten (Zins und Tilgung) für die Investitionen 1074 DM/Jahr.
* BEWERTUNG: Durch die Maßnahme Nr. 1 läßt sich eine Kilowattstunde wirtschaftlich einsparen, wenn der mittlere Energiepreis des verwendeten Endenergieträgers höher ist als 7.3 Pfennig/kWh.

Wirtschaftlichkeit Gesamtpaket

Mit den Energiesparmaßnahmen 1 bis 1 ergeben sich insgesamt im Mittel der nächsten 25 Jahre folgende jährliche Kosten:

* Kapitalkosten (Zins und Tilgung für die Investitionen, gerechnet über die Nutzungsdauer der Maßnahmen)	1074	DM/Jahr
* Ihre Endenergiekosten reduzieren sich auf	42556	DM/Jahr
SUMME: Gesamtkosten	43631	DM/Jahr

Ohne Energiesparmaßnahmen betragen Ihre Brennstoffkosten weiterhin (siehe vorne) 43589 DM/Jahr

Der Vergleich zeigt: durch die Energiesparmaßnahmen entsteht eine durchschnittliche Mehrbelastung von 42 DM/Jahr

Energiesparpaket 2

Beratungsobjekt GMHE_T

	Nr	Wir empfehlen Ihnen, die folgenden ENERGIESPAR-Maßnahmen durchzuführen:	Investitions - kosten (DM)	Nutzungs- dauer (Jahre)
1 -	1	Maßnahmen wie schon in vorhergehenden Energiesparpaketen beschrieben	16785	
	2	Kellerdeckendämmung (Fachfirma) von der Unterseite mit 3 cm Dämmplatten	9185	25
		Summe Investitionskosten aller Maßnahmen	25970	

Energieeinsparung

Die Durchführung aller Energiesparmaßnahmen 1 bis 2 reduziert den Brennstoffverbrauch und die erforderliche Kesselleistung :

* gesamte Brennstoffeinsparung 2124 m^3 ERDGAS
* Einspareffekt in Prozent 3 % des heutigen Verbrauchs
* Ihr Verbrauch beträgt dann noch 60127 m^3 ERDGAS
* Wärmebedarf des Hauses (Kesselleistung) 268 - 328 Kilowatt (kW)

Wirtschaftlichkeit Einzelmaßnahme

Durch die Einzelmaßnahme Nr. 2 wird jährlich eine Endenergieeinsparung von 6489 kWh erreicht.
Dafür aufgewendete jährliche Kapitalkosten (Zins und Tilgung) für die Investitionen 588 DM/Jahr.
* BEWERTUNG: Durch die Maßnahme Nr. 2 läßt sich eine Kilowattstunde wirtschaftlich einsparen, wenn der mittlere Energiepreis des verwendeten Endenergieträgers höher ist als 9.1 Pfennig/kWh.

Wirtschaftlichkeit Gesamtpaket

Mit den Energiesparmaßnahmen 1 bis 2 ergeben sich insgesamt im Mittel der nächsten 25 Jahre folgende jährliche Kosten:

* Kapitalkosten (Zins und Tilgung für die Investitionen, gerechnet über die Nutzungsdauer der Maßnahmen)	1662	DM/Jahr
* Ihre Endenergiekosten reduzieren sich auf	42102	DM/Jahr
SUMME: Gesamtkosten	43764	DM/Jahr
Ohne Energiesparmaßnahmen betragen Ihre Brennstoffkosten weiterhin (siehe vorne)	43589	DM/Jahr
Der Vergleich zeigt: durch die Energiesparmaßnahmen entsteht eine durchschnittliche Mehrbelastung von	175	DM/Jahr

Energiesparpaket 3

Beratungsobjekt GMHE_T

	Nr	Wir empfehlen Ihnen, die folgenden ENERGIESPAR-Maßnahmen durchzuführen:	Investitions - kosten (DM)	Nutzungs- dauer (Jahre)
1 -	2	Maßnahmen wie schon in vorhergehenden Energiesparpaketen beschrieben	25970	
	3	Thermohaut auf den Außenwänden (Fachfirma): 6 cm Dämmplatten aufbringen; neu verputzen	305431	25
	4	* Thermohaut: Abzüglich ohnehin anfallender Kosten für Neuverputz der Außenwand	-143732	25
		Summe Investitionskosten aller Maßnahmen	187669	

Energieeinsparung

Die Durchführung aller Energiesparmaßnahmen 1 bis 4 reduziert den Brennstoffverbrauch und die erforderliche Kesselleistung :

* gesamte Brennstoffeinsparung 30037 m^3 ERDGAS
* Einspareffekt in Prozent 48 % des heutigen Verbrauchs
* Ihr Verbrauch beträgt dann noch 32213 m^3 ERDGAS
* Wärmebedarf des Hauses (Kesselleistung) 150 - 184 Kilowatt (kW)

Wirtschaftlichkeit Einzelmaßnahme

Durch die Einzelmaßnahmen 3 bis 4 wird jährlich eine Endenergieeinsparung von 279136 kWh erreicht.
Dafür aufgewendete jährliche Kapitalkosten (Zins und Tilgung) für die Investitionen 10351 DM/Jahr.
BEWERTUNG: Durch die Maßnahmen 3 bis 4 läßt sich eine Kilowattstunde wirtschaftlich einsparen, wenn der mittlere Energiepreis des verwendeten Endenergieträgers höher ist als 3.7 Pfennig/kWh.

Wirtschaftlichkeit Gesamtpaket

Mit den Energiesparmaßnahmen 1 bis 4 ergeben sich insgesamt im Mittel der nächsten 25 Jahre folgende jährliche Kosten:

* Kapitalkosten (Zins und Tilgung für die Investitionen, gerechnet über die Nutzungsdauer der Maßnahmen)	12013	DM/Jahr
* Ihre Endenergiekosten reduzieren sich auf	22556	DM/Jahr
SUMME: Gesamtkosten	34569	DM/Jahr

Ohne Energiesparmaßnahmen betragen Ihre Brennstoffkosten weiterhin (siehe vorne) 43589 DM/Jahr

Der Vergleich zeigt: durch die Energiesparmaßnahmen ergibt sich eine durchschnittliche Einsparung von 9019 DM/Jahr

Energiesparpaket 4

Beratungsobjekt GMHE_T

Nr	Wir empfehlen Ihnen, die folgenden ENERGIESPAR-Maßnahmen durchzuführen:	Investitions - kosten (DM)	Nutzungs- dauer (Jahre)
1 - 4	Maßnahmen wie schon in vorhergehenden Energiesparpaketen beschrieben	187669	
5	Sparsames Heizverhalten: Absenken der Raumtemperatur um 1 Grad Celsius	0	25
	Summe Investitionskosten aller Maßnahmen	187669	

Energieeinsparung

Die Durchführung aller Energiesparmaßnahmen 1 bis 5 reduziert den Brennstoffverbrauch und die erforderliche Kesselleistung :

* gesamte Brennstoffeinsparung 33094 m^3 ERDGAS
* Einspareffekt in Prozent 53 % des heutigen Verbrauchs
* Ihr Verbrauch beträgt dann noch 29157 m^3 ERDGAS
* Wärmebedarf des Hauses (Kesselleistung) 150 - 184 Kilowatt (kW)

Wirtschaftlichkeit Einzelmaßnahme

Durch die Einzelmaßnahme Nr. 5 wird jährlich eine Endenergieeinsparung von 30564 kWh erreicht.
Dafür aufgewendete jährliche Kapitalkosten (Zins und Tilgung) für die Investitionen 0 DM/Jahr.
* BEWERTUNG: Durch die Maßnahme Nr. 5 läßt sich eine Kilowattstunde wirtschaftlich einsparen, wenn der mittlere Energiepreis des verwendeten Endenergieträgers höher ist als 0.0 Pfennig/kWh.

Wirtschaftlichkeit Gesamtpaket

Mit den Energiesparmaßnahmen 1 bis 5 ergeben sich insgesamt im Mittel der nächsten 25 Jahre folgende jährliche Kosten:

* Kapitalkosten (Zins und Tilgung für die Investitionen, gerechnet über die Nutzungsdauer der Maßnahmen)	12013	DM/Jahr
* Ihre Endenergiekosten reduzieren sich auf	20416	DM/Jahr
SUMME: Gesamtkosten	32429	DM/Jahr

Ohne Energiesparmaßnahmen betragen Ihre Brennstoffkosten weiterhin (siehe vorne) 43589 DM/Jahr

Der Vergleich zeigt: durch die Energiesparmaßnahmen ergibt sich eine durchschnittliche Einsparung von 11160 DM/Jahr

Energiesparpaket 1

Beratungsobjekt GMHE_T-

Nr	Wir empfehlen Ihnen, die folgenden ENERGIESPAR-Maßnahmen durchzuführen:	Investitions - kosten (DM)	Nutzungs- dauer (Jahre)
1	Sparsames Heizverhalten: Absenken der Raumtemperatur um 1 Grad Celsius	0	25
	Summe Investitionskosten aller Maßnahmen	0	

Energieeinsparung

Die Durchführung aller Energiesparmaßnahmen 1 bis 1 reduziert den Brennstoffverbrauch und die erforderliche Kesselleistung :

* gesamte Brennstoffeinsparung 5857 m^3 ERDGAS
* Einspareffekt in Prozent 9 % des heutigen Verbrauchs
* Ihr Verbrauch beträgt dann noch 56393 m^3 ERDGAS
* Wärmebedarf des Hauses (Kesselleistung) 277 - 339 Kilowatt (kW)

Wirtschaftlichkeit Einzelmaßnahme

Durch die Einzelmaßnahme Nr. 1 wird jährlich eine Endenergieeinsparung von 58573 kWh erreicht.
Dafür aufgewendete jährliche Kapitalkosten (Zins und Tilgung) für die Investitionen 0 DM/Jahr.
* BEWERTUNG: Durch die Maßnahme Nr. 1 läßt sich eine Kilowattstunde wirtschaftlich einsparen, wenn der mittlere Energiepreis des verwendeten Endenergieträgers höher ist als 0.0 Pfennig/kWh.

Wirtschaftlichkeit Gesamtpaket

Mit den Energiesparmaßnahmen 1 bis 1 ergeben sich insgesamt im Mittel der nächsten 25 Jahre folgende jährliche Kosten:

* Kapitalkosten (Zins und Tilgung für die Investitionen, gerechnet über die Nutzungsdauer der Maßnahmen)	0	DM/Jahr
* Ihre Endenergiekosten reduzieren sich auf	39487	DM/Jahr
SUMME: Gesamtkosten	39487	DM/Jahr

Ohne Energiesparmaßnahmen betragen Ihre Brennstoffkosten weiterhin (siehe vorne) 43589 DM/Jahr

Der Vergleich zeigt: durch die Energiesparmaßnahmen ergibt sich eine durchschnittliche Einsparung von 4101 DM/Jahr

Gebäude-Dokumentation
Objektdaten GMHE_S

SPAR - Maßnahmenkette

Haustyp : Mehrfamilienhaus

Baualtersklasse : E 1958-1968

Umbautes Volumen: 11510 Kubikm

Wohnfläche : 3534 m²

Raumhöhe : 2.50 m

Luftwechsel : 0.60 1/h

HÜLLFLÄCHEN	Fläche / m²	k-Wert/ W/(m²K)
Dach und Dachgeschoßdecke	479.58	0.800
Außenwände	3134.59	1.760
erdberü. Bauteile, Kellerdecke	459.24	1.010
Außenwände vor Heizkörpern	115.20	2.140
gesamte Fensterfläche	687.03	Tag: 2.600
Nachts: Rolladen / Klappladen	687.03	Nacht: 2.600

WÄRMEBRÜCKEN (lineare)	Gesamtlänge / m	WBrüKoeff/ W/(mK)
Wärmebrücke-Perimet	135.99	0.046
Wärmebrücke-Laibung	1726.50	0.067
Wärmebrücke-Balkon	172.00	0.389

SOLARENERGIE Fenster	SÜD	OST/WEST	NORD	Gesamtdurchlaß
Fensterfläche / m²	26.59	646.13	14.31	0.4300

Wärmespeicherkapazi. = 180200 Wh/K

DATEN zur NUTZUNG

Tagsolltemperatur	= 18.00 °C	Nachtsolltemperatur	= 15.00 °C
Maximaltemperatur	= 24.00 °C	Leistung Pers/Geräte	= 7100 W
Dauer Nachtabsenk.	= 8.0 h	Wochenendabsenkung	: N

DATEN der HEIZANLAGE

Kesselleistung	= 370000 W	Kesselwirkungsgrad	= 90.0 %
Bereitschaftsverl.	= 0.800 %	Bereitschaftsabschaltung	: N
Länge Heizleitungen	= 85.60 m	k*-Wert (Leitungen)	= 0.300 W/m/K
Vorlauftemperatur	= 70.00 °C	Rücklauftemperatur	= 55.00 °C
Zentrale Regelung	: J		

DATEN zur WARMWASSERBEREITUNG Warmwasser wird mitgerechnet : N

Energiesparpaket 1

Beratungsobjekt GMHE_S

Nr	Wir empfehlen Ihnen, die folgenden ENERGIESPAR-Maßnahmen durchzuführen:	Investitions - kosten (DM)	Nutzungs- dauer (Jahre)
1	Flachdachdämmung: 20 cm Dämmstoff in den Belüftungsraum einblasen	19183	25
	Summe Investitionskosten aller Maßnahmen	19183	

Energieeinsparung

Die Durchführung aller Energiesparmaßnahmen 1 bis 1 reduziert den Brennstoffverbrauch und die erforderliche Kesselleistung :

* gesamte Brennstoffeinsparung 1691 m^3 ERDGAS
* Einspareffekt in Prozent 3 % des heutigen Verbrauchs
* Ihr Verbrauch beträgt dann noch 60560 m^3 ERDGAS
* Wärmebedarf des Hauses (Kesselleistung) 269 - 329 Kilowatt (kW)

Wirtschaftlichkeit Einzelmaßnahme

Durch die Einzelmaßnahme Nr. 1 wird jährlich eine Endenergieeinsparung von 16907 kWh erreicht.
Dafür aufgewendete jährliche Kapitalkosten (Zins und Tilgung) für die Investitionen 1228 DM/Jahr.
* BEWERTUNG: Durch die Maßnahme Nr. 1 läßt sich eine Kilowattstunde wirtschaftlich einsparen, wenn der mittlere Energiepreis des verwendeten Endenergieträgers höher ist als 7.3 Pfennig/kWh.

Wirtschaftlichkeit Gesamtpaket

Mit den Energiesparmaßnahmen 1 bis 1 ergeben sich insgesamt im Mittel der nächsten 25 Jahre folgende jährliche Kosten:

* Kapitalkosten (Zins und Tilgung für die Investitionen, gerechnet über die Nutzungsdauer der Maßnahmen)	1228	DM/Jahr
* Ihre Endenergiekosten reduzieren sich auf	66559	DM/Jahr
SUMME: Gesamtkosten	67786	DM/Jahr
Ohne Energiesparmaßnahmen betragen Ihre Brennstoffkosten weiterhin (siehe vorne)	68417	DM/Jahr
Der Vergleich zeigt: durch die Energiesparmaßnahmen ergibt sich eine durchschnittliche Einsparung von	630	DM/Jahr

Energiesparpaket 2

Beratungsobjekt GMHE_S

	Nr	Wir empfehlen Ihnen, die folgenden ENERGIESPAR-Maßnahmen durchzuführen:	Investitions - kosten (DM)	Nutzungs- dauer (Jahre)
1 -	1	Maßnahmen wie schon in vorhergehenden Energiesparpaketen beschrieben	19183	
	2	Kellerdeckendämmung (Fachfirma) von der Unterseite mit 5 cm Dämmplatten	11481	25
		Summe Investitionskosten aller Maßnahmen	30664	

Energieeinsparung

Die Durchführung aller Energiesparmaßnahmen 1 bis 2 reduziert den Brennstoffverbrauch und die erforderliche Kesselleistung :

* gesamte Brennstoffeinsparung 2555 m^3 ERDGAS
* Einspareffekt in Prozent 4 % des heutigen Verbrauchs
* Ihr Verbrauch beträgt dann noch 59696 m^3 ERDGAS
* Wärmebedarf des Hauses (Kesselleistung) 266 - 326 Kilowatt (kW)

Wirtschaftlichkeit Einzelmaßnahme

Durch die Einzelmaßnahme Nr. 2 wird jährlich eine Endenergieeinsparung von 8642 kWh erreicht.
Dafür aufgewendete jährliche Kapitalkosten (Zins und Tilgung) für die Investitionen 735 DM/Jahr.
* BEWERTUNG: Durch die Maßnahme Nr. 2 läßt sich eine Kilowattstunde wirtschaftlich einsparen, wenn der mittlere Energiepreis des verwendeten Endenergieträgers höher ist als 8.5 Pfennig/kWh.

Wirtschaftlichkeit Gesamtpaket

Mit den Energiesparmaßnahmen 1 bis 2 ergeben sich insgesamt im Mittel der nächsten 25 Jahre folgende jährliche Kosten:

* Kapitalkosten (Zins und Tilgung für die Investitionen, gerechnet über die Nutzungsdauer der Maßnahmen)	1963	DM/Jahr
* Ihre Endenergiekosten reduzieren sich auf	65609	DM/Jahr
SUMME: Gesamtkosten	67572	DM/Jahr

Ohne Energiesparmaßnahmen betragen Ihre Brennstoffkosten weiterhin (siehe vorne) 68417 DM/Jahr

Der Vergleich zeigt: durch die Energiesparmaßnahmen ergibt sich eine durchschnittliche Einsparung von 845 DM/Jahr

Energiesparpaket 3

Beratungsobjekt GMHE_S

Nr	Wir empfehlen Ihnen, die folgenden ENERGIESPAR-Maßnahmen durchzuführen:	Investitions - kosten (DM)	Nutzungs- dauer (Jahre)
1 - 2	Maßnahmen wie schon in vorhergehenden Energiesparpaketen beschrieben	30664	
3	Thermohaut auf den Außenwänden (Fachfirma): 12 cm Dämmplatten aufbringen; neu verputzen	359331	25
4	* Thermohaut: Abzüglich ohnehin anfallender Kosten für den Neuverputz der Außenwand	-143732	25
	Summe Investitionskosten aller Maßnahmen	246262	

Energieeinsparung

Die Durchführung aller Energiesparmaßnahmen 1 bis 4 reduziert den Brennstoffverbrauch und die erforderliche Kesselleistung :

* gesamte Brennstoffeinsparung 34707 m^3 ERDGAS
* Einspareffekt in Prozent 56 % des heutigen Verbrauchs
* Ihr Verbrauch beträgt dann noch 27544 m^3 - ERDGAS
* Wärmebedarf des Hauses (Kesselleistung) 131 - 159 Kilowatt (kW)

Wirtschaftlichkeit Einzelmaßnahme

Durch die Einzelmaßnahmen 3 bis 4 wird jährlich eine Endenergieeinsparung von 321519 kWh erreicht.
Dafür aufgewendete jährliche Kapitalkosten (Zins und Tilgung) für die Investitionen 13801 DM/Jahr.
BEWERTUNG: Durch die Maßnahmen 3 bis 4 läßt sich eine Kilowattstunde wirtschaftlich einsparen, wenn der mittlere Energiepreis des verwendeten Endenergieträgers höher ist als 4.3 Pfennig/kWh.

Wirtschaftlichkeit Gesamtpaket

Mit den Energiesparmaßnahmen 1 bis 4 ergeben sich insgesamt im Mittel der nächsten 25 Jahre folgende jährliche Kosten:

* Kapitalkosten (Zins und Tilgung für die Investitionen, gerechnet über die Nutzungsdauer der Maßnahmen)	15764	DM/Jahr
* Ihre Endenergiekosten reduzieren sich auf	30272	DM/Jahr
SUMME: Gesamtkosten	46036	DM/Jahr
Ohne Energiesparmaßnahmen betragen Ihre Brennstoffkosten weiterhin (siehe vorne)	68417	DM/Jahr
Der Vergleich zeigt: durch die Energiesparmaßnahmen ergibt sich eine durchschnittliche Einsparung von	22381	DM/Jahr

Energiesparpaket 4

Beratungsobjekt GMHE_S

Nr	Wir empfehlen Ihnen, die folgenden ENERGIESPAR-Maßnahmen durchzuführen:	Investitions - kosten (DM)	Nutzungs- dauer (Jahre)
1 - 4	Maßnahmen wie schon in vorhergehenden Energiesparpaketen beschrieben	246262	
5	Vorhandene Verglasung durch Wärmeschutz-Verglasung ersetzen (k-Wert 1.5 W/m²K)	192368	15
6	* Verglasung: Abzüglich ohnehin anfallender Ersatzkosten von Isolierglasscheiben	-144276	15
	Summe Investitionskosten aller Maßnahmen	294355	

Energieeinsparung

Die Durchführung aller Energiesparmaßnahmen 1 bis 6 reduziert den Brennstoffverbrauch und die erforderliche Kesselleistung :

* gesamte Brennstoffeinsparung 39572 m^3 ERDGAS
* Einspareffekt in Prozent 64 % des heutigen Verbrauchs
* Ihr Verbrauch beträgt dann noch 22679 m^3 ERDGAS
* Wärmebedarf des Hauses (Kesselleistung) 110 - 134 Kilowatt (kW)

Wirtschaftlichkeit Einzelmaßnahme

Durch die Einzelmaßnahmen 5 bis 6 wird jährlich eine Endenergieeinsparung von 48647 kWh erreicht.
Dafür aufgewendete jährliche Kapitalkosten (Zins und Tilgung) für die Investitionen 4325 DM/Jahr.
BEWERTUNG: Durch die Maßnahmen 5 bis 6 läßt sich eine Kilowattstunde wirtschaftlich einsparen, wenn der mittlere Energiepreis des verwendeten Endenergieträgers höher ist als 8.9 Pfennig/kWh.

Wirtschaftlichkeit Gesamtpaket

Mit den Energiesparmaßnahmen 1 bis 6 ergeben sich insgesamt im Mittel der nächsten 25 Jahre folgende jährliche Kosten:

* Kapitalkosten (Zins und Tilgung für die Investitionen, gerechnet über die Nutzungsdauer der Maßnahmen)	20089	DM/Jahr
* Ihre Endenergiekosten reduzieren sich auf	24926	DM/Jahr
SUMME: Gesamtkosten	45015	DM/Jahr
Ohne Energiesparmaßnahmen betragen Ihre Brennstoffkosten weiterhin (siehe vorne)	68417	DM/Jahr
Der Vergleich zeigt: durch die Energiesparmaßnahmen ergibt sich eine durchschnittliche Einsparung von	23402	DM/Jahr

Energiesparpaket 5

Beratungsobjekt GMHE_S

Nr	Wir empfehlen Ihnen, die folgenden ENERGIESPAR-Maßnahmen durchzuführen:	Investitions - kosten (DM)	Nutzungs- dauer (Jahre)
1 - 6	Maßnahmen wie schon in vorhergehenden Energiesparpaketen beschrieben	294355	
7	Wärmerückgewinnungsanlage von Fachfirma einbauen lassen (Zuluft/Abluft)	249360	15
8	*Wärmerückgewinnungsanlage: Abzüglich Kostenanteil für Wohnhygieneverbesserung	-112350	15
	Summe Investitionskosten aller Maßnahmen	431365	

Energieeinsparung

Die Durchführung aller Energiesparmaßnahmen 1 bis 8 reduziert den Brennstoffverbrauch und die erforderliche Kesselleistung :

* gesamte Brennstoffeinsparung 46011 m^3 ERDGAS
* Zusätzlicher Hilfsenergieverbrauch 13200 kWh STROM
* Einspareffekt in Prozent 72 % des heutigen Verbrauchs
* Ihr Verbrauch beträgt dann noch 16240 m^3 ERDGAS
* Wärmebedarf des Hauses (Kesselleistung) 85 - 105 Kilowatt (kW)

Wirtschaftlichkeit Einzelmaßnahme

Durch die Einzelmaßnahmen 7 bis 8 wird jährlich eine Endenergieeinsparung von 64391 kWh erreicht.
Zus. Hilfsener. 13200 kWh kostet 2098 DM/Jahr
Dafür aufgewendete jährliche Kapitalkosten (Zins und Tilgung) für die Investitionen 12323 DM/Jahr.
BEWERTUNG: Durch die Maßnahmen 7 bis 8 läßt sich eine Kilowattstunde wirtschaftlich einsparen, wenn der mittlere Energiepreis des verwendeten Endenergieträgers höher ist als 22.4 Pfennig/kWh.

Wirtschaftlichkeit Gesamtpaket

Mit den Energiesparmaßnahmen 1 bis 8 ergeben sich insgesamt im Mittel der nächsten 25 Jahre folgende jährliche Kosten:

* Kapitalkosten (Zins und Tilgung für die Investitionen, gerechnet über die Nutzungsdauer der Maßnahmen)	32412	DM/Jahr
* Ihre Endenergiekosten reduzieren sich auf	19946	DM/Jahr
SUMME: Gesamtkosten	52358	DM/Jahr
Ohne Energiesparmaßnahmen betragen Ihre Brennstoffkosten weiterhin (siehe vorne)	68417	DM/Jahr
Der Vergleich zeigt: durch die Energiesparmaßnahmen ergibt sich eine durchschnittliche Einsparung von	16058	DM/Jahr

Energiesparpaket 6

Beratungsobjekt GMHE_S

Nr	Wir empfehlen Ihnen, die folgenden ENERGIESPAR-Maßnahmen durchzuführen:	Investitions - kosten (DM)	Nutzungs- dauer (Jahre)
1 - 8	Maßnahmen wie schon in vorhergehenden Energiesparpaketen beschrieben	431365	
9	Gas-Brennwertkessel einbauen lassen (incl. Schornsteinsanierung)	17116	15
10	* Brennwertkessel: Abzüglich der Kosten für einen ohnehin fälligen Kesselersatz	-10307	15
	Summe Investitionskosten aller Maßnahmen	438174	

Energieeinsparung

Die Durchführung aller Energiesparmaßnahmen 1 bis 10 reduziert den Brennstoffverbrauch und die erforderliche Kesselleistung :

* gesamte Brennstoffeinsparung 49935 m^3 ERDGAS
* Einspareffekt in Prozent 78 % des heutigen Verbrauchs
* Ihr Verbrauch beträgt dann noch 12315 m^3 ERDGAS
* Wärmebedarf des Hauses (Kesselleistung) 85 - 105 Kilowatt (kW)

Wirtschaftlichkeit Einzelmaßnahme

Durch die Einzelmaßnahmen 9 bis 10 wird jährlich eine Endenergieeinsparung von 39247 kWh erreicht.
Dafür aufgewendete jährliche Kapitalkosten (Zins und Tilgung) für die Investitionen 612 DM/Jahr.
BEWERTUNG: Durch die Maßnahmen 9 bis 10 läßt sich eine Kilowattstunde wirtschaftlich einsparen, wenn der mittlere Energiepreis des verwendeten Endenergieträgers höher ist als 1.6 Pfennig/kWh.

Wirtschaftlichkeit Gesamtpaket

Mit den Energiesparmaßnahmen 1 bis 10 ergeben sich insgesamt im Mittel der nächsten 25 Jahre folgende jährliche Kosten:

* Kapitalkosten (Zins und Tilgung für die Investitionen, gerechnet über die Nutzungsdauer der Maßnahmen)	33025	DM/Jahr
* Ihre Endenergiekosten reduzieren sich auf	15633	DM/Jahr
SUMME: Gesamtkosten	48657	DM/Jahr
Ohne Energiesparmaßnahmen betragen Ihre Brennstoffkosten weiterhin (siehe vorne)	68417	DM/Jahr
Der Vergleich zeigt: durch die Energiesparmaßnahmen ergibt sich eine durchschnittliche Einsparung von	19759	DM/Jahr

Energiesparpaket 7

Beratungsobjekt GMHE_S

Nr	Wir empfehlen Ihnen, die folgenden ENERGIESPAR-Maßnahmen durchzuführen:	Investitions - kosten (DM)	Nutzungs- dauer (Jahre)
1 - 10	Maßnahmen wie schon in vorhergehenden Energiesparpaketen beschrieben	438174	
11	Sparsames Heizverhalten: Absenkung der Raumtemperatur um 1 Grad Celsius	0	25
	Summe Investitionskosten aller Maßnahmen	438174	

Energieeinsparung

Die Durchführung aller Energiesparmaßnahmen 1 bis 11 reduziert den Brennstoffverbrauch und die erforderliche Kesselleistung :

* gesamte Brennstoffeinsparung 51184 m^3 ERDGAS
* Einspareffekt in Prozent 80 % des heutigen Verbrauchs
* Ihr Verbrauch beträgt dann noch 11067 m^3 ERDGAS
* Wärmebedarf des Hauses (Kesselleistung) 85 - 105 Kilowatt (kW)

Wirtschaftlichkeit Einzelmaßnahme

Durch die Einzelmaßnahme Nr. 11 wird jährlich eine Endenergieeinsparung von 12487 kWh erreicht.
Dafür aufgewendete jährliche Kapitalkosten (Zins und Tilgung) für die Investitionen 0 DM/Jahr.
* BEWERTUNG: Durch die Maßnahme Nr. 11 läßt sich eine Kilowattstunde wirtschaftlich einsparen, wenn der mittlere Energiepreis des verwendeten Endenergieträgers höher ist als 0.0 Pfennig/kWh.

Wirtschaftlichkeit Gesamtpaket

Mit den Energiesparmaßnahmen 1 bis 11 ergeben sich insgesamt im Mittel der nächsten 25 Jahre folgende jährliche Kosten:

* Kapitalkosten (Zins und Tilgung für die Investitionen, gerechnet über die Nutzungsdauer der Maßnahmen)	33025	DM/Jahr
* Ihre Endenergiekosten reduzieren sich auf	14260	DM/Jahr
SUMME: Gesamtkosten	47285	DM/Jahr
Ohne Energiesparmaßnahmen betragen Ihre Brennstoffkosten weiterhin (siehe vorne)	68417	DM/Jahr
Der Vergleich zeigt: durch die Energiesparmaßnahmen ergibt sich eine durchschnittliche Einsparung von	21132	DM/Jahr

Tabelle 5.2-1: Ergebnisse der wärmetechnischen Sanierungsschritte des Maßnahmenkatalogs SPAR für das Referenzgebäude GMHE

Maßnahme	Investitionskosten tausend DM	davon Instandhaltung tausend DM	Endenergieverbrauch MWh/a	Nutzenergieverbr. MWh/a	kumulierte Einsp. Endenergie	kumulierte Einsp. Nutzenergie	Kosten der eingesp. Energie Pfg/kWh	ENERGIEKENNZAHL (Nutz-) kWh/(m^{2}a
START-Zustand	0	0	623	539				153
Dämmung des Flachdachs mit 20 cm Einblasdämmstoff im Belüftungsraum	19	0	606	524	3 %	3 %	7,3	148
Kellerdeckendämmung : 5 cm Dämmplatten	11	0	597	516	4 %	4 %	8,5	146
Wärmeschutzverbundsystem auf den Außenwänden : 12 cm Dämmplatten, Putz	359	144	275	227	56 %	58 %	4,3	64
Vorhandene Isolierverglasung durch Wärmeschutzverglasung ersetzen	192	144	227	183	64 %	66 %	8,9	52
Wärmerückgewinnungsanlage einbauen	249	112*	162	125	72 %	77 %	22,6**	35
Brennwertkessel für Gas einbauen	17	10	123	125	78 %	77 %	1,6	35
ZIELWERT / Summen**	599	298	183	180	71 %	67 %	4,7	52

* Anteil für Verbesserung der Raumluftqualität durch Einbau einer Abluftanlage.

** ohne Berücksichtigung der Wärmerückgewinnungsanlage (zu geringe Rentabilität).

Literatur zu Kapitel 5:

/Ebel 1989/ Witta Ebel
Stromverbrauch im Haushalt:
Einsparpotentiale, Wirtschaftlichkeit und zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten
Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1989

/Feist 1986/ Wolfgang Feist
Primärenergie- und Emissionsbilanzen von Dämmstoffen
Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1986

/Feist 1987/ Wolfgang Feist
Stromsparpotentiale bei den privaten Haushalten in der Bundesrepublik Deutschland
in: D.Sievert (Hrsg.): Zukünftiger Strombedarf - Bedeutung von Einsparmöglichkeiten. TÜV Rheinland, Köln 1987

/Feist 1989/ Wolfgang Feist
Das vereinfachte Heizenergieprogramm STATBIL/ENBIL
Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1989

/Feist-Zolper/ Wolfgang Feist, Manfred Zolper
STATBIL-Handbuch
Tübingen 1985

/IWU/HMWT 1989/ Institut Wohnen und Umwelt
Leitfaden "Energiebewußte Gebäudeplanung"
Studien zur Energiepolitik in Hessen
Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik
Wiesbaden 1989

/Källblad 1986/ Kurt Källblad
JULOTTA - Datorprogram för beräkning av värmebalans i rum och byggnader
Lund, BKL 1986:28

/Steinmüller 1981/ Bernd Steinmüller
Zum Energiehaushalt von Gebäuden
Dissertation Aachen 1981

6. Erfolge wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebestand

Die Beispiele wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen aus dem Gebäudebestand zeigen, daß die im Maßnahmekatalog vorgeschlagenen Dämmtechniken für die wärmetechnische Gebäudesanierung bereits im wesentlichen marktgängig sind. Die bisher ausgeführten Dämmstandards sind jedoch in den meisten Fällen nicht optimal. Die Gebäudebeispiele sollen deshalb in erster Linie zeigen, daß Wärmeschutzmaßnahmen im Gebäudebestand zu bedeutenden, nachweisbaren Heizenergieeinsparungen führen. Sie weisen hinsichtlich des Maßnahmenumfangs überwiegend jedoch keinen Beispielcharakter auf.

6.1 Einfamilienhäuser

6.1.1 Wärmetechnische Sanierung eines Dreifamilienhauses in Bad Hersfeld. Einsparung: 7500 teilbeheizt auf 3600 Liter vollbeheizt (52 %).

Gebäudefoto:

Gebäudebeschreibung:

Das Dreifamilienhaus wurde 1955 dreigeschossig errrichtet. Die Wohnfläche wurde während der Gebäudesanierung von 290 m^2 auf 320 m^2 Wohnfläche vergrößert. Auch die Bewohnerzahl erhöhte sich: vor der Sanierung 8 Personen, nach der Sanierung 10 Personen. Die wärmetechnische Gebäudesanierung wurde 1982 durchgeführt. Wärmetechnischer Aufbau vor der Sanierung: Außenwände aus Vollziegelmauerwerk zwischen 24 und 38 cm stark. Dachschrägen 4 cm Lehmstrohbewurf auf Lattung. Einfachverglaste Fenster und Fenster mit Verbundscheiben, undichte Rahmen. Holzbalkendecke mit Schlackefüllung zum Keller, Ölheizkessel Baujahr 1955 mit 50 kW Leistung bei 36.1 kW Gebäudewärmebedarf.

Wärmetechnische Sanierungsmaßnahmen:

Die Außenwände wurden mit einem 8 cm starken Wärmedämmverbundsystem (Polystyrolplatten) gedämmt; Fenster: Neufenster mit Standard-Zweischeibenisolierverglasung oder Vorsatzflügel innen mit Isolierverglasung; Dachdämmung 8 cm in den vorhandenen Hohlraum zwischen Sparren bzw. in die Kehlbalkendecke. Anbau eines Wintergartens im Erdgeschoß. Ersatz des Kessels durch einen modernen Öl-Niedertemperaturkessel mit 29-36 kW Leistung, Thermostatventile.

Energieeinsparung:

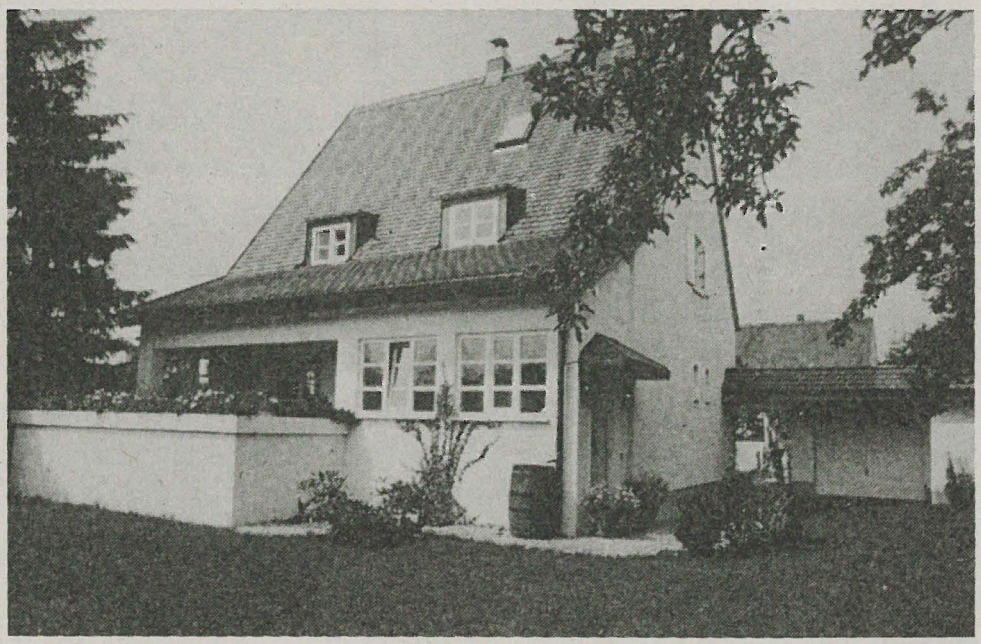
Reduzierung von 7.500 Liter Heizöl pro Jahr auf 3.600 Liter Jahresverbrauch nach der Sanierung incl. Warmwasserbereitung (gestiegene Wohnfläche, und zusätzlich 2 Bewohner). Einsparquote: 52 Prozent.

spezifischer Energieverbrauch vor Sanierung: 259 kWh/m^2 Wohnfläche.

spezifischer Energieverbrauch nach Sanierung: 113 kWh/m^2 Wohnfläche.

6.1.2 Wärmetechnische Gebäudesanierung eines Einfamilienhauses in München Baujahr 1937, Einsparung 65 %.

Gebäudefoto:



Gebäudebeschreibung:

Einfamilienhaus, Baujahr 1937. Eingeschossig mit ausgebautem Dachgeschoß, 110 m^2 Wohnfläche, 3 Bewohner. Sanierungszeitpunkt 1985 bis 1988 durch die Stadtwerke München. Wissenschaftliche Begleitung der Sanierung und Messung der Verbräuche, Temperaturen und Solarstrahlungsdaten durch das Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen.

Die Außenwände waren in Vollziegelmauerwerk mit einem k-Wert von 1,26 W/(m^2 K) errichtet. Fenster: 3,5 W/(m^2K). Dach: 1,4 W/(m^2K). Keller 3,0 W/(m^2K). Die Kesselleistung (Baujahr 1968) betrug bei 17,3 kW Gebäudewärmebedarf 29 kW. Warmwasserbereitung über Heizkessel, unzureichende Regelung.

Wärmetechnische Sanierungsmaßnahmen:

Die Außenwände wurden mit einem 8 cm dicken Wärmedämmverbundsystem gedämmt. Dachdämmung: 12 cm starke Auf-Sparren-Dämmung. Die Kelleraußenwände erhielten eine 5 cm starke Perimeterdämmung von außen. Fenster wurden insgesamt erneuert und mit Wärmeschutzisolierverglasung (k-Wert 1,6 W/(m^2K))

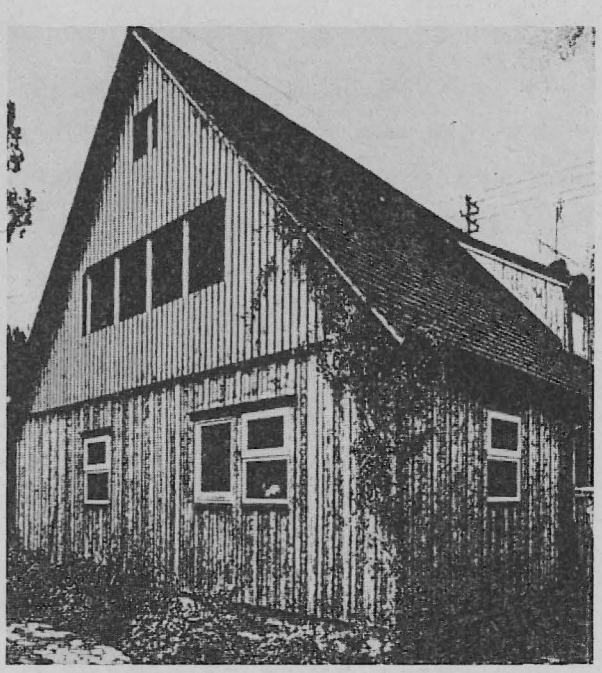
ausgerüstet. Heizkessel: zweistufiger atmosphärischer Erdgaskessel (9/15 kW) mit integrierter Warmwasserbereitung (200 Liter Speicher), Thermostatventile.

Energieeinsparung:

65 Prozent im Vergleich der Heizperioden 1985/86 mit 1987/88. Reduzierung von 4126 m^2 Erdgas auf 1465 m^2 Erdgas pro Jahr (davon Energieaufwand für die Warmwasserbereitung: 129 m^3 Erdgas pro Jahr).
Spezifischer Heizenergieverbrauch vor Sanierung: 350 kWh/m^2 Wohnfläche.
Spezifischer Heizenergieverbrauch nach Sanierung: 124 kWh/m^2 Wohnfläche.

6.1.3 Umbau und Erweiterung eines Einfamilienhauses mit Einliegerwohnung in Bad Boll-Eckwäldchen zum Niedrigenergiehaus (Umbau 1986).

Gebäudefoto



Gebäudebeschreibung:

Das Einfamilienhaus mit Baujahr 1956 wurde als Alternative zu einem Neubau zu einem Niedrigenergiehaus umgebaut. Dabei wurde die Wohnfläche auf 214 m^2 erweitert. Bewohneranzahl 3. Der Altbau wies baualtersgemäß nur einen geringen

Wärmeschutzstandard auf. Die Außenwände in Massivbauweise waren nur 24 cm stark dimensioniert. Die Dämmung zwischen den Sparren bestand aus einer 5 cm dicken Holzwolleleichtbauplatte, die in erster Linie als Putzträger fungierte. Der Erdgeschoßfußboden wies eine 2 cm dicke Trittschalldämmung auf, die Fenster waren mit Einscheibenverglasung und nur z.T. mit Verbundglasscheiben ausgerüstet. Hinzu traten eine Reihe von Wärmebrücken wie einbindende Betondecken und Stürze. Der Heizenergieverbrauch ist für diesen baulichen Zustand nicht bekannt. Ähnliche Gebäude weisen Verbräuche zwischen 3500 und 4500 Liter Heizöl pro Jahr auf.

Wärmetechnische Sanierungsmaßnahmen:

Für die nichttransparente Gebäudehülle wurden durch Zwischen-Sparren-Dämmung, Vorhangfassade und Dämmung der Kellerdecke k-Werte unter 0,3 W/(m^2 K) realisiert (12 bis 20 cm Steinwolle). Die Fenster wurden mit Wärmeschutzisolierverglasung ausgestattet (k-Wert 1,3 W/(m^2K)). Die Dämmschicht der Vorhangfassade reduziert auch die Wärmebrücken in der Massivkonstruktion. Zwei Kinderzimmer wurden in Holzrahmenbauweise mit über 20 cm Wärmedämmung angebaut. Wind- und Dampfsperren wurden sehr sorgfältig ausgeführt. Die Beheizung wurde als Luftheizung ausgelegt und erfolgt über eine Brennwert-Gastherme. Über die Lüftungsheizung wird auch die Lüftung bedarfsgeregelt und mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft betrieben. Die Warmwasserbereitung erfolgt über einen indirekt beheizten Warmwasserspeicher. Als weitere ökologisch relevanten Maßnahmen wurden Wasserspararmaturen, die Regenwassernutzung für Toilette, Waschen und Gartenbewässerung (zwei 1500 Liter Kellertanks) und die Wandbegrünung in das Konzept integriert. Die gesamten Umbaukosten nach DIN 276 lagen für das Bauwerk bei 343.000 DM.

Energieeinsparung:

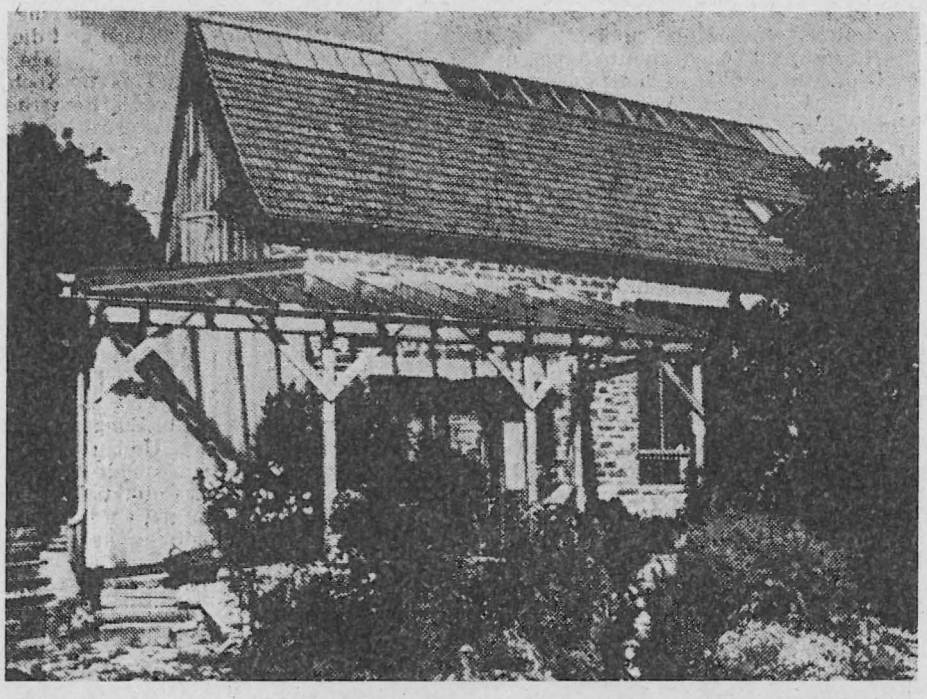
Der Heizenergieverbrauch konnte gegenüber dem unsanierten Altbau um 60 bis 70 Prozent reduziert werden.

Spezifischer Heizenergieverbrauch für vergleichbare Altbauten, unsaniert: 250 - 320 kWh/m^2 Wohnfläche und Jahr.

Spezifischer Heizenergieverbrauch: 70 kWh/m^2/Jahr /Schriftliche Mitteilung des Architekten Brucker, Stuttgart/.

6.1.4 Einfamilienhaus Schwab, ökologisch orientierter Umbau eines Stall- und Scheunengebäudes in ein Einfamilienhaus in Mosbach (Umbau 1985/86)

Gebäudefoto



Gebäudebeschreibung:

Das frühere Stall- und Scheunengebäude liegt im Zentrum des kleinen Weilers Mosbach-Schreckhof in Baden-Württemberg. Für die Ortslage besteht Ensembleschutz. Es war deshalb wichtig, die einfache, kompakte Gestalt der Scheune zu erhalten. In die alte Hülle aus 50 cm dicken Sandsteinmauern wurde ein komplett neues Haus in Holzrahmenbauweise eingestellt. Das Gebäude hat 210 m^2 Wohn- und Nutzfläche und wird von 5 Personen bewohnt. Vorhandene Materialien wurden weitestgehend wiederverwendet.

Wärmetechnische Sanierungsmaßnahmen:

Holzrahmenbauweise mit 14 bis 30 cm Wärmedämmung (Steinwolle, Zellulosedämmstoff) in Bodenplatte, Wänden und Dach. Sorgfältig ausgeführte Dampf- und Windsperren. Wärmeschutz-Isolierverglasung mit k-Wert 1,3 W/(m^2K). Lüftungsheizung bestehend aus Wärmetauscher (Warmwasser/Warmluft), Umluftventilator, Kreuzstromwärmetauscher zur Wärmerückgewinnung aus der Fortluft, Gasaußen-

wandtherme. 300 Liter Brauchwasserspeicher. Weitere Konzeptbestandteile: Regenwassernutzung, Komposttoilette. Die Baukosten incl. Baunebenkosten lagen bei 375.000 DM.

Energieeinsparung:

Das Gebäude wird nach dem Umbau erstmalig als Wohnhaus genutzt und beheizt. Spezifischer Heizenergieverbrauch: 50 kWh pro m^2 Wohnfläche und Jahr.
Spezifischer Verbrauch für Warmwasser: 20 kWh pro m^2 Wohnfläche und Jahr.
/Schriftliche Mitteilung des Architekten Brucker, Stuttgart/.

6.1.5 Teilmaßnahme: Außenwanddämmung (Thermohaut) an einem Einfamilienhaus in Kassel, Baujahr 1972

Gebäudefoto

Gebäudebeschreibung und wärmetechnische Sanierungsmaßnahme:

Das 1972/73 errichtete Einfamilienhaus mit 182 m^2 Wohnfläche wird von 4 Personen bewohnt. An den 24 cm starken Leichtbetonaußenwänden auftretende Risse führten zusammen mit der Überlegung, durch Energieeinsparung zur Umwelt-

entlastung beizutragen, zur Dämmung der Außenwände mit einem 6 cm starken Wärmedämmverbundsystem (Polystyrolplatten). Die Maßnahme wurde 1985 ausgeführt. Der k-Wert der Außenwand wurde von 1,3 auf 0,44 W/(m^2 K) verbessert. Die Kosten der Maßnahme lagen bei 92 DM/m^2 Wandfläche.

Energieeinsparung:

Die erzielte Heizenergieeinsparung liegt bei ca. 20 Prozent. Der Verbrauch sank von 3424 Liter Heizöl (Normjahr) auf 2764 Liter Heizöl 1986/87 (klimabereinigt).
Spezifischer Heizenergieverbrauch: 152 kWh/m^2 Wohnfläche und Jahr.

6.1.6 Fachwerkgebäude. Einbeziehung von Wärmeschutzmaßnahmen in die Sanierung eines denkmalgeschützten Fachwerkhauses in Konstanz

Gebäudefoto

Gebäudebeschreibung:

Die vollständige Gebäudebeschreibung befindet sich auf den Seiten 57 ff.

Das Gebäude wurde vor 1775 errichtet. Die Wohnfläche beträgt 220 m^2. Es steht unter Denkmalschutz. Die Fachwerkaußenwandkonstruktion (Weichholz) wurde durch einen an den Gebäudeecken und Fensterlaibungen mit Lisenen und Kapitellen strukturierten Verputz als Steinhaus (kaschierend) verkleidet. Durch mangelnde Pflege und Instandhaltung kam es zu größeren Bauschäden. Die Gebäudesanierung erfolgte 1984 in Abstimmung mit dem Denkmalpflegeamt Freiburg.

Wärmetechnische und bauliche Sanierungsmaßnahmen:

Außenwände:	5 cm Wärmedämmung mit dem Wärmedämmverbundsystem (Polystyrolplatten), bei Erhaltung der historischen Fassadenansicht.
Fenster:	Isolierglasfenster mit historischer Sprossenteilung.
Dach:	12 cm Wärmedämmung zwischen den Sparren (Randleistenmatte)
Beheizung:	Warmwasserzentralheizung mit einem atmosphärischen Gaskessel.

Energieeinsparung:

Der Heizenergieverbrauch im historischen Zustand ist nicht bekannt.

Spezifischer Heizenergieverbrauch nach Sanierung: 180 kWh/m^2 Wohnfläche und Jahr. Es ist zu beachten, daß hierin die Beheizung des Schwimmbadbeckenwassers und des Schwimmbades auf 29^o Celsius Lufttemperatur enthalten ist.

6.2. Mehrfamilienhäuser

6.2.1 Wärmetechnische Sanierung von zwei achtgeschossigen Mehrfamilienhäusern in Kassel. Einsparung 53 %.

Gebäudefoto

Gebäudebeschreibung:

Die Hausgruppe umfaßt zwei achtgeschossige Mehrfamilienhäuser mit je 24 Wohnungen (1785 m^2 Wohnfläche). Ein hoher Heizenergieverbrauch und ohnehin anstehender Sanierungsbedarf an Fenstern und Vorhangfassadenplatten begründeten die wärmetechnische Sanierungsmaßnahme. Die k-Werte der Bauteile vor der Sanierung:

- Außenwand, Hochlochziegel: 1,3 - 1,5 $W/(m^2K)$
- Dach: 0,54 $W/(m^2K)$
- Fenster: 2,6/5,2 $W/(m^2K)$
- Kellerdecke Stahlbeton 2 cm Trittschalldämmung: 1,05 $W/(m^2K)$

Die beiden Gebäude wurden von einer gemeinsamen Heizzentrale mit zwei atmosphärischen Gaskesseln mit je 170 kW Leistung beheizt.

Wärmetechnische Sanierungsmaßnahmen:

Die wärmetechnische Sanierungsmaßnahme wurde im Rahmen der Modernisierungsförderung des Landes Hessen ("Modernisierungsrichtlinien-Land") mit einem Darlehen in Höhe von 75 % der Maßnahmenkosten bei 1 % Tilgung und 2 % Zinsbelastung gefördert. Die Förderung sicherte die "Warmmietenneutralität" des Sanierungsvorhabens.

- Außenwände: 8 cm Mineralfaserdämmung, Vorhangfassade, k-Wert saniert: 0,36/0,37 W/(m^2K).
- Fenster: Wärmeschutz-Isolierverglasung in Kunststoffrahmen (Einfachfenster), k-Wert 2,0 W/(m^2K).
- Dach: 6 cm Hartschaumplatten auf vorhandene Dämmschicht (6 cm), k-Wert saniert: 0,29 W/(m^2K).
- Kellerdecke: 4 cm Mineralfaserplatten und Gipskartonplattenverkleidung, k-Wert saniert 0,45 W/(m^2K).
- Heizzentrale: Ersatz der überdimensionierten Altkessel durch zwei Erdgas-Niedertemperaturkessel mit Gebläsebrenner (je 110 kW). Erneuerung von 40 m Heizleitung zwischen den Gebäuden. Bei der Erneuerung der Heizkessel wäre der Einsatz von Brennwertkesseln sinnvoller gewesen, da durch die umfangreichen Dämmaßnahmen an den Gebäuden auch die Einsatzvoraussetzungen (Niedertemperaturbetrieb) geschaffen wurden. Die Energieeinsparung wäre voraussichtlich um 6-10 % höher ausgefallen.

Energieeinsparung:

Die Energieeinsparung lag im Vergleich der Jahre 1986 und 1987 bei 53 % (klimabereinigt 45 %).

Verbrauch vor der Sanierung 1986 (incl. Warmwasserbereitung): 119.000 m^3 Erdgas

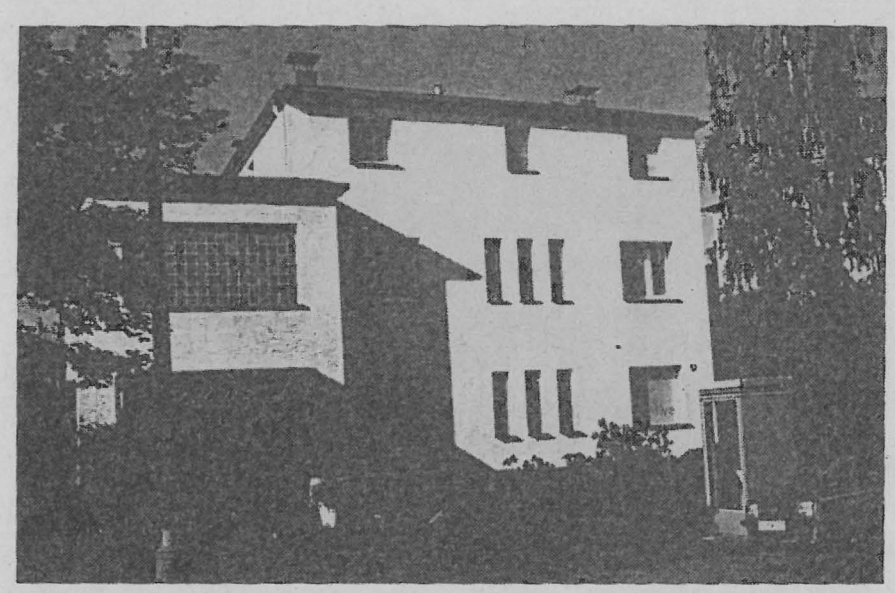
Verbrauch nach der Sanierung 1987 (incl. Warmwasserbereitung): 56.500 m^3 Erdgas

Spezifischer Heizenergieverbrauch: 333 kWh/m^2 Wohnfläche und Jahr.

Spezifischer Heizenergieverbrauch nach der Sanierung: 158 kWh/m^2 Wohnfläche und Jahr.

6.2.2 Wärmetechnische Sanierung eines Mehrfamilienhauses in Hanau, Baujahr 1926, Einsparung 58 %.

Gebäudefoto



Gebäudebeschreibung:

Das 1926 erbaute Mehrfamilienhaus ist zum Teil zwei- und teilweise dreigeschossig errichtet. Es wird von 4 Personen bewohnt, im Erdgeschoß befindet sich zusätzlich eine Ladennutzung (2 Personen). Die Wohnfläche betrug ursprünglich 249 m^2 und beträgt heute nach Ausbau 349 m^2. Im ursprünglichen Zustand war das Obergeschoß nicht ausgebaut und wurde als Dachboden genutzt. Die Außenwände sind in 38 cm und 30 cm Vollziegelmauerwerk ausgeführt. Das schwach geneigte Flachdach wurde erst im Zuge des Ausbaus zur wärmetauschenden Fläche. Im historischen Zustand war die Obergeschoßdecke zum Dachboden die wärmetauschende Fläche und nur mäßig gegen Wärmeverluste geschützt: Der Wärmeschutz bestand aus 4 cm Steinholzestrich (0,19 W/(mK)) auf 15 cm Betondecke. Die Kellerdecke wies z.T. nur Zementestrich auf Stahlsteindecke auf (Ladenbereich), z.T. waren 2 cm Trittschalldämmung vorhanden. Die Holz-Einfachfenster waren einscheibenverglast. Beheizt wurde das Gebäude mit einer Warmwasserzentralheizung über einen Öl-Heizkessel.

Wärmetechnische Sanierungsmaßnahmen:

Die Verbesserung des Wärmeschutzes und Erneuerung der Heizanlage wurden schrittweise zwischen 1974 und 1988 ausgeführt. Im ersten Schritt (1973-75) wurden die Außenwände mit einem 10 cm dicken Wärmedämmverbundsystem gedämmt, das Dach durch eine 11 cm starke Wärmedämmung (Umkehrdach) gegen Wärmeverluste geschützt, die Kellerdecke mit 5cm Polystyrolplatten von unten versehen. Der Heizkessel wurde durch einen konventionellen Ölkessel mit 45 kW Leistung und zentraler Regelung ersetzt. Die Heizkörper erhielten Thermostatventile. Zwischen 1979 und 1982 wurden die Fenster mit Standard-Isolierverglasung erneuert und die Rolladenlamellen ausgeschäumt. Ab 1988/89 wird schrittweise Wärmeschutz-Isolierverglasung in die vorhandenen Fensterrahmen eingebaut.

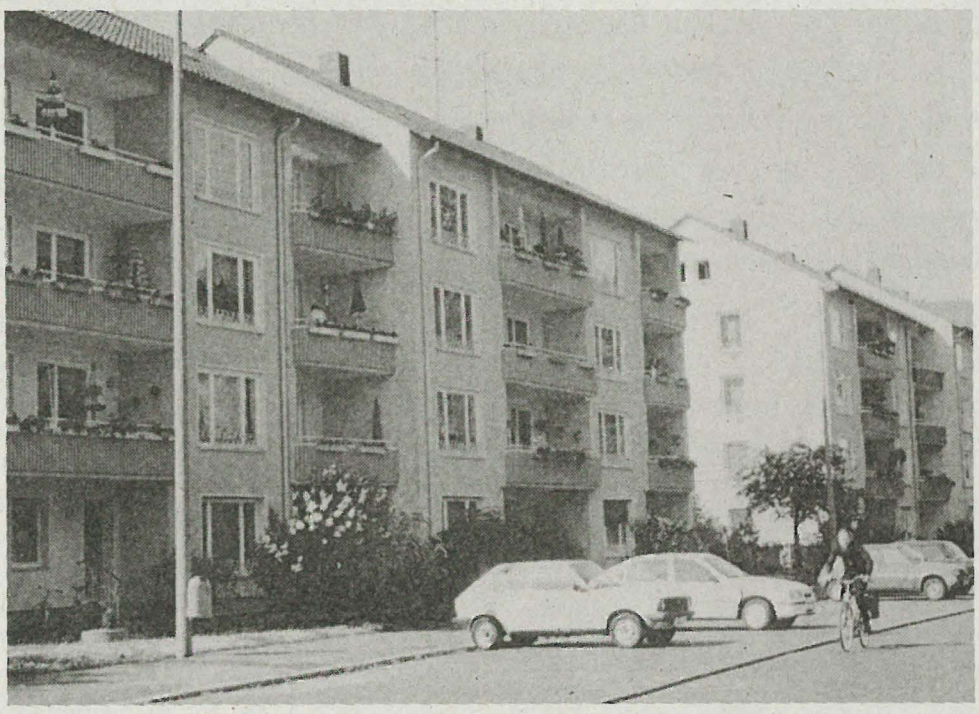
Energieeinsparung:

Die erzielte Heizenergieeinsparung zwischen 1973 und 1989 betrug 64 %.

Vor der Sanierung wurden durchschnittlich 10.500 Liter Heizöl pro Jahr verbraucht, 1989 nach der Sanierung bei größerer Wohnfläche nur noch 3.800 Liter HEL. Spezifischer Heizenergieverbrauch vor der Sanierung: 413 kWh/m^2 Wohnfläche und Jahr. Spezifischer Heizenergieverbrauch nach der Sanierung: 109 kWh/m^2 Wohnfläche und Jahr.

6.2.3 Wärmetechnische Sanierung eines Mehrfamilienhaus-Komplexes, Kassel-Menzelstrasse, Baujahr 1959, Einsparung: 48 %

Gebäudefoto



Gebäudebeschreibung:

Der 1959/60 errichtete drei- und viergeschossige Gebäudekomplex wird von zwei 8-Familienhäusern und einem 6- Familienwohnhaus mit insgesamt 2845 m^2 Wohnfläche gebildet. Die Bauweise ist typisch für den sozialen Wohnungsbau der sechziger und siebziger Jahre. Der Wärmeschutzstandard der Bauzeit im einzelnen:

Außenwände: 24 cm Hohlblocksteine (1400 kg/m^3), verputzt, k-Wert 1,85 $W/(m^2K)$

Fenster: Einfachfenster, Holzrahmen, Einscheibenverglasung, k-Wert 5,2 $W/(m^2K)$. Die Fenster wurden Ende der siebziger Jahre auf Einfachfenster mit PVC-Rahmen und Standard-Isolierverglasung (2,6 $W/(m^2K)$) umgerüstet.

Dachdecke: 16 cm Stahlbeton mit 2,5 cm Zementestrich, k-Wert 3,0 $W/(m^2K)$.

Kellerdecke: 18 cm Stahlbeton, 2,5 cm Trittschalldämmung, k-Wert 0,92 $W/(m^2K)$.

Heizung: Warmwasserzentralheizung mit Ölkessel (294 kW) aus Heizzentrale.

Wärmetechnische Sanierungsmaßnahmen:

Die wärmetechnische Sanierungsmaßnahme wurde 1987 ausgeführt und im Rahmen der Modernisierungsförderung des Landes Hessen ("Modernisierungsrichtlinien-Land") mit einem Darlehen in Höhe von 75 % der Maßnahmekosten bei 1 % Tilgung und 2 % Zinsbelastung gefördert. Die Förderung sicherte die "Warmmietenneutralität" des Sanierungsvorhabens. Die Maßnahmen im Einzelnen:

- Außenwände: 8 cm Wärmedämmverbundsystem
- Dachdecke: 6 cm Hartschaumplatten, begehbar
- Kellerdecke: 4 cm Hartschaumplatten unter Decke
- Fenster: keine Verbesserung.
- Heizung: Umstellung zunächst auf Erdgas, 1988 auf Fernwärme (190 kW).

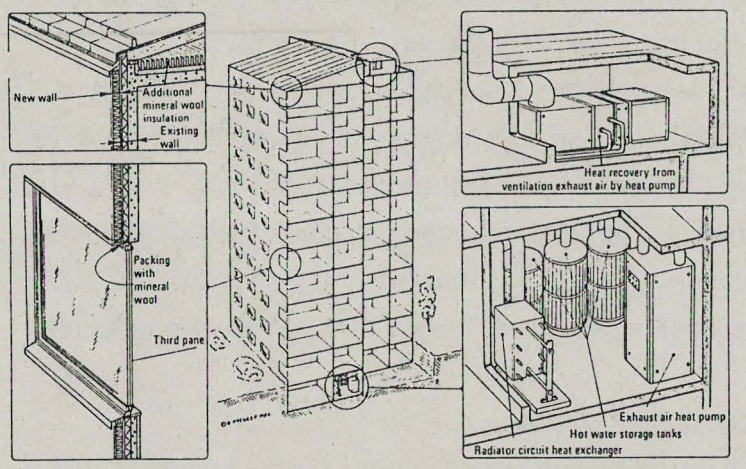
Die Kosten lagen pro Wohneinheit bei rund 9.400 DM. Die Mieterhöhung betrug pro m^2 und Monat zwischen 0,35 und 0,40 DM. Dem steht eine Energiekostenersparnis in ähnlicher Größenordnung gegenüber:

Energieeinsparung:

Die Heizenergieeinsparung betrug im Vergleich der Jahre 1984/85 und 1988/89 rund 48 Prozent. Der Verbrauch sank von 610.000 kWH Heizöl EL in 1984/85 auf 321.210 kWh Fernwärme 1988/89. Spezifischer Heizenergieverbrauch vor der Sanierung: 214 kWh/m2 Wohnfläche und Jahr. Spezifischer Heizenergieverbrauch nach der Sanierung 113 kWh/m^2 Wohnfläche und Jahr.

6.2.4 Wärmetechnische Sanierung eines Mehrfamilienhauses (Hochhaus) in Göteborg (Schweden)

Gebäudeskizze



Gebäudebeschreibung:

Im Rahmen des Forschungsprogrammes " Energy conservation blocks" des "Swedish Council for Building Research" wurden ab 1980 neun baugleiche elfgeschossige Hochhäuser in Göteborg (Guldheden, Baujahr 1950) mit unterschiedlichem Standard wärmetechnisch saniert, um die Effekte der einzelnen Maßnahmen voneinander abgrenzen zu können. Diese Modellmaßnahme ist Teil eines Forschungsprogrammes, daß an insgesamt 7 Standorten in Schweden rund 1800 Wohnungen in jeweils für die schwedische Bausubstanz typischen "Blocks" einschließt. Die ausgewählten Maßnahmen:

- Basis-Maßnahmenpaket (Sanierung der stärksten Schwachstellen, Abdichtungsmaßnahmen an Fugen und Ritzen).
- Einbau einer elektrischen Wärmepumpe pro Gebäude in das Abluftsystem der Bäder und Toiletten (Dachaufstellung des Wärmetauschers), Wärmerückgewinnung für die Warmwasserbereitung (Kelleraufstellung Wärmepumpe).
- 10 cm Zusatzdämmung der Außenwände.
- Dichtung des Blendrahmens und Anbringung einer 3. Scheibe auf die Standard-Zweischeibenisolierverglasung.
- Erneuerung der Treppenhausfenster in gleicher Qualität.

Die Tabelle gibt einen Überblick über die eingetretenen Einsparerfolge in Abhängigkeit der pro Gebäude getroffenen Maßnahmentiefe.

BUILDING / MEASURE	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PRIOR CONSUMPTION	280	270	260	280	260	270	260	290	280
BASIC MEASURES PACKAGE	X	X	X	X	X	X	X	X	X
EXHAUST-AIR HEAT PUMP			REFERENCE BUILDING	X				REFERENCE BUILDING	X
ADDITIONAL INSULATION LAYER	X				X				X
ADDITIONAL THIRD PANE	X	X					X		X
NEW STAIR – WINDOWS	X	X		X	X	X			X
POST-IMPROVEMENT CONSUMPTION KWh/m²/yr	185	210	230	190	180	230	225	245	140

/Swedish Council for Building Research 1986/

Heizenergieeinsparung:

Die durchgeführten Verbrauchsmessungen in den 11 Blocks zeigen, daß bei Durchführung aller gewählten wärmetechnischen Sanierungsmaßnahmen der Heizenergieverbrauch um 50-52 % von 280-290 kWh pro m^2 Wohnfläche und Jahr auf 140 kWh pro m^2 Wohnfläche und Jahr gesenkt werden kann.

Literaturangaben und Quellen zu Kapitel 6:

Fraunhofer Institut für Bauphysik; Das Münchner Energiespar-Testhaus, Stuttgart 1988

Swedish Council for Building Research; Energy 85, Energy use in the build environment, Stockholm 1985

Swedish Council for Building Research; Energy 85, Some facts about energy use in the built environment, Stockholm 1986

Planungsgruppe Brucker, Kruppa u.a.; Projektliste und Gebäudedokumentation, Mitteilung an die Verfasser, Stuttgart 1989

Institut Wohnen und Umwelt, Gebäudedatei, fortlaufende Archivierung

7. Einsparpotentiale im Gebäudebestand

In Kapitel 5 wurden für eine Reihe von Objekten Einsparpotentiale detailliert nachgewiesen. Daß diese Einsparungen in der Praxis auch erzielt werden können, wurde anhand der in Kap. 6 dokumentierten Sanierungen belegt. Mittels der Gebäudestatistik kann aus den Einsparpotentialen für die Vertreter der Gebäudetypen das gesamte Einsparpotential für die Bundesrepublik hochgerechnet werden.

7.1 Gegenwärtiger Gebäudebestand

7.1.1 Aufteilung des Wohngebäudebestands

Für die Berechnung des gesamten Nutzenergieverbrauchs sowie den Abgleich mit der Endenergiestatistik wird die Gesamtzahl der Wohnungen sowie der gesamten Wohnfläche, aufgeteilt auf die unterschiedlichen Haustypen, benötigt. Die Volkszählung 1987 /StatBu 89/ liefert eine Aufteilung des Wohnungsbestands nach Ein(-Zwei)Familienhäusern und Mehrfamilienhäusern sowie nach Baualtersklassen.

Bezugsgröße für diese Untersuchung sind die bewohnten Wohneinheiten, ohne Freizeitwohnungen.

Der Wohnungsbestand teilt sich 1987 wie folgt auf:
(in Mio.)

Wohnungen insgesamt	26,595
leerstehend	0,481
Freizeitwohnungen	0,269
bewohnte Wohneinheiten	25,845

Die Aufteilung der Wohnungen und der Wohnflächen auf die Altersklassen ist in Tabelle 7.1.1-1 wiedergegeben.

Tabelle 7.1.1-1

Anteile der Altersklassen am Gesamtbestand der Wohneinheiten
(nur bewohnte Wohneinheiten, ohne Freizeitwohnungen)

Haustyp Baualter	A + B -1918	C 19-48	D 49-57	E 58-68	F 69-78	G 79-83	H 84-87	Summe
Anzahl Wohnungen(Mio.)	4,73	3,17	3,93	6,11	5,13	1,66	1,13	25,85
- davon in EFH *)	2,33	1,73	1,64	2,55	2,27	1,09	0,59	12,19
- davon in MFH	2,40	1,44	2,29	3,56	2,86	0,57	0,53	13,65
Gesamte Wohnfläche (Mio. m^2)	373	254	305	477	479	169	105	2162
- in EFH	212	159	166	260	270	130	70	1267
- in MFH	161	95	140	217	209	39	35	895
Anteile an der Gesamt-Wohnfläche	17%	12%	14%	22%	22%	8%	5%	100%
- EFH	10%	7%	8%	12%	12%	6%	3%	59%
- MFH	7%	4%	6%	10%	10%	2%	2%	41%

*) Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäusern, einschl. Reihenhäusern

Genauere Aufteilungen lassen sich aus den statistischen Daten nicht herleiten. So wird in keiner Statistik unterschieden zwischen freistehenden Ein/Zweifamilienhäusern und Reihenhäusern sowie zwischen den verschiedenen Typen von Mehrfamilienhäusern. Auch wie sich unterschiedliche Bauformen innerhalb einer Altersklasse verteilen, ist nicht bekannt, dies betrifft insbesondere die Typen A und B (Fachwerk- bzw. Massivbauweise vor 1918). Hier ist man vorläufig auf Vermutungen angewiesen. Da jedoch die Einsparpotentiale jeweils in den gleichen Größenordnungen liegen, sind Abweichungen von der genauen Verteilung der Haustypen nicht ergebnisrelevant in Bezug auf die Höhe der gesamten Einsparpotentiale. Für die Gesamtschätzungen wird in dieser Studie die in Tabelle 7.1.1-2 wiedergegebene Verteilung der Haustypen unterstellt.

Tabelle 7.1.1-2

Wohnungsbestand nach Gebäudetypen 1987

Haustyp	A	B	C	D	E	F	G	H	Summe
Charakter	Fachwerk	Massiv					I.WSVO	II.WSVO	
Baualter	-1918	-1918	19-48	49-57	58-68	69-78	79-83	84-87	
Anz. Wohnungen (in 1.000)									25 845
davon in:									
EFH	698	1 304	1 209	1 229	1 912	1 521	792	475	9 141
RH	0	326	518	410	637	749	293	119	3 052
MFH	480	1 729	1 209	1 990	2 491	1 744	574	533	10 750
GMH	0	192	230	297	818	858	0	0	2 396
HH	0	0	0	0	249	257	0	0	506
Wohnfläche (Mio. m^2)									
EFH	64	119	111	124	195	181	95	56	945
RH	0	30	48	41	65	89	35	14	322
MFH	32	116	80	121	152	127	39	35	703
GMH	0	13	15	18	50	63	0	0	159
HH	0	0	0	0	15	19	0	0	34
Summe	96	277	254	305	477	479	169	105	2 162

EFH: freistehende Ein/Zwei-Familienhäuser,
RH: Reihenhäuser
MFH: Mehrfamilienhäuser bis 4 1/2 Geschosse
GMH: Mehrfamilienhäuser 5-8 Geschosse
HH: Hochhäuser über 8 Geschosse
A: Fachwerk vor 1918. B: Massivbau vor 1918
C: 1918 - 1948 D: 1949 - 1957
E: 1958 - 1968 F: 1969 - 1978
G: 1979 - 1983 H: ab 1984

7.1.2 Heizenergieverbrauch der Gebäudetypen

Für jeden Gebäudetyp wird die Energiekennzahl (Energieverbrauch pro m^2 Wohnfläche und Jahr) aus dem Energieverbrauch der Repräsentanten (vgl. Kap. 5) ermittelt, bei mehreren Repräsentanten wird das arithmetische Mittel ihrer Energiekennzahlen gebildet. Diese Energiekennzahlen sind typische Werte, jedoch keine statistischen Mittelwerte. In der Gesamtbetrachtung von insgesamt 30 Gebäuden sind die zufälligen Abweichungen von den Mittelwerten zu vernachlässigen.

In Tabelle 7.1.2 sind die Energiekennzahlen für die Gebäudetypen wiedergegeben. Dabei ist eine Standardnutzung unterstellt sowie eine moderne zentrale Öl- oder Gasheizung (vgl. Kap. 5). Nachträgliche energetische Sanierungen sind nicht berücksichtigt. Die Energiekennzahlen in Tabelle 7.1.2 kennzeichnen damit den baulichen Originalzustand.

Tabelle 7.1.2
Energiekennzahlen (Nutzenergie) im Gebäudebestand (Original)
(kWh/(m^2a))

Haustyp	A	B	C	D	E	F	G	H
Charakter	Fachwerk	Massiv					I.WSVO	II.WSVO
Baualter	-1918	-1918	19-48	49-57	58-68	69-78	79-83	84-87
EFH	318	225	263	329	171	147	119	122
RH	-	249	205	219	211	187	121	94
MFH	217	190	193	229	213	146	98	77
GMH	-	169	203	191	184	139	-	-
HH	-	-	-	-	127	120	-	-

Dargestellt sind die Nutzenergiekennzahlen in kWh pro m^2 Wohnfläche und Jahr im baulichen Originalzustand, bei Standardnutzung und zentraler Beheizung.

EFH: freistehende Ein/Zwei-Familienhäuser,
RH: Reihenhäuser
MFH: Mehrfamilienhäuser bis 4 1/2 Geschosse
GMH: Mehrfamilienhäuser 5-8 Geschosse
HH: Hochhäuser über 8 Geschosse
A: Fachwerk vor 1918. B: Massivbau vor 1918
C: 1918 - 1948 D: 1949 - 1957
E: 1958 - 1968 F: 1969 - 1978
G: 1979 - 1983 H: ab 1984

Die tatsächlichen Energieverbräuche weichen von den Angaben in Tabelle 7.1.2 ab. Durch nachträgliche energetische Sanierungen wurde bei vielen Gebäuden der Standard verbessert, so daß die durchschnittlichen spezifischen Verbräuche inzwischen geringer sind als in Tabelle 7.1.2. Dies wird im folgenden Abschnitt 7.1.3 diskutiert. Außerdem entsprechen die Standardvorgaben in Bezug auf die Heizung und die Nutzung nicht den heutigen Gegebenheiten. Es ist jedoch davon auszugehen, daß sowohl dezentrale Heizsysteme als auch alte Zentralheizungen innerhalb vergleichsweise kurzer Zeit weitgehend durch moderne Zentralheizungen ersetzt werden. Die Nutzung weicht vor allem im Falle von Einzelöfen von der Standardnutzung ab, da in der Regel nicht alle Räume beheizt werden. Dies entfällt nach einer Umstellung auf Zentralheizung. Für die Bestimmung des Einflusses baulicher Maßnahmen auf den Energieverbrauch sind diese Standardvorgaben daher sinnvoll (vgl. Abschnitt 5.1.3). Für den Abgleich mit dem heutigen Gesamtenergieverbrauch sowie für die Modellrechnungen (Kap. 9) müssen die Abweichungen von den Standardvorgaben dagegen berücksichtigt werden.

7.1.3 Nachträgliche energetische Sanierungen

Während die Aufbauten der Bauteile und damit deren Wärmedurchgangswerte im ursprünglichen Zustand bei den einzelnen Haustypen recht gut bekannt sind, gibt es kaum Erhebungen über die nachträglich durchgeführten Dämmaßnahmen. Im Rahmen dieser Studie ist es nicht möglich, entsprechende Untersuchungen durchzuführen. Auf der Basis älterer Stichproben, regionalen Studien sowie Statistiken aus Beratungsaktionen soll hier eine Größenordnung abgeschätzt werden.

Die zuverlässigste Quelle ist die 1 %-Wohnungsstichprobe 1978 /StatBu 78/, in der nur der Anteil der Doppelverglasung erhoben wurde, jedoch keine anderen Dämmmaßnahmen. Das Ergebnis dieser Erhebung ist in Tabelle 7.1.3-1 wiedergegeben.

Tabelle 7.1.3-1
Anteil der Doppelverglasungen 1978

Baualter	- 1918	19 - 48	49 - 64	65 - 71	72 -	alle
Anteil der Doppel-verglasungen, gesamt	32,4 %	37,2 %	36,0 %	51,4 %	74,0 %	42,7 %
Eigentümer	35,3 %	41,9 %	45,9 %	56,6 %	78,4 %	49,8 %
Mieter	30,7 %	34,4 %	31,3 %	48,4 %	70,4 %	38,6 %
Einfamilienhäuser	31,1 %	38,3 %	43,0 %	53,7 %	75,0 %	45,0 %
Mehrfamilienhäuser	33,6 %	35,8 %	30,9 %	49,7 %	73,2 %	40,7 %

Quelle: Statistisches Bundesamt, 1 %-Wohnungsstichprobe

Bei diesen Doppelverglasungen handelte es sich zum großen Teil nicht um nachträgliche Sanierungen, sondern um alte Doppelverglasungen, die in Süddeutschland lange üblich waren, sowie um Doppel- oder Isolierverglasungen, die in den Jahren zuvor zum Teil bereits standardmäßig im Neubau eingesetzt wurden. Ein Vergleich mit der Wohnungsstichprobe 1972 zeigt, daß vor 1978 nachträglicher Einbau von Doppel- bzw. Isolierverglasungen nur in verhältnismäßig geringem Umfang durchgeführt wurde, zwischen 1,1 % (Mehrfamilienhäuser der Nachkriegszeit) und 2,5 % (Einfamilienhäuser) pro Jahr. Diese Raten haben sich nach 1978 wesentlich erhöht. Aufgrund regionaler Untersuchungen /Meyer-Renschhausen 81/, /Auerbach 88/ sowie der Statistik der gemeinnützigen Wohnungsbauunternehmen schätzen wir sie je nach Gebäudetyp auf 3 % bis 4 % pro Jahr. Das Ergebnis für 1987 ist in Tabelle 7.1.3-2 dargestellt.

Tabelle 7.1.3-2
Anteil der Doppelverglasungen 1987

Baualter	- 1918	19 - 48	49 - 60	61 - 68	69 - 77	78 - 88	alle
Einfamilienhäuser	72 %	79 %	79 %	82 %	90 %	100 %	83 %
Mehrfamilienhäuser	61 %	72 %	76 %	74 %	82 %	100 %	76 %
alle							79 %

Noch problematischer ist es, Aussagen bezüglich anderer Dämmaßnahmen zu treffen. Für den Beginn der 80er Jahre werden in einer Studie des Umweltbundesamts Angaben gemacht, jedoch ohne Quelle (UBA 1983). Zu derselben Zeit wurde eine Umfrage von Bild am Sonntag /BamS 82/ durchgeführt, die zu stark abweichenden Ergebnissen kam (vgl. Tabelle 7.1.3-3). Sie beschränkte sich auf

Einfamilienhäuser und dürfte auch für diese nicht repräsentativ sein. Der Anteil der Gebäude mit Doppelverglasungen war unter den Befragten offensichtlich zu hoch. Dies deutet darauf hin, daß insgesamt die Antwortquote bei denjenigen, die Energiesparmaßnahmen durchgeführt haben, höher war als bei denjenigen, die keine durchgeführt haben. Wir gehen davon aus, daß das Verhältnis der einzelnen Energiesparmaßnahmen untereinander in erster Näherung richtig wiedergegeben wurde. Dieser Ansatz wurde auch in einer Reihe von regionalen Studien verfolgt. Bei der Fortschreibung der damaligen Ergebnisse auf 1988 ist jedoch zu beachten, daß Isolierverglasungen in demselben Umfang weiter eingebaut wurden (dies ist seit 1984 auch durch die Wärmeschutzverordnung vorgeschrieben), daß jedoch andere Wärmeschutzmaßnahmen nur noch in sehr viel geringerem Umfang durchgeführt wurden. Dies ist zum einen auf die Verunsicherung der Verbraucher bedingt durch häufig mangelhafte Ausführung, schlechte Erfahrungen, verbunden mit unzureichenden Informationen der Architekten, Handwerker und der Hausbesitzer selbst - zurückzuführen, andererseits auf die scheinbare Energieschwemme mit dem Rückgang der Energiepreise, die Energiesparmaßnahmen überflüssig und unwirtschaftlich erscheinen läßt. So wurde in einer regionalen Untersuchung nachgewiesen, daß zwischen 1984 und 1988 praktisch keine Außenwände und nur in geringem Umfang Dächer nachträglich gedämmt wurden /Auerbach 88/. Dies wird auch mit den Statistiken über den spezifischen Heizenergieverbrauch belegt, der in den letzten Jahren nicht abgenommen hat /techem 89/.

Tabelle 7.1.3-3
Nachträgliche ausgeführte Dämmaßnahmen

Quelle	/UBA 1983/	/BamS 82/	/Prognos 81/	/Auerbach 88/
Bezugsjahr	1981?	1981	1984	1988
Bezugsgebiet	BRD	BRD, EFH	Bad-Württ.	Region
Fenster	50 %	79 %	70 %	77 %
Dach	20 %	52 %		20 %
Wand	15 %	18 %	30 %	33 %
Erdreich/ Keller	k.A.	k.A.		k.A.

7.1.4 Aufteilung des Energieverbrauchs auf den Gebäudebestand

Die spezifischen Energieeinsparungen, die sich durch die Ausführung einer oder mehrerer der genannten Maßnahmen ergeben, wurden für die einzelnen Repräsentanten in Kapitel 5 berechnet (Maßnahmenkette TREND). Aus dem Umfang, in dem die jeweiligen Maßnahmen durchgeführt wurden, ergeben sich nun die durchschnittlichen Energiekennzahlen für die Gebäudetypen. Diese sind in Tabelle 7.1.4-1 wiedergegeben und in Abbildung 7.1.4-1 graphisch dargestellt.

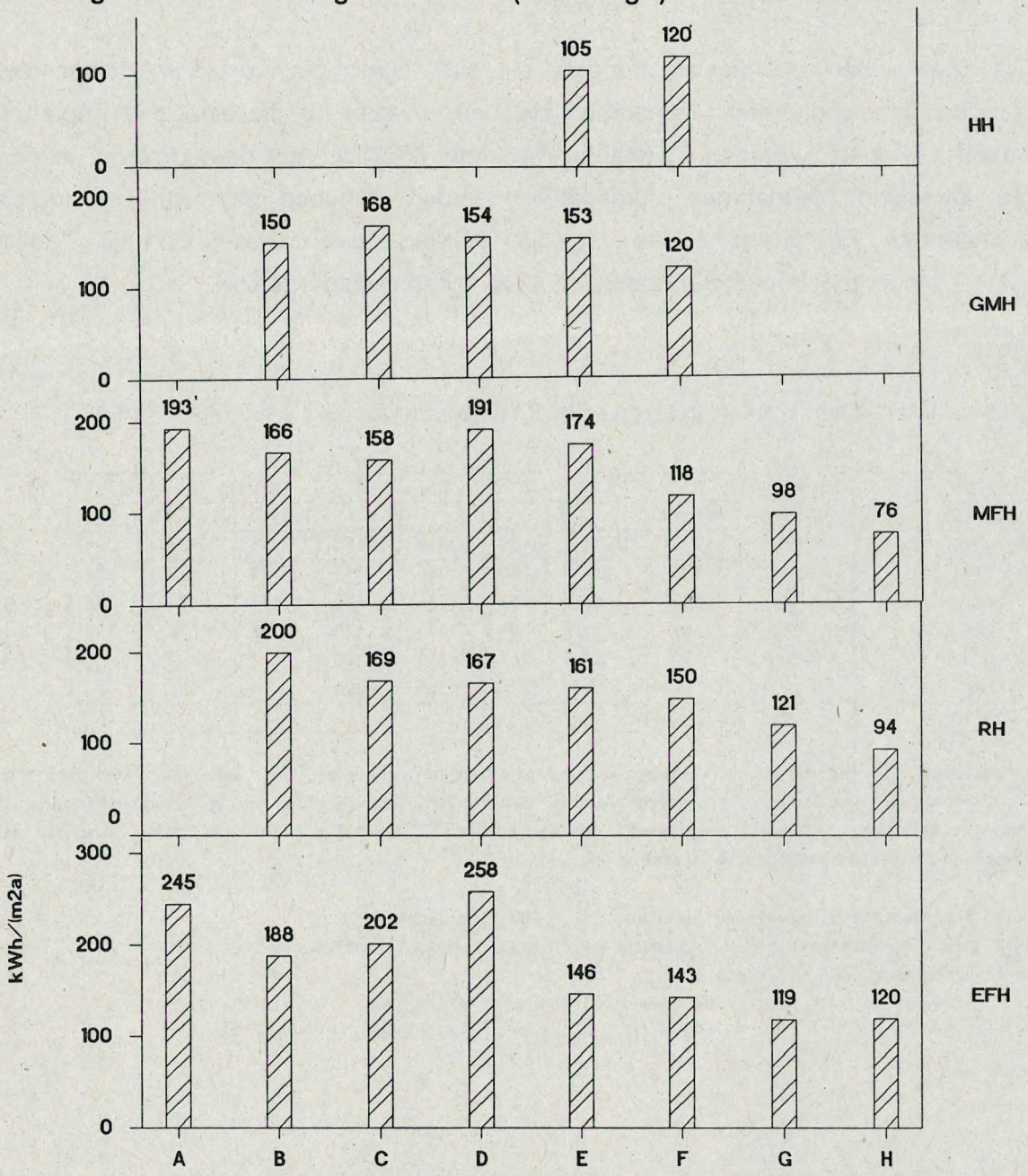
Tabelle 7.1.4-1
Mittlere Energiekennzahlen (Nutzenergie) im Gebäudebestand 1987 (kWh/(m^2a))

Haustyp	A	B	C	D	E	F	G	H	alle
Charakter	Fachwerk	Massiv					I.WSVO	II.WSVO	
Baualter	-1918	-1918	19-48	49-57	58-68	69-78	79-83	84-87	
EFH	245	188	202	258	146	143	119	120	174
RH	-	200	169	167	161	150	121	94	156
MFH	193	166	158	191	174	118	98	76	155
GMH	-	150	168	154	153	120	-	-	136
HH	-	-	-	-	105	120	-	-	
alle									162

Dargestellt sind die durchschnittlichen Nutzenergiekennzahlen in kWh pro m^2 Wohnfläche und Jahr unter Berücksichtigung nachträglicher energetischer Sanierungen. Unterstellt wurden Standardnutzung und zentrale Beheizung (Standard-Heizsystem). In der letzten Zeile und der letzten Spalte sind die nach Wohnflächenanteilen gewichteten Mittel wiedergegeben.

EFH: freistehende Ein/Zwei-Familienhäuser, RH: Reihenhäuser,
MFH: Mehrfamilienhäuser bis 4 1/2 Geschosse, GMH: Mehrfamilienhäuser 5-8 Geschosse,
HH: Hochhäuser über 8 Geschosse,
A: Fachwerk vor 1918. B: Massivbau vor 1918 C: 1918 - 1948 D: 1949 - 1957
E: 1958 - 1968 F: 1969 - 1978 G: 1979 - 1983 H: ab 1984

Abbildung 7.1.4: Mittlere Energiekennzahlen (Nutzenergie) im Gebäudebestand 1987



Dargestellt sind die durchschnittlichen Nutzenergiekennzahlen in kWh pro m^2 Wohnfläche und Jahr unter Berücksichtigung nachträglicher energetischer Sanierungen. Unterstellt wurden Standardnutzung und zentrale Beheizung (Standard-Heizsystem). In der letzten Zeile und der letzten Spalte sind die nach Wohnflächenanteilen gewichteten Mittel wiedergegeben.

EFH: freistehende Ein/Zwei-Familienhäuser, RH: Reihenhäuser,
MFH: Mehrfamilienhäuser bis 4 1/2 Geschosse, GMH: Mehrfamilienhäuser 5-8 Geschosse,
HH: Hochhäuser über 8 Geschosse,
A: Fachwerk vor 1918. B: Massivbau vor 1918 C: 1918 - 1948 D: 1949 - 1957
E: 1958 - 1968 F: 1969 - 1978 G: 1979 - 1983 H: ab 1984

Aus diesen Energiekennzahlen und der Aufteilung des Gebäudebestands auf die Haustypen aus Abschnitt 7.1.1 ergibt sich die Aufteilung des Energieverbrauches für die Raumheizung. Dieser ist in Tabelle 7.1.4-2 dargestellt.

Tabelle 7.1.4-2
Anteile der Gebäudetypen am gesamten Heizenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland 1987

Haustyp	A	B	C	D	E	F	G	H	Summe
Charakter	Fachwerk	Massiv					I.WSVO	II.WSVO	
Baualter	-1918	-1918	19-48	49-56	57-68	69-77	78-83	84-87	
EFH	4,4 %	6,4 %	6,4 %	9,1 %	8,1 %	7,4 %	3,2 %	1,9 %	47,0 %
RH	-	1,7 %	2,3 %	2,0 %	3,0 %	3,8 %	1,2 %	0,4 %	14,4 %
MFH	1,8 %	5,5 %	3,6 %	6,6 %	7,5 %	4,3 %	1,1 %	0,8 %	31,1 %
GMH	-	0,5 %	0,7 %	0,8 %	2,2 %	2,1 %	-	-	7,5 %
HH	-	-	-	-	0,5 %	0,6 %	-	-	
Summe	6,2 %	14,1 %	13,0 %	18,5 %	21,3 %	18,3 %	5,5 %	3,1 %	100,0 %

7.2 Zielwerte für Energiekennzahlen im Gebäudebestand

In Kap. 5 wurden für die Repräsentanten der Gebäudetypen technisch und langfristig wirtschaftlich sinnvolle Maßnahmen ausgewählt und die Höhe der Einsparungen berechnet (Maßnahmenkette SPAR). Wenn alle in Kap. 5 vorgeschlagenen Maßnahmen ohne Rücksicht auf deren Wirtschaftlichkeit durchgeführt würden, so ließe sich dadurch ein technisches Einsparpotential von über 70 % realisieren. Die verbleibenden spezifischen Energieverbräuche für die einzelnen Gebäudetypen sind in Tabelle 7.2-1 dargestellt. Wie aus Tabelle 7.2.-1 erkennbar ist, ließe sich jeder Gebäudetyp durch das gesamte jeweils untersuchte Maßnahmenpaket auf den Standard eines Niedrigenergie-Neubaus bringen.

Tabelle 7.2-1

Zielwerte für Energiekennzahlen in kWh/(m^2a)

Technische Potentiale ohne Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeit und Restriktionen (Außenansicht und/oder Denkmalschutz)

Haustyp	A	B	C	D	E	F	G	H	alle
Charakter	Fachwerk	Massiv					I.WSVO	II.WSVO	
Baualter	-1918	-1918	19-48	49-57	58-68	69-78	79-83	84-87	
EFH	51	47	56	61	53	55	42	47	52
RH	-	53	41	54	40	52	46	39	47
MFH	51	60	42	53	37	33	38	31	43
GMH	-	56	41	47	35	31	-	-	41
HH	-	-	-	-	33	76	-	-	
Durchschnitt									48

Dargestellt sind die (Nutz-)Energiekennzahlen in kWh pro m^2 Wohnfläche und Jahr bei Standardnutzung und einer neuen Öl- bzw. Gas-Zentralheizung, die nach Ausführung aller in Kapitel 5 beschriebenen (SPAR)-Maßnahmen erreichbar wären.

EFH: freistehende Ein/Zwei-Familienhäuser, RH: Reihenhäuser,
MFH: Mehrfamilienhäuser bis 4 1/2 Geschosse, GMH: Mehrfamilienhäuser 5-8 Geschosse,
HH: Hochhäuser über 8 Geschosse,
A: Fachwerk vor 1918. B: Massivbau vor 1918 C: 1918 - 1948 D: 1949 - 1957
E: 1958 - 1968 F: 1969 - 1978 G: 1979 - 1983 H: ab 1984

Ob die Durchführung aller dieser Maßnahmen sinnvoll ist, hängt jedoch davon ab, ob diese Maßnahmen wirtschaftlich vertretbar sind und mit anderen Anliegen (Denkmalschutz, Fassadenerhaltung) verträglich sind.

Zu einer differenzierteren Betrachtungsweise gelangten wir durch folgendes Vorgehen:

- Es werden nur Maßnahmen durchgeführt, die das **architektonische Erscheinungsbild** nicht beeinträchtigen und somit auch den Anforderungen des **Denkmalschutzes** gerecht werden können. Bei allen Gebäuden mit Sichtfassaden (die in fast allen Gebäudeklassen vorkommen) wird statt einer Außendämmung der Fassade eine Innendämmung durchgeführt. In den ältesten Baualtersklassen (vor 1918) wird bei 20 % der Gebäude gar keine Außenwanddämmung durchgeführt (weder außen noch innen).

- Es werden für jeden Gebäudetyp jeweils nur die Maßnahmen berücksichtigt, die **wirtschaftlich** sind.

Eine Maßnahme ist **wirtschaftlich**, wenn der "Preis für die **eingesparte Kilowattstunde Energie**", der in Kap 5 gebäudetypenspezifisch ermittelt wurde, geringer ist als der zukünftige (über die Nutzungsdauer der Maßnahme) gemittelte Endenergiepreis. Letzterer hängt vom Tagesenergiepreis zum Ausführungszeitpunkt sowie von der erwarteten Energiepreisentwicklung ab. Daher wurde das wirtschaftliche Einsparpotential jeweils für unterschiedliche zukünftige Energiepreise für alle Gebäudetypen ermittelt.

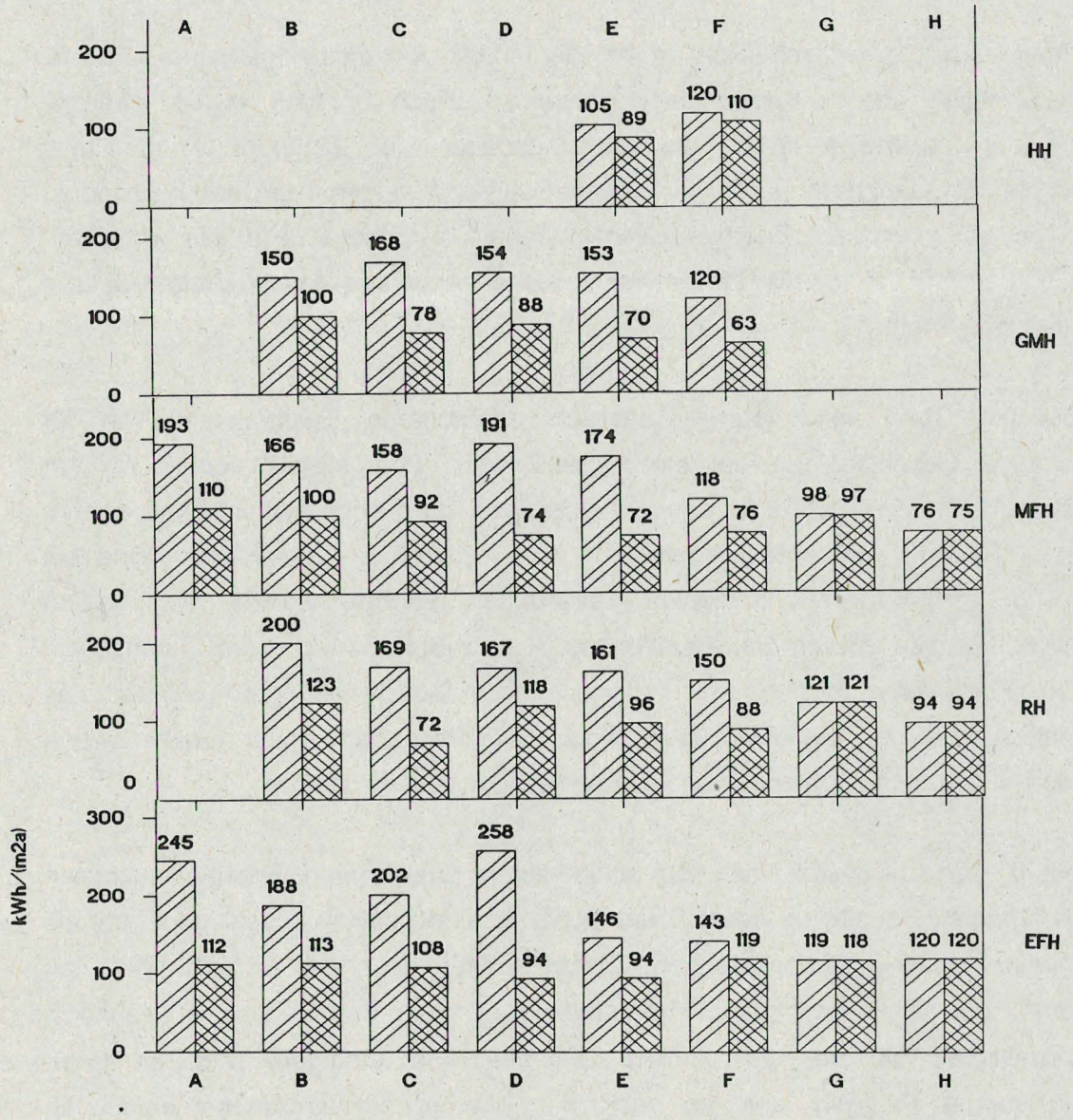
In Abbildung 7.2-1 sind die wirtschaftlich erreichbaren Energiekennzahlen für verschiedene Gebäudetypen bei einem zukünftigen Energiepreis von 8 Pf/kWh dargestellt. Zum Vergleich sind auch die heutigen durchschnittlichen Energiekennzahlen (aus Abb. 7.1.4) wiedergegeben. In den mittleren Baualtersklassen sind bei diesem Energiepreis die niedrigsten spezifischen Verbrauchswerte wirtschaftlich erreichbar. Bei den älteren Baualtersklassen A und B lassen sich im Durchschnitt nicht so gute Werte erzielen, weil in vielen Fällen Einschränkungen aufgrund des Denkmalschutzes zu berücksichtigen sind. Bei Gebäuden ohne erhaltenswerte Fassaden sind jedoch auch hier geringere Energiekennzahlen erzielbar.

Interessant sind die vergleichsweise schlechteren erreichbaren Energiekennzahlen bei den jüngeren Baualtersklassen: Diese Gebäude sind deutlich besser gedämmt als die älteren. Weitere Verbesserungen bringen daher geringere Einsparungen bei gleichen Kosten. Dieselben Maßnahmen sind bei den jüngeren Gebäuden wesentlich unwirtschaftlicher als bei den älteren. Bei einem (zukünftigen) mittleren Energiepreis von 8 Pf./kWh sind an nach der Wärmeschutzverordnung errichteten Gebäuden kaum Einsparungen zu erzielen.

Dieser Effekt zeigt deutlich, daß Dämmaßnahmen von Anfang an optimal ausgeführt werden müssen. Bereits suboptimal ausgeführte Dämmaßnahmen sind ein Hemmnis für das Erreichen besserer Standards.

Abbildung 7.2.1

Wirtschaftlich erreichbare Energiekennzahlen (Nutzenergie) bei 8 Pf./kWh



EFH: freistehende Ein/Zwei-Familienhäuser, RH: Reihenhäuser,
MFH: Mehrfamilienhäuser bis 4 1/2 Geschosse, GMH: Mehrfamilienhäuser 5-8 Geschosse,
HH: Hochhäuser über 8 Geschosse,

A: Fachwerk vor 1918 B: Massivbau vor 1918 C: 1919-1948 D: 1949-1957
E: 1958-1968 F: 1969-1978 G: 1979-1983 H: ab 1984

Dargestellt sind für alle Gebäudetypen die heutigen durchschnittlichen Energiekennzahlen sowie die (wirtschaftlich) erreichbaren Energiekennzahlen nach Durchführung der für den jeweiligen Gebäudetyp empfohlenen Maßnahmen, die bei einem mittleren zukünftigen Energiepreis von 8 Pf/kWh wirtschaftlich sind.

Noch weitergehende **"Zielwerte"** für gebäudetypenspezifische Energiekennzahlen wurden für einen mittleren zukünftigen Energiepreis von 13 Pf./kWh ermittelt. Dieser Preis ist für Heizstrom schon heute erreicht. Für Brennstoffe entspricht dieser Preis dem für Investitionen zwischen 1990 und 1995 anzusetzenden mittleren zukünftigen Energiepreis für das Sparszenario der Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre".

Diese Zielwerte sind zusammenfassend in Tabelle 7.2-2 wiedergegeben. In der letzten Zeile und der letzten Spalte stehen jeweils die nach Wohnflächenanteilen gewichteten Mittel.

Tabelle 7.2-2
Zielwerte für Energiekennzahlen (Nutzenergie) in kWh/(m^2a)

Haustyp	A	B	C	D	E	F	G	H	alle
Charakter	Fachwerk	Massiv					I.WSVO	II.WSVO	
Baualter	-1918	-1918	19-48	49-57	58-68	69-78	79-83	84-87	
EFH	96	99	80	83	73	109	80	100	89
RH	-	98	60	76	84	73	101	74	79
MFH	98	90	62	74	57	50	65	46	66
GMH	-	88	66	68	55	48	-	-	62
HH	-	-	-	-	52	102	-	-	
alle									78

Dargestellt sind die Zielwerte für Energiekennzahlen in kWh Nutzenergie pro m^2 Wohnfläche und Jahr nach Durchführung der für den jeweiligen Gebäudetyp empfohlenen Maßnahmen (Kap. 5) bis zu 13 Pf./kWh. Unterstellt sind Standardnutzung und zentrale Beheizung. In der letzten Zeile und der letzten Spalte sind die nach Wohnflächenanteilen gewichteten Mittel wiedergegeben.

EFH: freistehende Ein/Zwei-Familienhäuser,
RH: Reihenhäuser
MFH: Mehrfamilienhäuser bis 4 1/2 Geschosse
GMH: Mehrfamilienhäuser 5-8 Geschosse
HH: Hochhäuser über 8 Geschosse
A: Fachwerk vor 1918. B: Massivbau vor 1918
C: 1918 - 1948 D: 1949 - 1957
E: 1958 - 1968 F: 1969 - 1978
G: 1979 - 1983 H: ab 1984

Zusammenfassend sind in Abbildung 7.2-2 für alle Haustypen gezeigt:

- der mittlere spezifische Nutzenergieverbrauch 1987 (IST)

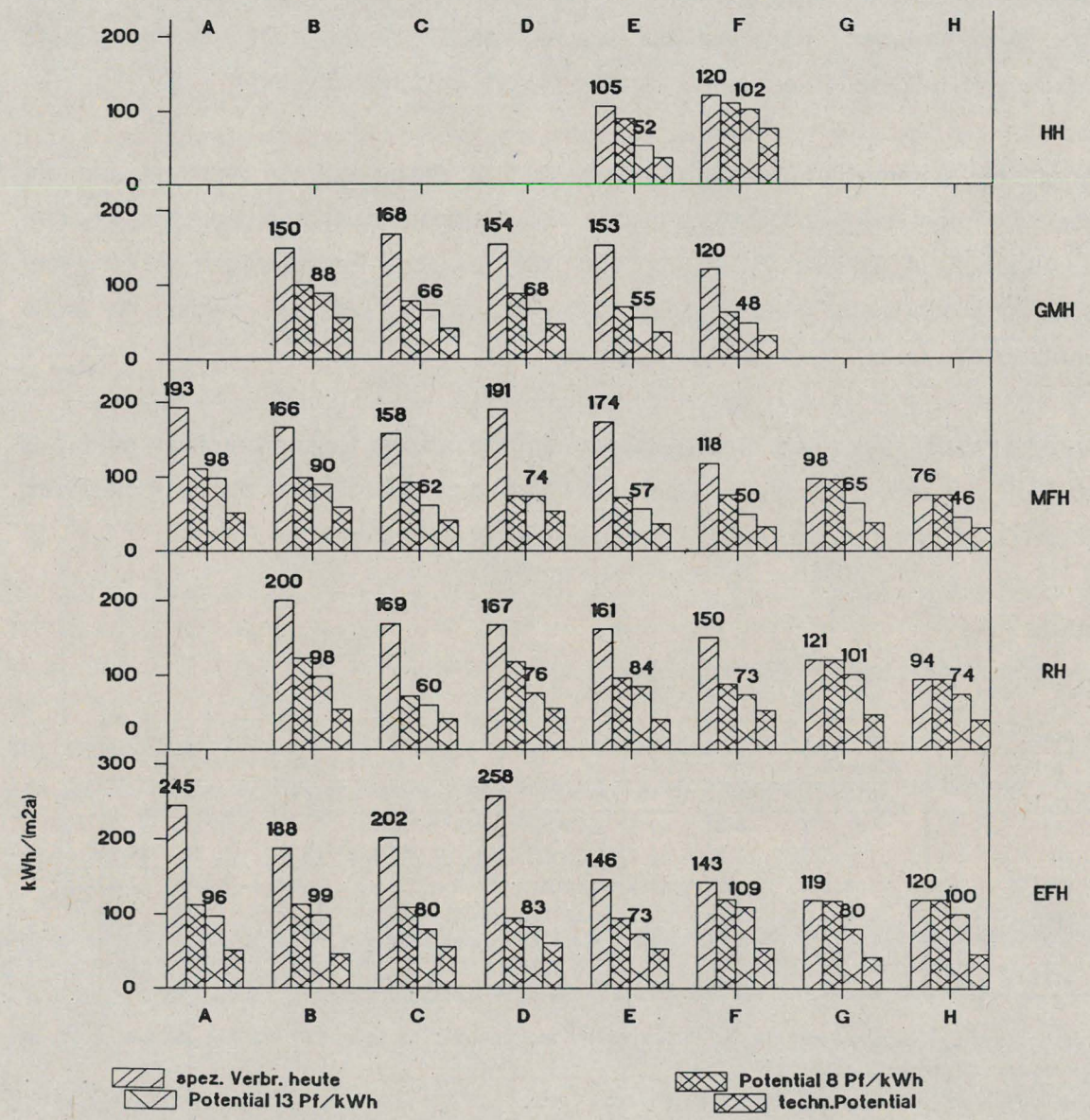
- der durchschnittliche spezifische Nutzenergieverbrauch, der sich nach Durchführung aller für den jeweiligen Gebäudetyp vorgeschlagenen Maßnahmen ergibt, die
  - mit den Anforderungen an den Denkmalschutz und an die Außenansicht verträglich sind,
  - bei einem mittleren zukünftigen Energiepreis von 8 Pf/kWh wirtschaftlich sind,

- der durchschnittliche spezifische Nutzenergieverbrauch, der sich nach Durchführung aller für den jeweiligen Gebäudetyp vorgeschlagenen Maßnahmen ergibt, die
  - mit den Anforderungen an den Denkmalschutz und an die Außenansicht verträglich sind,
  - bei einem mittleren zukünftigen Energiepreis von 13 Pf/kWh wirtschaftlich sind (Zielwert),

- der durchschnittliche spezifische Nutzenergieverbrauch, der sich nach Durchführung aller für den jeweiligen Gebäudetyp vorgeschlagenen Maßnahmen ergibt (Technisches Potential).

Abbildung 7.2-2

Energiekennzahlen (Nutzenergie für Heizung) sowie die wirtschaftlich und technisch erreichbaren Werte für alle Gebäudetypen (Stand 1987)



Für alle Gebäudeklassen sind dargestellt:

- der mittlere spezifische Nutzenergieverbrauch 1987 (IST)
- der im Mittel wirtschaftlich erreichbare spezifische Nutzenergieverbrauch bei einem mittleren zukünftigen Energiepreis von 8 Pf/kWh
- der im Mittel wirtschaftlich erreichbare spezifische Nutzenergieverbrauch bei einem mittleren zukünftigen Energiepreis von 13 Pf/kWh
- der im Mittel durch die hier dargestellten technischen Maßnahmen erreichbare spezifische Nutzenergieverbrauch - ohne Berücksichtigung von Anforderungen des Denkmalschutzes bzw. der Außenansicht.

7.3 Einsparpotentiale

Aus den heutigen durchschnittlichen Energiekennzahlen und den Zielwerten ergeben sich die Einsparpotentiale für die Gebäudetypen. Diese sind in Tabelle 7.3-1 wiedergegeben. Berücksichtigt wurden dabei Maßnahmen, die bei einem zukünftigeren mittleren Energiepreis von 13 Pf./kWh wirtschaftlich sind.

Obwohl die unterstellten Standardbedingungen in Bezug auf die Nutzung und die Beheizung nicht bei allen Gebäudetypen der heutigen Realität entsprechen, geben die Angaben in Tabelle 7.3-1 recht gut die relativen Einsparungen durch technische und langfristig wirtschaftliche Maßnahmen am Gebäude wieder, da diese Rahmenbedingungen nicht verändert wurden.

Die Anteile der einzelnen Gebäudetypen am gesamten Einsparpotential geht aus Tabelle 7.4-3 hervor. Diese ergeben sich aus den spezifischen Einsparpotentialen bei den Gebäudetypen und deren Anteilen am Gebäudebestand.

Tabelle 7.3-1
Einsparpotentiale bei den Gebäudetypen

Haustyp	A	B	C	D	E	F	G	H	alle
Charakter	Fachwerk	Massiv					I.WSVO	II.WSVO	
Baualter	-1918	-1918	19-48	49-57	58-68	69-78	79-83	84-87	
EFH	61 %	48 %	60 %	68 %	50 %	23 %	32 %	16 %	49 %
RH	-	51 %	65 %	55 %	48 %	51 %	16 %	21 %	49 %
MFH	49 %	46 %	61 %	61 %	67 %	58 %	34 %	39 %	57 %
GMH	-	41 %	61 %	56 %	64 %	60 %	-	-	55 %
HH	-	-	-	-	50 %	15 %	-	-	
alle									52 %

Wirtschaftliche Einsparpotentiale durch Maßnahmen am Gebäude, bezogen auf heutige durchschnittliche Energiekennzahlen gemäß Tabelle 7.1.4-1.
Berücksichtigt sind Maßnahmen bis zu 13 Pf./kWh

Tabelle 7.3-2

Anteile der Gebäudetypen am gesamten Einsparpotential durch bauliche Maßnahmen im Gebäudebestand der Bundesrepublik Deutschland

Haustyp	A	B	C	D	E	F	G	H	Summe
Charakter	Fachwerk	Massiv					I.WSVO	II.WSVO	
Baualter	-1918	-1918	19-48	49-56	57-68	69-77	78-83	84-87	
EFH	5,2 %	5,8 %	7,4 %	11,9 %	7,8 %	3,3 %	2,0 %	0,6 %	44,1 %
RH	-	1,7 %	2,9 %	2,1 %	2,8 %	3,8 %	0,4 %	0,2 %	13,7 %
MFH	1,7 %	4,8 %	4,2 %	7,8 %	9,8 %	4,8 %	0,7 %	0,6 %	34,3 %
GMH	-	0,4 %	0,9 %	0,9 %	2,7 %	2,5 %	-	-	7,9 %
HH	-	-	-	-	0,4 %	0,2 %	-	-	
Summe	6,9 %	12,7 %	15,4 %	22,7 %	23,5 %	14,5 %	3,1 %	1,3 %	100,0 %

Die Tabelle gibt wieder, wie sich das gesamte (bei einem zukünftigen mittleren Energiepreis von 13 Pf/kWh) wirtschaftliche Einsparpotential auf die Gebäudetypen verteilt.

EFH: freistehende Ein/Zwei-Familienhäuser,
RH: Reihenhäuser
MFH: Mehrfamilienhäuser bis 4 1/2 Geschosse
GMH: Mehrfamilienhäuser 5-8 Geschosse
HH: Hochhäuser über 8 Geschosse

A: Fachwerk vor 1918. B: Massivbau vor 1918
C: 1918 - 1948 D: 1949 - 1957
E: 1958 - 1968 F: 1969 - 1978
G: 1979 - 1983 H: ab 1984

7.4 Gesamte Einsparpotentiale

Mittels der Gebäudestatistik (Tabelle 7.1.1-2) können die gebäudetypenweise ermittelten Einsparpotentiale hochgerechnet werden auf den gesamten Gebäudebestand.

Das technische Einsparpotential beträgt dabei über 70 %, das wirtschaftliche Einsparpotential 52 % (vgl. Abschnitt 7.3).

Die nachgewiesenen technischen und wirtschaftlichen Einsparpotentiale sind nur über einen langen Zeitraum realisierbar. Denn Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit ist in den meisten Fällen, daß die Energiesparmaßnahmen gekoppelt werden mit anderen Maßnahmen bzw. Sanierungen der Bauteile (vgl. 4.1). Daher kann erst mit entsprechenden Modellrechnungen eine Hochrechnung für einen bestimmten Zeithorizont durchgeführt werden (vgl. Kap. 8).

Für eine zügige Umsetzung der Einsparpotentiale ist es daher von entscheidender Bedeutung, daß zum Zeitpunkt einer Sanierung stets auch die zugehörigen Energiesparmaßnahmen durchgeführt werden, und zwar in ausreichendem Umfang. Andernfalls kann auf lange Sicht der Zielwert für die Energiekennzahl nicht mehr wirtschaftlich vertretbar erreicht werden. Auch suboptimal durchgeführte Energiesparmaßnahmen (z. B. mit geringer Dämmstoffstärke) verzögern das Erreichen des Zielzustands - bis zum Ende der Nutzungsdauer des jeweiligen Systems.

Für die Realisierung der Einsparungen spielt die Wirtschaftlichkeit eine wichtige Rolle. In Kapitel 5 wurde für alle Maßnahmen auch deren Wirtschaftlichkeit berechnet, jeweils bezogen auf das konkrete Gebäude. Der berechnete Wert ist der Preis, den eine kWh während der Nutzungsdauer eingesparter Energie kostet. Die "Kosten für die Einsparenergie" sind ein gutes Maß für die Rentabilität einer Maßnahme. Eine Maßnahme ist wirtschaftlich, wenn die eingesparte Kilowattstunde nicht mehr kostet als der über die Nutzungsdauer gemittelte Preis für eine gelieferte Kilowattstunde. Je geringer die Kosten für die Einsparenergie, desto niedriger der (zukünftige) Energiepreis, bei dem sich die Maßnahme noch lohnt.

Es ist daher sinnvoll, die Einsparpotentiale nach ihrer Wirtschaftlichkeit zu klassifizieren. In Abbildung 7.4-1 ist das **wirtschaftliche Einsparpotential in Abhängigkeit von den Kosten** (pro eingesparter kWh) aufgetragen. Die zugehörigen Investitionskosten sind in Abb. 7.4-2 wiedergegeben.

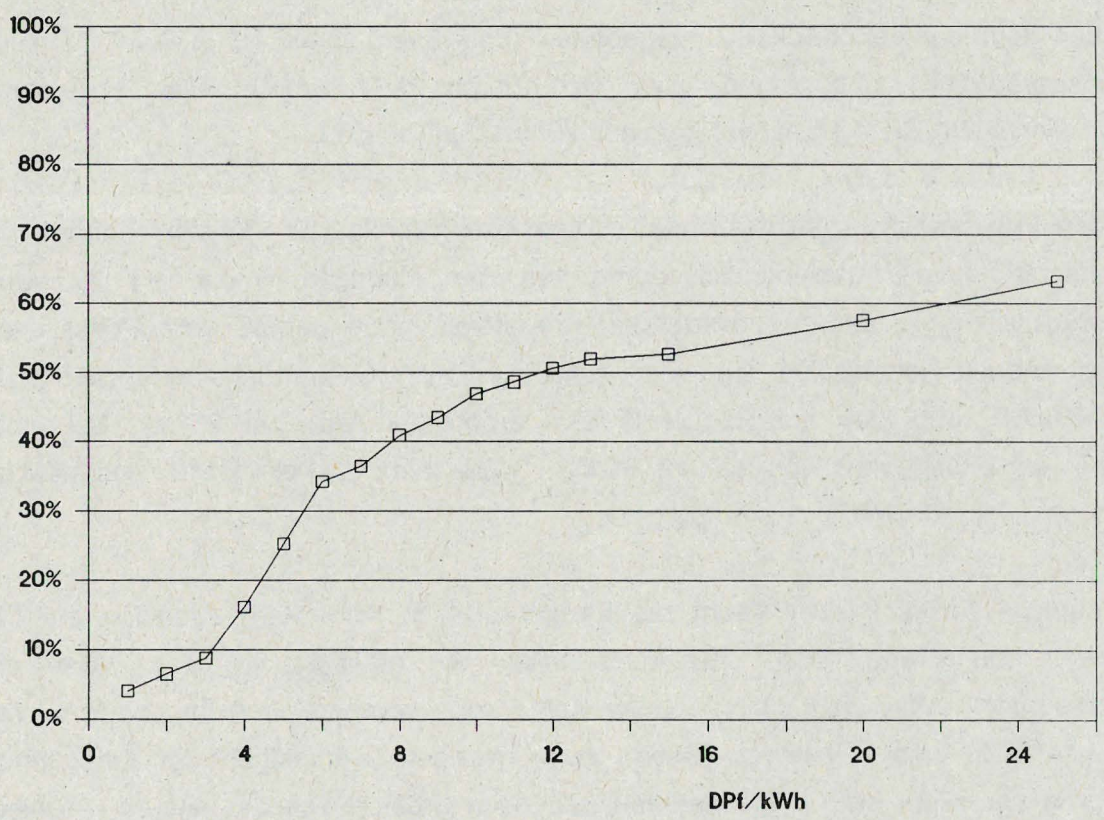
Über dem auf der x-Achse angegebenen (End-)Energiepreis ist in Abb. 7.4-1 das Einsparpotential aufgetragen, das sich durch die Summe aller Maßnahmen realisieren läßt, die bei diesem Energiepreis wirtschaftlich sind.

Beim gegenwärtig anzusetzenden Tages-Energiepreis für Heizöl beträgt das wirtschaftliche Einsparpotential durch bauliche Maßnahmen ca. 17 %. Unter Berücksichtigung der zu erwartenden Preissteigerungen gemäß dem Preisszenario der Enquete-Kommission liegt der zukünftige mittlere Brennstoffpreis bereits bei 6 Pf/kWh, und das entsprechende Einsparpotential liegt bei 35 %. Bei einem höheren Energiepreis von ca. 13 Pf/kWh wäre mehr als die Hälfte des heutigen Verbrauchs wirtschaftlich einzusparen.

Oberhalb dieses Preises flacht die Einsparkurve in Abb. 7.4-1 merklich ab. Dies hat seinen Grund darin, daß Maßnahmen, die praktisch in allen Fällen eine schlechtere Wirtschaftlichkeit aufweisen, von vornherein nicht berücksichtigt wurden. Zu einem weiteren - wenn auch geringen - Ansteigen der Einsparkurve führen vor allem solche Maßnahmen, die beim größten Teil der älteren - schlecht gedämmten - Bausubstanz sehr wirtschaftlich sind, bei Neubauten mit deutlich besserem Wärmeschutzstandard dagegen zu geringeren Einsparungen und damit schlechterer Wirtschaftlichkeit führen.

Die Einsparkurve 7.4-1 spiegelt statisch die Bedingungen von 1987 wieder. Durch den technischen Fortschritt werden in Zukunft weitere Systeme entwickelt werden und zur Marktreife gelangen (vgl. Kap. 12). Es ist also zu erwarten, daß sich die Einsparkurve im Laufe der Zeit zu höheren Einsparungen hin verschiebt.

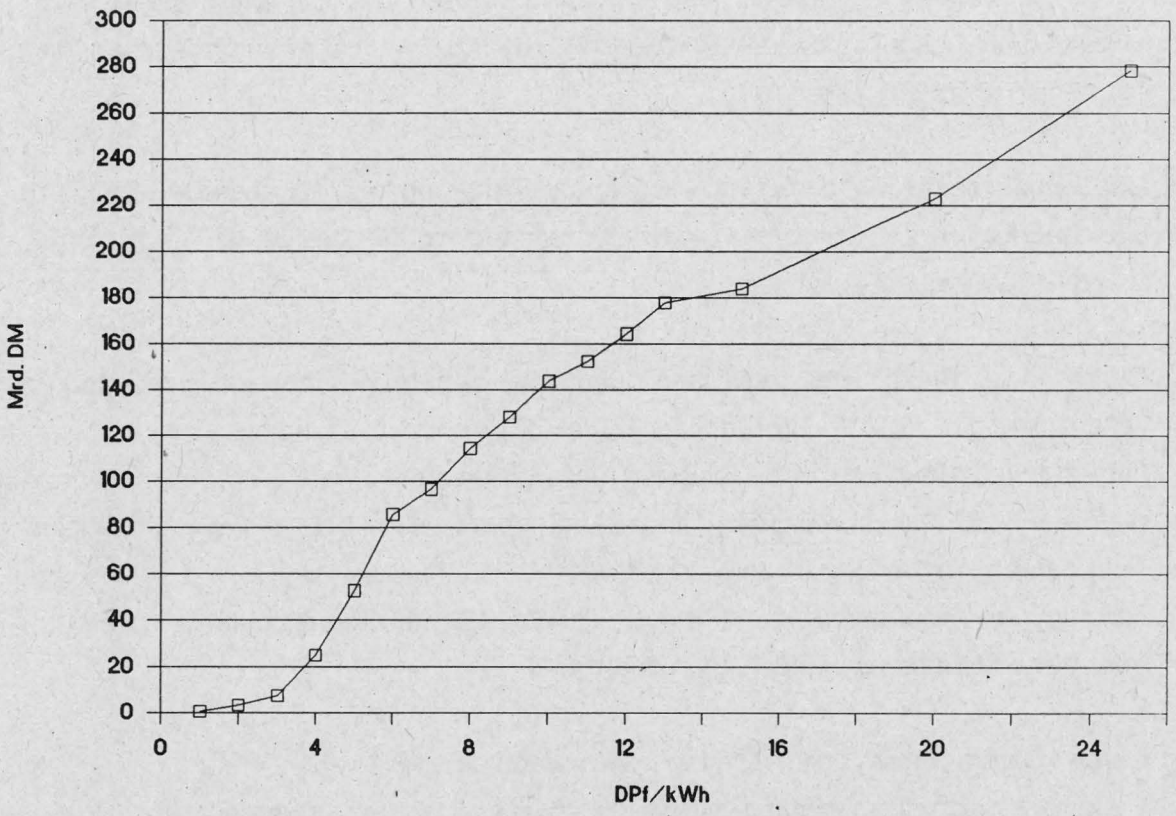
Abbildung 7.4-1
Wirtschaftliches Einsparpotential durch bauliche Maßnahmen in Abhängigkeit vom Energiepreis



x-Achse: Mittlerer zukünftiger Energiepreis in Pf/kWh Endenergie
y-Achse: Einsparpotential in % des Nutzenergieverbrauchs für Raumwärme 1987
Über dem angegebenen Energiepreis ist jeweils das Einsparpotential aufgetragen, das sich durch Maßnahmen realisieren läßt, die bei diesem Energiepreis wirtschaftlich sind.

Zur Realisierung der Einsparpotentiale müssen Investitionen getätigt werden. Das gesamte Investitionsvolumen, das zur Erschließung des gesamten wirtschaftlichen Potentials benötigt wird, ist - ebenfalls in Abhängigkeit vom zukünftigen Energiepreis - in Abbildung 7.4-2 aufgetragen.
Auch hier handelt es sich nur um die Mehrkosten gegenüber der normalen Renovierung. Durch die damit verbundene Kopplung an die Erneuerungszyklen verteilen sich die zunächst hoch erscheinden Investitionskosten auf einen langen Zeitraum (vgl. Kap. 8).

Abbildung 7.4-2
Investitionskosten



Dargestellt sind die Investitionskosten für den gesamten Gebäudebestand, die entstehen, wenn alle beim auf der x-Achse angegebenen (zukünftigen) Energiepreis wirtschaftlichen Maßnahmen durchgeführt werden. Berücksichtigt sind nur die Mehrkosten gegenüber der normalen Erneuerung.

Aus Abbildung 7.4-3 geht hervor, wie sich das Einsparpotential auf verschiedene Maßnahmengruppen verteilt:

- Das höchste Einsparpotential kann durch Maßnahmen an den Außenwänden realisiert werden. Diese Maßnahmen werden zum großen Teil im Bereich von 4 - 6 Pf/kWh wirtschaftlich.

  70 TWh Nutzenergie pro Jahr ließen sich demnach bei einem bereits heute zu erwartenden mittleren zukünftigen Energiepreis von 6 Pf/kWh allein durch wirtschaftliche Maßnahmen an der Außenwand einsparen. Dabei wurden die möglichen Restriktionen (Denkmalschutz, Fassadenerhaltung, vgl. 7.2) bereits beachtet, sonst wären die Einsparpotentiale noch wesentlich höher.

Eine auf zügige Umsetzung der Einsparpotentiale bedachte Strategie muß daher vor allem im Bereich der Außenwände Hemmnisse abbauen, auf die i. d. R. gute Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahmen hinweisen und die Entwicklung einer Vielfalt von Lösungsmöglichkeiten fördern, die den individuellen Wünschen der Eigentümer entgegenkommt.

- Das zweithöchste Einsparpotential ist durch Dämmung der Dächer bzw. obersten Geschoßdecken zu realisieren. Diese Maßnahmen werden größtenteils zwischen 2 und 8 Pf/kWh wirtschaftlich.

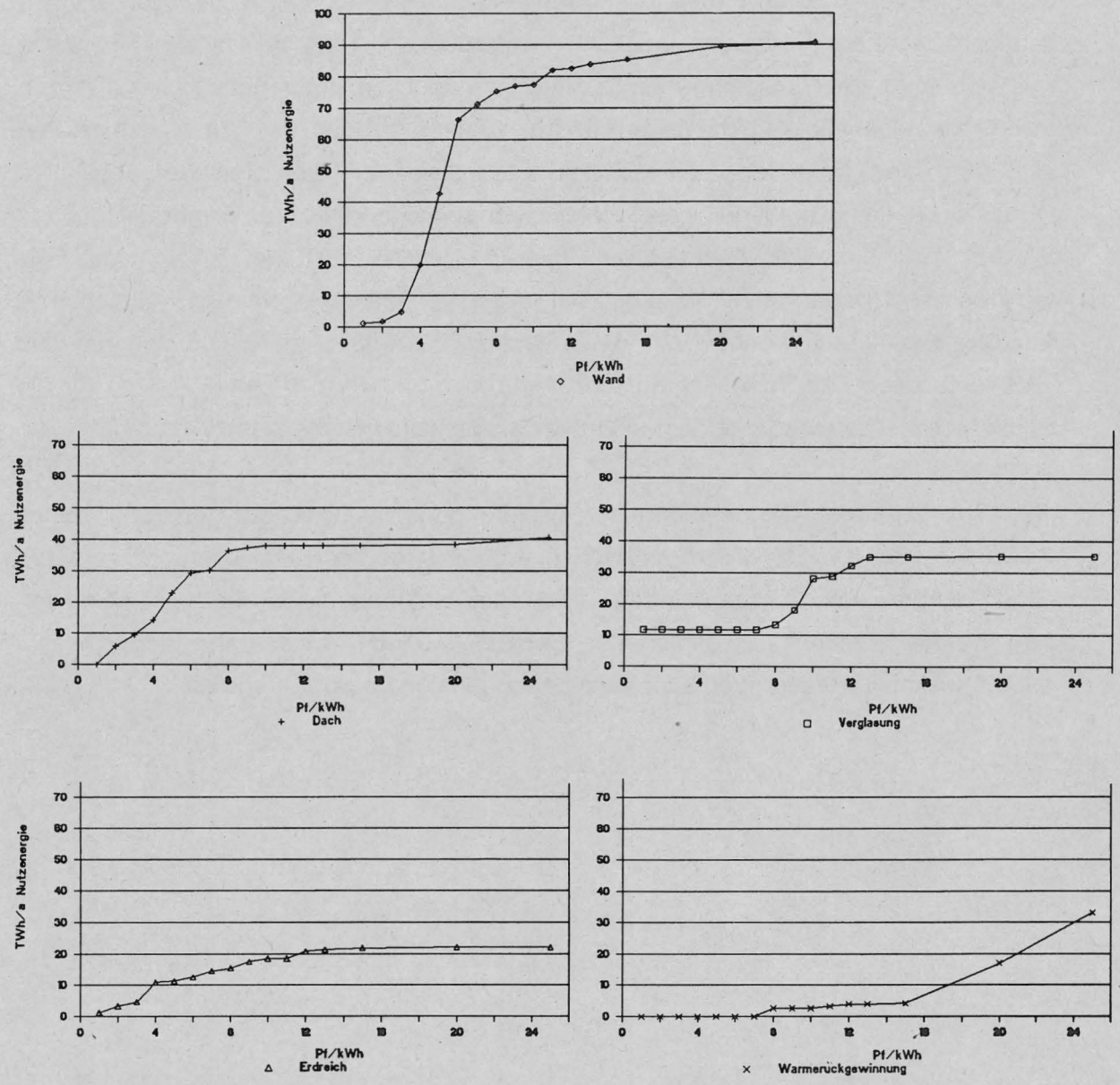
- Durch den Ersatz der restlichen Einfachverglasung durch Isolierverglasung ließen sich ca. 12 TWh pro Jahr einsparen. Ein doppelt so hohes Einsparpotential kann jedoch durch den Übergang von Isolierverglasung zu Wärmeschutzverglasung erschlossen werden. Diese Maßnahme wird bei einem zukünftigen Energiepreis zwischen 8 und 12 Pf/kWh wirtschaftlich. Um sie betriebswirtschaftlich rentabel zu machen, müßte der Energiepreis deutlich erhöht werden, oder diese Maßnahme wäre entsprechend zu fördern.

- Durch Dämmungen des beheizten Wohnraumes gegen den Keller oder das Erdreich können Einsparungen von etwa 20 TWh pro Jahr erzielt werden.

- Überhöhter Luftwechsel kann z. T. durch Abdichtmaßnahmen an Fenstern und Leichtbauteilen reduziert werden. Der Einbau einer Wärmerückgewinnungsanlage wird in der Regel erst bei einem Energiepreis oberhalb von 14 Pf/kWh wirtschaftlich.

Abbildung 7.4-3

Einsparpotential nach Bauteilen im Gebäudebestand



Über dem auf der x-Achse angegebenen Energiepreis (Pf/kWh Endenergie) ist das gesamte Einsparpotential (Nutzenergie) aufgetragen, das sich durch Maßnahmen an

◇ Außenwänden (Außen-, Innen- oder Kerndämmung)

\+ Dächern (Dämmung des Daches oder der obersten Geschoßdecke)

□ Fenstern (Verglasungen)

△ Bauteilen, die Erdreich oder Keller berühren

x Luftwechsel (Abdichtung und Wärmerückgewinnung)

realisieren läßt.

Neben den technischen Einsparpotentialen wurden in Kap. 5 auch die Einsparpotentiale durch Absenkung der Raumtemperatur berechnet. Diese liegen je nach Objekt zwischen 8 % und 10 % bei Absenkung um 1 Grad, jeweils bezogen auf den heutigen Endenergieverbrauch. Auch bei noch stärkerer Temperaturabsenkung um 2 - 3 Grad läge die "Einsparung durch Verzicht" erheblich unter dem Potential durch technische Maßnahmen. Im Gegensatz zu diesem ließe es sich im Notfall schnell aktivieren. Daß ein solcher Einspareffekt über einen längeren Zeitraum anhält, ist jedoch unter den gegebenen gesellschaftlichen und ökonomischen Randbedingungen in der Bundesrepublik sehr unwahrscheinlich. Umso wichtiger ist es, daß die technischen Einsparpotentiale möglichst zügig erschlossen werden. Nachhaltige Energieeinsparungen können nur durch technische Maßnahmen garantiert werden. Teilbeheizungen und Temperaturabsenkungen sind zudem nicht ohne Risiken für die Bausubstanz (Tauwassergefahr) und Wohnhygiene (kalte Oberflächen).

Nach weitgehender wärmetechnischer Sanierung eines Gebäudes (Erreichen eines Zielwertes von um 70 kWh/(m^2a) Nutzenergie) steigt der Einfluß des Nutzers pro Grad Temperaturabsenkung auf ca. 11 % des noch verbleibenden Heizwärmeverbrauchs an. In einem gut gedämmten Gebäude können Nutzer daher sogar besser auf kurzfristige Verteuerungen oder Verknappungen von Energie reagieren.

Literatur zu Kapitel 7

/Auerbach 88/ Andreas Auerbach, Wolfgang Pfaffenberger
Veränderungen des Erdgasverbrauchs bei privaten Haushalten. in: ZfE 3/88

/Meyer-R. 81/ Martin Meyer-Renschhausen
Energieverbrauch und Energieeinsparung in Mietwohnungen und Eigenheimen
Wirtschaftswissenschaftliche Diskussionsbeiträge Nr. 27 Universität Oldenburg 1981

/Prognos 1981/ Prognos AG (Hrsg.)
Wärmeeinsparpotential in Wohnsiedlungen und Wohngebäuden in Baden-Württemberg. 1981

/StatBu 72/
/StatBu 78/ Statistisches Bundesamt
1%-Wohnungsstichprobe 1972, 1978

/StatBu 82/
/StatBu 87/ Statistisches Bundesamt
Baustatistische Reihen 1960-1986
Bestand an Wohnungen 31. Dezember 1986

/StatBu 85/ Statistisches Bundesamt
Die Wohnsituation der Haushalte 1985

/StatBu 89/ Bestand an Gebäuden und Wohnungen 1987
Wohnraumversorgung der Haushalte 1987 in: Wirtschaft und Statistik 8/1989

/techem 89/ techem Clorius
Heizölverbrauch in zentralbeheizten Mehrfamilienhäusern

/UBA 1983/ F. Garnreiter, E. Jochem u.a.
Auswirkungen verstärkter Maßnahmen zum rationellen Energieeinsatz auf Umwelt, Beschäftigung und Einkommen, im Auftrag des Umweltbundesamts, Berlin 1982

/FBW 1981/ Heide, Henning, Volwahsen
Einsparpotential von Heizenergie in den Wohngebäuden Baden-Württembergs
Forschungsgemeinschaft Bauen und Wohnen, Stuttgart 1981

8. Szenarien für den zukünftigen Heizenergieverbrauch der Haushalte

8.1 Internationale Erfahrungen

In dieser Studie wurden für den Bereich der Raumheizung im Gebäudebestand Einsparpotentiale in beträchtlicher Höhe nachgewiesen (vgl. Kap. 7). Es stellt sich die Frage, unter welchen Bedingungen diese Einsparungen realisiert werden können, und innerhalb welcher Zeiträume die entsprechenden Maßnahmen durchgeführt werden können. Dabei sind wir nicht auf Spekulationen angewiesen, da an anderen Orten schon sehr viel eher die wissenschaftlichen Erkenntnisse auch die politischen Zielsetzungen bestimmt haben und dementsprechend praktische Erfahrungen gesammelt werden konnten.

In Schweden wurde bereits 1980 das Ziel formuliert, den Endenergieverbrauch des Gebäudebestandes von 1978 für Heizung und Warmwasser von jährlich 120 TWh innerhalb von 10 Jahren um 45 TWh/a oder 37 % zu senken. Innerhalb von sieben Jahren wurden 29 TWh/a oder 24 % bereits realisiert /SCBR 1988/. Dabei war auch 1978 der durchschnittliche wärmetechnische Standard von Gebäuden in Schweden wesentlich besser als in der Bundesrepublik Deutschland.

Das schwedische Beispiel beweist, daß die zügige Umsetzung von Maßnahmen zur Energieeinsparung möglich ist und auch zu den erwarteten Erfolgen führt.

Allerdings sind dazu auch entsprechende Anstrengungen erforderlich. Der schwedische Bauforschungsrat begleitete eine Reihe von Pilot- und Demonstrationsprojekten:

- Neubauten in Niedrigenergie-Bauweise mit einem spezifischen Nutzwärmeverbrauch unter 50 kWh/(m^2a)

- Beispielhafte energetische Sanierungen an bestehenden Gebäuden, die zu spezifischen Nutzwärmeverbräuchen unter 100 kWh/(m^2a) führten.

Als wichtigste Maßnahme für die notwendige Breitenwirkung erwies sich die Energiesparberatung in allen größeren Städten, verbunden mit Bauausstellungen zur energiesparenden Sanierung und Neubauplanung. Informationsmaterialien enthalten nicht nur Hinweise zu Materialien und empfohlenen Dämmstoffstärken, sondern auch detailgenaue Ausführungsanleitungen.

Schließlich begrenzt auch eine Baunorm /SBN 1980/, die weit über die Wärmeschutzverodnung hinausgeht, den Energieverbrauch bei Neubauten auf ca. 80 - 120 kWh Nutzwärme pro m^2 Wohnfläche und Jahr. Da die Erfahrungen der letzten Jahrzehnte in Schweden gezeigt haben, daß weitergehende Einsparungen technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll sind, gilt ab Januar 1989 eine Baunorm, durch die der Energiebedarf noch einmal um ca. 40 % gesenkt wird /Nybyggnadsregler/.

8.2 Ersatzzyklen

Die meisten Maßnahmen zur Heizenergieeinsparung sind nur dann wirtschaftlich rentabel, wenn sie gekoppelt mit ohnehin geplanten Renovierungen durchgeführt werden (vgl. Kap. 4.1). Daher sind die normalen Erneuerungszyklen der begrenzende Faktor für die Umsetzungsgeschwindigkeit.

Die Erneuerungszyklen sind in manchen Fällen durch die sehr langen Nutzungsdauern von Bauteilen gegeben (z. B. Dach, Fassadenputz). Anhaltswerte finden sich in den Wertermittlungs-Richtlinien /Wert R 76/. Sie liegen zwischen 30 (Fenster aus Weichholz) und 100 (Dachziegel) Jahren. Voraussetzung ist allerdings eine sehr gute Bauausführung, die gerade bei einem großen Teil des jüngeren Baubestands (Nachkriegsbau) nicht gegeben ist.

Sanierungen, die energietechnisch relevant sind, werden z. T. aber auch aus ästhetischen Gründen, Komfortwünschen (z. B. Auswechseln von Einfachverglasungen), veränderten Ansprüchen des Nutzers (Innenrenovierungen) durchgeführt. Ein Dach- oder Kellerausbau kann ebenfalls mit Energiesparmaßnahmen verbunden werden. Daneben gibt es Einsparmöglichkeiten, die von anderen Maßnahmen weitgehend unabhängig sind (z. B. Kerndämmung).

Die zukünftigen Sanierungs- bzw. Modernisierungsraten sind daher nur grob abzuschätzen. Für die Modellrechnungen wurden die Ersatzzeiten eher zu hoch als zu niedrig gewählt, um die innerhalb eines gegebenen Zeitraums erzielbaren Einsparungen nicht zu überschätzen. Entscheidender als die genauen Sanierungsraten ist aber in jedem Fall, ob die Sparmaßnahmen zu dem gegebenen Zeitpunkt in ausreichendem Umfang durchgeführt werden. Bei Maßnahmen, die nicht von anderen Sanierungen abhängig sind, wurden i. d. R. Umsetzungszeiten von 10 Jahren angenommen. Die für die Modellrechnungen angenommenen Ersatzzeiträume sind in Tabelle 8.2. wiedergegeben.

Zusätzlich angebrachte Dämmschichten müssen ebenfalls nach Ablauf ihrer Lebensdauern ersetzt werden. Hierfür werden die Nutzungsdauern für die Wirtschaftlichkeitsrechnung zugrundegelegt (vgl. Kap. 4). Wenn mit der Erneuerung keine zusätzliche Energieeinsparung verbunden ist, taucht dieser Zeitpunkt in den Szenarien nicht mehr auf. Zwar ist die Erneuerung mit einer Investition verbunden, die jedoch wieder über die Nutzungsdauer umgelegt wird. Die Kosten für die eingesparte Energie bleiben (real) unverändert. Die bereits suboptimal durchgeführten Maßnahmen werden jedoch im SPAR-Szenario nach Ablauf ihrer Nutzungsdauer durch die weitergehenden ersetzt.

Tabelle 8.2.
Ersatzzeiträume
(Annahmen für die Modellrechnungen)

für Maßnahmen an	Jahre
Steildach: Dämmung von außen bei Erneuerung der Dachhaut	50
Steildach: Dämmung von innen	10*)
Flachdach-Warmdach: Dachsanierung	25
Flachdach-Kaltdach: Einblasen von Dämmstoff in den Hohlraum	20
oberste Geschoßdecke	10*)
Außendämmung der Außenwand	40
Innendämmung der Außenwand	20
Kerndämmung der Außenwand	10*)
Heizkörpernische	10*)
Erdgeschoßfußboden	50
Kellerdecke (Unterseite)	10*)
Fenster	30
Isolierverglasungen	15

*) Wärmeschutzmaßnahmen, die von anderen Sanierungen unabhängig sind.

8.3 Modellrechnungen

8.3.1 Methode

Der gesamte Wohngebäudebestand wird aufgeteilt in die Haustypen, die in Kap. 3 beschrieben wurden. Diese Haustypen werden mit einem durchschnittlichen spezifischen Energieverbrauch gekennzeichnet. Die heutigen Energiekennzahlen sowie die Aufteilung des Gebäudebestands sind in Kapitel 7 wiedergegeben.

Zunächst wird die zeitliche Entwicklung des Gebäudetypenbestands geschätzt in einem Modell dargestellt, in dem Neubau, Abriß, Ausbau und Wohnungszusammenlegungen simuliert werden. Neubauten gehen als eigene Haustypen in diese Entwicklung ein.

Die Gebäudetypen repräsentieren bereits Altersklassen. Bei den jüngeren Haustypen und bei den Neubauten wird zusätzlich noch eine feinere Unterteilung nach Jahrgängen vorgenommen. Diese Jahrgänge bzw. Altersklassen (Kohorten) werden im Verlauf der zeitlichen Entwicklung verfolgt. Parallel dazu werden die Kohorten der Bauteile, getrennt nach Haustypen, verfolgt und dabei der Zeitpunkt ihrer letzten Renovierung festgehalten. Im Durchschnitt werden sie nach einem vorgegebenen Ersatzzeitraum erneuert. Je länger die letzte Renovierung zurückliegt, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit für eine Erneuerung im betrachteten Jahr.

Zu jedem Erneuerungszeitpunkt können Energiesparmaßnahmen an dem jeweiligen Bauteil durchgeführt werden. Dementsprechend sinkt dann der spezifische Energieverbrauch des Gebäudes. Durch die Szenarioannahmen wird festgelegt, wie weitgehend die Maßnahmen sind und in welchem Umfang sie tatsächlich durchgeführt werden.

Die gesamte Rechnung wird in Jahresschritten durchgeführt. Für jedes Jahr wird so der durchschnittliche spezifische Energieverbrauch für jeden Haustyp sowie schließlich der gesamte Energieverbrauch berechnet.

Eine genauere Beschreibung des Modells befindet sich in /Ebel 1990/.

Aus dem Bestand aktivierte Wohnfläche wird gesondert berücksichtigt, da diese zusätzliche Wohnfläche nicht zu einem dementsprechend erhöhten Energieverbrauch führt. Die zusätzlichen An- oder Ausbauten haben wesentlich geringere spezifische Energieverbräuche als der bereits vorhandene Bestand.

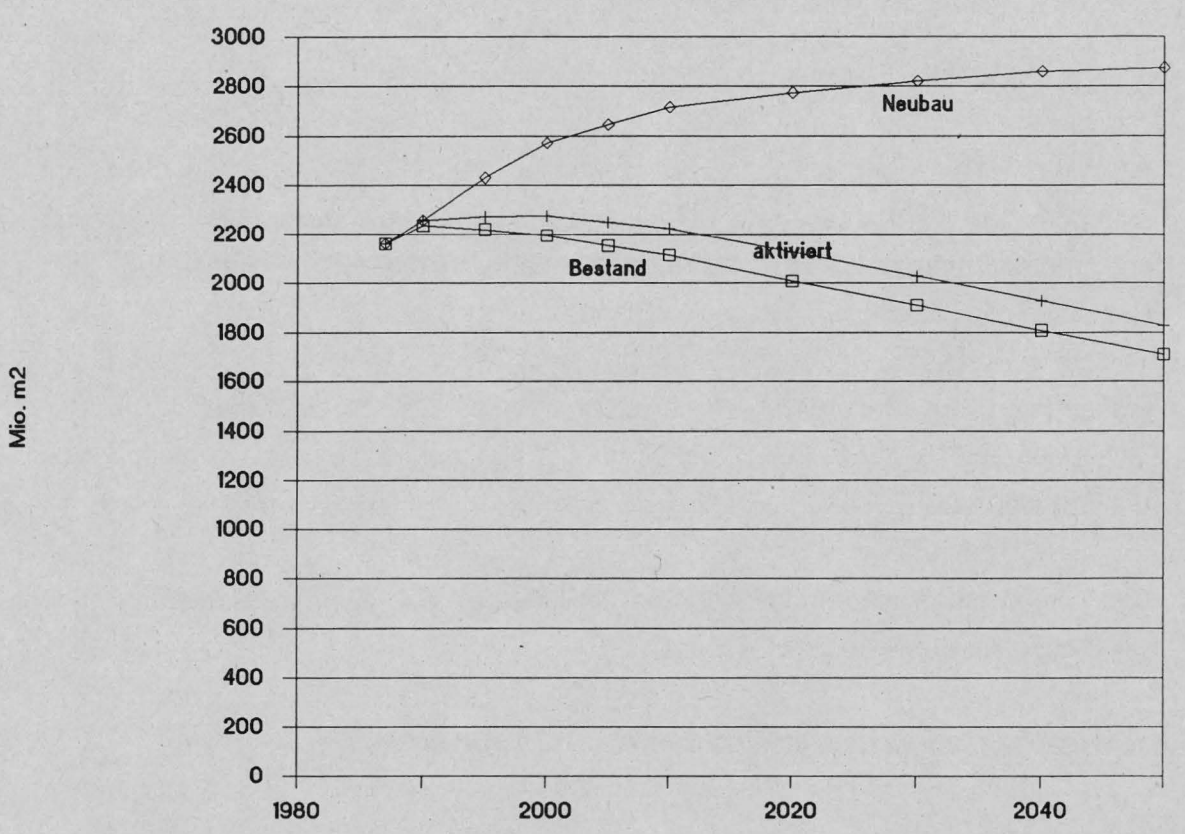
8.3.2 Annahmen

Grundlage für die Annahmen über die Gesamtentwicklung des Wohnungsbestands, des Neubaus, Ausbaus, des Abrisses und der Zusammenlegungen ist die Prognose von Prognos /Prognos 1987/. Gegenüber dieser Prognose werden die folgenden abweichenden Annahmen getroffen:

- Die Daten wurden skaliert auf die Eckdaten der Volkszählung 1987.
- Aufgrund des Zustroms von Aus- und Übersiedlern wurde die Neubaurate nach oben korrigiert.
- Durch Aktivieren aus dem Bestand wird nicht nur die gesamte Wohnfläche, sondern auch die Zahl der Wohnungen vergrößert.

Gemäß diesem Szenario gehen wir von insgesamt 3,6 Mio. neuen Wohnungen zwischen 1990 und 2000 aus. Davon befinden sich 3,05 Mio. Wohnungen in Neubauten, der Rest im Bestand von 1990. Bis 2050 werden 35 % der bewohnten Fläche in Neubauten ab 1990 liegen. Diese Entwicklung ist in Abbildung 8.3.2 wiedergegeben.

Abb. 8.3.2: Entwicklung der Wohnfläche



Die dargestellte Entwicklung der Wohnfläche in der Bundesrepublik Deutschland ist für alle Szenarien identisch. Berücksichtigt sind nur bewohnte Wohneinheiten.

Grundlage der Modellrechnungen für den Nutzwärmebedarf sind die in Kapitel 5 berechneten Energieverbräuche für die Repräsentanten der Gebäudetypen sowie die dort ermittelten Einsparpotentiale durch bauliche Maßnahmen. Für diese gelten die Ersatzzeiträume gemäß Tabelle 8.2.

Einsparpotentiale über die in Kap. 4 bzw. Kap. 5 beschriebenen Maßnahmen hinaus wurden in den Modellrechnungen nicht berücksichtigt, obwohl weitergehende energetische Sanierungen langfristig durch technischen Fortschritt möglich und -- auch infolge steigender Energiepreise -- wirtschaftlich werden.

Auf dieser Grundlage hängen der gesamte Nutz- bzw. Endenergieverbrauch ab von den folgenden Einflußparametern:

- der spezifischen Energiedienstleistung (Energiedienstleistung pro m^2 Wohnfläche).
  Während diese Dienstleistung für zentralbeheizte Wohnungen als konstant angenommen werden soll, ist bei einer Umstellung von dezentraler Beheizung auf zentrale mit erhöhtem Beheizungsumfang (gleichzeitige Beheizung aller Räume einschl. der Nebenräume) zu rechnen.

- Maßnahmen auf der heizungstechnischen Seite. Sofern sie nicht zu Verhaltensänderungen führen (s.o.), betreffen sie nur den Endenergieverbrauch und die Emissionen.

- den eigentlichen Szenarioannahmen in Bezug auf Gebäudesanierung und energetischen Standard des Neubaus.

Folgende Annahmen werden in den folgenden Szenarien unterstellt:

Referenzszenario, "Null"

Es werden keine weiteren Energiesparmaßnahmen durchgeführt, Neubauten entsprechen der Wärmeschutzverordnung von 1982.
Obwohl das Referenzszenario selbst keine realistische Entwicklung darstellt, liefert es eine geeignete Bezugsgröße für die Quantifizierung von Einsparpotentialen durch bauliche Maßnahmen.

"Trend"-Szenario (Moderate Entwicklung)

Es werden Maßnahmen der Maßnahmenkette TREND durchgeführt in folgendem Umfang:

Dach:	50 %
Wand:	20 %
Fenster:	100 % Isolierverglasung
Fußboden/Keller:	10 %

jeweils zu den Ersatzzeitpunkten, sofern sie im Einzelfall und zum gegebenen Zeitpunkt wirtschaftlich vertretbar sind. Zugrundegelegt wird die Energiepreisentwicklung, die für die Studien der Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" vereinbart wurde.

"Spar"-Szenario

Es werden Maßnahmen der Kette SPAR durchgeführt im Umfang von 100 % zu den jeweiligen Ersatzzeitpunkten, sofern sie im Einzelfall und zum gegebenen Ersatzzeitpunkt wirtschaftlich vertretbar sind. Zugrundegelegt wird die für diesen Fall von der Enquete-Kommission vereinbarte Preisentwicklung, die zu wesentlich höheren Energiepreisen führt. Als maximaler zukünftiger Energiepreis wird dabei 13 Pf/kWh angenommen. Belange des Denkmalschutzes sowie Einschränkungen aus Gründen der architektonischen Gestaltung werden berücksichtigt.

Wirtschaftliches Potential:

Es werden alle Maßnahmen des SPAR-Szenarios bis zu Einsparkosten von 13 Pf/kWh durchgeführt, der jeweils günstigste Ersatzzeitpunkt wird aber nicht berücksichtigt. Das "wirtschaftliche Potential" gibt damit keine realistische Entwicklung wieder, sondern die Untergrenze für die Entwicklung im SPAR-Szenario.

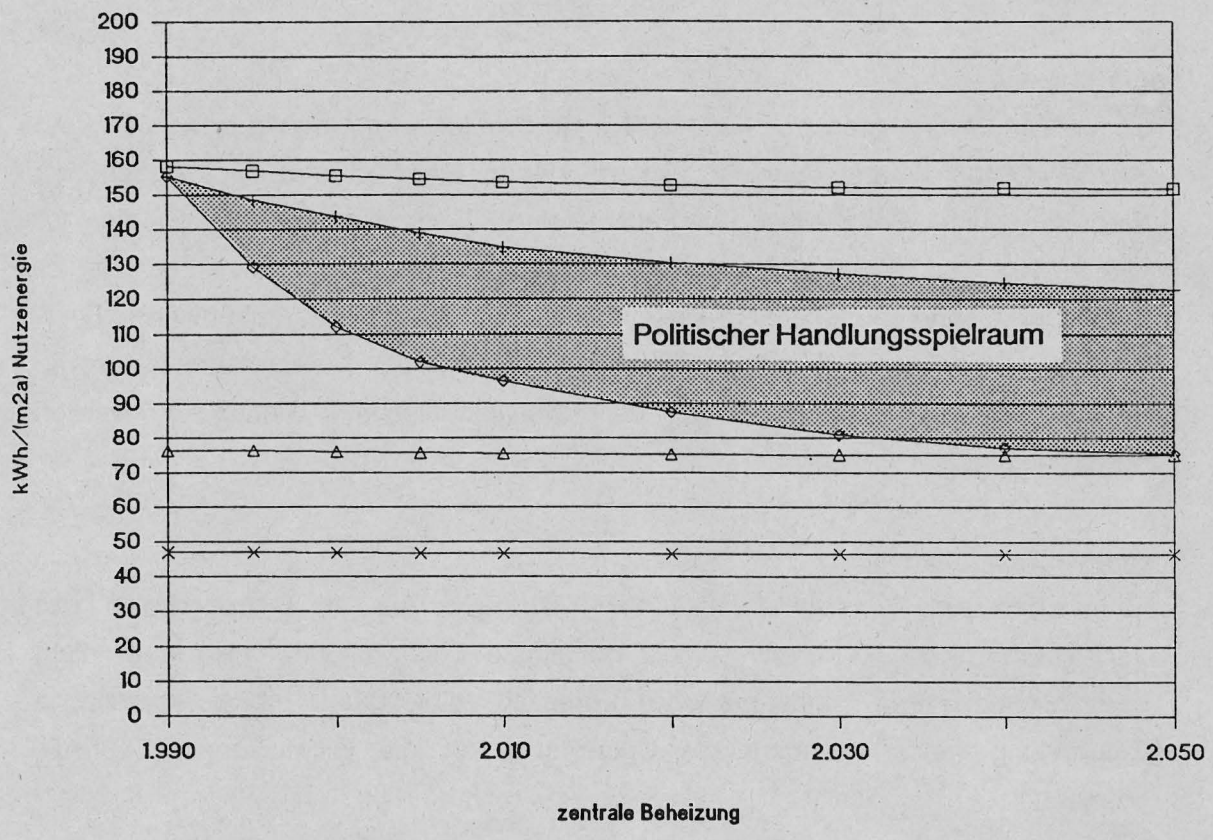
Technisches Potential:

Es werden alle Maßnahmen des Maßnahmenkatalogs "SPAR" ausgeführt, aber ohne Berücksichtigung von Einschränkungen aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, des Denkmalschutzes, der Architektur oder der begrenzten Umsetzungsgeschwindigkeiten.

8.3.3 Die Entwicklung des spezifischen Nutzenergiebedarfs im Gebäudebestand

Die Entwicklung des durchschnittlichen spezifischen Nutzenergiebedarfs für zentral beheizte Gebäude im Gebäudebestand von 1990 ist für die oben definierten Szenarien in Abbildung 8.3.3-1 wiedergegeben.

Abb. 8.3.3-1
Szenarien für die Entwicklung des spezifischen Nutzwärmebedarfs im Gebäudebestand von 1990



□ Referenzszenario ("Null"): keine baulichen Energieeinsparungsmaßnahmen
\+ TREND-Szenario: Moderate Entwicklung
◇ SPAR-Szenario
△ Wirtschaftliches Potential: Maßnahmen bis 13 Pf/kWh
× Technisches Potential

Der geringe Rückgang des spezifischen Nutzenergiebedarfs im Gebäudebestand im Referenzszenario ist darauf zurückzuführen, daß sich durch Abrisse die Altersstruktur im Gebäudebestand verschiebt und andererseits Wohnfläche im Bestand aktiviert wird. Die durch Ausbauten entstandene zusätzliche Fläche hat jedoch selbst bei relativ schlechtem Wärmeschutz einen wesentlich geringeren spezifischen Energiebedarf.

Das "Trend"-Szenario extrapoliert die bisherige Entwicklung bezüglich der Durchführung baulicher Energiesparmaßnahmen und gibt damit eine wahrscheinliche Verbrauchsentwicklung bei geringen politischen Anstrengungen zur Energieeinsparung wieder.

Das "Spar"-Szenario stellt eine Entwicklung dar, die durch starke politische Anstrengungen zur Energieeinsparung gekennzeichnet ist, aber gleichzeitig die Gesichtspunkte der einzelwirtschaftlichen Rentabilität berücksichtigt.

Die Untergrenze für die Entwicklung im "Spar"-Szenario wird durch das "wirtschaftliche Potential" wiedergegeben. Aufgrund der z.T. sehr langen Umsetzungszeiträume wird dieses erst in 50-60 Jahren erreicht.

Die Hochrechnungen für den Nutzenergieverbrauch im Gebäudebestand sind in Tabelle 8.3.3 dargestellt. Demnach würde im "Trend"-Szenario bis 2005 10 % gegenüber der Referenzentwicklung ohne bauliche Energiesparmaßnahmen eingespart. Durch Ausschöpfen der politischen Handlungsmöglichkeiten ließe sich in einem Sparszenario dieses Einsparpotential auf 34 % erhöhen. Langfristig würde auf diesem Weg das wirtschaftlich vertretbare Potential von 50 % ausgeschöpft.

Tabelle 8.3.3
Hochrechnungen des Nutzenergieverbrauchs im Gebäudebestand

	2005		2020		2050	
	durchschnittlicher spez. Nutzenergieverbrauch kWh/(m^2a)	in Bezug auf Referenzszenario	durchschnittlicher spez. Nutzenergieverbrauch kWh/(m^2a)	in Bezug auf Referenzszenario	durchschnittlicher spez. Nutzenergieverbrauch kWh/(m^2a)	in Bezug auf Referenzszenario
Referenzszenario	155	100 %	153	100 %	152	100 %
Trendszenario	139	90 %	131	85 %	123	81 %
Sparszenario	103	66 %	89	58 %	77	51 %
wirtschaftliches Potential	77	49 %	77	50 %	76	50 %
technisches Potential	48	31 %	48	31 %	48	31 %

Langfristig erscheint es nicht plausibel, daß im "Spar"-Szenario die Einsparungen entlang einer abklingenden Exponentialkurve um das Jahr 2020 herum allmählich ausgeschöpft erscheinen. Dieser Effekt ist aber einzig auf die konservative Annahme der ausschließlichen Verwendung von heute bereits am Markt verfügbar, erprobter und bewährter Technik zurückzuführen.

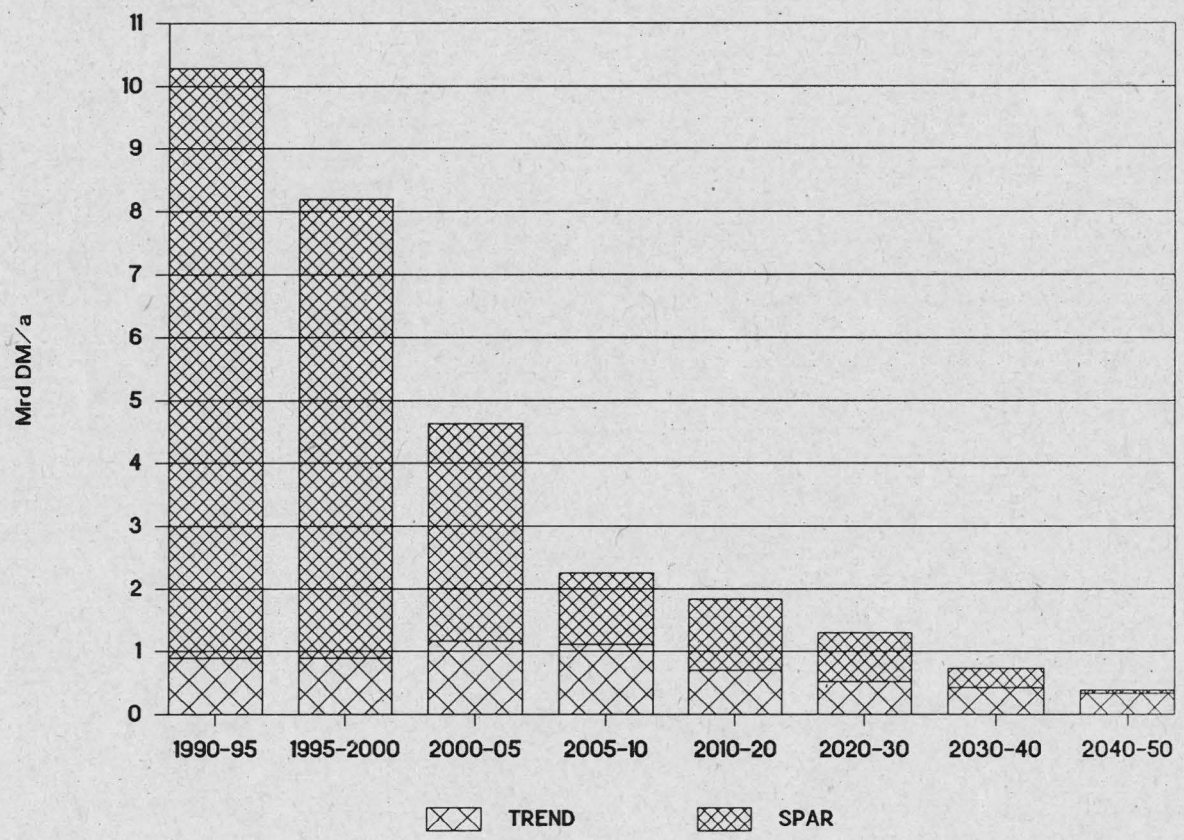
Da die Ausgestaltung neuer Komponenten im Detail heute noch nicht absehbar ist, konnten solche perspektivisch verfügbaren Techniken auch noch nicht im Zusammenhang von Einsparpotential und spezifischen Energiekosten (Abb. 7.4-1) berücksichtigt werden. Langfristig ist die Betrachtung daher unvollständig und muß durch eine zeitliche Dynamisierung von technischen und wirtschaftlichen Potentialen ergänzt werden (vgl. Kap. 12).

Abbildung 8.3.3-2 zeigt die durchschnittlichen jährlich aufzubringenden Investitionskosten zur Umsetzung des "Trend"- und des "Spar"-Szenarios. Auch hier handelt es sich ausschließlich um die Mehrkosten gegenüber ohnehin durchgeführ-

ten Sanierungs- oder Modernisierungsmaßnahmen. Die ausgewiesenen Investitionskosten sind also die Zusatzkosten gegenüber der Referenz-("Null")-Entwicklung.

Die Summe der Investitionskosten im Sparszenario bis 2005 beträgt 116 Mrd. DM. Damit werden bis dahin 136 TWh pro Jahr an Endenergie eingespart. Wird eine durchschnittliche Nutzungsdauer von 25 Jahren zugrundegelegt, so kostet die eingesparte Kilowattstunde 5,5 Pfennig. In der Gesamtbetrachtung wäre damit die "Investition in das Sparszenario" selbst bei nur wenig steigenden Energiepreisen bereits heute wirtschaftlich.

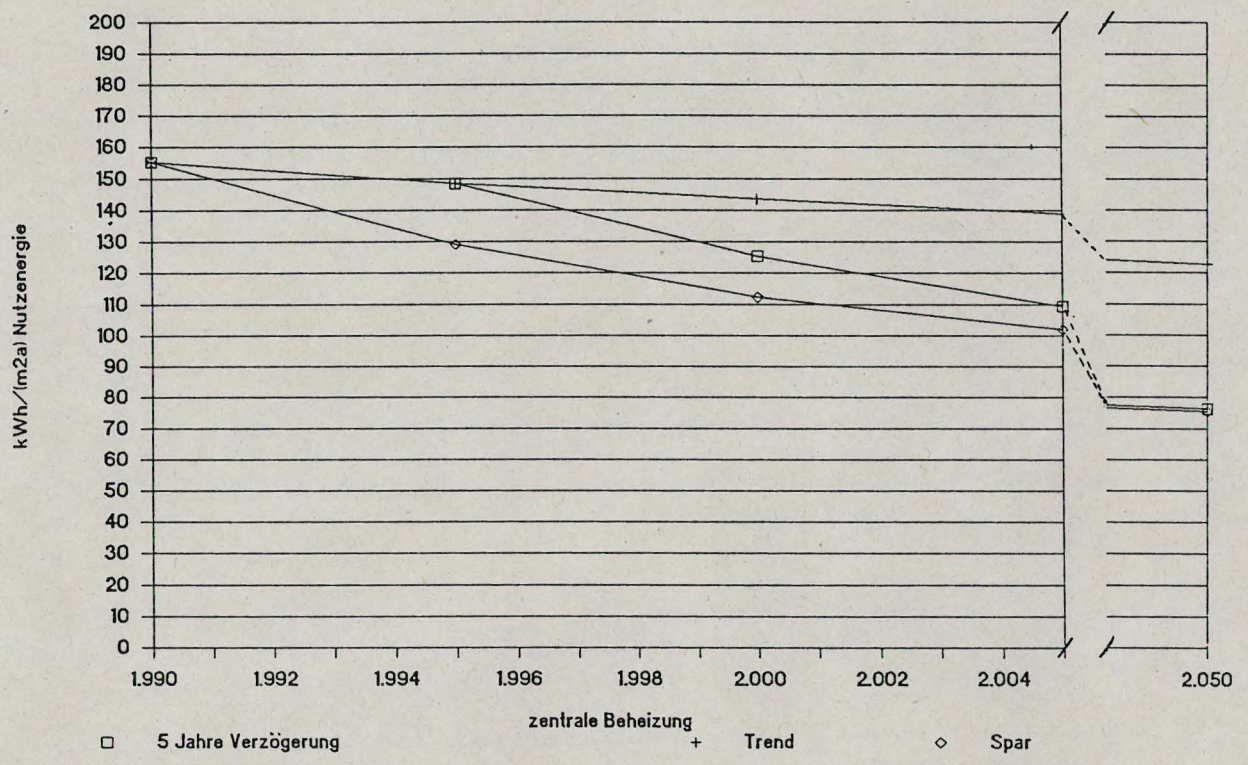
Abb. 8.3.3-2
Jährliche Investitionskosten für bauliche Energiesparmaßnahmen im Wohngebäudebestand



Dargestellt sind die Investitionskosten, die um im Durchschnitt jährlich für Energiesparmaßnahmen im Wohngebäudebestand (von 1990) aufzubringen sind, und zwar für das "Trend"- und für das "Spar"-Szenario (vgl. Abb. 8.3.3-1). Berücksichtigt sind nur die Mehrkosten gegenüber Renovierungen ohne Energiesparmaßnahmen.

Im SPAR-Szenario ist die Untergrenze für eine Verbrauchsentwicklung bei forcierter Energiesparpolitik wiedergegeben. In der Tat ist die Annahme einer 100%igen Umsetzung der Sparmaßnahmen ab sofort (1990) nicht realistisch. Wenn jedoch eine Verbrauchsentwicklung in der Nähe des "Spar"-Szenarios angestrebt wird, muß bekannt sein, welche Parameter hierfür entscheidend sind. Aus diesem Grund haben wir eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt (vgl. /Ebel 1990/). Anstelle einer ausführlichen Diskussion ist in Abb. 8.3.3-3 exemplarisch die Auswirkung einer fünfjährigen Verzögerung des Beginns der Umsetzung der Energiesparmaßnahmen dargestellt.

Abb. 8.3.3-3: Szenarien für die Entwicklung des spezifischen Nutzwärmebedarfs bei einer um 5 Jahre verzögerten Umsetzung bis 2005 und 2050



Die wichtigsten Schlußfolgerungen aus der Sensitivitätsanalyse sind:

- Suboptimale ("TREND")-Maßnahmen führen selbst bei hoher Umsetzungsrate und hohem Energiepreis langfristig zu ungünstiger Verbrauchsentwicklung. Vorrangig muß daher dafür gesorgt werden, daß sich die weitergehenden "SPAR"-Maßnahmen am Markt durchsetzen können.
- Eine hohe Umsetzungsrate ist erforderlich. Deutlich über 70 % aller Eigentümer müssen zu den Ersatzzeitpunkten die weitergehenden Dämmaßnahmen auch tatsächlich durchführen.
- Wenn bis 2005 ein wesentlicher Erfolg erzielt werden soll, darf sich die Umsetzung nur um wenige Jahre verzögern. Dies bedeutet, daß mit den politischen Maßnahmen sofort begonnen werden muß.
- Die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit (durch einen höheren Energiepreis und/oder Förderung) ist unbedingt notwendig, aber keinesfalls ausreichend.

Diese Schlußfolgerungen zeigen, daß erhebliche politische Anstrengungen notwendig sind, um das Ziel einer wesentlichen Reduktion des Energieverbrauchs im Gebäudebestand zu erreichen. Daß dann aber auch entsprechender Erfolg zu erwarten ist, zeigt das schwedische Beispiel (vgl. 8.1).

Welche politischen Maßnahmen im einzelnen notwendig sind, um zu einer Verbrauchsentwicklung in der Nähe des "Spar"-Szenarios zu kommen, wird in Kapitel 11 diskutiert.

8.3.4 **Die Entwicklung des gesamten Nutzenergiebedarfs** (einschließlich Neubau)

Für eine Gesamtbetrachtung der möglichen Energieverbrauchsentwicklungen muß der Neubau miteinbezogen werden. Für das Referenz- und für das Trendszenario wurde unterstellt, daß der energetische Standard von Neubauten der heute gültigen Wärmeschutzverordnung entspricht. Beim Sparszenario sowie für das Potential wurde angenommen, daß zukünftige Neubauten in Niedrigenergie-Bauweise erstellt werden. Diese ist wirtschaftlich vertretbar: Bei einem Einfamilienhaus-Demonstrationsprojekt wurden Investitionsmehrkosten ausgewiesen, die sich bei einem zukünftigen Energiepreis von 7,2 Pf/kWh rentieren (Nutzungsdauer: 25 Jahre). Die Zugrundelegung dieses Standards ist daher konsistent mit den Annahmen des Sparszenarios in Bezug auf den Gebäudebestand.

Realisierte Beispiele von Niedrigenergiehäusern sind als Einfamilien-, Reihen- und Mehrfamilienhäuser ebenfalls im Anhang dokumentiert. Sie führen bei Standard-Nutzungsbedingungen zu einem Nutzenergiebedarf von ca. 50 kWh/(m^2a) bei Einfamilienhäusern bzw. ca. 40 kWh/(m^2a) bei Mehrfamilienhäusern.

Die gesamte Verbrauchsentwicklung ist für den Referenzfall ohne bauliche Energiesparmaßnahmen in Abbildung 8.3.4-1 dargestellt. Der Verbrauch steigt zunächst stark an. Dies ist einerseits auf den starken Neubau zurückzuführen, andererseits auf die Umrüstungen von dezentralen Heizsystemen auf Zentralheizungen im Gebäudebestand, die zu einer Vollbeheizung und damit einer erhöhten Nachfrage nach Energiedienstleistung führen.

Ab 2010 bleibt der Nutzenergiebedarf im Referenzszenario etwa konstant. Die steigende Nachfrage nach Energiedienstleistung infolge steigender Wohnflächen wird kompensiert durch die günstigere Verbrauchsstruktur infolge der Verschiebung der Anteile der Baualtersklassen. Deutlich wird jedoch, daß bei Beibehaltung der heutigen Wärmeschutzverordnung auch der Neubau einen erheblichen Anteil am Heizenergieverbrauch haben wird.

Abb. 8.3.4-1: Die Entwicklung des gesamten Nutzenergiebedarfs, Referenzszenario

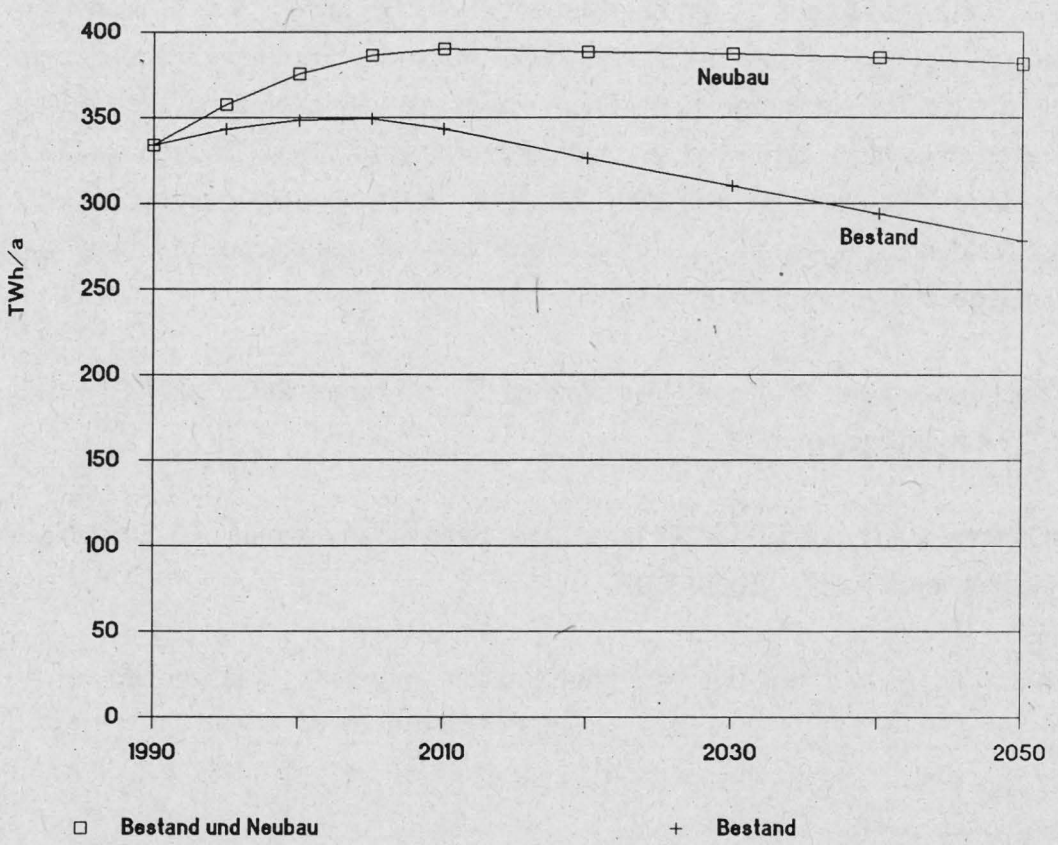
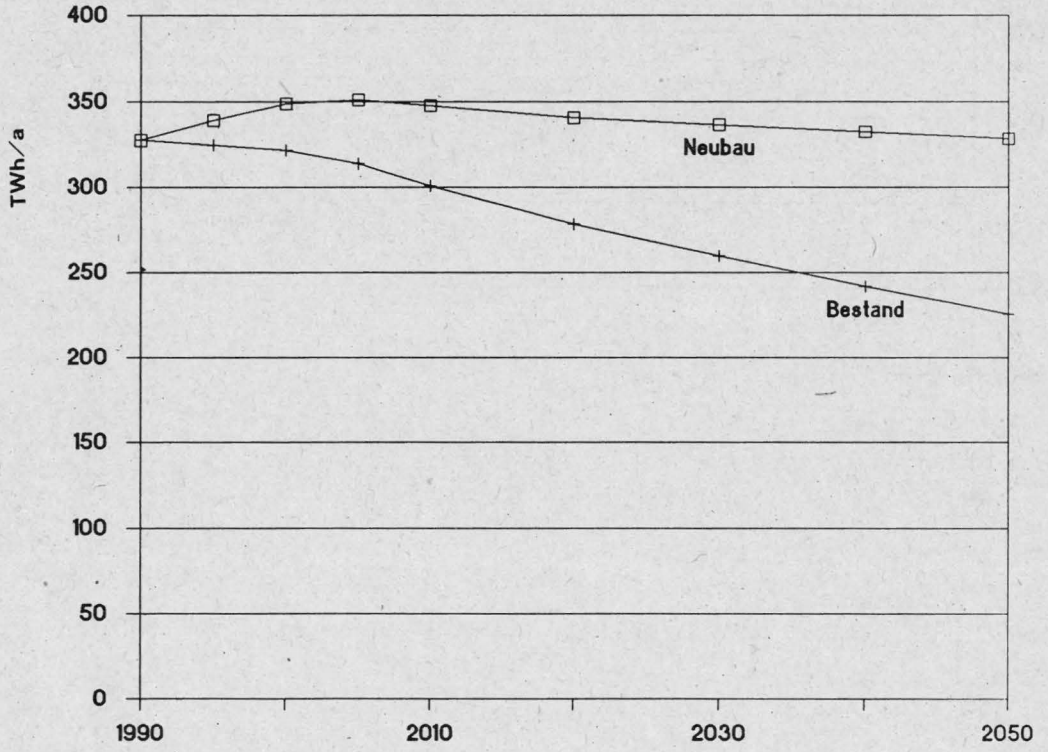


Abb. 8.3.4-2: Die Entwicklung des gesamten Nutzenergiebedarfs, Trendszenario



In Abbildung 8.3.4-2 ist die Nutzenergiebedarfsentwicklung im Trend-Szenario dargestellt. Trotz moderater Sparmaßnahmen wird langfristig keine Nutzenergieeinsparung gegenüber heute erzielt. Bis 2005 steigt der Energieverbrauch sogar an, da die zusätzliche Nachfrage nach Energiedienstleistung (steigende Wohnfläche und Vollbeheizung), nicht durch die Maßnahmen kompensiert wird. Dagegen werden im Sparszenario (Abbildung 8.3.4-3) bis 2005 36 % der Nutzenergie gegenüber der Referenzentwicklung eingespart, langfristig wird das wirtschaftliche Potential von über 50 % ausgeschöpft (vgl. Abb. 8.3.4-4).

Die Hochrechnungen des Nutzenergieverbrauchs für die Jahre 2005 und 2050 sind in Tabelle 8.3.4 wiedergegeben.

Eine ausführliche Darstellung und Diskussion der Szanarioannahmen und Ergebnisse wird demnächst veröffentlicht /Ebel 1990/.

Abb. 8.3.4-3: Die Entwicklung des gesamten Nutzenergiebedarfs, Sparszenario

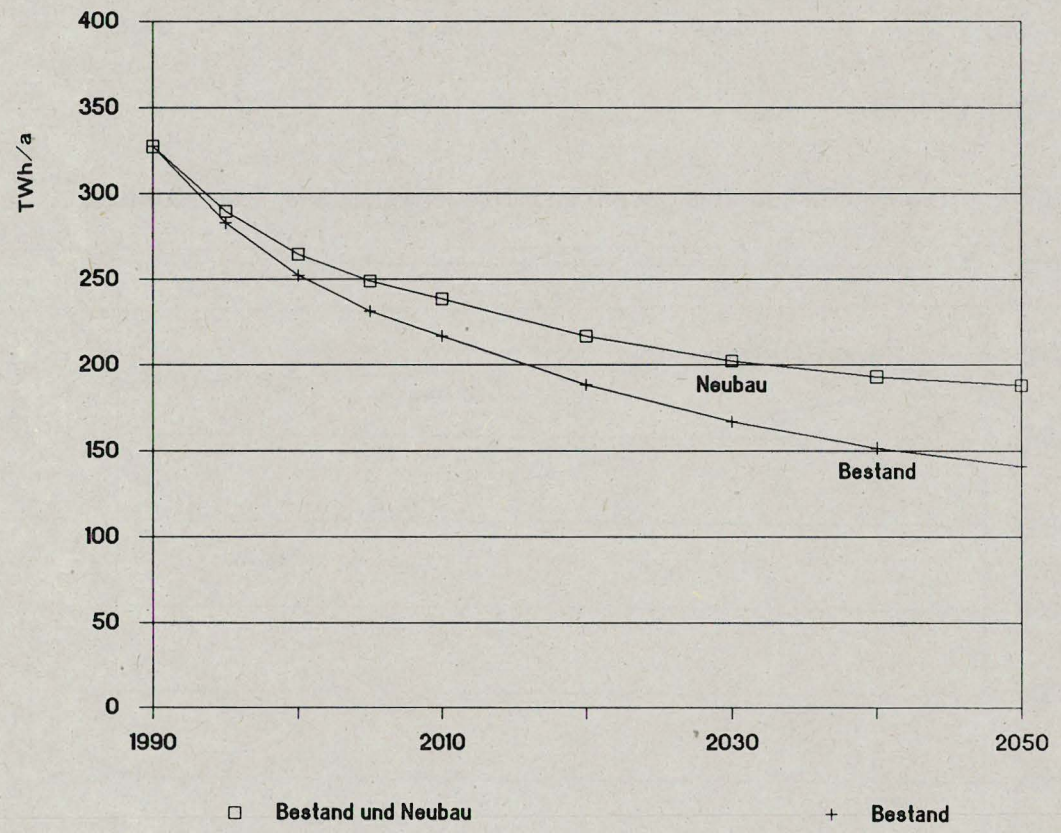


Abb. 8.3.4-4: Szenarien: Nutzenergiebedarf für die Raumheizung der Wohnungen

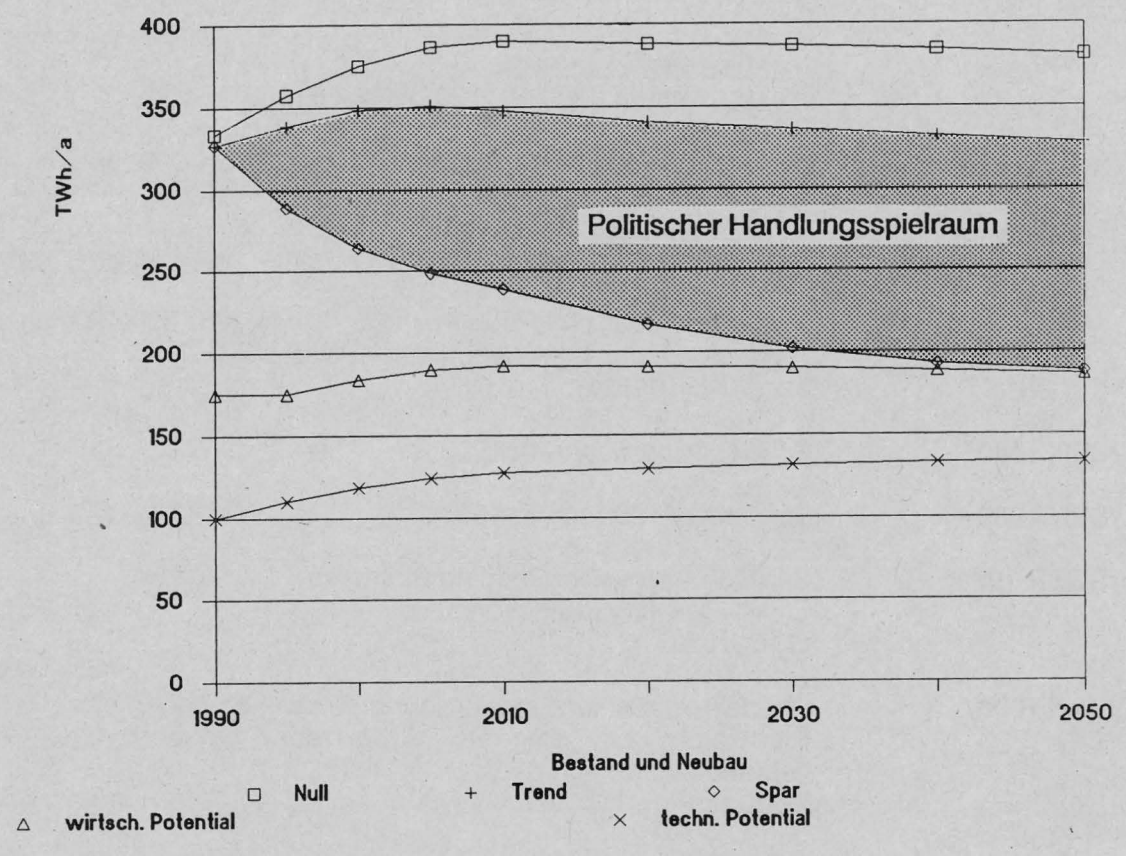


Tabelle 8.3.4 Hochrechnungen des Nutzenergieverbrauchs

	2005			2050		
	in TWh/a	in Bezug auf 1987	in Bezug auf Referenz-szenario	in TWh/a	in Bezug auf 1987	in Bezug auf Referenz-szenario
Referenzszenario	386	120 %	100 %	381	118 %	100 %
Trendszenario	351	109 %	91 %	328	102 %	86 %
Sparszenario	249	77 %	64 %	188	58 %	49 %
Wirtschaftliches Potential	190	59 %	49 %	186	58 %	49 %

Literatur zu Kapitel 8

/Ebel 1990/ Witta Ebel
Modellrechnungen zur Entwicklung des Heizenergieverbrauchs in der Bundesrepublik Deutschland.
Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt 1990

/Nybyggnadsregler/ Boverkets Nybyggnadsregler, Stockholm, BFS 1988: 18

/Prognos 1987/ K. P. Masuhr, K. Eckerle u. a.
Rationelle Energieverwendung und -erzeugung ohne Kernenergienutzung,
im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Nordrhein-Westfalen.
Basel/Köln 1987

/SBN 1980/ Schwedische Baunorm 1980

/SBN 1989/ Schwedische Baunorm 1989

/SCBR 1988/ Swedish Council for Building Research
Energy in the Built Environment
G 16: 1988

/Wert R 76/ Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau
Richtlinien für die Ermittlung des Verkehrswertes von Grundstücken
Neufassung 31.5.1976

9. Beheizungsstruktur und Emissionsminderungspotential

9.1 Aufteilung des Gebäudebestandes auf Beheizungsarten und Gebäudealtersklassen

Die bisher vorliegenden Eckdaten der Gebäude- und Wohnungszählung reichen noch nicht aus, um die Struktur der Heizwärmeversorgung der privaten Haushalte ausreichend genau darzustellen /GWZ 89/. Sie liefern jedoch Eckdaten, um einen guten Abgleich mit den bisher vorliegenden Studien /Prognos/, /FfE/ vorzunehmen und relevante Differenzen zu beseitigen.

Abweichend von Kapitel 7 sind in den folgenden Betrachtungen z.Zt. noch 225.690 Freizeitwohneinheiten enthalten, die sicherlich nur zum Teil beheizt werden, was aber bei einem Anteil von 0,7 % vorläufig vernachlässigt werden kann. Diese Wohneinheiten sind aber in der Gebäude- und Wohnungszählung 1987 in der Statistik über die Aufteilung auf Energieträger und Beheizungsarten enthalten. Eine weitere Ungenauigkeit ergibt sich dadurch, daß Wohnungen in Gebäuden mit vollständiger Wohnheimnutzung (152.143) in der Energiestatistik dem Sektor Kleinverbrauch zugeordnet werden.

Tabelle 9.1-1: Ermittlung der bewohnten Wohneinheiten (1987)

Anzahl Wohnungen	26.279.522	davon	12.381.074 in EZFH 13.898.448 in MFH
Leerstehende Wohnungen	467.258		
Bewohnte Wohnungen	25.812.264	davon	12.194.171 in EZFH 13.618.093 in MFH
+ bewohnte sonstige Wohneinheiten	301.944		
Bewohnte Wohneinheiten	26.114.208	davon	12.194.171 in EZFH 13.920.037 in MFH (*)

(*) statistische Ungenauigkeiten durch die noch unbekannte Aufteilung der Ferienwohnungen auf die Gebäudetypen.

Hierbei wurde die Verteilung der Leerstände auf EZFH und MFH anhand der

Wohnungsstichprobe 1978 unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Anteile der Wohneinheiten am jeweiligen Gesamtbestand vorgenommen.

Tabelle 9.1-2: Leerstände 1978 und 1987

	Anteil der Wohneinheiten am Gesamtbestand	Leerstand	
EZFH 1978	43%	37%	/Wohnungsstichprobe 1978/
MFH 1978	57%	63%	
EZFH 1987	47%	40%	/GWZ 87/
MFH 1987	53%	60%	

Für die bewohnten Wohneinheiten ist die Aufteilung auf Energieträger und Beheizungsarten bekannt, allerdings noch nicht in ihrer Aufteilung auf Gebäudetypen oder Gebäudealtersklassen.

Die Definitionen der Beheizungsarten in der Gebäude- und Wohnungszählung 1987 sind leider nicht schlüssig, es wurde deshalb eine Anpassung der Daten auf zentrale und dezentrale Systeme vorgenommen. Hierbei werden Gasetagenheizungen den zentralen Systemen zugerechnet, während bei Öl-, Kohle- und Strometagenheizungen eher davon auszugehen ist, daß es sich um Ofenheizungen kleiner Wohneinheiten und damit um dezentrale Systeme handelt.

Tabelle 9.1-3: Aufteilung der bewohnten Wohneinheiten nach Heizsystemen (1987)

	Einteilung Gebäudezählung 87			Systematik Enquete	
	Zentralheizg.	Etage	Ofen	zentral	dezentral
Gas	5.426.591	1.626.713	968.331	7.053.304	968.331
Heizöl	10.145.907	202.512	924.964	10.145.907	2.066.710
Kohle/Holz etc	389.581	97.402	1.534.039	389.581	1.713.383
Fernwärme	1.497.630	0	0	1.497.630	0
Strom	196.797	80.548	1.565.585	196.797	2.036.771
mit 2 Energien			1.275.603		
mit 3 und mehr			136.211		
Gesamt	17.656.506	2.007.175	6.404.733	19.283.219	6.785.195
Summe	26.068.414			26.068.414	

Die Aufteilung des Gesamtbestandes der bewohnten Wohneinheiten auf die Gebäudealtersklassen wurde bereits in Kapitel 7 (Tabelle 7.1.1) gezeigt.

Eine Aufteilung des Gebäudebestandes auf Gebäudealtersklassen und Beheizungsarten aus der GWZ 1987 liegt z.Zt. noch nicht vor, so daß die hier dargestellten Rahmendaten als Abgleichsdaten für bisher vorliegende Schätzungen in /Prognos/, /FfE/ verwendet werden müssen. Die Gebäudealtersklassen werden wegen dieser Beschränkung gegenüber den bisherigen Darstellungen auf fünf komprimiert.

Für die Ermittlung des spezifischen Endenergiebedarfs ist außerdem zu berücksichtigen, daß noch fast 6,8 Millionen Wohneinheiten dezentral beheizt sind. Bei diesen Wohneinheiten ist von einer niedrigeren durchschnittlichen Raumtemperatur, in der Regel auch von einem wesentlich niedrigeren Wohnkomfort (verringertes Energiedienstleistungsangebot) auszugehen.

Die durchschnittlichen Wohnflächen in den Gebäudealtersklassen der Tabelle 9.1-4 wurden aus vorliegenden Wohnungsstichproben und Baustatistiken ermittelt.

Tabelle 9.1-4: Gebäudekennwerte nach Gebäudealtersklassen 1987
(Heizungstechnische Kennwerte bezogen auf Normaljahr)

Baujahr	Anzahl Wohneinheiten			Durchschnittl.Wohnflächen			Spezifischer Nutzenergiebedarf			
	EFH	MFH	Gesamt	EFH m^2	MFH m^2	Gesamt m^2	EFH		MFH	
							Zentral	Dezentral	Zentral	Dezentral
							kWh/(m^2*a)			
bis 1948	4163	3855	8018	92	67	80	201	126	166	99
1949 - 68	4262	5827	10089	102	61	78	182	114	175	105
1969 - 78	2267	2880	5147	119	73	93	145	88	119	73
1979 - 83	881	794	1675	120	68	95	120	73	115	69
ab 1984	620	518	1138	118	66	94	115	70	783	46

Für die Heizzahlen der Heizsysteme werden Erfahrungswerte nach /FfE/ verwendet (Tabelle 9.1-5). Hierüber wird jeweils der Zusammenhang von Nutz- und Endenergiebedarf hergestellt. Die Tabellen 9.1-6 und 9.1-7 zeigen die auf diesen Grundlagen ermittelten differenzierten Abschätzungen über die Aufteilung der Wohneinheiten auf Gebäudealtersklassen und Beheizungsarten.

Tabelle 9.1-5: Heizzahlen 1987 nach /FfE/

	EZFH		MFH	
	zentral	dezentral	zentral	dezentral
Heizöl	0,679	0,728	0,711	0,712
Erdgas	0,687	0,802	0,720	0,785
Kohle	0,603	0,612	0,634	0,632
Fernwärme	0,857	-	0,857	-
Strom	0,830	0,970	-	0,960

Tabelle 9.1-6: Beheizungsstruktur von Wohneinheiten in Ein- und Zweifamilienhäusern BRD 1987 (umgerechnet auf Normaljahresbedingungen)

Ein- und Zweifamilienhäuser 1987		Baujahr	Anzahl 1000 WE	Wohnfl. m^2/WE	Nutz.grad Gesamt	Spez. Wärmebed. kWh/(m^2*a)	Spez. Endenerg. kWh/(m^2*a)	Wärmebedarf PJ/a	Endenergiebedarf PJ/a
Zentral	Heizöl	bis 1948	1109	92	0,679	201,0	296,0	73,8	108,7
	El.	1949 - 68	2229	102	0,679	182,0	268,0	149,0	219,4
		1969 - 78	1443	119	0,679	145,0	213,5	89,7	132,1
		1979 - 83	392	120	0,679	120,0	176,7	20,3	29,9
		ab 1984	250	118	0,679	115,0	169,4	12,2	18,0
	---------	Gesamt	5423	107	0,679	165,9	244,3	345,0	508,1
	Erdgas	bis 1948	916	92	0,687	201,0	292,6	61,0	88,7
		1949 - 68	824	102	0,687	182,0	264,9	55,0	80,1
		1969 - 78	528	119	0,687	145,0	211,1	32,8	47,7
		1979 - 83	375	120	0,687	120,0	174,7	19,4	28,3
		ab 1984	330	118	0,687	115,0	167,4	16,1	23,5
	---------	Gesamt	2972	106	0,687	162,6	236,6	184,3	268,3
	Kohle	bis 1948	140	92	0,603	201,0	333,3	9,3	15,5
		1949 - 68	80	102	0,603	182,0	301,8	5,3	8,8
		1969 - 78	8	119	0,603	145,0	240,5	0,5	0,8
		1979 - 83	6	120	0,603	120,0	199,0	0,3	0,5
		ab 1984	0	118	0,603	115,0	190,7	0,0	0,0
	---------	Gesamt	234	97	0,603	189,3	313,9	15,5	25,7
	Fern-	bis 1948	85	92	0,857	201,0	234,5	5,7	6,6
	wärme	1949 - 68	112	102	0,857	182,0	212,4	7,5	8,7
		1969 - 78	40	119	0,857	145,0	169,2	2,5	2,9
		1979 - 83	16	120	0,857	120,0	140,0	0,8	1,0
		ab 1984	17	118	0,857	115,0	134,2	0,8	1,0
	---------	Gesamt	270	103	0,857	171,9	200,6	17,3	20,1
	Strom	bis 1948	0	92	0,830	201,0	242,2	0,0	0,0
		1949 - 68	0	102	0,830	182,0	219,3	0,0	0,0
		1969 - 78	106	119	0,830	145,0	174,7	6,6	7,9
		1979 - 83	74	120	0,830	120,0	144,6	3,8	4,6
		ab 1984	17	118	0,830	115,0	138,6	0,8	1,0
----------		Gesamt	197	119	0,830	133,0	160,2	11,3	13,6

Tabelle 9.1-6: Fortsetzung

Ein- und Zweifamilienhäuser 1987	Baujahr	Anzahl 1000 WE	Wohnfl. m^2/WE	Nutz.grad Gesamt	Spez. Wärmebed. kWh/(m^2*a)	Spez. Endenerg. kWh/(m^2*a)	Wärmebedarf PJ/a	Endenergiebedarf PJ/a
Dezentral Heizöl	bis 1948	773	92	0,728	125,6	176,4	32,2	45,2
El.	1949 - 68	446	102	0,728	113,8	159,8	18,6	26,1
	1969 - 78	43	119	0,728	87,9	123,5	1,6	2,3
	1979 - 83	1	120	0,728	73,2	102,8	0,0	0,0
	ab 1984	0	118	0,728	70,3	98,7	0,0	0,0
---------	Gesamt	1262	96	0,728	119,6	168,0	52,4	73,6
Erdgas	bis 1948	135	92	0,802	125,6	160,0	5,6	7,2
	1949 - 68	75	102	0,802	113,8	144,9	3,1	4,0
	1969 - 78	15	119	0,802	87,9	112,0	0,6	0,7
	1979 - 83	10	120	0,802	73,2	93,3	0,3	0,4
	ab 1984	0	118	0,802	70,3	89,5	0,0	0,0
---------	Gesamt	235	98	0,802	116,0	147,8	9,6	12,3
Feste	bis 1948	583	92	0,612	125,6	198,8	24,3	38,4
Brennst.	1949 - 68	182	102	0,612	113,8	180,0	7,6	12,0
(Kohle)	1969 - 78	15	119	0,612	87,9	139,2	0,6	0,9
	1979 - 83	2	120	0,612	73,2	115,8	0,1	0,1
	ab 1984	0	118	0,612	70,3	111,2	0,0	0,0
---------	Gesamt	782	95	0,612	121,6	192,4	32,5	51,4
Strom	bis 1948	422	92	0,970	125,6	129,5	17,6	18,1
	1949 - 68	315	102	0,970	113,8	117,3	13,2	13,6
	1969 - 78	69	119	0,970	87,9	90,7	2,6	2,7
	1979 - 83	6	120	0,970	73,2	75,5	0,2	0,2
	ab 1984	6	118	0,970	70,3	72,5	0,2	0,2
---------	Gesamt	819	99	0,970	116,1	119,7	33,7	34,8
Ein- und Zweifamilienhäuser		12194	104	0,696	153,9	221,0	701,5	1007,8

Tabelle 9.1-7: Beheizungsstruktur von Wohneinheiten in Mehrfamilienhäusern BRD 1987 (umgerechnet auf Normaljahresbedingungen)

Mehrfamilienhäuser 1987		Baujahr	Anzahl 1000 WE	Wohnfl. m^2/WE	Nutz.grad Gesamt	Spez. Wärmebed. kWh/(m^2*a)	Spez. Endenerg. kWh/(m^2*a)	Wärme-bedarf PJ/a	Endenergie-bedarf PJ/a
Zentral	Heizöl	bis 1948	824	67	0,711	166,0	233,5	32,7	46,0
	El.	1949 - 68	2226	61	0,711	175,0	246,1	85,5	120,3
		1969 - 78	1367	73	0,711	119,0	167,4	42,8	60,1
		1979 - 83	244	68	0,711	115,0	161,7	6,9	9,7
		ab 1984	61	66	0,711	78,0	109,7	1,1	1,6
	---------	Gesamt	4722	66	0,711	151,0	212,4	169,0	237,7
	Erdgas	bis 1948	1048	67	0,720	166,0	230,6	41,7	57,9
		1949 - 68	1319	61	0,720	175,0	243,1	50,7	70,4
		1969 - 78	935	73	0,720	119,0	165,3	29,2	40,6
		1979 - 83	448	68	0,720	115,0	159,7	12,6	17,5
		ab 1984	330	66	0,720	78,0	108,3	6,1	8,5
	---------	Gesamt	4081	66	0,720	144,0	200,0	140,3	194,9
	Kohle	bis 1948	73	67	0,634	166,0	261,8	2,9	4,6
		1949 - 68	76	61	0,634	175,0	276,0	2,9	4,6
		1969 - 78	4	73	0,634	119,0	187,7	0,1	0,2
		1979 - 83	2	68	0,634	115,0	181,4	0,1	0,1
		ab 1984	0	66	0,634	78,0	123,0	0,0	0,0
	---------	Gesamt	155	64	0,634	168,1	265,2	6,0	9,5
	Fern-	bis 1948	155	67	0,857	166,0	193,7	6,1	7,2
	wärme	1949 - 68	615	61	0,857	175,0	204,2	23,6	27,6
		1969 - 78	332	73	0,857	119,0	138,9	10,4	12,1
		1979 - 83	55	68	0,857	115,0	134,2	1,5	1,8
		ab 1984	70	66	0,857	78,0	91,0	1,3	1,5
----------		Gesamt	1227	66	0,857	148,6	173,4	43,0	50,2
Dezentral	Heizöl	bis 1948	404	67	0,728	99,3	139,4	9,6	13,5
	El.	1949 - 68	379	61	0,728	104,7	147,0	8,7	12,2
		1969 - 78	22	73	0,728	73,4	103,1	0,4	0,6
		1979 - 83	0	68	0,728	69,0	96,8	0,0	0,0
		ab 1984	0	66	0,728	45,7	64,2	0,0	0,0
	---------	Gesamt	805	64	0,728	100,9	141,7	18,7	26,3
	Erdgas	bis 1948	315	67	0,802	99,3	126,5	7,5	9,5
		1949 - 68	365	61	0,802	104,7	133,3	8,4	10,7
		1969 - 78	46	73	0,802	73,4	93,5	0,9	1,1
		1979 - 83	7	68	0,802	69,0	87,8	0,1	0,2
		ab 1984	0	66	0,802	45,7	58,2	0,0	0,0
	---------	Gesamt	733	64	0,802	99,7	127,0	16,9	21,5
	Feste	bis 1948	572	67	0,612	99,3	157,1	13,6	21,5
	Brennst.	1949 - 68	338	61	0,612	104,7	165,6	7,8	12,3
	(Kohle)	1969 - 78	20	73	0,612	73,4	116,1	0,4	0,6
		1979 - 83	1	68	0,612	69,0	109,1	0,0	0,0
		ab 1984	0	66	0,612	45,7	72,3	0,0	0,0
	---------	Gesamt	931	65	0,612	100,5	159,0	21,8	34,4
	Strom	bis 1948	464	67	0,960	99,3	103,4	11,0	11,5
		1949 - 68	508	61	0,960	104,7	109,0	11,7	12,2
		1969 - 78	154	73	0,960	73,4	76,5	3,0	3,1
		1979 - 83	37	68	0,960	69,0	71,8	0,6	0,6
		ab 1984	57	66	0,960	45,7	47,6	0,6	0,6
	---------	Gesamt	1220	65	0,960	94,2	98,2	26,9	28,0
Mehrfamilienhäuser			13874	66	0,735	135,1	183,9	442,7	602,6

In Tabelle 9.1-8 sind die wichtigsten Kenndaten über die Beheizungstruktur der privaten Haushalte für das Jahr 1987 dargestellt.

Tab. 9.1-8: Beheizungsstruktur von Wohneinheiten
BRD 1987 (umgerechnet auf Normaljahresbedingungen)

Endenergie-träger	Anzahl Wohnungen Zentral 1000 WE	Dezentral 1000 WE	Gesamt 1000 WE	Durchschnittl.Wohnflächen Zentral m2/WE	Dezentral m2/WE	Gesamt m2/WE	Spezifischer Nutzen.bed. Zentral kWh/(m2a)	Dezentral kWh/(m2a)	Gesamt kWh/(m2a)
Heizöl EL	10145	2067	12212	88	84	87	161	114	153
Erdgas	7053	968	8021	83	72	82	154	105	149
Kohle	389	1713	2102	84	78	79	183	112	126
Strom	197	2039	2236	119	78	82	133	105	109
Fernwärme	1497	0	1497	72	0	72	155	0	155
Gesamt	19281	6786	26067	85	79	84	158	110	146

Endenergie-träger	Nutzungsgrad Zentral	Dezentral	Spez. Endenergiebedarf. Zentral kWh/(m2a)	Dezentral kWh/(m2a)	Gesamt kWh/(m2a)	Endenergiebed.(Normalj) Zentral PJ/a	Dezentral PJ/a	Gesamt PJ/a
Heizöl EL	0,69	0,71	233	160	221	745,8	99,9	845,7
Erdgas	0,70	0,79	220	134	211	463,2	33,8	497,0
Kohle	0,61	0,63	299	177	201	35,2	85,8	121,0
Strom	0,83	0,97	160	109	116	13,6	62,8	76,4
Fernwärme	0,86	-	180	0	180	70,3	0,0	70,3
Gesamt	0,70	0,75	225	146	206	1328,1	282,3	1610,4

Zusammenfassung:

Der spezifische Nutzwärmebedarf bei zentral beheizten Gebäuden liegt gegenwärtig bei durchschnittlich 160 kWh/(m^2*a), der Endenergiebedarf bei 225 kWh/(m^2*a), was einem jährlichen Heizölverbrauch von knapp 23 l pro Quadratmeter Wohnfläche entspricht. Bei dezentral beheizten Gebäuden (Ofenheizungen) sind die entsprechenden Werte niedriger, da i.d.R. nur ein Teil der Wohnfläche beheizt wird. Insbesondere bei den 3,8 Millionen immer noch mit Öl- und Kohleöfen beheizten Wohneinheiten ist hierbei von einem wesentlich verringerten Wohnkomfort auszugehen. Im Durchschnitt über den gesamten Gebäudebestand ergeben sich dadurch Bedarfswerte von 146 kWh/(m^2*a) Nutzwärme und 206 kWh/(m^2*a) Endenergie.

Abbildung 9.1-1 zeigt die Anteile der Energieträger an der Deckung des Nutzwärmebedarfs der privaten Haushalte 1987 (umgerechnet auf das meteorologische Normaljahr).

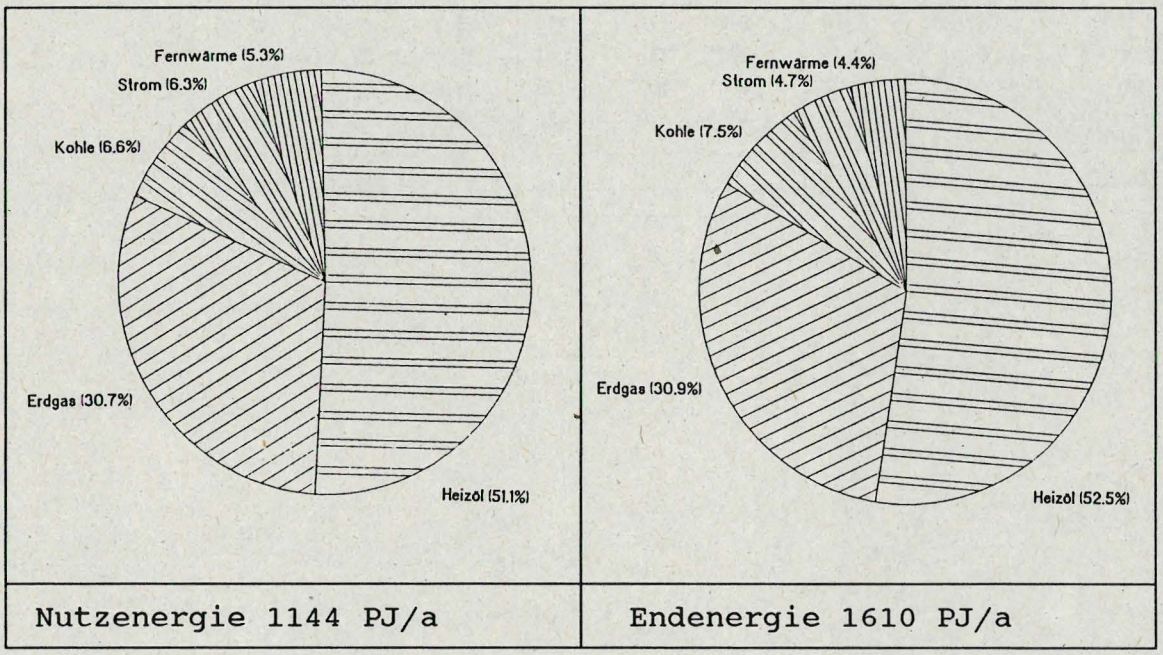


Abbildung 9.1-1 Anteile der Energieträger am Nutzwärmebedarf der privaten Haushalte 1987 (umgerechnet auf Normaljahresbedingungen)

9.2 Ermittlung der Emissionen 1987

Aus dem Endenergiebedarf für Raumwärmeerzeugung der privaten Haushalte und seiner Aufteilung auf die Energieträger lassen sich die Emissionen in ihrer Zuordnung zu Gebäudetypen und Energieträgern berechnen. Tabelle 9.2-1 zeigt die mit Hilfe der von der Enquete-Kommission vorgegebenen Emissionsmatrix /GEMIS/ berechneten klimarelevanten Emissionen für Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe (NMVOC = non-methane volatile compounds) sowie Stickoxide (NO_x).

Tabelle 9.2-1: Emissionen 1987 (umgerechnet auf Normaljahresbedingungen) in 1000 t/a

	CO2				CH4			
	zentral direkt	dezentral direkt	indirekt	gesamt	zentral direkt	dezentral direkt	indirekt	gesamt
Heizöl	54443	7294	5835	67573	0,7	0,1	88,0	88,9
Erdgas	25479	1858	1541	28877	2,3	0,3	107,9	110,4
Kohle	3269	7983	411	11663	6,3	23,2	54,3	83,8
Strom	0	0	13438	13438	0,0	0,0	51,6	51,6
Fernwärme	0	0	4643	4643	0,0	0,0	13,6	13,6
Gesamt	83191	17135	25869	126195	9,4	23,6	315,3	348,3

	NMVOC				NOx			
	zentral direkt	dezentral direkt	indirekt	gesamt	zentral direkt	dezentr. direkt	indirekt	gesamt
Heizöl	3,0	0,6	17,8	21,3	37,3	7,0	26,2	70,5
Erdgas	2,3	0,3	1,2	3,8	23,2	2,0	7,5	32,6
Kohle	2,1	7,7	0,0	9,9	2,6	4,3	2,4	9,3
Strom	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0	40,0	40,0
Fernwärme	0,0	0,0	0,6	0,6	0,0	0,0	10,7	10,7
Gesamt	7,4	8,6	20,0	35,9	63,1	13,3	86,8	163,2

In der Emissionsmatrix sind neben den direkten Emissionen der Energieanlagen bei der Verbrennung der Energieträger auch die vorgelagerten (indirekten) Emissionen erfaßt, die bei der Bereitstellung der Energieträger entstehen. Zusammenfassend sind dem Bereich Raumwärmeerzeugung der privaten Haushalte 1987 ca. 126 Millionen t CO_2-Emissionen entsprechend 16 % der gesamten CO_2-Emission der

Bundesrepublik Deutschland zuzuordnen. Abb. 9.2-1 zeigt die Anteile der Energieträger an der Gesamtemission (vgl. Abb. 9.1-1!).

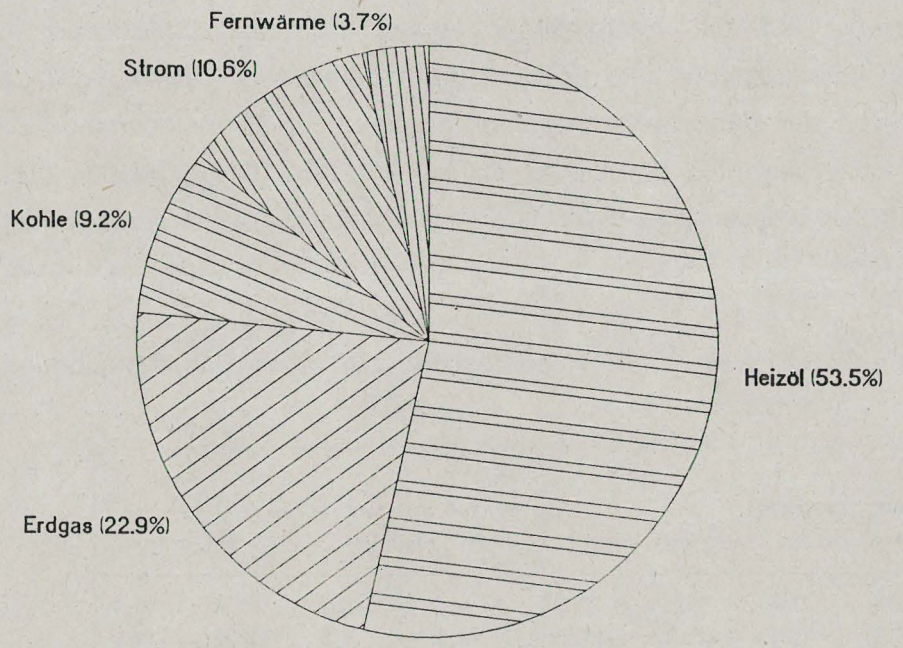


Abb. 9.2-1: Anteile der Energieträger an der CO_2-Emission

Die durchschnittliche CO_2-Emission pro Quadratmeter Grundfläche und Jahr beträgt damit etwa 58,6 kg CO_2; den höchsten Wert erreicht darin die Stromheizung mit 74,1 kg/(m^2*a) trotz des durch geringere Energiedienstleistung verringerten Nutzenergiebedarfs (größtenteils dezentrales Heizsystem) dieser Wohneinheiten.

9.3 Das Emissionsminderungspotential durch bauliche Maßnahmen im Gebäudebestand bis zum Jahr 2005

Um den Einfluß baulicher Maßnahmen auf die Emissionsminderung im Raumwärmebereich von Substitutionseffekten in den Bereichen Heizungstechnik oder Energieträger isolieren zu können, werden für den Referenzfall zusätzlich die folgenden heizungstechnischen Voraussetzungen angenommen:

- Umrüstung kohle- und ölbefeuerter dezentraler Heizsysteme auf zentrale Heizsysteme

- gleicher Beheizungsumfang (d.h. Vollbeheizung) auch bei dezentralen Heizsystemen, d.h. Angleichung des Wohnkomforts
- Sanierung aller Heizsysteme auf den Standard 1990 (Tab. 9.3.1-1) mit den folgenden Jahresnutzungsgraden:

Tabelle 9.3.1-1: Heizzahlen von Raumheizungssystemen /FfE/
BRD 2005 "Technischer Status Quo" (sanierte Heizsysteme)

	EZFH		MFH	
	zentral	dezentral	zentral	dezentral
Heizöl	0,812	0,747	0,821	0,747
Erdgas	0,844	0,821	0,853	0,821
Kohle	0,624	0,621	0,638	0,621
Fernwärme	0,885	-	0,885	-
Strom	0,866	0,970	-	0,970

Für den Referenzfall wurde unterstellt, daß ab 1987 keine zusätzlichen baulichen Energiesparmaßnahmen durchgeführt werden (vergl. Kap.8). Weiterhin wird im folgenden von den in den Kapiteln 7 und 8 mit Hilfe der Gebäudetypenmethode ermittelten Energiekennzahlen ausgegangen (Tabelle 9.3.1-2). Bis zum Jahre 2005 halten sich Abriß und Aktivierung von Wohnflächen im Gebäudebestand von 1990 weitgehend die Waage, so daß die absoluten Emissionswerte für 2005 mit denen von 1987 weitgehend vergleichbar sind (Minderung nur durch Heizungssanierung).

Tabelle 9.3.1-2: Energiekennzahlen nach Gebäudealtersklassen 2005 in kWh/(m^2*a)

		Referenz	Trend	Spar	Potential	Zukunfts-Potential
EFH	bis 1948	201	170	110	87	25
	1949 - 68	182	158	111	78	25
	1969 - 78	145	138	111	97	25
	1979 - 83	120	119	100	86	25
	1984 - 90	115	115	102	95	25
MFH	bis 1948	166	148	101	80	16
	1949 - 68	175	150	107	63	17
	1969 - 78	119	113	93	49	18
	1979 - 83	115	107	88	54	16
	1984 - 90	78	78	70	54	16

Ohne weitere bauliche Energiesparmaßnahmen ergäbe sich bis zum Jahr 2005 lediglich eine Verringerung der CO_2-Emissionen von 5 %, da der erheblichen Anhebung des durchschnittlichen Jahresnutzungsgrades der Heizsysteme von 71 % auf 83,5 % durch Heizungssanierung auf den Stand der Technik der Trend zur Angleichung des Wohnkomforts (Verdrängung dezentraler Heizsysteme, Vollbeheizung) entgegenwirkt. Die möglichen Emissionsverringerungen bei unterschiedlicher Intensität der baulichen Energiesparmaßnahmen zeigen Tabelle 9.3.1-3 und Abb. 9.3.1-1:

Tabelle 9.3.1-3: Entwicklung der Emissionen bis 2005 aus dem Energieeinsatz für Raumwärmeerzeugung

	Nutz-Energie	End-Energie	Emissionen CO_2	CH_4	NMVOC	NO_x
	PJ/a		1000 t/a			
Referenz	1279	1531	121223	313	25	104
Trend	1136	1360	107583	277	22	92
Spar	826	988	78092	200	16	67
Potential	602	721	57074	147	12	49
Zukunfts-potential	169	203	16038	41	3	14

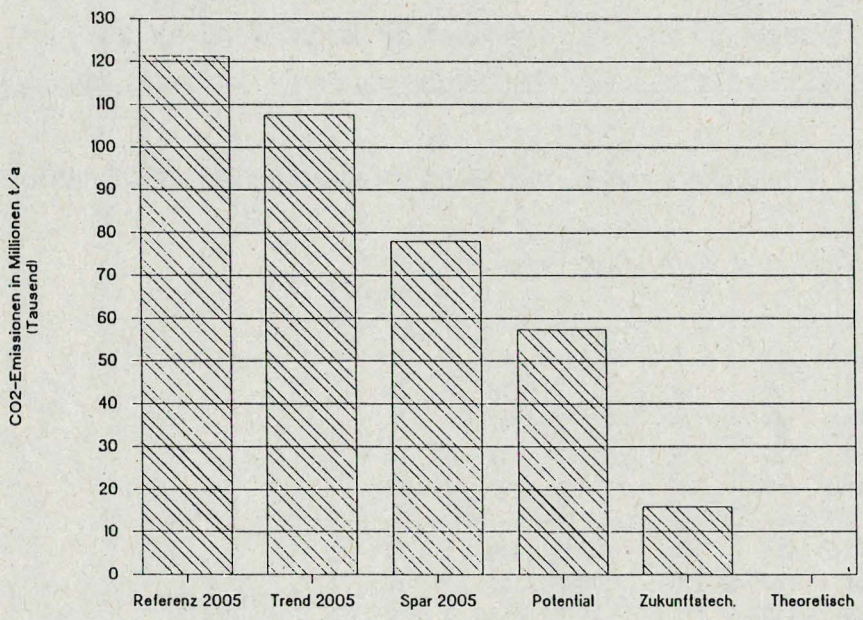


Abb. 9.3.1-1: Entwicklung der CO_2-Emissionen bei baulichen Sparmaßnahmen im Gebäudebestand (sanierte Heizungsanlagen)

Gegenüber dem Referenzfall wird im SPAR-Szenario dreimal so viel Kohlendioxid (CO_2) wie bei einer moderaten Entwicklung (TREND) eingespart. Dies gilt in fast gleicher Weise für alle anderen betrachteten Emissionen, da in den Szenarien unter gleichen heizungstechnischen Voraussetzungen keine gegenläufigen Effekte auftreten können (Abb. 9.3.1-1).

Zusammenfassung

- Die im Gebäudebestand im Rahmen der Erneuerungszyklen vor sich gehende Sanierung der Heizungsanlagen führt bis zum Jahr 2005 zu einer erheblichen Verbesserung der durchschnittlichen Jahresnutzungsgrade von heute 71 % auf dann etwa 83,5 %. Dies wird jedoch nur zu einer minimalen Verringerung der klimarelevanten Emissionen von ca. 5 % führen, da der Trend zur Angleichung des Wohnkomforts entgegenwirkt.
- Die unter heutigen Rahmenbedingungen trendmäßig zu erwartenden baulichen Energiesparmaßnahmen führen gegenüber dem REFERENZ-Szenario (baulicher Standard 1987, vollbeheizt, sanierte Heizungsanlage) nur zu Emissionsminderungen von 11,3 % bis zum Jahr 2005.
- Durch erhebliche politische Anstrengungen kann auf der Grundlage heute verfügbarer und bewährter Technik bis 2005 die Emissionsminderung gegenüber dem TREND-Szenario verdreifacht werden (SPAR).
- Das bis Mitte des nächsten Jahrhunderts zu erschließende Emissionsminderungspotential durch bauliche Maßnahmen mit heute verfügbarer und bewährter Technik beträgt 53%, bei Berücksichtigung heute absehbarer Technologieentwicklung sogar 87 % (Potential und Zukunftstechnik).

9.4 Emissionsreduktionspotential durch rationelle Versorgungstechnik

9.4.1 Thermodynamische Obergrenze für Heizzahlen

Die Heizzahl ist ein Maß für die Güte der Wärmeerzeugung, -verteilung und Regelung. Sie wird berechnet aus dem Verhältnis von Heizenergiebedarf und dem zu seiner Deckung erforderlichen End- oder Primärenergieeinsatz (z.B. Heizzahl Endenergie in /HMWT 1989/). Da die Heizzahl bei konventionellen Heizsystemen (Kesselanlagen) nicht größer als eins werden kann (Ausnahme Brennwertkessel wegen der falschen Bezugsgröße unterer Heizwert H_u), wird sie oft - weniger

präzise - als Nutzungsgrad aufgefaßt. Für bestimmte Heizsysteme (Wärmepumpen, Kraft-Wärme-gekoppelte Prozesse) kann sie aber wesentlich größer als eins werden.

Die naturgesetzlich maximal erreichbare Heizzahl Primärenergie (ideales System: reversible Brennstoffzelle und reversible Wärmepumpe) liegt für die Klimaverhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland bei 18 /Baehr 1980/. Im Vergleich hierzu beträgt die durchschnittliche Heizzahl Endenergie gegenwärtig 0,71 und wird nach Sanierung der Heizsysteme bis 2005 einen Wert von 0,835 erreichen können /FfE/. Da die Beheizungsstruktur im wesentlichen von konventionellen Kesselanlagen bestimmt wird, ist die Heizzahl Primärenergie niedriger als die Heizzahl Endenergie.

Technisch erreichbare Heizzahlen (Primärenergie) von modernen fossil befeuerten Kraft-Wärme-gekoppelten Systemen liegen unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Auslegungsbedingungen (Wärmeerzeugung der Spitzenlast in Heizkesseln) und zusätzlicher Verteilungsverluste in Fernwärmenetzen über zwei, brennstoffgetriebene Kompressionswärmepumpen immer noch bei Werten zwischen 1,4 und 1,8. Unter Einbeziehung industrieller Abwärme werden in bestehenden Versorgungssystemen heute bereits Heizzahlen (Primärenergie) von ca. vier erreicht (z.B. Fernwärme Niederrhein in Dinslaken) /Klien 87/.

9.4.2 Emissionsreduktionspotential durch Sanierung und Optimierung der gegenwärtigen Beheizungsstruktur

Ohne Sanierung der Heizanlagen würden durch Angleichung des Wohnkomforts (Vollbeheizung aller Wohnungen, Umrüstung von dezentralen auf zentrale Heizsysteme) im Gebäudebestand die CO_2-Emissionen von 127,6 Millionen Tonnen pro Jahr auf fast 140 Millionen Tonnen steigen (+ 9,7 %). Dem Trend zu wachsendem Wohnkomfort wirkt jedoch die auch ohne energiepolitische Eingriffe vor sich gehende Erneuerung der bestehenden Heizungsanlagen entgegen, die bis zum Jahre 2005 etwa den technischen Standard 1987 erreicht haben wird. Durch das entsprechende Ansteigen der durchschnittlichen Heizzahl von 0,71 im Jahr 1987 auf 0,835 im Jahr 2005 sinken die CO_2-Emissionen des vollbeheizten Wohnungsbestandes um 13,4 % auf dann 121,2 Millionen Tonnen pro Jahr (REFERENZ-Szenario

2005) als Resultat der beschriebenen gegensätzlichen Entwicklungen. Über diese Entwicklung hinaus könnten im Bereich der konventionellen Kesseltechnik Impulse für eine höhere Durchdringung des Marktes mit Brennwertkesseln gegeben werden.

Die Tabelle 9.4.2-1 zeigt die hierdurch technisch nach /FfE/ erreichbaren Heizzahlen (Potential):

Tabelle 9.4.2-1: Heizzahlen bei optimierten Heizanlagen /FfE/

	zentral	dezentral
Heizöl	0,884	0,776
Erdgas	0,917	0,851
Kohle	0,646	0,665
Fernwärme	0,913	-
Strom	0,903	0,99

Das Emissionsreduktionspotential durch über die Standard-Kesselsanierung hinausgehende heizungstechnische Maßnahmen im Bereich der konventionellen Feuerungstechnik liegt mit diesen Werten bei 6,3 %. Das gesamte Emissionsreduktionspotential für CO_2 durch heute am Markt verfügbare und bewährte Technik in den Bereichen baulicher Energiesparmaßnahmen und Verbesserung der konventionellen Feuerungstechnik (Brennwertnutzung) beträgt damit 56 % gegenüber dem Referenzfall bzw. 58 % gegenüber 1987.

9.4.3. Emissionsreduktionspotential durch den Einsatz rationeller Versorgungstechniken, Abfallenergien und regenerativer Energiequellen

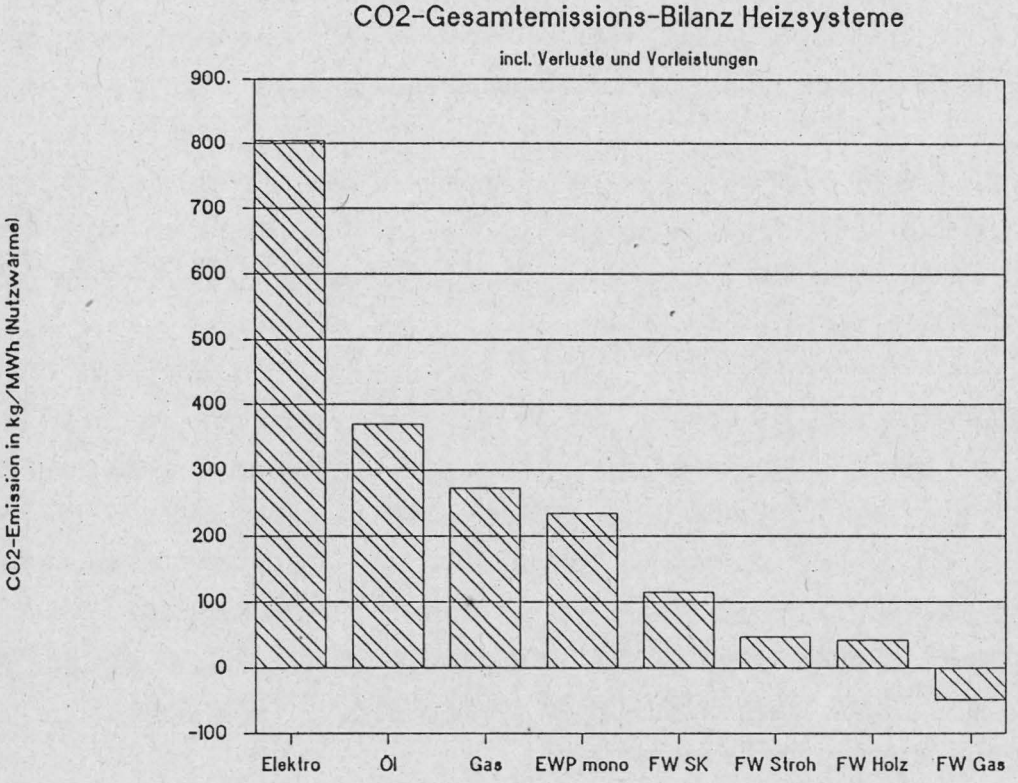
Auf der Grundlage der Ausschöpfung des Potentials baulicher Energiesparmaßnahmen sind weitere relevante Verringerungen klimarelevanter Emissionen durch den Einsatz rationeller Versorgungstechniken und die Substitution traditioneller Heizenergieträger durch Abfallenergien und Biomassenutzung insbesondere im ländlichen Raum zu erreichen. Das folgende Diagramm zeigt die Möglichkeiten rationeller **Versorgungs**technik sowie zur Wärmeerzeugung verfügbaren Biomassepotentiale im ländlichen Raum:

- Kraft-Wärme-Kopplung
  - Blockheizkraftwerke
  - Heizkraftwerke
- Primärenergiegetriebene Wärmepumpen
  - Kompression
  - Absorption
- Industrielle Abwärmenutzung
- Biogasanlagen
- Reststrohverbrennung
- Resttrohvergasung (Versuchsstadium)
- Holzhackschnitzelfeuerungen
- Holzhackschnitzelvergasung (Versuchsstadium)

  → ländl. Raum
- Müllpyrolyse

Für praktisch alle diese Versorgungstechniken gilt, daß ein Anschlußwert von mindestens einigen hundert kW erreicht werden muß, um sie mit vertretbaren Umweltschutzstandards und zu ökonomisch tragbaren Bedingungen einsetzen zu können. Das erfordert in der Regel den Zusammenschluß mehrerer Verbraucher über ein Wärmenetz (Fernwärme). Für eine effektive Nutzung der Solarenergie zu Heizzwecken sind ebenfalls solare Gemeinschaftssysteme, die über ein Wärmenetz an einen zentralen saisonalen Speicher angeschlossen sind, notwendig. Nur bei ausreichenden Speichervolumen wird es möglich sein, die Auskühlungszeit soweit zu erhöhen, daß sie überhaupt als saisonale Speicher eingesetzt werden können /DLR 89/. In Schweden und Dänemark liegen inzwischen Erfahrungen von insgesamt etwa dreißig regenerativen Anlagen mit saisonalen Speichern vor (z.B. /Jilar 85/, /Brunström 87/, /Lange 88/, /Nielsen 89/), wobei die Entwicklung von solchen Speichern, die den davon unterschiedlichen deutschen Verhältnissen angepaßt sind, noch erhebliche Zeit in Anspruch nehmen wird. Entscheidend ist heute jedoch die Schaffung der notwendigen Infrastruktur in Form von Wärmenetzen, die bereits die Möglichkeiten zur Nutzung rationeller Versorgungstechniken und von Biomassepotentialen im ländlichen Raum eröffnet und mittel- bis langfristig zusätzliche Chancen bei der Nutzung der Sonnenenergie für die Raumheizung bietet.

Die folgende Abbildung 9.4.3-1 zeigt zusammengefaßt die CO_2-Gesamtemissions-Bilanzen von Heizsystemen nach heutigem Stand der Technik:



Legende:

Elektro	- Elektrische Nachtspeicherheizung
Öl	- Ölzentralheizung
Gas	- Gaszentralheizung
EWP mono	- Monovalente elektrische Wärmepumpe
FW SK	- Fernwärme aus Steinkohleheizkraftwerk (Entnahmekondensation) mit Öl-Spitzenkessel
FW Stroh	- Fernwärme aus Strohheizwerk
FW Holz	- Fernwärme aus einer Holzhackschnitzel-Feuerungsanlage
FW Gas	- Erdgas-Blockheizkraftwerk mit Gas-Spitzenkessel, Stromgutschrift über Steinkohle-Kondensationskraftwerk

Abb. 9.4.3-1 CO_2-Gesamtemissions-Bilanz von neuen Heizsystemen /GEMIS/

Die dargestellten Emissionsbilanzen beinhalten alle auftretenden Umwandlungs-, transport- und Verteilungsverluste auch der vorgelagerten Prozeßketten incl. der Materialaufwendungen /GEMIS 89/, wobei jeweils Systeme nach modernstem Stand der Technik berücksichtigt wurden. Eine entscheidende Verringerung der CO_2-

Emissionen gegenüber konventionellen Feuerungsanlagen ist hiernach erst durch den Übergang auf zentrale Wärmeversorgungssysteme möglich, die den Aufbau von Nah- bzw. Fernwärmesystemen erfordern. Dies gilt insbesondere auch für den einzigen ökologisch vertretbaren Kohleeinsatz im Wärmemarkt über moderne steinkohlebefeuerte Heizkraftwerke. Ein Kohleeinsatz über elektrische Direktheizsysteme erscheint dagegen aus heutiger Sicht insbesondere wegen der damit verbundenen hohen CO_2-Emissionen nicht mehr verantwortbar.

Die Netto-Emissionseinsparung (negative Emissions-Bilanz) bei gasgetriebenen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen ergibt sich daraus, daß hierdurch in der Bundesrepublik Deutschland im wesentlichen Mittellaststromerzeugung in Steinkohle-Kondensationskraftwerken verdrängt wird.

In der Bundesrepublik Deutschland hat die Fernwärme inzwischen einen Marktanteil von ca. 8% im Heizwärmesektor erreicht, bei den privaten Haushalten liegt der Anteil nach den Ergebnissen der Gebäude- und Wohnungszählung sogar nur bei 5,2%. Die Wärme stammt zu knapp 75% aus Kraft-Wärme-Kopplung und sonstiger Abwärme, der Rest wird in Heizwerken erzeugt. Es gibt etwa 125 Fernwärmeversorgungsunternehmen (FVUs). Dies bedeutet, daß in der Bundesrepublik Deutschland gerade 6,5% der Raumwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung oder sonstiger Abwärmenutzung bereitgestellt wird.

Im Vergleich hierzu gibt es in Dänemark knapp 400 Fernwärmeunternehmen, die inzwischen über 40% der dänischen Haushalte trotz der ländlichen Grundstruktur mit Fernwärme versorgen. Zwar werden dort erst 61% der Fernwärme in Kraft-Wärme-Kopplung oder aus Abfallwärme und Biomasse erzeugt; dies bedeutet aber, daß in Dänemark bereits 25% der Raumwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung, Abwärme und regenerativen Energien stammt und daß durch die vorhandenen Leitungsnetze die Voraussetzungen dafür geschaffen sind, diesen Anteil wesentlich zu steigern!

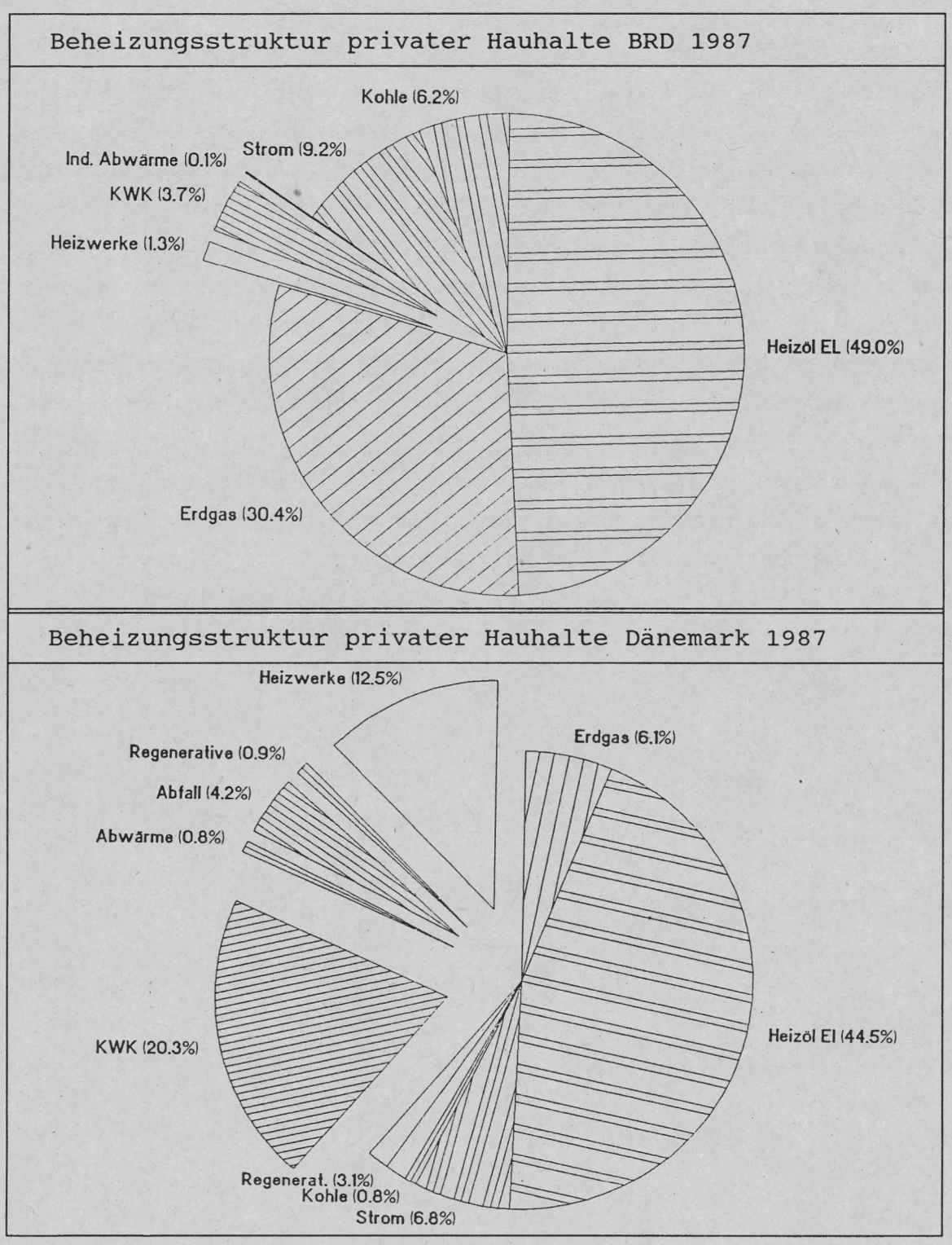


Abb. 9.4.3-2 Vergleich der Beheizungsstruktur in Dänemark und der Bundesrepublik Deutschland

Hemmnisse für den weiteren Fernwärmeausbau:

Ein erstes wesentliches Hemmnis für den notwendigen weiteren Ausbau von Wärmenetzen sind die hohen Wärmetransport und -verteilungskosten. Betrachtet man die Leitungskosten im regionalen Vergleich, so zeigen sich Kostenunterschiede, die nicht mehr nur aus üblichen Preisspannen und unterschiedlichen örtlichen Bedingungen erklärt werden können. Allerdings werden auch in der Bundesrepublik zunehmend Anstrengungen unternommen, um die teilweise sehr hohen Transport- und Verteilungskosten zu senken. Das Fernwärmeforschungsinstitut Hannover hält (bezogen auf den Preisstand 1984) eine Senkung der durchschnittlichen Verlegekosten um 45% beim konsequenten Ausnutzen des gegenwärtigen Stands der Technik für möglich. Hierdurch ließen sich die Voraussetzungen für den wirtschaftlichen Einsatz rationeller Versorgungstechniken wesentlich verbessern. Die Fernwärmekosten in Dänemark liegen teilweise bei 30% bis 50% der in der Bundesrepublik Deutschland üblichen Kosten, wie der Vergleich der Leitungsbaukosten zwischen Odense und Mannheim zeigt /Winkens 88/:

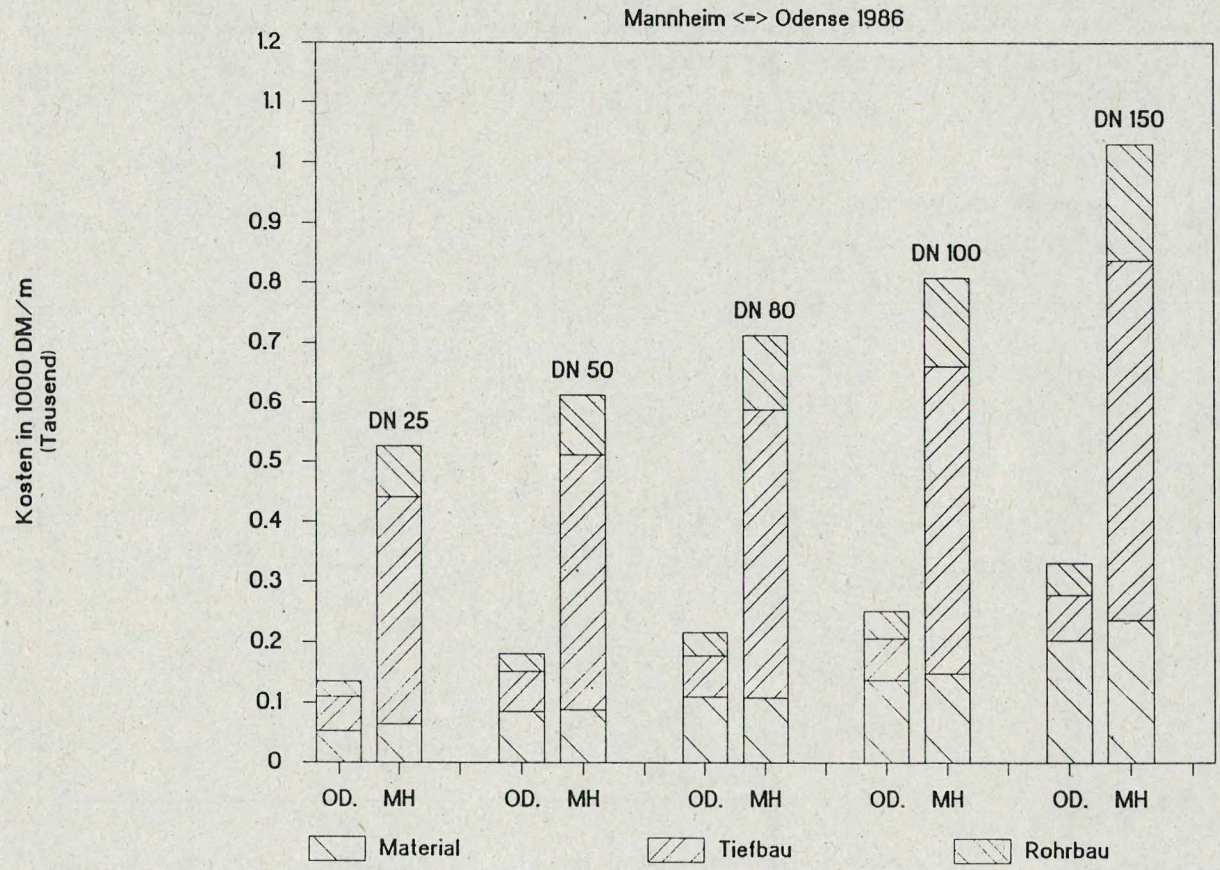


Abb. 9.4.3-3 Kostenvergleich im Fernwärmeleitungsbau

Hierbei scheinen noch nicht alle Möglichkeiten ausgeschöpft, durch Erniedrigung der Vorlauftemperaturen läßt sich der Aufwand beim Leitungsbau weiter verringern /Jörgensen 88/. In Zukunft werden im Bereich der kleineren Nennweiten zunehmend flexible Kunststoffrohre als Mediumrohre eingesetzt werden, die nach den bisherigen Erfahrungen eine weitere Senkung der Verlegekosten um ca. 30% ermöglichen /Klien 88/.

Es gibt bis heute leider keinen systematischen Preisvergleich, der den Einfluß der einzelnen Parameter auf die Kosten darstellt und Ursachen der großen Preisunterschiede deutlich machen würde. Wie beim Kostenvergleich mit dänischen Systemen gezeigt wurde, sind die entscheidenden Kostenvorteile nicht ursächlich bei den Materialkosten, sondern im Tief- und Rohrbau zu erreichen. Die Tendenz geht zu einfacheren Systemen bei erniedrigten Vorlauftemperaturen, die dann zu einem großen Teil in Flachverlegung ausgeführt werden können /Jörgensen 88/. Niedrigere Vorlauftemperaturen und geringere Lastwechselzahlen führen zu entsprechend niedrigeren mechanischen Belastungen in den Systemen und damit auch zu geringeren Anforderungen an die Systemkomponenten. Um niedrige Vorlauftemperaturen zu erreichen, müssen auf der anderen Seite hohe Temperaturdifferenzen in den Hausanlagen z.B. durch direkte Einspeisung, ausreichend dimensionierte Heizflächen, Rücklauftemperaturbegrenzer und geeignete thermostatische Feinregulierventile erreicht werden. Der Einfluß dieser Gesamtoptimierung auf den Tiefbau ist erheblich, Kostenvorteile entstehen insbesondere durch:

- kurze Offenhaltung der Gräben
- kein Verbau
- Montage außerhalb des Grabens.

Die Wärmedichte, die in der Vergangenheit weitgehend die Abgrenzung von Fernwärmevorranggebieten bestimmte, ist nach neueren Erkenntnissen von wesentlich geringerer Bedeutung als bisher angenommen. Wie insbesondere die Arbeiten des Fernwärmeforschungsinstituts Hannover e.V. zeigen, läßt sich in weiten Bereichen kein Zusammenhang zwischen der Wärmedichte und den spezifischen Wärmeverteilungskosten nachweisen /Bracchetti 84/. Je günstiger zudem die Leitungssystemkosten werden und die Tiefbauarbeiten zunehmend die Kosten bestimmen, umso stärker verlagert sich der Fernwärmeausbau in Stadtrandgebiete, Mittelstädte und kleinere Gemeinden. Vorbilder hierfür finden sich auch

in der Bundesrepublik Deutschland: In Wolfsburg werden durch die dortigen Stadtwerke Ein- und Zweifamilienhausgebiete mit Wärmedichten bis herab zu 6,5 MW/km^2 wirtschaftlich mit Fernwärme versorgt, in Dinslaken und anderen Gemeinden werden noch Gebiete mit weniger als 15 MW/km^2 einbezogen.

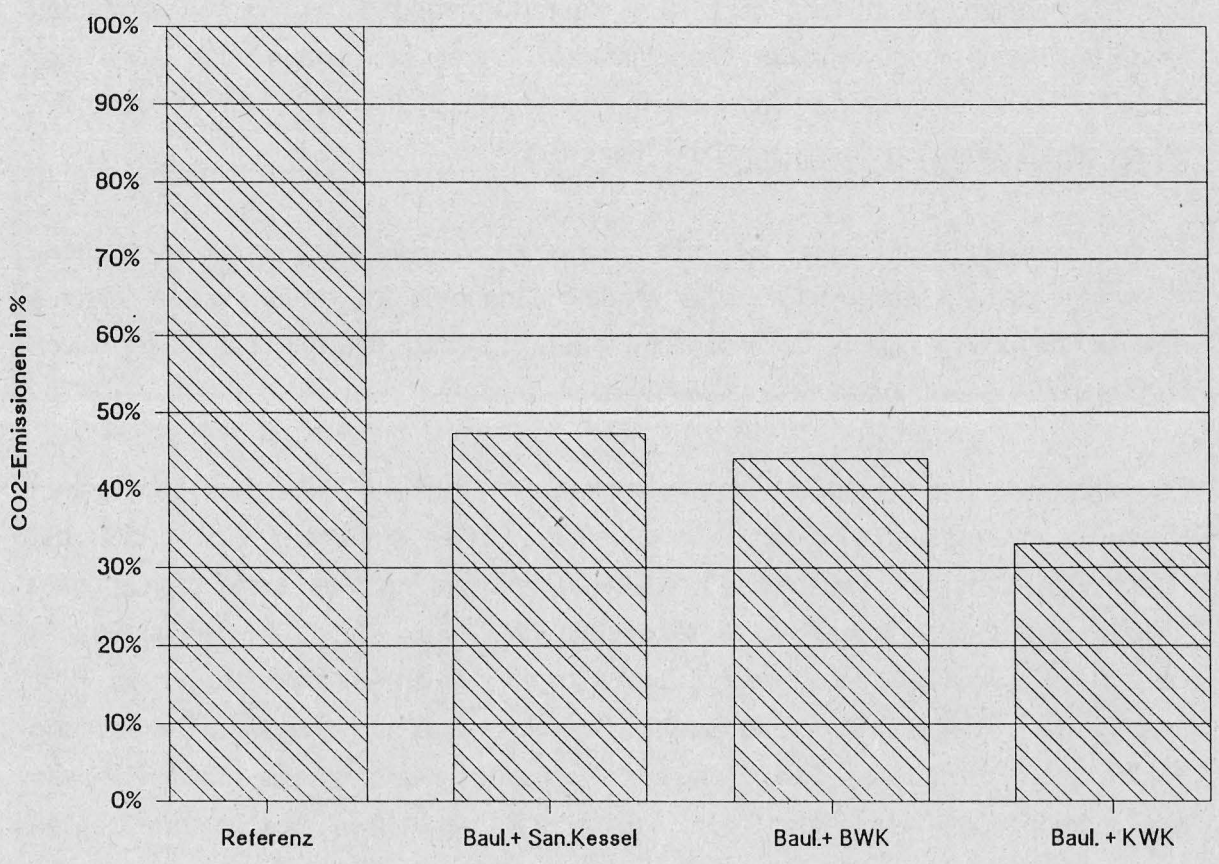
Das zweite wesentliche Hindernis beim Aufbau von Versorgungsnetzen zur rationellen Wärmeversorgung ist der flächenhafte Ausbau der Gasversorgung zur **individuellen** Heizwärmeversorgung. Der zu beobachtende Trend, weitere Verringerungen von CO_2-Emissionen hauptsächlich durch Energieträgersubstitution, insbesondere durch forcierten Einsatz von Erdgas zu erreichen, wirkt in vielen Fällen kontraproduktiv, wenn nicht gleichzeitig effektive Versorgungstechniken eingesetzt werden. Durch den Einsatz von Erdgas in Blockheizkraftwerken oder Gasturbinen in Kraft-Wärme-Kopplung oder sogar von Steinkohle in modernen Heizkraftwerken werden die spezifischen CO_2-Emissionen um mindestens den Faktor 2,5 (i.d.R. mehr) gegenüber bester konventioneller Kesseltechnik verringert. Allein die ca. 335 Blockheizkraftwerke in der öffentlichen Versorgung (von insgesamt über 1000 Anlagen) mit einer installierten elektrischen Gesamtleistung von 214 MW sparen bereits heute in der Bilanz gegenüber einer konventionellen Erdgasversorgung mit sanierten Kesselanlagen schätzungsweise 625.000 t/a CO_2-Emissionen ein. Voraussetzung für den Einsatz rationeller Versorgungstechniken ist aber die Schaffung der Infrastruktur in Form von Wärmenetzen.

Als weitere Schwierigkeit in der Diskussion wird häufig ein Widerspruch zwischen baulichen Maßnahmen zur Energieeinsparung und dem Einsatz rationeller Versorgungstechniken angenommen. Die Diskussion über die Substitution von Heizungstechniken und hierbei insbesondere den Einsatz von rationellen Versorgungstechniken darf aber nicht isoliert von den heizungstechnischen Randbedingungen energetisch sanierter Gebäude geführt werden; internationale Erfahrungen beweisen die Möglichkeit des Fernwärmeeinsatzes gerade auch in Siedlungen mit Niedrigenergiehäusern /Skive 88/, /FK89/. Durch bauliche Energiesparmaßnahmen nimmt zwar die Wärmedichte ab, was für sich allein genommen ein kostensteigender Faktor wäre. Auf der anderen Seite können jedoch die Temperaturen des Heizwassers so weit gesenkt werden, daß kostenseitig relevante Vereinfachungen des Leitungsbaus und der Einsatz neuer Materialien möglich werden (s.o.). Bei Einbeziehung der Brauchwarmwasserbereitung verbessert sich zudem die Auslastung

der Wärmenetze, da im Gegensatz zum Raumwärmebedarf der Warmwasserbedarf tendenziell eher steigt (höherer Grundlastanteil in der Jahresdauerlinie). Auch dies bedeutet eine wesentliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von (kapitalintensiven) rationellen Versorgungstechniken /Klien 1988/.

Eine Potentialabschätzung für die mögliche CO_2-Verminderung ist äußerst schwierig, da zahlreiche willkürliche Modellmaßnahmen zu treffen wären. Zumindest ist es aber möglich, eine vorsichtige Abschätzung der mindestens technisch möglichen CO_2-Verminderung vorzunehmen.

Dänemark als sehr ländlich strukturiertes Land wird im nächsten Jahrhundert einen Fernwärmeanschlußgrad von annähernd 60% erreichen. Über 50% der Raumwärmeerzeugung wird dann in Kraft-Wärme-Kopplung, aus Abfallenergien oder regenerativen Energiequellen bereitgestellt werden. Für die Bundesrepublik Deutschland wird als Obergrenze vorsichtig von einem Anschlußgrad von 50% ausgegangen (der in Dänemark bereits annähernd erreicht ist). Wie die Abbildung 9.4.3-1 zeigt, werden die CO_2-Emissionen bei allen einbezogenen neuen Fernwärmesystemen um mindestens den Faktor 2,5 gegenüber der konventionellen Heizungstechnik reduziert. Die erforderliche zusätzlich in Kraft-Wärme-Kopplung zu installierende elektrische Leistung läge bei Ausschöpfung des baulichen Energiesparpotentials zwischen 7 und 10 GW. Das Minderungspotential durch rationelle Versorgungstechniken liegt unter diesen konservativen Annahmen noch einmal bei mindestens 30% bezogen auf den in Abb. 9.3.1-1 dargestellten Sparpfad mit einem Einsparpotential von bereits 52,9%. Bei 100%iger Durchdringung des Marktes mit Brennwertkesseln wächst das Minderungspotential lediglich auf 56%, bei massivem Fernwärmeausbau (Emissionsminderung mindestens um den Faktor 2,5 gegenüber Erdgas) erhöht es sich dagegen auf 67%. Zusammengefaßt ergeben sich damit die in Abbildung 9.4.3-4 dargestellten Minderungspotentiale im Gebäudebestand auf der Grundlage heute verfügbarer und bewährter Technik.



Legende:

REFERENZ: Gebäudebestand des Jahres 1990 ohne zusätzliche bauliche Energiesparmaßnahmen, gleichmäßiger Beheizungskomfort, sanierte Heizungsanlagen

BAUL.POT: Durchführung aller baulichen Energiesparmaßnahmen mit heute verfügbarer und bewährter Technik, sofern zum Sanierungszeitpunkt wirtschaftlich (bis 13 Pf/kWh)

BAUL+BWK: Zusätzlich werden bei Öl- und Gaszentralheizungen Brennwertkessel eingesetzt

BAUL+KWK: Statt des Einsatzes von Brennwertkesseln wird ein massiver Fernwärmeausbau nach dänischem Vorbild auf der Basis rationeller Versorgungstechniken und regenerativer Energien angenommen

Abb. 9.4.3-4 CO_2-Emissionen durch Raumwärmeerzeugung im Gebäudebestand / Technisches Minderungspotential

Literatur zu Kapitel 9:

/Baehr 80/ H.-D. Baehr: Zur Thermodynamik des Heizens; BWK 31 (1980) Nr. 1 und 2

/Bracchetti 84/ Untersuchung zur rationellen Wärmeversorgung im Niedertemperaturbereich unter Berücksichtigung des Einsatzes der Fernwärme in Niedersachsen, Fernwärmeforschungsinstitut Hannover 1984

/BONNSTRÖM 87/ Ch. Bonnström, C.-G. Hillström: "The Lyckebo Projekt, Solar District Heating with Seasonal Storage in A Rock Cavern" Swedish Council for Building Research Stockholm 1987

/DIN 1998/ Unterbringung von Leitungen und Anlagen in öffentlichen Flächen; 1978

/DLR 89/ P.-M. Nast: Solarkollektoren und solare Nahwärmesysteme / Teilstudie im Studienkomplex A.2 "Nutzung erneuerbarer Energiequellen" im Auftrag der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" DLR Stuttgart, 1989

/efeu 87/ Arbeitsgemeinschaft Energiestudie Wulfen-Barkenberg efeu-ifes-GERTEC: Energiestudie Wulfen-Barkenberg (Band II) -Konzeption für eine energiesparende umwelt- und sozialverträgliche Energieversorgung in Wulfen-Barkenberg, Essen 1987

/FfE/ B. Geiger; M. Wegner: Emissionsminderung durch rationelle Energienutzung im Raumwärmebereich / Teilstudie im Studienkomplex A.1.2. im Auftrag der Enquete-kommission des Deutschen Bundestages: "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre". FfE München 27.10.1989

/FFI 83/ Fernwärmeforschungsinstitut Hannover e.V. (Hrsg.): Untersuchung zur rationellen Wärmeversorgung im Niedertemperaturbereich unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes der Fernwärme in Niedersachsen. Kurzfassung und Bd. 2, Bd. 7, Hannover 1983

/FK 89/ Styregruppen for forsyningskulaloget: "Varmeforsyning af lavenergibebyggelse i omrader med kollektiv forsyning" Kopenhagen 1989

/Garnreiter 83/ Garnreiter, F., Jochem, E. u.a.: Auswirkungen verstärkter Maßnahmen zum rationellen Energieeinsatz auf Umwelt, Beschäftigung und Einkommen, (Studie des Fraunhofer-Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung im Auftrag des Umweltbundesamts), Berlin 1983

/GEMIS 89/ Fritsche et al.: Umweltwirkungsanalyse von Energiesystemen: Gesamt-Emissions-Modell Integrierte Systeme. Öko-Institut Darmstadt 1989

/GWZ 89/ GWZ-Gemeindeblatt Fassung A, Stand 30.8.1989

/HMWT 89/ Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik, Institut Wohnen und Umwelt: Leitfaden "Energie im Hochbau / Energiebewußte Gebäudeplanung". Wiesbaden, Darmstadt 1989

/JILAR 85/ T. Jilar: "Large Scale Solar Heating Technology" Swedish Council for Building Research Stockholm 1985

/JÖRGENSEN 88/ Börge Jörgensen: "Luotemperaturluft af eksisterende Fjernwarmenet" Teknologisk Institut Taastrup 1988

/Klien 88/ J. Klien (Hrsg.): Kostengünstige Fernwärme - Transport- und Verteilungssysteme, Protokollband der 8.Sitzung des Arbeitskreises Energieberatung Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1988

/LANGE 88/ Mads Lange: "Presentation of the Vester-Nebel Demonstration Plant - results and economic viability" in: Workshop on the Application of Renewable Energies for Village Heating, Copenhagen 1988

/Mathenia 84/ Erweiterungsmöglichkeiten der Fernwärmenetze bei forcierter Nutzung der Abwärme aus industriellen Anlagen, die dabei auftretenden Speicherprobleme sowie wirtschaftliche Verlegetechnik. VDI-Verlag Düsseldorf 1984

/NIELSEN 89/ Jan Erik Nielsen: "Brugervejledning og dokumentation for Fjernsol" Teknologisk Institut Taastrup 1989

/Prognos 87/ Rationelle Energieverwertung und -erzeugung ohne Kernenergienutzung: Möglichkeiten sowie energetische, ökologische und wirtschaftliche Auswirkungen. Basel, Köln 1987

/Skive 88/ Commission of the European Communities: Low Energy Houses Skive-84, Technological Institute Taastrup/Denmark 1988

/Wedel 89/ E. Wedel: Bestand an Gebäuden und Wohnungen 1987. Wirtschaft und Statistik 8/1989

/Winkens 88/ H.-P. Winkens: Fernwärmeversorgung Dänemark/Bundesrepublik Deutschland - der Versuch eines Vergleichs. Vortrag bei einem Seminar der Technischen Akademie Mannheim 1988

10. Hemmnisse für die Ausschöpfung vorhandener Energiesparpotentiale im Gebäudebestand

Betrachtet man die Energiesparpotentiale der vier Kategorien (vgl. Kap.7)

- theoretisches Potential
- technisches Potential
- wirtschaftliches Potential und
- Erwartungspotential,

dann erstaunt der erhebliche Abstand zwischen dem tatsächlichen Raumwärmeverbrauch und den Reduktionsmöglichkeiten nach allen diesen Potentialen. Woran liegt es insbesondere, daß in vielen Fällen Energiesparinvestitionen nicht oder nur unzureichend getätigt werden, auch wenn sie schon beim heute gegebenen Energiepreisniveau wirtschaftlich sind und bei künftigen Energiepreissteigerungen noch erheblich wirtschaftlicher würden?

Während im Zuge der Erneuerung des Heizsystems, insbesondere des Heizkessels, im großen und ganzen eine sinnvolle Auswahl getroffen wird und im übrigen die Angebote auf dem Markt auch die wirtschaftlichen Energiesparpotentiale zufriedenstellend nutzen (so daß in der Tat die Steuervergünstigungen des § 82 a Einkommensteuerdurchführungsverordnung keine weiteren Anreize bieten und u. E. entfallen könnten), wird nur in den wenigsten Fällen ausreichend gedämmt. Oben wurde schon dargestellt, daß beim derzeitigen Tagesenergiepreis von 4 Pf/kWh für Heizöl der Nutzenergieverbrauch im Gebäudebestand um etwa 17 % wirtschaftlich reduziert werden könnte (statische Betrachtung). Das wirtschaftliche Energiesparpotential ist wesentlich höher, wenn die künftig zu erwartenden Energiepreissteigerungen berücksichtigt werden: Schon nach dem Normalpreisszenario der Enquete-Kommission (vgl. Abschnitt 4.2.5) liegt der zu erwartende finanzmathematisch gemittelte Energiepreis der nächsten 25 Jahre bei 6 Pf/kWh, beim Hochpreisszenario sogar bei 11 Pf/kWh. Da durch die heute durchgeführten Energiesparmaßnahmen die zukünftig teurere Energie eingespart wird, sollten sich Investoren nicht an (zufälligen) Tagespreisen orientieren.

Schließlich gibt es noch starke Unterschiede zwischen einzel- und gesamtwirtschaftlicher Betrachtung: Gesamtwirtschaftlich gesehen müssen Umweltschäden u. a. infolge des CO_2-Ausstoßes mit berücksichtigt werden, so daß noch wesentlich höhere Investitionen gerechtfertigt sind.

10.1 Hemmnisse bei statischer Betrachtung

Eine rationale einzelwirtschaftliche Kalkulation der Wirtschaftlichkeit von Energiesparmaßnahmen müßte die wahrscheinliche künftige Entwicklung mit einbeziehen (dynamische Betrachtung). Viele Investoren denken jedoch "statisch", d. h. sie gehen von den Tagespreisen für Energie aus und nehmen an, daß sich deren Niveau auch in Zukunft nicht verändern werde (statische Betrachtung). Dafür, daß auch statisch kalkulierende Investoren immer noch ein wirtschaftlich erreichbares Sparpotential von 17 % nicht nutzen, sind vor allem folgende Gründe verantwortlich:

- Daß bei Tagespreisen bereits wirtschaftliche Maßnahmen nicht durchgeführt werden, liegt auf der Seite der potentiellen **Bauherren** primär in **Informationsdefiziten** begründet. Fehlende Informationsgrundlagen der Entscheidungsträger im komplexen Feld heizungstechnischer Zusammenhänge, produktspezifischer Daten und organisatorischer Anforderungen gehen auf unzureichende oder fehlende individuelle Energieberatungsangebote zurück. Es fehlt vor allem an unabhängigen Beratungseinrichtungen mit produktübergreifendem Informationsangebot. Diese betreffen sowohl die Einsparpotentiale, die durch die Maßnahmen erreicht werden könnten, als auch die zusätzlichen Auswirkungen von Dämmaßnahmen auf die Bauerhaltung und den Wohnkomfort.

- Auch **Architekten, technische Verwaltungen von Wohnungsbaugesellschaften und das bauausführende Handwerk** verfügen meistens **nicht** über **ausreichendes Wissen über energetische Zusammenhänge.** Bei Architekten ist die bauphysikalische Ausbildung in vielen Fällen vernachlässigt. Zudem bestehen zuweilen Vorurteile gegen Dämmung im allgemeinen (Kontroverse "speichern" versus "dämmen") oder bestimmte Dämmstoffe im besonderen. Hinzu kommt, daß die Maßnahmen nur dann in vollem Umfang erfolgreich sind, wenn Wärmebrücken

Anforderungen an die Bauüberwachung von Wärmeschutzmaßnahmen und die Sorgfalt des bauausführenden Handwerks zu stellen.

- In vielen Fällen wird die **Wirtschaftlichkeit** von Wärmeschutzmaßnahmen auch **falsch ermittelt**: einerseits wird -- beispielsweise bei Fassadenerneuerungen -- von einem Vollkostenansatz ausgegangen, d. h. die ohnedies notwendigen Instandsetzungskosten werden mit in die Kalkulation einbezogen, obwohl richtigerweise nur die Mehrkosten einer zusätzlichen Dämmung gegenüber ohnehin erforderlichen Aufwendungen (z. B. für den Verputz) der Energiesparmaßnahme zugerechnet werden dürfen. Andererseits werden, wie in Kapitel 4.2 erläutert, aus betriebswirtschaftlicher Sicht ungeeignete Berechnungsmethoden wie z. B. die Amortisationszeitrechnung zugrunde gelegt, oder das erzielbare Einsparpotential ist im Einzelfall nicht bekannt.

- Über die Informationsdefizite hinaus bestehen bei Bauherren oft **Finanzierungs- und Managementprobleme**. Gerade im nicht preisgebundenen Miethausbesitz dominieren in der Bundesrepublik Klein- und Einzeleigentümer, die bei anstehenden Fassaden- und Dacherneuerungen vor erheblichen Liquiditätsproblemen stehen können, weil sie keine ausreichenden Instandsetzungsrücklagen gebildet haben. Sollen die Mieteinnahmen zur Lebensführung im Alter dienen und die Immobilien möglichst schuldenfrei vererbt werden, werden Kredite nur ungern in Anspruch genommen. Manche der großen Wohnungsunternehmen haben darüber hinaus ihren Bestand schon in hohem Maße beliehen, so daß sie sich weitere Kreditaufnahmen nur schwer leisten können. Häufig haben gerade solche Wohnungsbaugesellschaften auch Bestände mit besonders großen wärmetechnischen Schwachstellen. So treten neben die Rentabilitäts- oft auch Liquiditätsgesichtspunkte, durch die der Umfang der energetischen Sanierung beschränkt wird, selbst wenn zusätzliche Maßnahmen rentabel wären. Hinzu kommt, daß insbesondere Fassaden- und Dacherneuerungen oft genug nicht langfristig eingeplant, sondern erst dann durchgeführt werden, wenn bereits erhebliche Mängel in der Nutzung aufgetreten sind (Lecks im Dach, bröckelnde Fassaden), die dann häufig durch rasche Ausbesserung ("Flickwerk") behoben werden und nur selten zum Anlaß für eine gründliche Fassadeninstandsetzung mit energetisch hoher Dämmung von Wand und Dach genommen werden ("lost opportunity").

- Solange Wohnungsknappheit und kein ausreichender Anbieterwettbewerb bestehen, gibt es im **Mietwohnungsbestand** darüber hinaus für die Eigentümer nur **unzureichende Anreize, Heizkosten zu reduzieren**, da diese in der Regel als Betriebskosten neben der Nettomiete umgelegt werden. Erst unter stärkerem Wettbewerbsdruck und bei höheren Energiepreisen könnte der energetische Standard eines Gebäudes einen signifikanten Einfluß auf die Höhe der Nettomiete ausüben (was gemäß § 2 Miethöhegesetz über das Merkmal "Beschaffenheit" rechtlich zulässig ist, allerdings heute nur indirekt in Mietspiegeln usw. über das Baualter Berücksichtigung findet), so daß sich dann Warmmietenneutralität marktmäßig von selbst einstellen würde; die relativ wenig aussagekräftige Kategorie "Baualter" müßte also durch wesentlich konkretere Merkmale der Beschaffenheit ersetzt werden, wobei der Raumwärmeverbrauch mit an erster Stelle zu stehen hätte.

  Auch stark **gesplittete Eigentumsverhältnisse** (Erbengemeinschaften, Eigentumswohnungen) können eine Entscheidungsfindung für energiesparende Investitionen erschweren.

- Sowohl auf der Seite der Anbieter von wärmetechnischen Sanierungsmaßnahmen als auch auf der Seite der öffentlichen Hand fehlen bislang integrierte Ansätze zur Förderung der Energieeinsparung. Zwischen den privaten Anbietern energiesparender Güter und Leistungen auf überregionalen und örtlichen Märkten behindert die **Sparten- und die Produktkonkurrenz** die Entfaltung eines einheitlich und nachhaltig wirkenden Marketings für die Energieeinsparung im Gebäudebestand (z. B. Heizkesselmodernisierung versus wärmedämmende Investitionen oder Ziegelindustrie versus Dämmstoffe). Bei den **überregionalen** und **regionalen** sowie **kommunalen Energieversorgungsunternehmen** steht trotz einiger positiver Ansätze (Bremen, Saarbrücken, Rottweil) die Absatzsteigerung der angebotenen Heizenergieträger im Vordergrund des Marktinteresses. Eine unabhängige, umfassende Information und Kalkulation für die Energieverbraucher wird bisher zu selten durchgeführt. Der öffentlichen Hand ist es bisher nicht gelungen, einen einheitlichen, allgemein akzeptierten Qualitätsmaßstab für den wärmetechnischen Standard von Gebäuden durchzusetzen. Solch ein Maßstab ist aber unabdingbare Voraussetzung dafür, daß bessere Markt-

transparenz erreichbar wird und der wärmetechnische Standard sowohl den Gebäudewert als auch die Höhe des Mietpreises signifikant beeinflussen kann.

- **Steuerrechtlich** versuchen Investoren, möglichst viele Erneuerungsinvestitionen als Erhaltungsaufwand geltend zu machen; diese können wahlweise sofort oder im Rahmen von fünf Jahren abgeschrieben werden. Bei den meisten Dämmungen handelt es sich demgegenüber jedoch typischerweise um wertverbessernde Maßnahmen, die einen wesentlich längeren Abschreibungshorizont haben und damit steuerlich weniger attraktiv sind.

- Durch die Einführung der **Wärmeschutzverordnung** (WSchV) ist der Energieverbrauch im Neubau wesentlich gesenkt worden. Sie ist jedoch aus vielen Gründen unbefriedigend: Sie wird im Bereich der Altbausanierung praktisch nicht angewandt (abgesehen von den Fenstern) und in keinem Fall kontrolliert. Eine Norm für den Altbau besteht de facto nicht. Zudem geht die WSchV nicht weit genug. Bereits die für den Altbau nachweisbar erreichbaren Zielwerte für den Energieverbrauch unterbieten den Standard der WSchV weit, während die Einsparmöglichkeiten im Neubau nochmals höher sind. Für den eigentlich interessanten Bereich "besser als die WSchV" werden keine Maßstäbe gesetzt. Die Wärmeschutzverordnung stellt Anforderungen an Bauteile. Dadurch wird keineswegs im Hinblick auf niedrigen Energieverbrauch bei gleichzeitig gegebener Wirtschaftlichkeit optimiert. Die Planungsfreiheit wird u. U. unnötig eingeengt und Innovationen werden behindert. Komponentenanforderungen sind für den Laien unverständlich, der Zusammenhang mit dem Energieverbrauch ist nicht transparent und die Einhaltung der Anforderungen nachträglich in der Regel nicht überprüfbar. Auch bei Einhaltung der Wärmeschutzverordnung kann der Heizenergieverbrauch hoch sein, z. B. durch nicht berücksichtigte Wärmebrücken oder durch unnötig große Außenflächen. Aufgrund der oben genannten Schwierigkeiten wird die Wärmeschutzverordnung nur als lästige Vorschrift wahrgenommen. Die Anforderungen werden häufig nur auf dem Papier erfüllt. Eine Kontrolle erfordert einen hohen bürokratischen Aufwand, da nichtstaatliche Kontrollmechanismen (durch Eigentümer und Nutzer) nicht funktionieren. In einigen Bundesländern wird nicht einmal mehr versucht, die Einhaltung der WSchV zu fordern (Freistellungsverordnung in Niedersachsen und Bayern).

In einigen Bundesländern wird nicht einmal mehr versucht, die Einhaltung der WSchV zu fordern (Freistellungsverordnung in Niedersachsen und Bayern).

- Auch im **Baurecht** gibt es keinen griffigen Gesamtmaßstab für die energetische Qualität von Gebäuden. Der Schutz der Erdatmosphäre ist eine Kategorie, die in den Normensystemen des Baugesetzbuches, der Bauordnungen der Länder, des DIN, der VDI-Richtlinien und der VOB noch keine Berücksichtigung gefunden hat. Hier waren -- ausgehend vom Zustand der Gebäude im 19. Jahrhundert -- bisher die Abwehr von Gefahren für Leib und Leben der Bewohner (Einsturzgefahr, Brandgefahr, Seuchengefahr) alleiniger Anlaß für Mindestanforderungen und Grenzwerte. Auch das Nachbarschaftsrecht kann Dämmaßnahmen (Außenwand) behindern.

- Schließlich mag auch eine Rolle spielen, daß im Gegensatz etwa zum hygienisch Gebotenen das ökologisch Gebotene bisher erst unzureichend in die **Wertsysteme der Konsumenten** Eingang gefunden hat. Es ist auch zu bezweifeln, ob die Komplexität der ökologischen Wirkungszusammenhänge von breiten Schichten der Bevölkerung in dem Umfang erkannt werden kann, der die notwendigen Verhaltensänderungen beim Konsum auslösen würde.

Wir werden in Kapitel 11 Maßnahmen vorschlagen, die u. E. geeignet sind, einzelwirtschaftlich schon bei heutigem Preisniveau rentable Wärmeschutzinvestitionen in stärkerem Maße auszulösen.

10.2 Zusätzliche Hemmnisse bei dynamischer Betrachtung

Ein erheblich höheres Energiesparpotential erweist sich als wirtschaftlich rentabel, wenn bei den Investitionsrechnungen nicht der gegenwärtige Tagespreis zugrunde gelegt, sondern von den Preissteigerungen ausgegangen wird, die die Enquete-Kommission als wahrscheinlichste Entwicklung erwartet. Bei einer solchen dynamischen Betrachtungsweise können weitere erhebliche Energiesparpotentiale erschlossen werden.

U. E. ist die Energiepreiselastizität der Nachfrage nach Sparinvestitionen im Gebäudebestand eher höher als etwa die der Nachfrage nach treibstoffsparenden Autos, weil es auf dem Wärmemarkt kaum die Konsummotive für möglichst viel "Power" gibt wie auf dem Automobilmarkt, sondern vergleichsweise relativ rational kalkuliert wird, wenn die Markttransparenz gegeben ist. Dennoch sind auch hier einige Hemmnisse zu nennen, die die Ausnutzung wirtschaftlicher Energiesparpotentiale behindern:

- Aus rein **risikotheoretischer Sicht** könnte argumentiert werden, der Investor sei gut beraten, bei hoher Unsicherheit über künftige Preisentwicklungen eher vorsichtig zu kalkulieren, d. h. die Preisentwicklung lieber zu unterschätzen als zu überschätzen, um Fehlinvestitionen zu vermeiden. Hinzu kommt, daß bei breiter Markteinführung und technischem Fortschritt viele Komponenten von Energiesparmaßnahmen im Laufe der Zeit billiger werden können. Diese Argumente, die für eine Beschränkung des Investitionsvolumens zum gegenwärtigen Zeitpunkt sprechen könnten, gelten aber für die wärmetechnische Gebäudesanierung gerade nicht wegen des Prinzips der "lost opportunity" **(entgangene Gelegenheit)**: Die Energiesparmaßnahmen sind zumeist überhaupt nur dann rentabel, wenn sie zusammen mit ohnehin fälligen Instandsetzungsmaßnahmen durchgeführt werden - bei einem Zyklus solcher Maßnahmen von 15 - 50 Jahren wird die Möglichkeit, Energie in erheblichem Umfang einzusparen, allzu lange hinausgeschoben, wenn sie nicht ab sofort bei jeder Instandsetzung ausgeschöpft wird. Durch die Hinausschiebung besteht für den Investor gerade bei größeren Energiepreissteigerungen die Gefahr, daß der Raumwärmeverbrauch zu hoch bleibt, ohne daß er bis zum Ende des Ersatzzeitraumes mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand noch reduziert werden könnte.

- Der übliche Instandsetzungszyklus läuft nur so lange, wenn zwischenzeitlich die Gebäude nicht entweder **abgerissen** oder einer gänzlich **anderen Nutzung zugeführt** werden. Selbst wenn solche Änderungen ex post betrachtet gar nicht so häufig eintreten, rechnen viele Investoren dennoch ex ante damit, zumal wenn die Gebäude etwa in Gebieten am Rande von Stadtkernen liegen, in denen Umnutzungs- oder Abbruchserwartungen real sind.

zugeführt werden. Selbst wenn solche Änderungen ex post betrachtet gar nicht so häufig eintreten, rechnen viele Investoren dennoch ex ante damit, zumal wenn die Gebäude etwa in Gebieten am Rande von Stadtkernen liegen, in denen Umnutzungs- oder Abbruchserwartungen real sind.

- Sodann ist der **individuelle Lebenszyklus** der Eigentümer zu beachten: Diese möchten insbesondere im Rentenalter oder zu Zeiten, in denen sie wenig Einkommen haben, "ihre Ruhe haben", sind aber demgegenüber oft auch bereit, in anderen Zeiten relativ viel in Gebäude zu investieren, um für jene Zeiten vorzusorgen. Hier macht sich bemerkbar, daß das Gut Wohnung im Vergleich zu fast allen anderen Gütern eine hohe Lebensdauer hat.

- In der privaten Wirtschaft ist der **Zeithorizont für die Rentabilität von Investitionen** in den letzten Jahrzehnten drastisch gesunken. Investitionen, die sich erst langfristig amortisieren, werden folglich auch dann nicht getätigt, wenn ihre Wirtschaftlichkeit gegeben ist.

10.3 Zusätzliche Hemmnisse infolge der Nichtbeachtung externer Effekte

Durch den letztgenannten Punkt wird der Konflikt zwischen dem sehr langfristigen gesellschaftlichen Ziel "Schutz der Erdatmosphäre" und den erheblich kürzeren individuellen Rentabilitäts- und Liquiditätsperspektiven der Investoren verstärkt. Der marktwirtschaftlichen Konzeption nach soll sich in der Energiepreisstruktur der Märkte die Kostenstruktur (d. h. die langfristigen volkswirtschaftlichen Grenzkosten der Energiegewinnung) widerspiegeln. Beim gegenwärtigen Energiepreisniveau werden jedoch externe Umweltkosten der Energienutzung sowie die Knappheit und Begrenztheit der Energieressourcen nicht oder nur unzureichend berücksichtigt. Nur wenn diese Belastungen und Risiken in die betriebswirtschaftlichen Kosten "internalisiert" wären, würden private und volkswirtschaftliche Kosten sich entsprechen. Gegenwärtig werden die Umweltkosten (etwa durch die Emission von Luftschadstoffen oder von CO_2, aber auch durch Landschaftsverbrauch und Beeinträchtigung des Grundwassers) auf Dritte oder die Gesellschaft abgewälzt. Aus umweltpolitischer Sicht (Schutz der Erdatmosphäre) ist ein Kostenniveau der eingesparten Energie von 8 - 13 Pf/kWh unter langfristigen, gesellschaftlichen Aspekten durchaus angemessen, könnten doch dadurch mit vertretbarem Aufwand

die zur Zeit erst bei einem Kostenniveau der eingesparten Energie von über 15 Pf/kWh rentabel, ja vermutlich überhaupt erst in breitem Umfang umsetzbar werden, nachdem ein Energiesparpotential bei Gebäuden, im Verkehr usw. von über 50 % des heutigen Energieverbrauchs bereits ausgeschöpft worden ist. Für die Ausschöpfung dieses Einsparpotentials wird in Kapitel 11 eine "Strategie" vorgeschlagen.

11. Instrumente zur Ausschöpfung vorhandener Nutzenergie-Einsparpotentiale im Gebäudebestand

11.0 Einleitung

Gefährdungen unserer lebensnotwendigen Umwelt scheinen bei der Gestaltung gesetzlicher Normen im Baubestand eine nur sehr geringe Berücksichtigung gefunden zu haben. Angesichts der drohenden Klimaeffekte, sterbender Wälder und sonstiger Umweltgefahren kann das in gesetzlichen Normen wie der Bauordnung, in DIN-Normen etc. verankerte klassische Ziel der Abwehr unmittelbarer und konkreter Gefahren als nicht mehr hinreichend angesehen werden. Die massiven Gefahren, die der Allgemeinheit durch den übermäßigen und unreflektierten Eingriff in den Naturhaushalt drohen, sind in zahlreichen Quellen der letzten Jahre belegt und brauchen hier nicht im einzelnen aufgeführt werden. Diese Belastungen stellen für die Allgemeinheit eine ebenso große und in Zukunft sogar eine größere Gefahr dar wie die klassischen Gefahren des Brandes und der Einsturz eines Gebäudes, da sie nicht nur individuelle gesundheits- und lebensbedrohende Schäden hervorrufen, sondern die Existenz der ganzen Gattung gefährden können. Hieraus ergeben sich nicht nur Verpflichtungen, sondern auch Chancen, durch konsequentes Handeln erkannte Gefährdungen abzuwehren, indem ihre Ursachen beseitigt werden.

Dies erfordert allerdings das Überdenken einer Reihe von bisher überkommenen Handlungsweisen, insbesondere die umfassende "Nachbesserung" all der Gebäude, Anlagen und Systeme, die in der Vergangenheit ohne Beachtung ihrer Folgen errichtet wurden und heute und in der Zukunft eine Quelle von nicht tolerierbaren Eingriffen in den Naturhaushalt darstellen. Diese Aufgabe erweist sich bei eingehender Befassung als keinesfalls im Widerspruch zu klassischen ökonomischen (qualitatives Wachstum), sozialen (Vollbeschäftigung) und politischen (Demokratisierung und Stärkung der Eigeninitiative) Zielen.

Verringerung des Einsatzes an nicht erneuerbarer Primärenergie ist überall dort möglich, wo heute Energie nicht rationell umgewandelt und genutzt wird. Hier ist

der entscheidende Zusammenhang zur Bautätigkeit: Werden doch ca. 35 % der in der Bundesrepublik verbrauchten Energieträger ausschließlich für die Beheizung unserer Aufenthaltsräume in der kalten Jahreszeit eingesetzt. Dies ist der größte Einzelanteil in der Energiebilanz, zugleich aber auch derjenige, bei welchem sich durch bekannte und meistenteils wirtschaftliche Techniken hohe Einsparungen durch rationelle Nutzung erzielen lassen. Neu errichtete konventionelle Gebäude kommen bereits mit ca. 50 - 60 % der im Durchschnitt der Altsubstanz benötigten Heizenergie aus. Speziell energiebewußt geplante Häuser, die am Markt angeboten werden, benötigen sogar nur 20 - 30 % der früher üblichen Brennstoffmengen.

Die Ursache für hohen Energieverbrauch und hohe Umweltbelastungen liegt daher zu einem großen Anteil in der geringen Effizienz, mit der in durchschnittlichen Gebäuden heute Heizenergie genutzt wird. Will man ernsthaft die schädlichen Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf den Naturhaushalt verringern, so muß auch an dieser Ursache angegriffen werden: Dort, wo der Energieumsatz durch Nutzungsparameter und bauliche Strukturen festgelegt wird.

Die Neuorientierung des Baurechts wird aller Erfahrung nach eine langwierige Aufgabe werden. Sie könnte erleichtert werden, wenn der Umweltschutz als Staatsziel Aufnahme in das Grundgesetz fände. Man kann andererseits aber nicht davon ausgehen, daß ein revidiertes Baurecht ausreichen könnte, um das notwendige und mögliche Ausmaß der Energieeinsparung im Gebäudebestand zu erreichen. Vielmehr wird es darauf ankommen, ein in sich schlüssiges System von

- Informationen und Aufklärung
- Ge- und Verboten
- finanziellen "Bestrafungen" in Form von Steuern oder Abgaben und
- finanziellen "Belohnungen" in Form von öffentlicher Förderung

zu entwickeln, durch welches das Energiesparpotential genutzt wird, das betriebswirtschaftlich rentabel und/oder auch unter gesamtwirtschaftlichen Gesichtspunkten (vermiedene soziale Kosten) sinnvoll erscheint.

Dies ist im Prinzip gerechtfertigt, damit externe Effekte des Energieverbrauchs internalisiert und das nicht teilbare öffentliche Gut Erdatmosphäre geschützt

werden kann. Andererseits sollten die Instrumente möglichst marktkonform sein, fiskalisch tragbar und leicht kontrollierbar, und dem Verursacherprinzip sollte möglichst Genüge getan werden. In diesem Bedingungsrahmen ist das im folgenden vorgeschlagene System von Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeinsparung im Gebäudestand zu sehen.

11.1 Programm zur Förderung der integrierten unabhängigen Energieberatung und der Weiterbildung

Förderprogramm Energieberatung

Unabhängige Energieberatungseinrichtungen haben sich in einigen Städten und Landkreisen bereits als Instrumente zur Förderung der Energieeinsparung bewährt. Es sollen ein von wirtschaftlichen Interessen unabhängiges Informationsangebot und konkrete, objektbezogene und umfassende Entscheidungsgrundlagen für den einzelnen Energieverbraucher sowie eine kontinuierliche Öffentlichkeitsarbeit für die Energieeinsparung durch die Einrichtung von Beratungsstellen geschaffen werden. Für die Energieverbraucher einer Stadt oder eines Landkreises erarbeiten solche Beratungsstellen sichere Entscheidungsgrundlagen für künftige energiesparende Investitionen, durch unabhängige und damit glaubwürdige Informationen über Energiespartechniken sowie integrierte Energiesparvorschläge und-konzepte für die jeweils konkreten örtlichen Verhältnisse. Eine kontinuierliche Öffentlichkeitsarbeit fördert die Energieeinsparung "vor Ort". Durch die Auslösung energiesparender Investitionen sind unabhängige Energieberatungsstellen nicht nur ein Bestandtteil verantwortlicher kommunaler Energie- und Umweltpolitik, sondern auch eine neue Form kommunaler Wirtschaftsförderung.
Durch ein "Impulsprogramm Energieberatung" würde der Aufbau eines Netzes von unabhängigen, integrierten Energieberatungseinrichtungen auf der Ebene der kreisfreien Städte (Oberzentren), größeren Landstädte (Mittelzentren) und Landkreise gefördert.

Das Programm ist als Bund-Länder Förderprogramm anzulegen und mit einer Drittelfinanzierung zu versehen. Dieses Splitting hat den Vorteil, daß von Anfang an auch auf örtlicher Ebene Kräfte angeregt werden, die die Beratungseinrichtungen unterstützen und fördern. So sind auf dem Hintergrund von Bundes- und

Landeszuschüssen für die Einrichtung und zur Deckung der Jahreskosten Beiträge der Kommunen und der Energieversorgungsunternehmen, des Handwerks und der Architekten, den Verbänden der Wirtschaft, der örtlichen Kreditwirtschaft und natürlicher Personen denkbar. Eine Integration der Beratung der Arbeitsgemeinschaft der Verbraucher in örtliche Energieberatungsstellen ist unverzichtbar. Ein Abbau der Zuschüsse bei wachsender finanzieller Förderung der Beratungsstellen durch örtliche Kräfte bzw. bei zunehmender Erreichung des Handlungszieles der wärmetechnischen Gebäudesanierung ist sinnvoll. Die auf die gewerbliche, kostenträchtige Energieberatung zielenden Förderprogramme einzelner Länder können neben diesem Förderprogramm fortbestehen oder auch wahlweise integriert werden. Sie sind kein Widerspruch zum Impulsprogramm Energieberatung, da dieses Programm eine breiter wirkende, kostenfreie Energieberatung ermöglicht und die wenigen kleinen Länder-Beratungsprogramme genutzt werden können, um spezielle Gebäudeanalysen z.B. insbesondere im Bereich gewerblicher Energieverbraucher zu fördern.

Ziele und Qualitätsstandards für die unabhängige Energieberatung

Die Energieberatung ist an den Zielen der sparsamen, rationellen, umwelt- und sozialverträglichen Energienutzung zu orientieren. Aus diesen Zielen leiten sich die folgenden Qualitätsstandards für die Beratung ab:

- Die Unabhängigkeit der Beratung sichert ihre Glaubwürdigkeit.
- Die integrierte Energieberatung betrachtet das gesamte Energienutzungssystem und seine Umweltbezüge (Heiztechnik und Wärmeschutz an der Gebäudehülle, Strom- und Wassereinsparung). Folgende Themen gehören zum Angebot: Wärmeschutz im Gebäudebestand, energiesparendes Bauen, moderne Heiztechnik, Stromeinsparung in Haushalten und Gewerbe, Kraftwärmekopplungssysteme, Nutzung erneuerbarer Energiequellen, Wassereinsparung im Haushalt, umweltschonende Energienutzung.
- Die Kostenfreiheit der Beratung gewährleistet eine hohe Breitenwirkung und die Möglichkeit einer offensiven Öffentlichkeitsarbeit.

Zielgruppen der Energieberatung

Die Zielgruppen in den o.g. Verbrauchsbereichen sind:

Wohnungs- und Hauseigentümer, Mieter, Wohnungsbaugesellschaften und -genossenschaften, Bauträgergesellschaften, Bauwillige, Handel und Handwerk, öffentliche Verwaltungen, Kreditwirtschaft, Innungen und Standesverbände, Interessenorganisationen der Mieter und Vermieter, Architekten, beratende Ingenieure, private gewerbliche Unternehmen, Handwerks- sowie Industrie- und Handelskammern.

Die erforderliche Beratungsinfrastruktur

Eine unabhängige Energieberatung läßt sich auf örtlicher Ebene am besten in Form fester Beratungsstellen verwirklichen. Für **Großstädte und Landkreise** sollte pro zweihunderfünfzigtausend Einwohner eine Beratungsstelle eingerichtet werden, die in Landkreisen um Sprechstunden in den Kreisgemeinden zu ergänzen wäre. Das Beratungsteam sollte wie in Saarbrücken oder Kassel aus mindestens sechs Fachberatern oder Beraterinnen bestehen. Für **Klein- und Mittelstädte** um 20 bis 100 Tsd. Einwohner ist die Einrichtung einer Beratungsstelle kleineren Zuschnitts sinnvoll, wobei auch hier der Kontakt zum Umland gesucht werden sollte.

Die **Qualifikation des Beratungsteams** sollte im Meister-, Techniker- und Ingenierbereich liegen und das integrierte Beratungsangebot abdecken (z.B. Heizungsingenieur, Architekt o. Bautechniker, Physiker, Umweltberater). Angesichts des breiten Themenspektrums ist eine Einarbeitung der Mitarbeiter in die folgenden Gebiete sinnvoll:

- Bauphysik: Wärmedurchgang, Wasserdampfdiffusion, Wärmebrücken, bauliche Energiebilanzen, passive Solarenergienutzung.
- Heizungs/Lüftungs/Klimatechnik: Wärmebedarf, Wärmeverteilung, Regelungstechnik, Abgasführung, Wartung und Betrieb, Wärmeerzeuger, Umweltdaten.
- Betriebswirtschaft, Energiewirtschaft, Finanzierung.

Zur **Ausstattung einer Beratungsstelle** gehören:

- ein Raum oder ein abgegrenzter Bereich für eine ungestörte Beratung, verbunden mit
- Flächen für eine Dauerausstellung,
- ein Raum für die Bearbeitung von Energiekonzepten, Informationsmaterialien usw.
- Personalcomputer mit Wärmebilanz-, Dampfdiffusions-, Textverarbeitungsprogramm,
- System zur Selbstinformation der Ratsuchenden.

Betriebs- und Einrichtungskosten

Die technische Grundausstattung der Beratungsstelle erfordert für Großstädte und Landkreise einen einmaligen Finanzbedarf von 250-300 Tsd. DM, der bei schrittweisem Aufbau auch über 2 bis 3 Jahre gestreckt werden kann. Für **Mittel- und Kleinstädte** ist mit Kosten um 150 bis 200 Tsd. DM zu rechnen. Die Jahreskosten für Personal und Sachmittel differieren je nach Personalausstattung.

Überschläglich entstehen ca. 600 TDM Jahreskosten für die beschriebene Ausstattung für **Großstädte und Landkreise** (250 Tsd. Einwohner) bei einer Besetzung mit 6 Energieberatern.

Fördervolumen eines Bund-Länder Impulsprogrammes Energieberatung

Auf der Basis der o.g. Kosten ergibt sich bei einer Drittelförderung durch Bund, Länder und örtliche Kräfte bei der Einrichtung von rund 240 Beratungsstellen das folgende Fördervolumen **für den Bund** (1 Beratungsstelle pro 250.000 Einwohner):

- Einmaliges Zuschußvolumen für die Einrichtung (Startfinanzierung): 50 Mio DM. Es ist voraussichtlich mit einem jährlich abgerufenen Volumen von 10 Mio DM zu rechnen (5-Jahres-Startprogramm).
- Gesamtvolumen zur Deckung der jährlichen Betriebskosten: 48 Mio DM p.a. Dieser Teil des Förderprogrammes sollte auf 10 bis 15 Jahre befristet werden. Nach Ablauf dieser Frist kann die Beratung durch örtliche Kräfte getragen werden. Insbesondere ist damit zu rechnen, daß durch Neubestimmung der Aufgaben von Stadtwerken und regionalen Energieversorgern eine finanziell tragfähige Grundlage heranwächst, die den Zielen der Energieeinsparung und rationellen Energieverwendung nicht mehr widerspricht.

Mögliche Träger der unabnängigen Energieberatung

Die unabhängige und integrierte Energieberatung läßt sich mit verschiedenen Organisationsmodellen realisieren, wobei die gefundene Lösung von der jeweiligen örtlichen Situation abhängig sein wird. Die folgenden möglichen Träger der unabhängigen Beratungsstelle sollten frühzeitig in eine von den Bundes- und Landeswirtschaftsministerien ausgehenden Diskussion einbezogen werden:

- das örtliche oder überregionale Energieversorgungsunternehmen/Stadtwerk
- die Stadt/Gemeinde/der Landkreis, z.B. über das Hochbauamt, Kreisbauamt, Planungsamt oder Umweltdezernat
- die örtliche Kreditwirtschaft, insbesondere die Sparkassen
- die Verbände der Wirtschaft
- die Arbeitsgemeinschaft der Verbraucher
- Umweltverbände
- natürliche Personen

Eine Auswahl geeigneter Organisationsmodelle ist zu schaffen.

Beratungsinstrumente

Die nachfolgend beschriebenen Beratungsinstrumente sind eine Auswahl aus der Vielzahl der Handlungsmöglichkeiten innerhalb der Energieberatung. Sie gewährleisten die integrierte Energieberatung und die aktive Öffentlichkeitsarbeit für die Energieeinsparung. Die Aufzählung versteht sich als Anregung. Je nach Größenordnung der Beratungsstelle sollte ein handhabbares Bündel von Instrumenten ausgewählt werden.

Beratungsgespräche

Das qualifizierte Beratungsgespräch mit den Kunden dient der Erörterung des jeweiligen Einzelproblems durch Grobanalysen, Produktbeschreibungen, Ausführungshinweisen und Informationsmaterialien. Die Zusammensetzung des Teams sichert die integrierte Beratung.

Beurteilung von Förderanträgen im Bund-Länder Förderprogramm "Wärmetechnische Gebäudesanierung"

Die Energieberatung sollte eng in das zu schaffende Förderprogramm "Wärmetechnische Gebäudesanierung" integriert werden und hier mit den kommunalen Wohnungsämtern zusammenarbeiten. Aufgabe sollte die Beurteilung von Förderanträgen und die Durchführung einer Erfolgskontrolle der ausgeführten Maßnahmen sein, die ihrerseits wieder für die Öffentlichkeitsarbeit vor Ort Impulse gibt.

Dauerausstellung in der Beratungsstelle

Eine Dauerausstellung unterstützt das Beratungsgespräch durch Darstellung der wesentlichen Heizenergie-, Strom- und Wasserspartechniken. Das jeweilige Ausstellungsthema kann mit Aktionen "vor Ort" verbunden werden.

Energiesparprogramme für Wohngebäude

Computergestützte Energiesparprogramme für Einzelgebäude (Wärmeschutz und Heiztechnik) mit einem Wärmebilanzprogramm liefern die Einschätzung des wärmetechnischen Gebäudezustandes und zeigen die konkreten Energiesparmöglichkeiten mit ihren Kosten und Nutzen für das jeweilige Objekt auf. Sie analysieren Gebäudehülle und Heiztechnik in ihrem Zusammenhang. Über den zugehörigen Gebäudefragebogen kann dieses Instrument auch sehr aktionsorientiert eingesetzt werden.

Entwicklung von Energiekonzepten für Wohnungsbaugesellschaften

Energiesparprogramme von Einzelgebäuden können zu Energiekonzepten z.B. für die Bestände von Wohnungsbaugesellschaften, Bauträgern etc. ausgeweitet werden. Inhalt: Heiztechnik, Wärmeschutz, rationelle Erzeugung, Wassereinsparung, Stromeinsparung. Hierüber können Personalengpässe der Gesellschaften kompensiert werden. Solche Energiekonzepte können ihrerseits durch die Gebäudeeigentümer für die Beantragung von Fördermitteln herangezogen oder in langfristige Bauerhaltungsprogramme eingebaut werden.

Gebäudetypologie und quartiersbezogene Energiekonzepte

Energiekonzepte für Stadtteile, Ortsteile, Wohngebiete oder Reihenhaussiedlungen lassen sich auf der Basis von einzelnen Energiekonzepten für Einzelgebäude entwickeln. Aus der Kenntnis der örtlichen Gebäudesubstanz kann eine Gebäu-

detypologie entwickelt und hierüber die wesentlichen örtlich sinnvollen Energiespartechniken verdeutlicht werden. In Verbindung mit Handwerksbetrieben oder Innungen können auch Musterhäuser z.B. für die kostenlose (oder kostenreduzierte) Ausführung einzelner typischer Dämmaßnahmen gesucht und die eintretenden Einsparerfolge dokumentiert werden.

Örtliche Informationsmaterialien

Informationsmaterialien zu den wesentlichen Energiespartechniken mit örtlichen Bezügen und Nachweis ausführender Betriebe sind ein Instrument der Kundenselbstinformation und ergänzen die Aussagen der Energiesparprogramme. Sie sollten in Kooperation mit den Handwerksinnungen erarbeitet werden und über einen "Firmennachweis" der jeweiligen zur Thematik passenden Innung(en) im Anhang verfügen.

Öffentlichkeitsarbeit, flankierende Öffentlichkeitsarbeit für bauliche Förderprogramme

Als weitere Maßnahmen im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit bieten sich an: Teilnahme an örtlichen Messen, Beratungsaktionen für die Klientel interessierter Institutionen durch Verteilung des Computerfragebogens und kostenlose Berechnung von Energiesparprogrammen, Wanderausstellungen, Einsatz eines Beratungsbusses, Pressearbeit insbesondere zur Darstellung ausgeführter positiver örtlicher Beispiele, die aus der täglichen Beratungspraxis gesammelt werden, Sonderseiten zu den einzelnen Energiespartechniken in Zusammenarbeit mit den Handwerksinnungen (Anzeigenteil), Anzeigenwerbung, Vortragstätigkeit, Einsatz von Energiespar- und Umweltschecks als Anreizsystem.

Kooperation mit der Stadt- oder Kreisverwaltung

Die Kooperation mit der Stadt- oder Kreisverwaltung dient der Verknüpfung der Energieberatung mit dem Stadtentwicklungs- und -erneuerungsprozeß bzw. der Dorferneuerungsplanung. Auch bei der Vergabe von Energiesparfördermitteln wirkt die Energieberatung unterstützend für das beteiligte Amt. Mit dem Hochbauamt (Energiebeauftragter) ist auf die Aufstellung von Energiekonzepten für die öffentlichen Liegenschaften hinzuarbeiten.

Kooperation mit ausführenden Handwerks- und Gewerbebetrieben

Die Kooperation mit der örtlichen Wirtschaft ermöglicht den Nachweis ausführender Betriebe und der Schaffung von mehr Markttransparenz über die örtlich verfügbaren Produktpaletten. Die unabhängige Energieberatung ist in diesem Sinne eine wirksame Ergänzung der vorhandenen interessengebundenen und nur sektoral (produktspezifisch) ansetzenden Beratungsangebote in verschiedenen Handwerkszweigen. Die möglichen Kooperationspartner im einzelnen: Bau- und Ausbaugewerbe, Innungen der Dachdecker, Schreiner, Fensterbau, Rolladenbau, Glaser, Putzer und Stukkateure, Maler, Heizungs- und Sanitärinnung, Schornsteinfeger, Elektroinstallateure, Isolierer, der Einzelhandelsverband, die Architektenkammer und die beratenden Ingenieure.

Vermittlung von Detail- und Ausführungsplanungen

Die Vermittlung weiterführender Beratungsleistungen von Architekten und Ingenierbüros ist erforderlich, da die Beratungsstelle keine Ausführungs- und Detailplanung vornimmt. Hierzu sind die Adressenlisten der Architektenkammer und der in der IHK geführten beratenden Ingenieurbüros vorzuhalten.

Integration in Fortbildungsmaßnahmen für das Handwerk

Die Integration der Energieberatung in Fortbildungsveranstaltungen verschiedener Träger, insbesondere für das ausführende Handwerk, sichert die Weitergabe von Kundenerfahrungen mit ausführenden Betrieben und dient der Weitergabe neuer Erkentnisse in die berufliche Praxis. Umgekehrt wird damit auch die Rückopplung von Praxiserfahrungen in die Energieberatung gesichert.

Erfolgskontrolle über die Energieberatung

Eine Erfolgskontrolle mit Rückoppelung in die Beratung verstetigt die Kundenbetreuung, sichert eine Dokumentation örtlich ausgeführter Beispiele und Erfahrungen und dient der Überprüfung der eigenen Praxis. Sie kann etwa in Form eines einfachen, jährlich an die Kunden verschickten Fragebogens erfolgen, der Aufschluß über in der Folge der Beratung ausgeführte Energiesparmaßnahmen und eingetretene Einsparerfolge geben sollte.

Information über die Wirtschaftlichkeit, Sozial- und Umweltverträglichkeit der Maßnahmenvorschläge

Die Ausführung dynamischer Wirtschaftlichkeitsberechnungen und Darstellung ökologischer und sozialer Folgewirkungen des Energieeinsatzes gehört zum Grundstandard der Beratung und dient zur Motivationsbildung beim einzelnen Kunden. Hierbei ist besonders auf die Darstellung der Umwelteffekte einer Energiesparstrategie zu achten, da eine alleinige Darstellung der Wirtschaftlichkeitsdimension den vernetzten Problemen des Energieeinsatzes nicht gerecht wird.

Energieberatung-Instrument zur Förderung der Energieeinsparung

Qualitätsanforderungen:
* Orientierung an Primärenergieeinsparung und Umweltschutz
* Unabhängigkeit der Beratung von Geschäftsinteressen
* Integriertes Beratungsangebot aus einer Hand: Dämmung, Heiztechnik, Strom-, Wassereinsparung, Umwelt- und Abfallberatung
* Kostenfreiheit der wesentlichen Beratungsleistungen

Beratungsinstrumente:
* Beratungsgespräch (Grobanalysen)
* Ortsbesichtigungen
* computergestützte Energiesparprogramme für Wohngebäude
* Energiekonzepte für Orts-, Stadtteile, Wohnungsbaugesellsch., öffentliche Liegenschaften (integriert oder sektoral)
* Dauerausstellung, Wanderausstellungen, Beratungsbus
* Pressearbeit mit positiven örtlichen Beispielen
* Informationsmaterialien mit örtlichem Bezug und Nachweis ausführender Betriebe
* Informations-Aktionen (sachlich, räumlich, zeitlich begrenzt)
* Kooperation mit den örtlich ausführenden Betrieben (Innungen)
* Kooperation mit Stadt-, Gemeinde-, Kreisverwaltung (Energie-u. Umweltberichte, kommunale Gebäude, Stadt- u. Dorferneuerung)
* Vermittlung weitergehender gewerblicher Beratungsleistungen
* Erfolgskontrolle über eigene Tätigkeit
* Integration in Fortbildungsmaßnahmen
* Wirtschaftlichkeitsberechnungen, Darstellung ökologischer und sozialer Folgewirkungen des Energieeinsatzes

Träger der Beratung:
* Stadt, Gemeinde, Landkreis
* EVU/EDU
* Verbände der Wirtschaft
* Arbeitsgemeinschaft der Verbraucher
* natürliche Personen und Umweltverbände etc.
* Kreditwirtschaft

Kooperationsformen von der örtlichen Situation abhängig

Grundausstattung von Energie- und Umweltberatungsstellen:
* Raum/ungestörter Bereich für Beratungsgespräche
* Flächen für eine Dauerausstellung
* Raum für Bearbeitung von Konzepten, Informationsmaterialien..
* PC mit Wärmebilanzprogramm
* System zur Selbstinformation der Ratsuchenden
* Personalausstattung für Großstädte und Landkreise pro 250 Tsd. Einwohner: 6 FachberaterInnen, für Klein- und Mittelstädte: 2 FachberaterInnen, jeweils breite Kooperationsmodelle anstreben

Förderung der Weiterbildung von Handwerk, Ingenieuren und Architekten

Erforderlich ist die Schaffung eines abgestimmten Weiterbildungsrahmens für die Planer und ausführende Baugewerke:

Putzer, Maler, Hochbau, Ausbaugewerbe, Dachdecker, Zimmerer, Glaser, Schreiner, Metallbau, Rolladenbau. Die Weiterbildung ist regional zu organisieren und auf die Erfordernisse des jeweiligen Baubestandes (Typologie!) abzustimmen. Für erfolgreiche Teilnahme an Weiterbildungsveranstaltungen sollte den Firmen ein Gütesiegel zuerkannt werden, das vom Bundeswirtschaftsministerium in Abstimmung mit den Länderwirtschaftsministerien herauszugeben ist. Entsprechend dem Hamburger Modell des "Zentrums für Energie, Wasser und Umwelt" (ZEWU) ist die Teilnahme von Gesellen der Handwerksbetriebe an Weiterbildungsveranstaltungen auch während der Arbeitszeit zu regeln, indem Verknüpfungen mit der Förderung von Berufsbildungsmaßnahmen der Arbeitsämter hergestellt werden.

Die Förderung von weiterbildenden Studiengängen für Meister, Architekten und Ingenieure nach dem Vorbild der Studiengänge an der Gesamthochschule Kassel und TU Berlin ist ein weiterer Bestandteil eines Weiterbildungskonzeptes. Vordringliche Ausbildungsinhalte: Wärmeschutztechniken, Energiebilanzierung, energiesparende Heiztechnik, Gemeinschaftsheizanlagen, Kraft-Wärme-Kopplung, Lüftungstechnik in Wohngebäuden, Bauphysik: Wärme/Kälte/Feuchte/Schall.

Sinnvoll ist weiterhin die Schaffung von Weiterbildungs-Arbeitskreisen für Energieberater auf Länderebene.

Weitere Förderung von Energiekonzepten durch Neuauflage eines Bund-Länder-Programms in Verbindung mit der Energieberatung

Erforderlich ist die weitere Förderung der Aufstellung handlungsorientierter integrierter Energiekonzepte auf kommunaler Ebene durch Bund und Länder unter Auswertung der Erfahrungen des BMBAU/BMFT-Förderprogramms "Örtliche und regionale Energieversorgungskonzepte", wie sie gegenwärtig durch die BfLR vorgelegt werden /BfLR, Dokumentation 1988/. Ziel ist der Aufbau von Gebäudetypologien, die Entwicklung von wärmetechnischen Sanierungskonzepten für Stadt- und Wohngebietsteile, und eine umsetzungsorientierte Öffentlichkeitsarbeit in Verbindung mit der Energieberatung. Die Erarbeitung von typischen Lösungen für die wärmetechnische Gebäudesanierung im jeweils örtlich spezifischen Gebäudebestand dient ebenfalls der Schaffung von Transparenz über die Handlungsmöglichkeiten der Energieverbraucher. Die Förderung von Energiekonzepten

sollte eng mit dem Aufbau eines Netzes von Energieberatungsstellen verknüpft werden, da über die Energieberatung die Erkenntnisse der Konzepte über die Schwachstellen des örtlichen Gebäudebestandes in eine offensive Öffentlichkeitsarbeit umgesetzt werden können.

11.2 Bedeutung der Bauteilerneuerungszyklen für die wärmetechnische Gebäudesanierung

Die in Kapitel 4 vorgeschlagenen Maßnahmen sind in der Regel nur dann einzelwirtschaftlich vertretbar, wenn sie an ohnehin fällige Sanierungs-, Modernisierungs- und Erneuerungsmaßnahmen angekoppelt werden. Das Anbringen einer Außenwanddämmung etwa muß, um wirtschaftlich rentabel zu sein, mit den fälligen Arbeiten an der Fassade (z.B. Erneuerung des Außenputzes) verbunden werden. Wird dieser Zeitpunkt dagegen nicht für die Dämmaßnahme genutzt, so wird über die Lebensdauer des Neuverputzes auch keine Außenwanddämmung mehr ausgeführt. Oder wird die Neueindeckung von Dächern, wie oftmals zu beobachten, nicht mit einer Dämmung zwischen oder auf den Sparren verbunden, sind für 30-50 Jahre die Chancen für einen besseren baulichen Wärmeschutz an diesem Bauteil vertan ("lost opportunity"). Dasselbe gilt, wenn Energiesparmaßnahmen in unzureichendem Umfang durchgeführt werden: Eine nachträgliche Verbesserung wird noch unwirtschaftlicher. Suboptimale Maßnahmen sind ein Hemmnis für weitergehende Energieeinsparungen und die Ausschöpfung des wirtschaftlichen Potentials.

Die Kopplung an die Erneuerungszyklen begrenzt die Umsetzungsgeschwindigkeit für das Erreichen der Einsparpotentiale. Wie in Kapitel 8 dargestellt wurde, wird das wirtschaftliche Potential im SPAR-Szenario erst in 40-50 Jahren erreicht (vgl. Abb. 8.3.3-1). Voraussetzung ist dabei, daß zu jedem Erneuerungszeitpunkt die Energiesparmaßnahmen auch angekoppelt werden. Eine Sensitivitätsanalyse zeigt /Ebel 1990/, daß für eine erfolgreiche Umsetzung der Energieeinsparung (d.h. eine Entwicklung in der Nähe des SPAR-Szenarios) unter anderem folgende Bedingungen erfüllt sein müssen:

- deutlich mehr als 70% der Eigentümer müssen dafür gewonnen werden, bei Erneuerungsmaßnahmen die wärmetechnische Sanierung anzukoppeln

- es müssen Sanierungsmaßnahmen zum Einsatz kommen, die in ihrer Qualität den Maßnahmen des SPAR-Katalogs (vgl. Kapitel 4) entsprechen und damit deutlich über das heute übliche Niveau hinausgehen.

Für die Realisierung dieser Bedingungen müssen diejenigen Gebäudeeigentümer, die Erneuerungsmaßnahmen am Gebäude durchführen oder planen, ihr Investitionsverhalten künftig auch auf die wärmetechnische Sanierung ausdehnen. In vielen Fällen ist hier jedoch mit Hemmnissen zu rechnen (vgl. Kap. 10). Es ist also nicht zu erwarten, daß die energetische Sanierung "automatisch" abläuft.

Entscheidend ist es daher, durch starke Anreize die Eigentümer der Gebäude zu motivieren, zum Zeitpunkt einer Erneuerung Energiesparmaßnahmen mit auszuführen, und zwar in optimaler Qualität. Wie wir zeigen werden, kann dieses Ziel nicht nur durch einzelne politische Maßnahmen erreicht werden, sondern nur durch ein schlüssiges System aufeinander abgestimmter Instrumente, die in diesem Kapitel beschrieben werden.

11.3 Energiekennzahl

Ein wichtiger Schritt zur Erreichung bestimmter energetischer Standards ist zunächst die Definition von Vergleichsmaßstäben. Allein eine verbindliche Sprachregelung wäre ein Fortschritt.

11.3.1 Kritik der Wärmeschutzverordnung

Durch die Einführung der Wärmeschutzverordnung (WSchV) ist der Energieverbrauch im Neubau wesentlich gesenkt worden. Sie ist jedoch aus vielen Gründen unbefriedigend:

- Sie wird im Bereich der Altbausanierungen praktisch nicht angewandt (abgesehen von den Fenstern) und in keinem Fall kontrolliert. Eine Norm für den Altbau besteht de facto nicht.

- Die WSchV ist nicht weitgehend genug. Bereits die für den Altbau nachweisbar erreichbaren Zielwerte für den Energieverbrauch (Kap. 7.2) gehen weit über den Standard der WSchV hinaus, während die Einsparmöglichkeiten im Neubau weit höher sind. Für den eigentlich interessanten Bereich "besser als die WSchV" werden keine Maßstäbe gesetzt.

- Die Wärmeschutzverordnung stellt Anforderungen an Komponenten. Dadurch wird keineswegs im Hinblick auf niedrigen Energieverbrauch bei gleichzeitig gegebener Wirtschaftlichkeit optimiert. Die Planungsfreiheit wird u. U. unnötig eingeengt und Innovationen behindert.

- Komponentenanforderungen sind für Laien unverständlich, der Zusammenhang mit dem Energieverbrauch nicht transparent, und die Einhaltung der Anforderungen nachträglich in der Regel nicht überprüfbar.

- Auch bei Einhaltung der Wärmeschutzverordnung kann der Heizenergieverbrauch hoch sein, z. B. durch nicht berücksichtigte Wärmebrücken oder durch unnötig große Außenflächen.

- Aufgrund der oben genannten Schwierigkeiten wird die Wärmeschutzverordnung nur als lästige Vorschrift wahrgenommen. Die Anforderungen werden häufig nur auf dem Papier erfüllt. Eine Kontrolle erfordert einen hohen bürokratischen Aufwand, da nichtstaatliche Kontrollmechnismen (durch Eigentümer und Nutzer) nicht funktionieren.

- In einigen Bundesländern wird nicht einmal mehr versucht, die Einhaltung der WSchV zu fordern (Freistellungsverordnung in Niedersachsen und Bayern).

11.3.2 Funktionale Normen

Anforderungen sollten nicht Komponenten, sondern die eigentliche Zielgröße, nämlich den Energieverbrauch, betreffen. Einzelanforderungen müssen dann nur in Sonderfällen gestellt werden.

Am besten eignet sich als Vergleichsgröße der spezifische Energieverbrauch, d. h. der Energieverbrauch pro m^2 Wohn- oder Nutzfläche (Energiekennzahl). Die Energiekennzahl gibt damit den Energieaufwand zur Erbringung einer definierten Energiedienstleistung wieder.

Ein geeignetes Berechnungs- und Nachweisverfahren für den Energieverbrauch bzw. die Energiekennzahl wurde vom Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Verein in der Empfehlung SIA 380/1 "Energie im Hochbau" eingeführt /SIA 380/1/. Gleichzeitig werden für den spezifischen Heizenergieverbrauch sowie für den Nutzungsgrad der Heizungsanlage Grenz- und Zielwerte angegeben. Diese stecken den Rahmen für energiesparende und gleichzeitig wirtschaftliche Bauweise ab.

Dieses Verfahren hat sich in der Schweiz in einer mehrjährigen Erprobungsphase sehr gut bewährt. Seit 1988 ist die SIA 380/1 eine gültige Empfehlung des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins.

Aufbauend auf der SIA 380/1 wurde 1989 der Leitfaden "Energiebewußte Gebäudeplanung" gemeinsam vom Hessischen Ministerium für Wirtschaft und Technik und dem Institut Wohnen und Umwelt herausgegeben /HMWT 1989/.

Der Leitfaden **"Energiebewußte Gebäudeplanung"** hat zum Ziel, den **Einsatz von Energie** bei der Nutzung von Gebäuden unter wirtschaftlichen und umweltseitigen Gesichtspunkten zu **begrenzen.**

Abweichend von bisher in Deutschland geltenden Normen und Richtlinien werden **Gesamtanforderungen** an den Endenergieverbrauch von Gebäuden formuliert, Einzelanforderungen an bestimmte Bauteile oder technische Anlagen nur noch in Sonderfällen.

Voraussetzung für die Formulierung funktionaler Anforderungen ist ein zuverlässiges, aber dennoch vergleichsweise unkompliziertes und einfach überprüfbares Verfahren zur rechnerischen Ermittlung des spezifischen Nutzenergiebedarfs Wärme und der Heizzahl. Nach den inzwischen vorliegenden Erfahrungen ist eine solche Berechnung mit hinreichender Genauigkeit durch die Erstellung ganzjähriger **Energiebilanzen** möglich. Bisher übliche Abschätzmethoden, z. B. auf der Basis von Korrekturfaktoren zu Heizgradtagen, genügen diesen Ansprüchen nicht. Alternativ zum angegebenen Rechenverfahren, das sich auch für die Berechnung von Hand eignet, können jedoch genauere Methoden (wie stationäre Energiebilanzmodelle oder rechnergestützte dynamische Simulationsverfahren) verwendet werden.

Die Energiebilanz berücksichtigt das **Zusammenwirken aller energierelevanten Faktoren**, insbesondere die Nutzung von internen Wärmequellen (Personen und Stromabwärme) sowie der Sonneneinstrahlung. Damit wird ein Ineinandergreifen von energierelevanten Maßnahmen ermöglicht: architektonische Gestaltung, wärmetechnischer Standard, Detailausführung und Kostenvergleiche auf allen Planungsebenen gestatten auch ungewöhnliche Lösungen zur gesamtheitlichen Optimierung.

Der Nachweis des jährlichen Wärmeverbrauchs wird nach dem Leitfaden "Energiebewußte Gebäudeplanung" durch eine Energiebilanz auf der Grundlage einer **definierten Standardnutzung** geführt. Dies ist erforderlich, um technische Anforderungen an Gebäudehülle und Heizsystem einheitlich nach vergleichbaren Kriterien zu stellen, auch wenn die Nutzung im Einzelfall von den Standardangaben abweichen sollte. Zu bedenken ist dabei auch, daß sich die Nutzung im

Laufe der (häufig langen) Lebensdauer von Gebäuden künftig verschiedentlich verändern kann.

Bei den **Anforderungen** werden **Grenzwerte** und **Zielwerte** unterschieden. Die **Grenzwerte** stellen Mindestanforderungen im Sinne der Zielsetzung eines rationellen Energieeinsatzes dar, und sie sind so gewählt, daß sie den aktuellen Stand (1989) der wirtschaftlich erreichbaren Energieeinsparung widerspiegeln. Sie gehen in der Regel über den mit der Wärmeschutzverodnung 1984 erreichbaren Standard hinaus, erlauben aber dennoch größere gestalterische Freiheiten bei der Planung.

Die weitergehenden **Zielwerte** orientieren sich am heute (1989) erreichten Stand der Technik des energiesparenden Bauens, welcher unter wirtschaftlich vertretbarem Aufwand erreichbar ist. Es wird daher empfohlen, sich bei der Planung an den Zielwerten zu orientieren.

Die Einhaltung eines Grenz- oder Zielwertes ist prinzipiell **überprüfbar**. Denn in das Berechnungsverfahren gehen neben den gebäude- und heizungstechnischen Größen auch Nutzungs- und Klimadaten ein. Für das Nachweisverfahren werden dabei durchschnittliche örtliche Klimawerte sowie die definierte Standardnutzung unterstellt. Weicht der gemessene Energieverbrauch wesentlich vom berechneten ab, so können die aktuellen Nutzungs- und Klimadaten nachträglich in der Berechnung angepaßt werden. Auf diese Weise ist eine Überprüfung des berechneten Energieverbrauchs anhand der Messung möglich.

11.3.3 Vorteile der Einführung von Energiekennzahlen

Allein die Einführung und Verbreitung von Energiekennzahlen in Verbindung mit einem geeigneten Berechnungs- und Nachweisverfahren hätte wichtige Effekte:

Wirksamkeit
Die Norm betrifft die eigentliche Zielgröße, nämlich den Energieverbrauch. Ein besserer Wert auf dieser Skala führt zu niedrigerem Energieverbrauch und niedrigeren Emissionen.

Optimierung

Zur Einhaltung eines bestimmten Grenz- oder Zielwerts sind verschiedene Wege möglich. Dadurch wird der Gestaltungsspielraum erhöht, Innovationen werden gefördert. Innerhalb verschiedener Lösungen kann ökonomisch optimiert werden.

Markttransparenz

Ein Energiepaß für Gebäude kann auf freiwilliger Basis eingeführt werden. Die Energiekennzahl wird zu einem Qualitätsmerkmal für Gebäude. Sie hätte damit einen Einfluß sowohl auf die am Markt erzielbare Miete als auch gegebenenfalls auf den Verkaufserlös. Dies erhöht auch für die Eigentümer, die ihr Gebäude nicht selbst oder nur kurze Zeit nutzen wollen, die Motivation für Energiesparmaßnahmen.

Kontrolle

Die Einhaltung eines gewünschten energetischen Standards kann von Eigentümer oder Nutzer durch die Messung überprüft werden. Damit wird die Motivation für die Umsetzung von Energiesparmaßnahmen erhöht. Das Erreichen einer Mindest-Energiekennzahl kann in den Vertrag zwischen Architekt und Eigentümer oder zwischen Eigentümer und Nutzer aufgenommen werden. Sie wird privatrechtlich einklagbar. Auf diese Weise werden sorgfältige Bauausführung und die Weiterbildung von Architekten und Handwerkern gefördert.

Normierung

Energiekennzahlen können als DIN- oder VDI-Norm eingeführt werden. Die Nichteinhaltung von Mindest-Standards hätte dann ebenfalls privatrechtliche Konsequenzen. In einem Wertermittlungsverfahren könnte die Energiekennzahl berücksichtigt werden. Die Energiekennzahl kann als Merkmal für die "Beschaffenheit" eines Gebäudes bzw. einer Wohnung herangezogen werden.

Entbürokratisierung

Durch die prinzipielle nachträgliche Überprüfbarkeit der Einhaltung einer Energiekennzahl durch die Verbrauchsmessung gibt es automatische Kontrollmöglichkeiten, die durch das private Vertragsverhältnis zwischen Architekt und Eigentümer bzw. Eigentümer und Nutzer wirksam werden. Der bürokratische Aufwand zur Kontrolle der Einhaltung von Grenzwerten wird minimiert.

Flexibilität

In allen Fällen können die Anforderungen dem Stand der Technik leicht angepaßt und fortgeschrieben werden.

11.3.4 Handlungsmöglichkeiten

Energiekennzahlen als Grundlage für eine funktionale Norm eröffnen auch eine Vielzahl staatlicher Handlungsmöglichkeiten. Insbesondere seien genannt:

- Die Wirksamkeit einer Energiesteuer wird erhöht, da der Zusammenhang zwischen Energiekennzahl und Energiekosten transparent ist.

- Der Bund, Länder oder Kommunen können für ihre eigenen Gebäude eine Mindest-Energiekennzahl festlegen (Selbstbindung).

- Fördermittel bzw. Steuerentlastungen (z. B. für die Stadt- und Dorferneuerung, staatlich geförderten Wohnungsbau oder die Förderung von Wohnungseigentum) können von der Einhaltung eines Mindest-Standards abhängig gemacht werden.

- Eigene Förderprogramme können für die Einhaltung besonders niedriger Energiekennzahlen aufgelegt werden.

- Energiekennzahlen können im Baurecht eingeführt werden, sowohl in den Bauordnungen der Länder als auch als DIN- oder VDI-Normen. Im letzteren Fall kann die Erreichung bestimmter Mindest-Energiekennzahlen privatrechtlich als Stand der Technik zugrunde gelegt werden, so daß Verstöße dagegen Mängelrügen rechtfertigen. Hierzu wären dann in regelmäßigen Abständen die Mittelwerte und Spannen von Energiekennzahlen des Gebäudebestands nach Baualter und Gebäudeart zu veröffentlichen.

- Die Energiekennzahl sollte in das Bewertungsrecht für die Wertermittlung von Grundstücken explizit eingeführt werden.

- Da die Bedeutung des Baualters als Maß für die "Beschaffenheit" von Wohnungen als Determinante der ortsüblichen Vergleichsmiete (§ 2 Miethöhegesetz) in dem Umfang abnimmt, in dem alte Gebäude modernisiert werden, muß das Merkmal "Beschaffenheit" ohnedies anders als bisher definiert werden. Dazu bieten sich insbesondere Energiekennzahlen und Maßstäbe für die Grundrißqualität an. Die Energiekennzahl würde zu einer Determinante der ortsüblichen Vergleichsmiete.

- Eine funktionale Norm kann als Grundlage dienen für die Novellierung des Energiespargesetzes und der Wärmeschutzverordnung.

In allen Fällen ist aufgrund der nachträglichen Überprüfbarkeit der Verwaltungsaufwand für die Kontrolle der Einhaltung von Anforderungen gering. Gegenüber bisher üblichen Verfahren, bei denen Anforderungen an Komponenten gestellt werden, werden die staatlichen Kontrollorgane entlastet.

Trotzdem würde die Wirksamkeit in Bezug auf die Zielsetzung eines sparsamen und rationellen Energieeinsatzes erhöht.

11.4 Verbesserung des administrativen Instrumentariums: Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (EnEG) von 1976 und seine Verordnungen

Die gesetzliche Grundlage für Anforderungen an den Energieverbrauch von Gebäuden (Heizen, Kühlen) sowie für Förderprogramme des Bundes und der Länder bildet das Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden von 1976 (EnEG) und die darauf basierende Wärmeschutzverordnung in der Novellierung von 1982, die Heizungsanlagenverordnung in der Novellierung von 1989 und die Heizkostenverordnung von 1989, in denen die Einzelanforderungen an den Wärmeschutzstandard von Außenbauteilen beim Neu- und Erweiterungsbau, die Verluste von Heiz- und Brauchwarmwasseranlagen sowie raumlufttechnische Anlagen definiert werden und in denen ein energiesparsames Verbraucherverhalten fördernde, verbrauchsabhängige Abrechnung der Heizkosten in Mietwohnungen festgelegt wird. Die Überprüfung der Wärmeschutz- und Heizungsanlagenverordnung ist den unteren Bauaufsichtsbehörden und den Bezirksschornsteinfegern übertragen.

Ein Landesenergiegesetz existiert im Bundesland Hessen als "Gesetz über sparsame, rationelle, sozial- und umweltverträgliche Energienutzung in Hessen" (Energiespargesetz) von 1985. Das Gesetz ist als Anreizinstrument definiert, dessen Anforderungen nur im Fall der Gebäude- oder Anlagenförderung durch Landesmittel einzuhalten sind. Es wurde 1990 novelliert.

Eine Novellierung des "Gesetzes zur Einsparung von Energie in Gebäuden" von 1976 ist erforderlich, da die aus der Energieumwandlung resultierenden Umweltbelastungen bisher nicht in den Gesetzeszielen berücksichtigt wurden. In § 5 wird neben dem "Stand der Technik" allein die **betriebswirtschaftliche** Vertretbarkeit energiesparender Investitionen als Voraussetzung für Anforderungen in den Verordnungen des Gesetzes genannt. "Anforderungen gelten als wirtschaftlich vertretbar, wenn generell die erforderlichen Aufwendungen innerhalb der üblichen Nutzungsdauer durch die eintretenden Einsparungen erwirtschaftet werden können" /Energiegesetze 1980/. Diese Festlegung ging zwar 1976 über die geltenden, im wesentlichen aus Erfordernissen der Wohnhygiene und Bauschadensvermeidung abgeleiteten Anforderungen der DIN 4108 hinaus, ist jedoch aus den heutigen Kenntnissen um die Umweltwirkungen des Energieverbrauchs für die Gebäudeheizung nicht mehr ausreichend. Die Induzierung energiesparender Investitionen wurde

überdies dadurch behindert, daß ein Verfahren für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Investitionen im Einzelfall nicht vorgegeben wurde und auch in den Verordnungen nicht existiert. Erforderlich ist die Erweiterung der bisherigen Voraussetzungen für Anforderungen an Gebäude und Anlagen um die Ziele "umweltschonender Energieeinsatz und Primärenergieeinsparung". Eine solche Erweiterung ist eine wesentliche gesetzliche Voraussetzung für die Definition neuer, verbesserter Anforderungs-Standards für den Wärmeschutz von Gebäuden und eine energiesparsame Heiztechnik in den Ausführungsverordnungen.

Eine Novellierung der Wärmeschutzverordnung für den Neubau und für bauliche Veränderungen an bestehenden Gebäuden ist erforderlich, da die seit 1982 geltenden Anforderungen nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen. Die Novellierung sollte zur Einführung eines neuen Berechnungsverfahrens im Sinne einer, Gebäudeenergiebilanzen berücksichtigenden, funktionalen Norm führen: Eine Flexibilisierung des Nachweisverfahrens in Anlehnung an die SIA-Norm 380/1 bzw. den Diskussionsvorschlag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft und Technik (Energie im Hochbau) durch Einrichtung von nutzenergiebezogenen Ziel- und Grenzwerten sowie Heizzahlen ist hierzu erforderlich (vgl. das in Kapitel 11.3 beschriebene Verfahren und die dort genannten Anforderungstandards) /HMWT 1989/. Der Geltungsbereich der Verordnung sollte unverändert bleiben, das Anforderungsniveau für Neubau und bauliche Änderungen im Gebäudebestand jedoch gleichgestellt werden. Durch die Einführung von Heizzahlen ist auch die Heizungsanlagenverordnung stärker als bisher in eine solche funktionale Norm integriert und kann nach Übernahme der Kontrollvorschriften entfallen.
Damit wird insgesamt auch ein Beitrag für die Deregulierung im Bauwesen geleistet.
Die Einhaltung der im Sinne des Leitfadens "Energie im Hochbau" novellierten Heizungsanlagenverordnung und Wärmeschutzverordnung ist künftig durch die unteren Bauaufsichtsbehörden besser als bisher zu kontrollieren. Dies betrifft insbesondere die Prüfung des Nachweisverfahrens und die Einhaltung der festgelegten baulichen Standards, die Einhaltung von Einzelbestimmungen wie das Verbot der Anordnung von Heizkörpern ohne zusätzliche Abdeckungen vor Fensterflächen, die Prüfung des Wärmebedarfs von Gebäuden bei der Dimensionierung von neuen Heizanlagen. Die für eine bessere Überprüfungspraxis erforderlichen Rahmenbedingungen sind mit den Städten und Landkreisen festzulegen. Eine stete Anpassung

der Anforderungen der 1. BImSchV an die Abgasverluste von Heizanlagen entsprechend dem Stand der Technik ist sicherzustellen.
Die Heizkostenverordnung sollte durch eine Regelung zur Umlegung energiesparender Investitionen im Mietwohnungsbau ergänzt werden.

Eine Bündelung energiepolitischer Regelungen ist anzustreben. Deshalb sollte die Novellierung des EnEG in enger Abstimmung mit der Novellierung des Energiewirtschaftsgesetzes von 1935 erfolgen oder in dessen Novelle integriert werden.

Um die sorgfältige Bauausführung der wärmetechnischen Gewerke weiter zu verbessern, ist die **Einführung von technischen Ausführungsrichtlinien** für das Handwerk erforderlich. Technische Ausführungsrichtlinien sind unterhalb der Ebenen:
- Gesetzliche Regelungen, Verordnungen
- Normen

angeordnet und stellen detaillierte Handlungsempfehlungen dar. Erforderlich sind sie z.B. für die Wärmedämmung in den folgenden Bereichen: Einzelanforderungen der verschiedenen Systeme für die Dachdämmung, luftdichte Ausführung von Dachdämmungen und Leichtbauaußenteilen, sorgfältige Dämmung von Leichtbauteilen, Systeme der Außenwanddämmung und ihre Ausführungserfordernisse, Dichtung von Bauteilen in Fläche und Anschlüssen, Verträglichkeit einzelner Materialkombinationen.

11.5 Förderprogramme

In den vergangenen 15 Jahren wurde eine Vielzahl energiesparender Maßnahmen von Bund und Ländern mit unterschiedlicher Wirksamkeit gefördert. Das Spektrum der Förderprogramme umfaßt dabei energiesparende Anwendungen im Wohnungsbestand, Förderung der Energiesparberatung und -information sowie von Energiekonzepten, Förderung von Forschung und Entwicklung (FuE), Pilot- und Demonstrationsanlagen (PuD).

Staatlichen Finanzhilfen und Steuervergünstigungen wird z.T. zu Recht mit Skepsis begegnet. Marktwirtschaftlich orientierte Kritiker bemängeln, daß sie den wettbewerblichen Ordnungsrahmen verändern (Reduzierung des Wettbewerbsdrucks für Subventionsempfänger zu Lasten der Effizienz) und die relativen Preise von Gütern und Diensten verzerrten. Sie belasten öffentliche Haushalte und damit die "Steuerzahler", sie sind oft durch hohe Mitnahmeeffekte gekennzeichnet (d.h. geförderte Investitionen wären auch ohne staatliche Förderung durchgeführt worden), und es bestehen große Probleme der Reversibilität von einmal durchgeführten Förderprogrammen.

Fördermaßnahmen stellen jedoch auch ein marktkonformes Instrument des Staates, i.S. der indirekten und ergänzenden Beeinflussung des Preismechanismus dar. Sie sind besonders dort angebracht, wo neue Anwendungen vor dem Durchbruch stehen, wo Hemmnisse seitens der Bauherren, Mieter und Handwerker (Informationskosten, Qualifikation, Risikobereitschaft etc.) die Anwendung wirtschaftlicher Spartechnologien hindern. Aus allokationstheoretischer Sicht sollten sie besonders dann zur Geltung kommen,

- wenn durch das Vorhandensein externer Effekte Technologien bzw. Nutzanwendungen mit günstigen volkswirtschaftlichen Kosten auf den Märkten gegenüber solchen mit ungünstigeren Kosten benachteiligt sind,
- wenn Einspartechniken und Nutzungsmöglichkeiten für erneuerbare Energiequellen sich aufgrund spezifischer Hemmnisse nicht kurzfristig amortisieren bzw. allenfalls sehr langsam am Markt durchsetzen, aber langfristig auch einzelwirtschaftlich rentabel erscheinen. Für die Notwendigkeit einer Förderung von wärmetechnischen Maßnahmen im Wohnungsbestand gibt es

eine Reihe von spezifischen Gründen, die z. T. in hemmenden Rahmenbedingungen für Energieeinsparungen liegen:

- Für bauliche Maßnahmen der Wärmedämmung gibt es im Verlaufe des Gebäudezyklus nur einige bedeutende Zeitpunkte, zu denen Wärmeschutzmaßnahmen gleichzeitig mit ohnehin anstehende Sanierungsmaßnahmen kostengünstig durchzuführen sind. Dies ist z. B. der Fall beim Verputz der Außenwand, verbunden mit Wärmeschutzmaßnahmen der Fassade. Wenn zu diesen Zeitpunkten die Energiesparmaßnahmen nicht durchgeführt werden, bleibt ein mögliches Einsparpotential für lange Zeiträume ungenutzt. Um diese Kopplung an den Erneuerungszyklus zu erreichen und ansonsten ungenutzte Sparpotentiale im Wohnungsbestand wirksam auszuschöpfen, ist eine Unterstützung anstehender Investitionen in Verbindung mit einer qualifizierten Energieberatung besonders wichtig.

- Die Nutzungsdauer von Gebäuden ist meist länger als von anderen Produktivgütern. Eine Abschreibung von Einsparinvestitionen kann deshalb über die gesamte physische Lebensdauer vorgenommen werden. Da jedoch der Zeithorizont (meistens ca. 25 Jahre) bei derartigen Fällen sehr groß ist, ist eine Wirtschaftlichkeitsrechnung mit Risiken und Unsicherheiten behaftet. Insbesondere die oft größeren Anfangsinvestitionen und vom Investor gehegte Erwartungen kurzer Amortisationsfristen hemmen die Durchführung energiesparender Maßnahmen.

- Die komplexen Zusammenhänge von Energieverbrauch, Bautechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltschutz und volkswirtschaftlichen Auswirkungen sind für viele Hauseigentümer und Mieter in ihrer langfristigen Tragweite nicht überschaubar. Die Verfügung von Informationen über Bedingungen und Formen rationeller Energienutzung durch den Energieanwender ist jedoch eine der wichtigsten Bedingungen für das Funktionieren des Marktmechanismus. Da diese Informationen z. T. nicht vorhanden oder ungleich verteilt sind und die Informationsbeschaffung einen relativ hohen Zeit- und Kostenaufwand verursacht, der Verbraucher andererseits nicht einschätzen kann ob die Informationsbeschaffung rentabel ist, fällt staatlichen Institutionen die Aufgabe zu, eine Verbesserung der Markttransparenz und eine beschleunigte

Innovation bzw. Marktdiffusion von energieanwendenden Technologien zu fördern.

- Auch Finanzierungsprobleme spielen für die Durchführung wärmedämmender Maßnahmen oder die Modernisierung von Heizsystemen eine besondere Rolle; diese Maßnahmen konkurrieren angesichts knapper finanzieller Resourcen außerdem mit anderen Investitions- bzw. Konsumausgaben. Insbesondere bei privaten Haushalten und bei kleinen Einzelvermietern besteht oft eine Scheu vor einer Kreditfinanzierung. Dadurch unterbleiben Energiesparinvestitionen, auch wenn sie einzelwirtschaftlich rentabel sind.

- Die Ausschöpfung des technischen Sparpotentials wird im Mietwohnungsbereich durch die divergierenden Interessen von Eigentümern (Investoren) und Mietern (Nutzern) gehemmt. Der energetische Zustand wird durch den Bauherren (Eigentümer) bestimmt, der in der Regel nur geringes Interesse an Energiesparinvestitionen hat, da die Kosten der Maßnahmen die Nettomiete auf jeden Fall erhöhen würden, der Nutzen (geringere Heizkosten) sich jedoch in geringeren Betriebskosten niederschlagen würde, die zumeist ohnedies abgewälzt werden und bei den Vertragsverhandlungen zwischen Mieter und Vermieter oft kaum eine Rolle spielen.

- Durch eine Reduzierung des Energieverbrauchs besser gedämmter Gebäude würden Ressourcen geschont und Umweltkosten eingespart und damit die durch existierende Umweltbelastungen bereits verzerrte Energiepreisstruktur korrigiert. Außerdem ergäben sich hohe positive Beschäftigungseffekte, so daß unter dem Aspekt volkswirtschaftlicher Effizienz Förderungsmaßnahmen ein hoher Stellenwert zukommt.

11.5.1 Bestehende Regelungen

Das förderungspolitische Instrumentarium des Staates umfaßt Finanzhilfen (Investitionszuschüsse, Zinszuschüsse, zinsvergünstigte bzw. zinslose Darlehen, Bürgschaften) und Steuervergünstigungen (Steuerbefreiungen, Ermäßigung bei Steuersätzen und Bemessungsgrundlagen, Sonderabschreibungen, Zulagen). In den vergangenen 15 Jahren konzentrierten sich Energiesparmaßnahmen besonders auf

den Energieeinsatz für Heizwärme in Gebäuden. Dementsprechend bezogen sich Förderungsmaßnahmen auf Bundesebene ebenfalls zum großen Teil auf Einsparmaßnahmen im Heizwärmebereich (neben Förderprogrammen zur Kraft-Wärme-Kopplung und zum Fernwärmeausbau).
Das Bund-Länder-Programm zur Förderung heizenergiesparender Investitionen, welches mit einem Fördervolumen von 4,35 Mrd. DM einen Zuschuß- sowie einen Steuervergünstigungsteil enthielt, lief von 1978-1983 auf der Grundlage des "Modernisierungs- und Energieeinsparungsgesetzes" von 1978 (ModEnG). Ihm folgte, neben Förderungsmaßnahmen von Einspartechnologien nach dem Investitionszulagengesetz (§ 4a InvZulG), 1986 ein Programm steuerlicher Förderung, durch welches eine Reihe von Maßnahmen zur Modernisierung von Heizungs- und Warmwasseranlagen mit einer erhöhten steuerlichen Abschreibung von 10 % der Herstellungskosten begünstigt werden. Bis Ende 1991 können hierbei nach § 82a der Einkommenssteuer-Durchführungsverordnung (EStDV) erhöhte steuerliche Absetzungen z. B. für den Einbau von Wärmepumpen, Solaranlagen, Anlagen zur Wärmerückgewinnung, Modernisierung von Heizungsanlagen, Errichtung von Windkraftanlagen und von Anlagen zur Gewinnung von Biogas für Heizzwecke geltend gemacht werden.

Durch die Steuerreform entfallen Förderungen sowohl nach § 4 InvZulG (Befristung bis 31.12.1989) als auch die Vergünstigungen nach § 82a EStDV (Befristung bis 31.12.1991), sodaß die den Wohnungsbestand betreffende Förderungsmöglichkeiten im wesentlichen auf Bundes- und Landesförderungen für FuE- sowie PuD-Projekte, die Energieberatung der Verbraucherberatung und die Förderung dezentraler Energieanlagen reduziert sind.

Eine weiter bestehende Förderung durch Steuervergünstigungen nach § 82a scheint auch nicht sinnvoll:

- problematisch sind die Konzentration auf heizungstechnische Maßnahmen, die auf Grund kürzerer Erneuerungszyklen und allgemein wesentlich verbesserter Technik ohnehin ablaufen, und die Nichteinbeziehung von Wärmeschutzmaßnahmen, denen größere Hemmnisse entgegenstehen und deren Sparpotential wesentlich höher ist,

- es besteht bei Steuervergünstigungen keine Kopplung an eine Beratung bezüglich der beabsichtigten Maßnahmen sowie keine geeignete Kontrolle der Zweckmäßigkeit und Wirksamkeit (Einspareffekte) vorgenommener Investitionen,

- die Steuervergünstigung ist besonders für höhere Einkommensgruppen interessant (Abhängigkeit der Subvention von der Höhe des Grenzsteuersatzes, d.h. der Einkommenshöhe). Finanzschwache Eigentümer oder ältere Eigentümer, deren Investitionsbereitschaft relativ gering ist, werden von den Förderungsmaßnahmen unzureichend erfaßt. Es werden somit große Sparpotentiale von der Förderung ausgeschlossen, andererseits fließen Mittel in die Bereiche, in denen auch aus eigener Kraft Sanierungsmaßnahmen getätigt würden.

- Im Unterschied zur direkten Förderung können bei einer Steuervergünstigung ggf. weitere soziale Härten entstehen, da der Eigentümer die Vergünstigung nicht bei der Berechnung der Mieterhöhung berücksichtigen muß; sie werden nicht vom Modernisierungsaufwand abgezogen, der der Mieterhöhung zugrundegelegt wird.

11.5.2 Förderprogramme zur wärmetechnischen Gebäudesanierung

Förderprogramme stellen eine wichtige Ergänzung zu Energiesteuern und Vorschriften dar. Die Förderung von Wärmedämmaßnahmen ist besonders wichtig, da hierbei nicht mit einer quasi "automatischen" energetischen Sanierung bzw. Modernisierung des Wohnungsbestandes zu rechnen ist wie z. B. bei Heizungsanlagen, deren Erneuerung in bestimmten zeitlichen Abständen eine schlichte technische Notwendigkeit ist.

Durch Förderungsmaßnahmen können die Wirkungen von Energiesteuern und ordnungsrechtlichen Instrumenten an den folgenden Punkten ergänzt werden:

- Vermieter haben durch die Energiesteuer kein direktes ökonomisches Interesse an energiesparenden Investitionen im Gebäudebestand. Nach wie vor trägt der Mieter die (gestiegenen) Heizkosten. Für große Teile des Gebäudebestandes ist eine Energiesteuer nicht direkt investitionswirksam. Bei Finanzierungsengpäs-

sen der Wohnungsbaugesellschaften oder privaten Vermietern kann dies zu sozialen Spannungen führen, wie dies z. B. während der Hochpreisphase um 1980 vielerorts in den Geschoßwohnungsbausiedlungen der siebziger Jahre deutlich wurde.

- Für mittlere und höhere Einkommensgruppen gilt, daß die gestiegenen Energiekosten auch weiterhin gezahlt werden können, ohne durch energiesparende Investitionen abgelöst zu werden. Dies wird durch die zögerlichen Investitionen während der Energie-Hochpreisphase zwischen 1973 und 1980 deutlich belegt.

- Die Wirtschaftlichkeit energiesparender Investitionen wird zwar durch Energiesteuern deutlich verbessert. Art, Umfang und Richtung der zu ergreifenden Maßnahmen werden damit aber nicht festgelegt. Mit einer Energiesteuer ist noch nicht gesichert, daß die richtigen Maßnahmen ergriffen werden /Stobaugh/Yergin 1979/. Die ausgelösten Investitionen können durchaus suboptimal sein, wenn z. B. nur begrenzte Dämmstärken (4-6 cm) für Maßnahmen gewählt werden, deren Nutzungsdauern über 25 Jahre liegen. Hohe Energiepreise sind nicht gleichbedeutend mit erhöhtem Informationsniveau und einer positiven Einstellung zur Energieeinsparung bei der Vielzahl der Entscheidungsträger im Gebäudebestand.

- Finanziell schwache Einkommensgruppen haben äußerst eingeschränkte Finanzierungsmöglichkeiten und partizipieren, wie z. B. auch Rentner, nicht hinreichend an entlastenden steuerlichen Transferzahlungen zur Kompensation der monetären Energiesteuereffekte. In der Folge müssen zwar Mehrbelastungen bei den Heizkosten getragen werden, die für eine energiesparende Investition erforderliche Kapitalbeschaffung kann jedoch auf dem Kapitalmarkt nicht oder nur sehr eingeschränkt erfolgen. Die Ausführung energiesparender Maßnahmen durch diese Bevölkerungsgruppen kann durch die Einführung der Energiesteuer nicht erwartet werden.

- Insbesondere in den ländlichen Regionen kann durch eine Energiepreisverteuerung ein Umstieg auf die billigere Holz- und Kohlefeuerung erfolgen (Substitutionseffekt), wenn die Brennstoffe sogar in Selbstlobung nur zum

Aufwand des persönlichen Arbeitseinsatzes (Waldrestholz) beschafft werden können. Die Verfeuerung dieser Brennstoffe in Einzelöfen, Kaminen und Kachelöfen ist jedoch wegen der erheblichen Umweltbelastungen äußerst problematisch und liefe den Zielen der Energiebesteuerung deutlich zuwider /SRU 1981 und 1987/ .

- Mit der Einführung einer Energiebesteuerung muß eine in Teilen der Bevölkerung zunächst kontroverse Diskussion erwartet werden. Energieeinsparung kann bei der Vielzahl der Entscheidungsträger in der wärmetechnischen Gebäudesanierung jedoch nur in einem positiven Investitionsklima erfolgreich sein.

Anstoßende und beschleunigende Einsparmaßnahmen im Wohnunsbestand könnten daher besonders durch gezielte Finanzhilfen (direkte Förderung) erreicht werden. Während Steuervergünstigungen eine höhere Förderung für Energiesparmaßnahmen bei höherem Einkommen bedeuten und oft durch hohe Mitnahmeeffekte gekennzeichnet sind, erweisen sich Zuschüsse besonders für Haus und Wohnungseigentümer, die eine geringe Einkommenssteuer entrichten müssen (und deshalb steuerlich auch nicht stark entlastet werden) als günstig. Als Förderungsarten kommen dabei in Betracht Aufwendungszuschüsse, Einmalzuschüsse und zinsverbilligte bzw. zinslose Darlehen.

Träger der Förderung sollten der Bund wie auch die Bundesländer sein (gemeinschaftliche Finanzierung mit dem Bund sowie auch eigene Fördermaßnahmen durch die Länder). Die Finanzierung eines gemeinschaftlichen Förderprogramms könnte am zweckmäßigsten durch die Einnahmen aus der nachfolgend vorgeschlagenen Primärenergiesteuer bzw. Energieabgaben erfolgen, die für Förderungsmaßnahmen auf die Länder verteilt würden (vgl. hierzu Abschnitt 11.7).

11.5.3 Bund-Länder-Förderprogramm "Wärmetechnische Gebäudesanierung"

Vorgeschlagen wird ein Bund/Länder Förderprogramm "Wärmetechnische Gebäudesanierung" für private Hauseigentümer, Vermieter, Wohnungsbaugesellschaften und -genossenschaften nach dem Bauteilverfahren (Zuschüsse). Hierzu ist das Modernisierungs- und Energieeinsparungsgesetz von 1978 zu novellieren. Ein

solches Programm kann in verschiedenen Bundesländern bereits an vorhandene Länderprogramme zur Modernisierung und Energieeinsparung anknüpfen, die ab 1983 als Kompensation für das Auslaufen des 4,35 Mrd. Förderprogramms von Bund und Ländern geschaffen wurden (vgl. z. B. "Modernisierungsrichtlinien-Land" 1984 für Hessen). Die Mittelverwaltung wird hier über die kommunalen Ämter für Wohnungs- und Siedlungswesen oder entsprechende Einrichtungen der Kreise vorgenommen. Diese Organisation hat sich bewährt. Das Bund-Länder Förderprogramm sollte unabhängig von der Modernisierungsförderung aufgelegt werden. Die Förderung ist über die Instandhaltungsintervalle der Bauteile mit der Modernisierung und Instandsetzung verbunden.
Sinnvoll sind verlorene Zuschüsse in einem Bauteilverfahren. Für die Durchführung einer energiesparenden Maßnahme wird ein Kostenzuschuß gezahlt, der sich an der Höhe der Mehrkosten für die zusätzliche Ausführung einer Dämmung im Zuge ohnehin erfolgender Instandhaltung oder Modernisierung orientiert. Der Zuschuß sollte 40 % der Zusatzkosten für die Dämmung betragen und bezogen auf die jeweilige Bauteilfläche und Maßnahme fest vorgegeben sein, um preistreibende Nebeneffekte gering zu halten. Zum Vergleich: Das Hessische Modernisierungs- und Energieeinsparungsförderprogramm sieht Kostenzuschüsse in Höhe von 25 % der Maßnahmenkosten für die Dämmung vor (abzüglich Instandsetzungsanteil). Die Zuschüsse sollten nicht als Wertsteigerung auf die Mieten überwälzt werden können, um für die Mietwohnungsbau eine warmmietenneutrale Sanierung zu gewährleisten.

In Anlehnung an den Katalog wärmetechnischer Sanierungsmaßnahmen sind auch klare technische Vorgaben für die Dämmschichtdicken festzuschreiben. Die Erfahrungen aus der Energiespar-Förderung des Landes Hessen zeigen, daß es sinnvoll ist, die Mindestwerte für die Dämmschichtdicken relativ hoch anzusetzen. Wird demgegenüber mit geringen Mindestanforderungen gearbeitet (z. B. Außenwandwärmedämmung mit mindestens 6 cm Dämmstärke) werden auch nur diese Mindestdämmschichtdicken ausgeführt. Sinnvoll erscheinen die in Tabelle 11.5.3. angegebenen Maßnahmen und Zuschußgrößen.

Tabelle: 11.5.3
Förderungswürdige Dämmaßnahmen und Zuschußbeträge in einem Bund-Länder-Förderprogramm "Wärmetechnische Gebäudesanierung"

- Innendämmung 6 cm	10,00 DM/m^2
- Thermohaut 12 cm	25,00 DM/m^2
- Vorhangfassade 12 cm	25,00 DM/m^2
- Kerndämmung 4 - 8 cm	15,00 DM/m^2
- Kerndämmung plus Thermohaut 6 cm	30,00 DM/m^2
- 12 cm Kerndämmung mit neuer Vormauerung	40,00 DM/m^2
- Kellerdeckendämmung 5 cm	5,00 DM/m^2
- Dämmung der Kellerdecke und der Wände beheizter Kellerräume mit 5 cm Dämmplatten	5,00 DM/m^2
- Dämmung des Steildachs mit insgesamt 12 - 20 cm Dämmstoff unter Anrechnung des vorhandenen k-Wertes nach Dämmtechniken gestaffelt	15,00 bis 30,00 DM/m^2
- Dämmung des Flachdaches mit insgesamt 12 - 20 cm Dämmstoff unter Anrechnung des vorhandenen k-Wertes nach Dämmtechniken gestaffelt	10,00 bis 30,00 DM/m^2
- Dämmung des Dachbodens mit insgesamt 20 cm Dämmstoff unter Anrechnung des vorhandenen k-Wertes nach Dämmtechniken gestaffelt	10,00 bis 15,00 DM/m^2
- Einbau von Wärmeschutzisolierverglasung bei Fenster- oder Verglasungsersatz	30,00 DM/m^2
- Sonderaufwand bei denkmalgeschützten Bauten in Verbindung mit den Denkmalschutzbehörden	im Einzelfall zu bestimmen

Werden diese Maßnahmen bei Fälligkeit im Instandsetzungszyklus im gesamten Gebäudebestand gefördert, wären dafür in den nächsten Jahren nach Einführung der Maßnahmen bei 100 %iger Durchführung ein Fördervolumen von ca. 4 Mrd. DM pro Jahr notwendig; dieses würde anschließend im Zeitverlauf geringer werden, nach zehn Jahren auf weniger als die Hälfte, nach zwanzig Jahren auf weniger als ein Viertel des ursprünglichen Betrages sinken, wie Abb. 11.5.3 verdeutlicht.

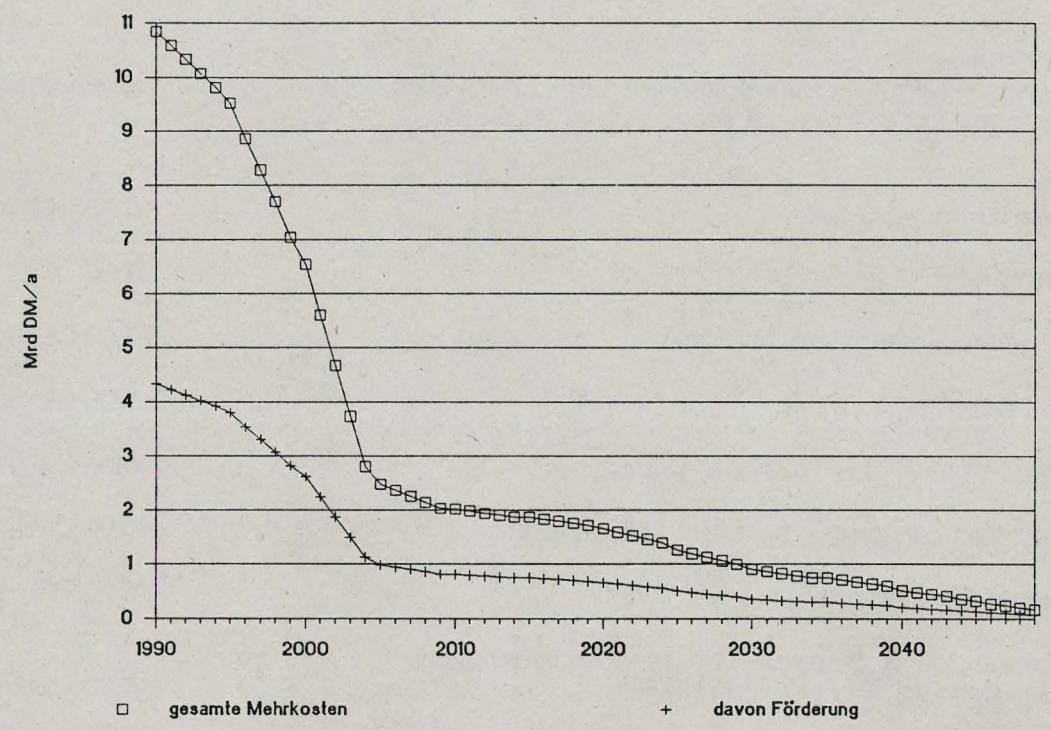


Abb. 11.5.3 Jährlich notwendiges Investitionsvolumen und Förderanteil im Sparzenario

Das Bund-Länder-Förderprogramm "Wärmetechnische Gebäudesanierung" kann wahlweise auch als Zinsstützungsprogramm in Zusammenarbeit mit den jeweils örtlichen Banken, Sparkassen und Bausparkassen durchgeführt werden. Der Vorteil von Zinsstützungsprogrammen läge in der Mobilisierung von Kapitalmarktmitteln durch ein sicheres und niedriges Zinsniveau und der Übernahme großer Teile der Verwaltungsaufgaben durch die Infrastruktur der Banken und Sparkassen. Als Nachteil steht dem gegenüber, daß Gebäudeeigentümer mit kreditmäßiger Vorbelastung kaum von dem Programm erfaßt werden. Auch werden energiesparende Investitionen im eigengenutzten Gebäudebestand erfahrungsgemäß eher durch angesparte Mittel plus Zuschüsse als über Bankkredite finanziert, so daß auch deshalb eine geringere Effizienz zu vermuten ist. Die Weitergabe des Entlastungseffektes an die Mieter ist zu regeln.

Besondere Priorität bei Fördermaßnahmen sollten sozialpolitisch bedeutsame Sanierungsmaßnahmen haben; zu nennen sind hier der Bereich des belegungsgebundenen Wohnungsbestandes, Obdachlosenunterkünfte, Altbauwohnungen mit einkommensschwachen Mietern, Studentenwohnheime, Altersheime. Erforderlich

sind hier Sonderprogramme zur wärmetechnischen Sanierung von Mietwohnungen für finanziell schwache Bevölkerungsgruppen. Diese Sonderprogramme sind in enger Abstimmung mit den Städten, Landkreise und Gemeinden aufzustellen, da in diesen Gebietskörperschaften die genau örtliche Kenntnis der Erfordernisse vorhanden ist. Ein solches Vorgehen war auch bisher bei der Bildung von Modernisierungsschwerpunkten Bestandteil des ModEnG (§ 11). Denkbar ist z. B. die Koordination über die Wohnungs- und Hochbauämter. Solche Sonderprogramme sind auch ein Beitrag zum Abbau der Sozialhilfebelastung der kommunalen Haushalte, da die Heizkosten von Obdachlosen und Sozialhilfeempfängern ganz oder teilweise durch den Sozialhilfehaushalt aufgebracht werden müssen /Burgdorf 1988/.

Zu prüfen sind ebenfalls zusätzliche Modelle der Förderung durch Bürgschaften und Zinsverbilligungen (etwa durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau) an Energieversorgungsunternehmen, die für Hauseigentümer energiesparende Investitionen durchführen (Finanzierung, Installation, Wartung, Management) und als Entgelt von den Eigentümern über einen bestimmten Zeitraum die eingesparten Heizkosten erhalten (Beispiel Rottweil, vgl. auch das Saarbrücker Modell warmmietneutraler Wärmedämmung).

Anzustreben ist weiterhin eine Integration der Ziele der Energieeinsparung in die Städtebauförderung und Dorferneuerung. Sinnvoll scheint hier eine Mittelaufstokkung in diesen Programmen entsprechend des zuwachsenden Handlungsbedarfes oder alternativ die Ermöglichung der Mittelkombination mit dem Zuschußprogramm in städtebaulichen Erneuerungs- und Sanierungsgebieten. Erforderlich ist eine offensive Information der Kommunen durch das Bundesbauministerium über diese Neuorientierung mit dem Ziel der Stimulierung inhaltlich entsprechend ausgestalteter Förderanmeldungen der Kommunen. Notwendig ist dazu eine kritische Überarbeitung der Förderrichtlinien der Dorferneuerung und eine Kopplung der Dorferneuerungsmaßnahmen mit dem Programm Energieberatung und der Aufstellung von handlungsorientierten Energiekonzepten.

Als weitere Fördermaßnahmen sind denkbar

- der Fernwärmeanschluß von Wohngebäuden bei Wärmelieferung aus Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung, Einbau von nichtelektrischen Wärmepumpen, von Solaranlagen, Nutzung von Biomasse.

- Maßnahmen von Wohnungsmietern und bei eigengenutzten Wohnungen, die an bestimmte Einkommensgrenzen zu binden wären.

11.5.4 Kopplung der Förderung an Auflagen und Erfolgskontrolle

Die Förderung von Energiesparmaßnahmen im Wohnungsbestand sollte an die Einhaltung bestimmter technischer Mindestvoraussetzungen geknüpft werden (z.B. an den Nachweis eines k-Wertes < 0,3 $W/(m^2K)$ bei Außendämmungen; entsprechende Dämmschichtdicken sind auf Seite 305 dargestellt). Zu prüfen ist auch die Bedingung, daß bau- und heizungstechnische Maßnahmen miteinander abzustimmen sind. Generell sollte die Mittelvergabe an eine geeignete Konzeptentwicklung durch eine qualifizierte Energieberatung am Ort gebunden werden, um Folgeschäden durch eine isolierte und mangelhafte Planung zu verhindern. Eine hohe Wirksamkeit von Fördermaßnahmen setzt außerdem verstärkte Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen für das ausführende Handwerk, Ingenieure etc. voraus (vgl. hierzu Abschnitt 11.1. Förderung der Energieberatung).

Es sollte außerdem gewährleistet sein, daß keine unbilligen Mietsteigerungen durch die geförderten Sanierungsmaßnahmen entstehen, d. h. evtl. Mieterhöhungen in einer vernünftigen Relation zu den eingesparten Betriebskosten stehen. Eine Kontrolle der Einhaltung von Förderrichtlinien und -zwecken könnte über die Energiegutachten, die vor der Durchführung einer Maßnahme zu erstellen sind, geschehen. Da Energieberater am Ort die zur Förderung anstehenden Maßnahmen analysieren, könnte die Ordnungsmäßigkeit von Anlagen auch von ihnen bestätigt werden.

Förderungsprogramme haben den Vorteil, daß unmittelbar an den Kosten energiesparende Maßnahmen, notwendiger Beratung und FuE-Maßnahmen angesetzt werden kann, was relativ starke selektive Einsatzmöglichkeiten und zudem große Gestaltungsfähigkeit bzw. Dosierbarkeit mit sich bringen kann. Besonders die o.g. Zuschüsse besitzen gegenüber Steuererleichterungen (wie nach § 82a EStDV) den Vorteil einer relativ "zielscharfen" Wirksamkeit und stellen eine wichtige Ergänzung von Energiesteuern und Vorschriften dar. Fördermaßnahmen sind außerdem durchaus nicht so irreversibel, wie sie oft erscheinen mögen. Die Kritik mangelnder Rücknahmemöglichkeit kann nur für Erhaltungssubventionen, die eine

gegebene Wirtschaftsstruktur aufrecht erhalten sollen, gelten und weniger im Falle einer hier beabsichtigten Anpassungsförderung. Insbesondere bei einer Koppelung der Finanzierung an die Einnahmen aus Energiesteuern reduzieren sich mit zunehmenden Einsparerfolgen sukzessive die Steuerüberschüsse und damit die Höhe der Förderungsmittel.

11.6 Wohnungswirtschaftlicher Handlungsbedarf: Wärmetechnische Gebäudesanierung im Rahmen einer sozialverträglichen Bestandspolitik

In den zukünftigen Wohnungsmodernisierungsprogrammen des Bundes- und der Länder und allen Sonderprogrammen zur Schaffung von Wohnraum für einkommensschwächere Bevölkerungsgruppen ist auf die Notwendigkeit der Kopplung von Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen mit wärmetechnischen Sanierungsmaßnahmen zu verweisen.

Durch Änderung der II. Berechnungsverordnung sollte für den öffentlich geförderten Wohnungsbestand die Möglichkeit des Gegenrechnens von Kaltmietensteigerungen und Heizkostensenkungen bei wärmetechnischen Sanierungsmaßnahmen ermöglicht werden. Dies ist z.B. in Hessen im öffentlich geförderten Wohnungsbau bereits möglich. Nach dem Beispiel der hessischen Förderichtlinie "Modernisierungsrichtlinie-Land" sollte eine bis zu 30-prozentige Überschreitung der Höchstmiete zugelassen werden, wenn durch Dämmaßnahmen und Heizungsmodernisierung die Heizkosten sinken (Warmmietenneutralität).

Wie oben bereits dargestellt, ist durch warmmietenneutral wirkende Sonderprogramme für die wärmetechnische Gebäudesanierung von finanziell schwachen Einkommensschichten Sorge zu tragen, um hier die Belastung aus der Energieverteuerung zu kompensieren.

11.7 Energiesteuer und Umweltabgaben

Der marktwirtschaftlichen Konzeption nach soll sich in der Energiepreisstruktur der Märkte die Kostenstruktur (d.h. die langfristigen volkswirtschaftlichen Grenzkosten der Energiegewinnung) widerspiegeln. Im gegenwärtigen Energiepreisniveau werden jedoch externe Umweltkosten der Energienutzung sowie die Knappheit und Begrenztheit von Energieressourcen nicht oder nur unzureichend reflektiert. Nur wenn diese Belastungen und Risiken beim Einsatz von Energieträgern in die betriebswirtschaftlichen Kosten "internalisiert" sind, würden sich private und volkswirtschaftliche Kosten entsprechen. Gegenwärtig werden diese Kosten auf Dritte oder die Gesellschaft abgewälzt, so daß die tatsächlich gezahlten Preise bestenfalls die bloßen einzelwirtschaftlichen Kalküle widerspiegeln, dagegen die an anderer Stelle anfallenden Schadens-, Vermeidungs- oder Beseitigungskosten von Umweltbelastungen der Energienutzung nicht einschließen. Die der gegenwärtigen und zukünftigen Generationen aufgebürdeten Umweltschäden sind daher nach dem gesellschaftlich akzeptierten marktwirtschaftlichen Zurechnungskriterien des Verursacherprinzips in den Preis einzubeziehen.

Wir schlagen daher vor, Anreizsignale über den Markt durch eine Energiesteuer zu geben. Damit soll eine Korrektur des Preismechanismus vorgenommen werden, um diejenigen, die Investitions- und Nutzungsentscheidungen treffen, zur rationellen Nutzung von Energie bzw. zur Umschichtung ihrer Nachfrage zu bewegen.

Zu Energie-/Umweltabgaben existiert gegenwärtig eine Vielzahl von Modellen. Zunächst kann man grundsätzlich unterscheiden,

- ob damit energie-/umweltpolitische Umstellungsprozesse in Gang gesetzt werden sollen (Lenkungssteuer) oder
- ob eine zusätzliche Finanzierungsquelle geschaffen werden soll, deren Aufkommen dann ggfs. zweckgebunden zur Förderung von Maßnahmen rationeller Energienutzung verwendet wird (Finanzierungssteuer). Bei ihr handelt es sich um eine Steuererhöhung, die erweiterte Finanzierungsspielräume für das Gemeinlastprinzip erschließt. Ihre Höhe kann z.B. danach bemessen werden, wie hoch die zu finanzierenden umweltbezogenen Ausgaben sein werden.

Hinsichtlich des Anreiz- und Lenkungseffektes kann man mehrere grundsätzliche Formen unterscheiden:

- Mit der "klassischen" Emissionssteuer soll eine möglichst vollständige Internalisierung der bisher nicht in den einzelnen Wirtschaftsrechnungen enthaltenen sozialen Zusatzkosten bewirkt werden (Internalisierungssteuer). Die Steuer stellt einen (politisch gesetzten) Preis für die durch die Emittenten verursachten externen Kosten (= Schattenpreis) dar. Sie scheitert in ihrer reinen Form meist an den Problemen der exakten Erfassung, Zurechnung und Bewertung.
- Bei einer Umweltweltqualitätssteuer will man im Unterschied zur Internalisierungssteuer die Steuerhöhe so wählen, daß durch den Anreiz zur Umstrukturierung von Produktions- und Nutzungsverhalten ein bestimmtes Qualitätsziel (z. B. Senkung der Kohlendioxid-Emissionen bis 2005 um x %) erreicht wird. Ein Beispiel stellt das ursprüngliche Abwasserabgabensystem der BRD dar.
- Mit kombinierten Abgaben-Auflagensystemen soll ein politisch vorgegebener Standard der Umweltnutzung erreicht werden (sog. Standard-Preis-Ansatz). So legen z. B. politische Instanzen - durch Schätzung - Steuern auf Emissionen fest, die bei Rationalverhalten der ökonomischen Akteure geeignet sein könnten, im Durchschnitt die Einhaltung der Standards zu gewährleisten. Durch wiederholte Abgabenkorrekturen sollen die Standards erreicht werden.
- Schadstoffabgaben werden erhoben, um deren Einsatz zu reduzieren. Sie existieren z. B. in Form einer
  -Rohstoffabgabe (z. B. Schwefelgehalt-Besteuerung von Treibstoffen in Norwegen)
  -Abgabe auf Einsatzstoffe (z. B. Asbest, FCKW)
  -Produktabgabe (z. B. Abgabe auf Einwegbehälter).

Das IWU befürwortet aus der Vielzahl möglicher Varianten von Energie-/Umweltabgaben eine auf die Primärenergieeinheit bezogene Steuer. Ihre Gestaltung soll nachfolgend erörtert werden. Auf eine weitere diskussionswürdige Alternative, die Emissionsabgabe als Schadstoffsteuer, soll anschließend kurz eingegangen werden.

Die **Primärenergiesteuer** ist als Abgabe auf alle (importierten und einheimischen) nicht-regenerativen Primärenergieträger (Kohle, Gas, Erdöl, Erdölprodukte, Uran) konzipiert. Als Bemessungsgrundlage kommt der Energieinhalt der Energieträger (Kilowattstunde Primärenergieeinsatz) in Betracht, der beim jeweiligen Umwandlungssystem (Raffinerie, Kraftwerk) bzw. im Rahmen des Zollverfahrens besteuert wird. Im Vordergrund steht die (annäherungsweise) Zurechnung und Internalisierung sozialer Kosten der Energienutzung und der Lenkungseffekt. Sie wird als indirekte Steuer von den Umsätzen an Gütern und Dienstleistungen erhoben, betrifft also die Energieausgaben der Verbraucher (Haushalte, Kleinverbraucher, Industrie, Verkehr). Durch eine fiskalische Belastung von Verbrauchern, welche Energie auf der Basis nicht-regenerierbarer Energieträger nutzen, sollen Anpassungsanreize zur Verminderung der Nachfrage und zu Energiesparinvestitionen gegeben werden. Im Bereich des Gebäudebestandes würden damit die Preisrelationen zwischen dem Energieeinsatz und den Einspar-Investitionskosten für das energieumwandelnde System (Wärmedämmung, Heizung etc.) verändert und u.a. bewirkt, daß Investitionen in Energiesparmaßnahmen wirtschaftlicher würden. Bestehende Verzerrungen der Wettbewerbsstruktur und Wirtschaftlichkeitsdefizite von Technologien rationeller Energienutzung als Folge falscher Preissignale könnten korrigiert werden.

Hinsichtlich des Steueraufkommens sind gegenwärtig mehrere Varianten im Gespräch. Eine von verschiedenen Seiten befürwortete aufkommensneutrale Steuerverlagerung würde bedeuten, daß in Höhe des neuen Primärenergie-Aufkommens ein anderes Aufkommen zu senken wäre, so daß sich gesamtwirtschaftlich keine Mehrbelastung ergäbe. D.h., daß Energiesteuererhöhungen entweder mit Steuersenkungen bei anderen indirekten Steuern ausgeglichen (Mehrwertsteuer) oder entlastet würden über eine Rückgabe bei der Lohn- und Einkommenssteuer- (Erhöhung der Grundfreibeträge im Einkommenssteuerrecht), eine Senkung der Gewerbesteuer, der Erhöhung des Wohngeldes, der BAföG-Sätze und der Sozialhilfe bei Nichtsteuerpflichtigen. Das IWU plädiert dagegen für die Gestaltung einer Energiesteuer, die zu einem Zusatzaufkommen führt.

Die von uns befürwortete Möglichkeit bedeutet, die Energiesteuer so zu konzipieren, daß das erzielte Aufkommen höher als das ersetzte Mehrwert- bzw. Einkommenssteueraufkommen ist und aus den Mehreinnahmen die genannten För-

dermaßnahmen rationeller Energienutzung oder weitere Maßnahmen zum Ausgleich sozialer Härten finanziert werden. Möglicherweise könnte die Energiesteuer (teilweise) den Ländern und/oder Kommunen zugewiesen werden (letzteren auch unter dem Aspekt, wenn die Konzessionsabgaben gemindert werden sollten). Denkbar wäre eine Verwendung des Steueraufkommens aus der Primärenergiesteuer:

- zur Finanzierung eines Forschungsprogramms "Schutz der Erdatmosphäre",
- zur Finanzierung von Fördermitteln,
- zum Ausgleich sozialer Härten im Rahmen von Umstrukturierungsmaßnahmen (z. B. Strukturprogramm für die Montanreviere).

So könnten z. B. aus den die Mehrwertsteuer übersteigenden Energiesteuereinnahmen Mittel im Wohnungsbereich zur Verwendung als Zuschüsse bzw. zinsgünstige Darlehen frei werden, die dann durch die Landesministerien bzw. Landkreise vergeben werden (sinnvoll wäre hierzu eine geeignete Clearingstelle - evtl. Energiesparagentur -, die sowohl Finanzierungshilfen gewährt, als auch für die Verwendung der Primärenergiesteuer zuständig ist).
Gegen eine zweckgebundene Primärenergiesteuer, die neben dem Lenkungsziel auch dazu dient, öffentliche Fördermaßnahmen zu finanzieren, werden oft rechtliche Bedenken und das Argument geltend gemacht, daß sie dann zur reinen Finanzierungssteuer verkomme. Dagegen ist einzuwenden, daß zweckgebundene Steuern bereits bestehen: durch besondere Gesetzesbestimmungen wird ein Teil der Mineralölsteuereinnahmen zugunsten des Straßenbaus zweckgebunden eingesetzt; die finanziellen Mittel aus der Ausgleichsabgabe ("Kohlepfennig") werden zweckgebunden für die Finanzierung der Maßnahmen nach dem dritten Verstromungsgesetz verwandt. (Weitere Beispiele: "Waldpfennig", NRW-Sonderabfalleinnahmen, verwendet zur Altlastensanierung). Hier sind noch weitere Überlegungen nötig: Das Aufkommen aus Umweltsteuern muß im Vergleich zu dem aus Umwelt-Sonderabgaben nicht zweckgebunden verwandt werden; es kann daher für Entlastungen bei der Lohn- und Einkommensteuer verwandt werden. Wenn ein Teil der Energiesteuer zu Förderungszwecken verwandt würde, könnte jedenfalls ihr Allokationseffekt noch verstärkt werden; die Einnahmen verschwänden nicht in der "Anonymität" des Staatshaushalts).
Die Höhe des Steueraufkommens richtet sich nach dem Niveau der Energiesteuersätze. Soll der entsprechende Allokations-(Einspar)effekt im Sinne des

angestrebten Ziels wirkungsvoll sein, müßten die Steuersätze entsprechend hoch sein. Zu denken ist an eine Besteuerung, die etwa auf das Energieniveau abzielt, das Anfang der achtziger Jahre bei uns herrschte (z. B. fünf Pfennig Steuer pro kWh). Die wirtschaftlichen Auswirkungen wären mit den damaligen aber keinesfalls vergleichbar, weil das Steuervolumen auf dem Binnenmarkt weiterhin zur Verfügung steht. Die Steuersätze wären in bestimmten zeitlichen Abständen zu variieren (d. h. entsprechend den Änderungen energie- und gesamtwirtschaftlicher Daten wie Einsparerfolgen, Inflationsraten, Wachstum des Sozialprodukts).

Was die Besteuerung der verschiedenen Energieträger und damit die Struktur der Steuersätze anbelangt, wäre es möglich, die Energiesteuersätze aufgrund weiterer Kriterien wie z. B. der unterschiedlichen Emissionsintensität zu differenzieren (dementsprechend wären z. B. Kohle, Benzin, schweres Heizöl, Uran stärker zu belasten als leichtes Heizöl und Erdgas).

Zusätzlich zu bzw. als Bestandteil der Primärenergiesteuer könnte ebenfalls eine Ausgleichszahlung (statt des Kohlepfennigs) erwogen werden (hier wäre z. B. die dänische Regelung zu prüfen), die als weitere Abgabe auf den Primärenergieverbrauch vorzusehen ist. Sie soll der Verstetigung des Energiepreises dienen. Bei fallenden Energiepreisen ergäbe sich eine zusätzliche Abgabe auf den Primärenergieverbrauch; in Phasen spekulativ steigender Energiepreise sollte aus der Abgabe der Energiepreis gestützt werden (vorübergehende Steuersenkung). Die Ausgleichsabgabe könnte außerdem gewährleisten, daß langfristig eine Steigerung der Primärenergiepreise erfolgt.

Die Auswirkungen auf makroökonomische Größen und die Wirtschaftsstruktur (regional, sektoral) hängen u.a. vom Ausmaß der Steuererhöhung und der Struktur der Steuersätze ab. Sie sind außerdem wesentlich davon bestimmt, ob beabsichtigt ist, das Steueraufkommen nicht zu erhöhen, sondern die Energiesteuererhöhungen in gleichem Maße durch Steuersenkungen zu kompensieren, oder ob sie als Zusatzaufkommen konzipiert ist. Je nach Höhe des angestrebten Aufkommens ergeben sich leichte bis stärkere Auswirkungen auf die Einkommensverteilung; d.h. untere Einkommensschichten würden stärker belastet (regressive Wirkung der Steuer).

Um die Wettbewerbsfähigkeit der Volkswirtschaft nicht zu beeinträchtigen, ist im Prinzip eine Außenhandelsneutralität der Steuer anzustreben: Importen wird bei der Verzollung die Energiesteuer auferlegt, Exporten wieder zurückerstattet; innerhalb des Europäischen Binnenmarktes wäre das aber nicht durchsetzbar. Dennoch gebietet die Dringlichkeit des Problems notfalls auch ein Vorangehen der Bundesrepublik, natürlich mit dem mittelfristigen Ziel einer EG-Harmonisierung.

Der instrumentale Charakter einer Energiesteuer erfordert eine genaue Untersuchung der Steuersatz- und Steuertarifgestaltungsmöglichkeiten, die die genannten negativen Auswirkungen vermeiden oder kompensieren könnten. Zu beachten sind ferner Effizienzgesichtspunkte, z.B. die unterschiedlichen Verwaltungs- und Kontrollkosten, die mit der Einführung der Energiesteuer und Variationen der Steuersätze verbunden sind.

Bei der Alternative **"Schadstoffabgaben"** kommt für eine Besteuerung eine Reihe von Abgaben auf Luftschadstoffe in Betracht, wie z. B. auf CO_2, SO_2, NO_x, CO, eine FCKW-Abgabe, radioaktive Spaltprodukte, Stickstoffabgabe etc. Ein Grundproblem ist hierbei, daß der Kreis der möglichen Schadensquellen, Bemessungsgrundlagen und Emittenten (Abgabepflichtigen) sehr groß und heterogen ist. Bei dieser Alternative wäre ein relativ großer bürokratischer Aufwand zu befürchten wegen unterschiedlicher Auffassungen über Ausmaß und Intensität der Schädlichkeit oder Unschädlichkeit einzelner Emissionen; es ergäben sich eine Vielzahl unterschiedlicher Erfassungs-, Zurechnungs-, Bewertungs- und Kontrollprobleme etc.. Dennoch können selektive Abgaben auf den Einsatz bestimmter Produktionsverfahren, -prozesse und auf Produkte in begründeten Fällen eine sinnvolle Ergänzung der vorgeschlagenen Primärenergiesteuer bilden und zur Lösung spezieller umweltpolitischer Probleme und Aufgaben dienen.

Eine Primärenergiesteuer könnte wichtige Impulse für eine ökologisch orientierte Energienutzung geben. Die Probleme einer Steuerstrategie liegen

- in der richtigen Bewertung externer Effekte und der Vermeidungskosten, d. h. in der Wahl der geeigneten Bemessungsgrundlage und des geeigneten Steuersatzes.

- der Notwendigkeit der Steuersatzvariation im Zeitablauf zur Ermittlung eines Allokationsoptimums. Dieser trial- and error-Prozeß bewirkt allerdings eine Reduktion der vorher genannten Informations- und Bewertungsanforderungen. Die "richtige" Steuerhöhe braucht nicht in "einem Zuge" exakt errechnet zu werden, sondern kann nach einer anfänglichen Schätzung durch ein stetiges Herantasten unter Beobachtung der Einsparerfolge gefunden werden.
- in ggf. langen Zeitverzögerungen bei den Anpassungsreaktionen. Diese hängen allerdings von der "Fühlbarkeit" der Abgabenhöhe ab.
- in einem relativ hohen administrativen Aufwand (Informations-, Erhebungs- und Kontrollkosten). Dieser ist allerdings bei der vorgeschlagenen Primärenergiesteuer erheblich geringer als bei einer Vielzahl von einzelnen Schadstoffabgaben.
- in möglichen negativen sozialen Verteilungswirkungen. Diese könnten jedoch, wie oben vorgeschlagen, durch Transferzahlungen bzw. andere Entlastungen kompensiert werden.
- in der Möglichkeit von Verursachern, die Steuer zu zahlen und evtl. die umweltbelastende Energienutzung nicht einzuschränken. Sind die individuellen Vermeidungs- (Einsparkosten) für die Mehrzahl der Verursacher höher als die Steuer, führt dies zu höheren Abgabezahlungen als beabsichtigt, so daß die angestrebten Einsparziele nicht erreicht werden.

Demgegenüber ergeben sich durch eine Primärenergiesteuer eine Reihe von Vorteilen:

- Die Steuer soll die Schadenswirkungen des gegenwärtigen Energieverbrauchs signalisieren (Informationsfunktion) und diese tendenziell den Verursachern (Nutzern von Energie) zurechnen. Sie sollen somit zur Substitution nicht-erneuerbarer umweltbelastender Energieträger durch Energiesparmaßnahmen und inländischer erneuerbare Energieträger beitragen (Allokationsfunktion). Durch die Festlegung eines politischen Preises (Steuer), orientiert an der Belastbarkeit der Umwelt, werden für den einzelnen Energienutzer bzw. Emittenten Energiesparmöglichkeiten bzw. Vermeidungsmaßnahmen bis zu dem Punkt attraktiv, an dem die (Grenz-)Kosten der Vermeidung (d. h. der erforderlichen Sparmaßnahmen) dem Grenzsteuersatz gleich werden. Für die

verbleibende (umweltbelastende) "Rest-Energienutzung" muß er weiterhin eine Steuer entrichten.

Es werden daher dem Konzept nach jeweils diejenigen Energienutzungen mit den geringsten Vermeidungskosten reduziert und so der volkswirtschaftliche Aufwand minimiert.

Ein weiterer Vorteil gegenüber der Auflagenstrategie bildet die Besteuerung der "Rest-Energienutzung" (d. h. von Restemissionen). Während diese bei Auflagen nicht weiter beeinflußt werden, gelten Abgaben auch unterhalb entsprechender Grenzwerte, so daß die Anreizwirkung der Steuer auch für die "Rest-Energienutzung" bestehen bleibt, so daß eine evtl. stärkere Integration volkswirtschaftlicher Kosten in die individuelle Wirtschaftsrechnung erreichbar wäre.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß die maximalen Einspar- bzw. Vermeidungskosten dem Nutzer bzw. Emittenten bekannt sind (Höhe des Abgabesatzes). Durch die Setzung neuer Daten werden den verschiedenen Wirtschaftssubjekten Entscheidungsspielräume überlassen, die von der Auffindung der kostengünstigsten Vermeidungsmöglichkeiten zur Erreichung eines gegebenen Umweltzieles bis hin zur weiteren Energienutzung bei Zahlung der Umweltsteuer reichen. Eine Primärenergiesteuer in geeigneter Höhe bietet einen permanenten innovativen Anreiz zu kostengünstigeren Substitutionsmaßnahmen, da jede Verringerung umweltbelastender Energienutzung die Steuerlast mindert.

11.8 Forschungsbedarf

11.8.1 Erstellung regionaler Haustypologien

Die vorliegende Haustypologie repräsentiert ausschnittsweise den Gebäudebestand der Bundesrepublik. Eventuelle Unschärfen sind, gemessen am Ziel der Untersuchung, der Abschätzung des Einsparpotentials im Raumwärmebereich, durchaus tolerabel. Diese -- notwendigerweise allgemeinen -- Aussagen können jedoch in dieser Form kaum noch konkrete Impulse für die spätere Umsetzung geben. Diese kann überhaupt erst ansetzen, wenn die Haustypologie so weit differenziert wird, daß der einzelne Hausbesitzer sein Gebäude erkennt. Dazu reicht die hier vorstellte Typologie bei weitem nicht aus.

Der Vergleich verschiedener Haustypologien, die in der Vergangenheit erstellt wurden, hat gezeigt, daß in derselben Baualtersklasse in verschiedenen Regionen Haustypen in unterschiedlichen Varianten (geometrisch, konstruktiv) vorkommen. Auch können in derselben Baualtersklasse mehrere Haustypen nebeneinander existieren, die sich deutlich voneinander unterscheiden. Zwei Beispiele sollen dies verdeutlichen.

Je nach Region findet sich bei den EZFH der Zwischenkriegszeit zum einen das i. d. R. zweigeschossige Bürgerhaus mit flach geneigtem Zeltdach ("Kaffeemühle" s. Haustyp C 1919 - 1948) in den Varianten mit einschaligem Mauerwerk oder Hohlschichtmauerwerk, jeweils verputzt und/oder verblendet. Daneben gibt es das ausschließlich verputzte ein- bis anderthalbgeschossige Siedlerhaus mit über 50^{o} geneigtem Satteldach (Vorläufer des EZFH der 50er Jahre).

Ebenso unterscheidet sich der Mietskasernenbau der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts je nach Großstadt: in Berlin herrschte die bis zu 6-geschossige Hinterhofbebauung vor, die hinteren Gebäude wurden nur über einen Innenhof belichtet. In Hamburg dagegen war die "Schlitzbauweise" vorherrschend, die Gebäude wurden mit zunehmender Tiefe schmaler, die Belichtung erfolgte von der Grundstücksgrenze zum Nachbargebäude her. In Bremen dagegen findet sich fast ausschließlich Blockrandbebauung ohne Seiten- oder Hinterflügel mit maximal 4 1/2 Geschossen ("Bremer Haus"). Diese Beispiele zeigen, daß die Erstellung einer differenzierten

Haustypologie auf Bundesebene zu einer unübersehbaren Zahl von Typen und Varianten führen würde.

Ein sinnvoller Ansatz ist, auf regionaler Ebene Haustypologien zu erstellen, die von vornherein nicht nur nach Baualtersklassen und Einfamilienhäusern/Mehrfamilienhäusern unterschieden, sondern auch nach großstädtischer (Gemeinden mit > 200.000 EW), mittel- bis großstädtischer (Gemeinden mit 50 - 200.000 EW) und kleinstädtisch/ländlicher Bebauung differenzieren. Diese Typologie muß nicht vollständig sein. Sie sollte aber so aufgebaut werden, daß Fachleute vor Ort (Architekten, Energieberater, Baubeamte) in der Lage sind, sie so weit zu ergänzen bzw. zu korrigieren, daß tatsächlich jeder Hausbesitzer sein Gebäude wiedererkennen kann.

Diese Typologien auf regionaler Ebene müssen gleichzeitig methodische Hinweise, etwa in Form eines Handbuches, enthalten, die die Ergänzung vor Ort erleichtern. Die Ergebnisse der örtlichen Typologie sollten in Datenblättern dokumentiert werden, die neben einem Foto die wichtigsten energierelevanten Daten enthalten, Skizzen zum konstruktiven Aufbau beinhalten und über leicht verständliche Grafiken das Einsparpotential für Sparmaßnahmen und -kombinationen aufzeigen.

11.8.2 Wärmetechnische Sanierungskonzepte

Für die wärmetechnische Sanierung im Gebäudebestand sind Instrumente erforderlich, die es dem Praktiker (Architekten, Bauingenieur) erleichtern, zugeschnittene Maßnahmen für konkrete Objekte zu entwerfen. In diesem Zusammenhang fällt auch der Energieberatung (vgl. Kapitel 11.1) eine wichtige Rolle zu.

Instrumente in diesem Sinn sind:

- Handbuch wärmetechnische Gebäudesanierung
  Vorbildlich ist hierfür das "Handbuch wärmetechnische Gebäudesanierung" des Schweizer Bundesamtes für Konjunkturfragen /Schweizer Bundesamt 1983/. Dieses Buch könnte nach leichter Überarbeitung und Ergänzung auch für die Bundesrepublik Deutschland sehr gute Dienste leisten.

- Loseblattsammlung: Detaillösungen der energiebewußten Gebäudesanierung
  Hier sollten marktgängige Sanierungsverfahren (vgl. Maßnahmenkatalog, Kapitel 4) einschließlich bauphysikalisch richtiger Detailkonstruktion (Luftdichtigkeit, Vermeidung von Wärmebrücken, Anschlüsse) zur laufenden Ergänzung zusammengefaßt werden.

- Ablaufschema wärmetechnischer Gebäudekonzepte

- Rechnerprogramme für die Heizenergiebilanzierung bei Gebäuden

11.8.3 Mustersanierungen, begleitende Forschung

Die Umsetzung der Energieeinsparung auf dem in diesem Bericht beschriebenen Weg hat einen entscheidenden Vorteil:

- Energiesparmaßnahmen können jeweils gekoppelt an ohnehin erforderlichen Sanierungs- oder Erneuerungsaufwand durchgeführt werden.

Dadurch läßt sich eine systematische Erfassung des gesamten Bestandes und eine erhebliche Reduzierung der zuwachsenden Kosten erreichen. Ein "Nachteil" dieser Vorgehensweise ist, daß die Zielwerte auch objektweise erst nach einer verhältnismäßig langen Zeit, nämlich dem Durchlaufen aller Erneuerungszyklen, erreicht werden. Dies ist für den Großteil des Gebäudebestandes durchaus zu tolerieren.

Um aber überhaupt eine greifbare Vorstellung von den angestrebten Zielwerten zu bekommen, ist es erforderlich, zumindest an ausgewählten typischen Objekten, entsprechende Mustersanierungen durchzuführen, welche den angestrebten Zielzustand direkt und nicht erst im Laufe der Erneuerungszyklen erreichen. Ein Beispiel für eine solche Vorgehensweise ist das "Münchner Energiesparhaus" (vgl. Abschnitt 6.1.2). Das Abrücken von den Sanierungszyklen bedeutet jedoch einen ungleich höheren finanziellen Mehraufwand, der sich durch die Energieeinsparung auf keinen Fall zurückzahlt (da z. B. eine Neueindeckung des noch intakten Daches erforderlich wird).

Die Durchführung solcher konsequenten wärmetechnischer Mustersanierungen ist aber aus zwei Gründen dennoch für eine Reihe von typischen Objekten in verschiedenen Regionen erforderlich:

- In begleitenden Forschungsprojekten muß überprüft werden, inwieweit die prognostizierten Energieeeinsparungen in den konkreten Objekten auch wirklich erreicht wurden, welche Probleme bei der praktischen Umsetzung eintraten und wie die Nutzer auf das veränderte Innenklima reagieren.

- Die Mustersanierungen sind zugleich Pilot- und Demonstrationsprojekte, an denen Eigentümer vergleichbarer Häuser, bauausführendes Handwerk sowie Planer, Ingenieure und Energieberater Hinweise für Ausführungsdetails und Wirksamkeit von Maßnahmen erhalten können.

Projekte dieses Typs sind in einiger Vielfalt durch den Schwedischen Bauforschungsrat gefördert worden (Energiesparblocks Göteborg, Ulea, u. a.). Die Kosten für die eigentliche wärmetechnische Sanierung einschließlich des erforderlichen Erneuerungsaufwands können im Bereich von 50 bis 100 tausend DM pro Wohneinheit, die für die projektbegleitende Forschung noch einmal in der gleichen Größenordnung liegen.

11.8.4 Angepaßte Konstruktionsdetails für typische Sanierungsfälle

Die baulichen Konstruktionen für die energietechnische Gebäudesanierung sind im Prinzip am deutschen Markt erhältlich (vgl. Kapitel 4, Maßnahmenkatalog). In einer Reihe von Fällen ist jedoch eine Erweiterung des Produktspektrums zugunsten von für bestimmte Gebäudetypen und bestimmte Sanierungsmaßnahmen angepaßte Detaillösungen erforderlich. Dies bedeutet z. B.:

- kostengünstige vorfabrizierte Bauteile für bauphysikalisch einwandfreie Anschlüsse von
  - Fenstern an Außendämmung
  - Fensterbänken auf Wärmedämmverbundsystemen
  - Rolladenkästen und deren nachträgliche Dämmung
  - Wände an Dächern/Perimeterdämmung

- Innendämmung an Fensterlaibung/Innenwände
- Systemlösungen für strukturierte Fassaden
- Sonderlösungen für Fachwerkhäuser
- FCKW-freie Dämmung erdberührter Bauteile
- kostengünstige nachträgliche Installation von Lüftungsanlagen.

11.8.5 Neue Komponenten für weitergehende Energieeeinsparung

Wie in Kapitel 12 ausgeführt, schöpfen die heute am Markt verfügbaren Techniken zur wärmetechnischen Gebäudesanierung das Energiesparpotential nach dem Stand der Technik noch nicht aus. Vielmehr können weitere Forschungen zusätzliche Potentiale für weitergehende Energiesparmaßnahmen erschließen helfen. Einen Forschungsbedarf sehen wir hier vor allem in folgenden Bereichen:

- Entwicklung von vorgefertigten Bauelementen (Verbundbauteilen) für die Verwendung von Vakuum-Super-Isolation im Baubereich. Dies könnte sowohl für die Innen-, als auch für die Außendämmung von Interesse sein.
- Entwicklung von neuen Randverbundtechniken bei Fenstern, welche den Wärmebrückeneffekt des üblichen Aluminium-Abstandhalters vermeiden.
- Entwicklung von hochdämmenden Fensterrahmen.
- Entwicklung von gedämmten Aufsatzprofilen, welche Wärmebrücken bei bestehenden Verglasungen (z. B. mit Metallrahmen) reduzieren können.
- Entwicklung von Verglasungstechniken mit kostengünstigen Scheiben für k-Werte um 0,75 $W/(m^2K)$ (z. B. Dreifach-Wärmeschutzglas mit eingeklemmter innerer Scheibe und nur einem Randverbund-Abstandhalter).
- Entwicklung von Regelungsanlagen für die bedarfsgeführte luftqualitätsgeregelte kontrollierte Lüftung.

Diese Liste erhebt selbstverständlich keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Durchaus denkbar ist, daß solche Techniken bis Ende der neunziger Jahre zu Kosten für die eingesparte Endenergie zwischen 12 und 25 Dpf/kWh entwickelt werden können. Aus physikalisch-technischer, bautechnischer und baupraktischer Sicht sind überhaupt keine prinzipiellen Grenzen für eine immer weitergehende Reduktion des Heizenergieverbrauchs auch im Gebäudebestand gegeben, d. h. das

theoretische Einsparpotential beträgt 100 %, umd das technische Potential läßt sich an diese Grenze heranführen.

11.9 Notwendigkeit eines abgestimmten Instrumentenbündels

Die von uns in den Abschnitten 11.1 bis 11.8 dargestellten energiepolitischen Instrumente bilden ein in sich abgestimmtes Bündel, welches seine volle Wirkung nur beim gemeinsamen Einsatz aller Maßnahmen entfalten kann. Die Instrumente ergänzen und verstärken sich gegenseitig durch synergistische Effekte und bieten erst dadurch die Chance, das ehrgeizige Ziel einer letztlich über 50 % hinausgehenden Energieeinsparung im Gebäudebestand zu erreichen. Ohne den Ausbau der Instrumente, aber auch beim Fehlen nur einer der Maßnahmen kann das dargestellte Ziel sicher nicht erreicht werden. Die Interdependenz soll für den Ausfall jeweils einer Komponente erläutert werden:

- Gelingt es nicht, einen allgemein anerkannten Maßstab für die energietechnische Qualität von Gebäuden (**Energiekennzahlen**) zu etablieren, so wird noch nicht einmal der Erfolg der anderen Instrumente meßbar. Für die Energieberatung mangelt es an Orientierungspunkten, für evtl. Förderprogramme an Einsatzkriterien.

- Fehlt der quantitative **Ausbau der Energieberatung**, so bleiben neben den eigentlichen Kosten für die Ausführung von Wärmeschutzmaßnahmen auch die Informationskosten für den Eigentümer hoch. Da das erforderliche Fachwissen erfahrungsgemäß nicht breit gestreut ist, ist in diesem Fall die Gefahr suboptimaler Maßnahmen, oder noch schlimmer, die Gefahr von Maßnahmenausführungen, welche zu Bauschäden führen, sehr groß.

- Ohne die **Internalisierung von Umweltkosten** in den Energiepreis bleibt ein großer Teil des heute am Rand zur Wirtschaftlichkeit stehenden Einsparpotentials unerschließbar. Auch durch Information, Beratung und selbst Förderung werden sich die Eigentümer nicht zur Durchführung von Maßnahmen bewegen lassen, die vor dem Hintergrund niedriger Energiepreise einzelwirtschaftlich unrentabel erscheinen.

- Ohne das vorgeschlagene **Förderprogramm** ist mit einer hohen Quote von ungenutzten Gelegenheiten ("lost opportunities") zu rechnen, da die Sanierungsmaßnahmen i. d. R. jeweils genau zu dem Zeitpunkt ohnehin erforderlicher Erneuerungsmaßnahmen durchgeführt werden müssen. Zu exakt diesem Zeitpunkt müssen die notwendigen umweltschutzbedingten Mehrinvestitionen getroffen werden: Hierfür kann, insbesondere bei Eigentümern, die nicht selbst Nutzer sind, nur ein gezieltes Anreizprogramm helfen.

  In Kapitel 8 (Abschnitt 8.3.3) wurde dargestellt, daß für den Erfolg drei wesentliche Kriterien zu erfüllen sind:

  - die Rahmenbedingungen müssen frühzeitig geschaffen werden,
  - es müssen deutlich mehr als 70 % aller Eigentümer dafür gewonnen werden, bei Erneuerungsmaßnahmen die wärmetechnische Sanierung auch anzukoppeln,
  - es müssen Sanierungsmaßnahmen zum Einsatz kommen, die in ihrer Qualität deutlich über das heute übliche Niveau hinausgehen (hohe Dämmstoffstärken).

  Insbesondere die beiden letzten Punkte sind nur in Verbindung mit einem Förderprogramm umsetzbar.

- Ohne die **weiterführende wissenschaftliche Forschung** wäre der Umsetzungsaufwand für die vorgeschlagenen baulichen Maßnahmen in der Praxis unüberwindlich hoch. Insbesondere die Durchführung und wissenschaftliche Begleitung von Mustersanierungen und die Aufstellung regionaler Gebäudetypologien haben hohen Demonstrations- und Informationswert. Forschung zur Weiterentwicklung baulicher Komponenten zur Energieeinsparung über den erreichten Stand der Technik hinaus bietet erst die Chance, in Zukunft Einsparpotentiale zu erschließen, die über das SPAR-Szenario hinausgehen.

Wenn das Instrumentenbündel in der vorgeschlagenen Form zum Einsatz kommt, sind die Chancen für eine Mobilisierung der nachgewiesenen Einsparpotentiale sehr groß. Dies belegen Erfahrungen, die mit der Umsetzung von Energiesparkonzepten bereits gemacht wurden.

Im Bericht "Energy use in the built environment" /SCBR 1988/ werden die bisherigen Erfolge und die weiteren Ziele der schwedischen Energiesparpolitik dargestellt. Wie bereits vorne erwähnt wurde, wurde dort 1980 das Ziel formuliert, den Energieverbrauch des Gebäudebestandes in den zehn Jahren von 1978 bis 1988 um 45 TWh oder 37 % zu reduzieren. Davon wurde bis 1983 mehr als die Hälfte, nämlich 23 %, erreicht. Dieses Beispiel beweist, daß beträchtliche Einsparpotentiale zum Nutzen der Umwelt und der Volkswirtschaft erschlossen werden können, wenn diese Aufgabe ernsthaft und engagiert ("whole-heartedly") angegangen wird.

Auch die Auswertung zahlreicher staatlicher, regionaler, kommunaler und von Energieversorgungsunternehmen durchgeführter Energiesparprogramme in den USA /Olsen 1987/, /Hirst 1985/ zeigt, daß zum Erreichen einer ausreichenden Ausschöpfung vorhandener Potentiale nur eine Kombination aller Instrumente (Information und Beratung, Förderprogramme, Forschung) nachhaltig Erfolg verspricht. Die vorgeschlagene Instrumentenkombination zeichnet sich dadurch aus,

- daß das Vorsorge- bzw. Vermeidungsprinzip stärker gegenüber nachträglichen und fallweisen Beseitigungsmaßnahmen in den Vordergrund tritt,
- daß das Verursacherprinzip dominant gegenüber dem Gemeinlastprinzip Anwendung findet (Energiesteuer); in bestimmten Fällen (um die Lenkungswirkung von Energiesteuern zu verstärken oder aus sozialpolitischen Gründen) wird es durch öffentliche Finanzierung über die Förderungsmaßnahmen nach dem Gemeinlastprinzip ergänzt,
- daß energiepolitische Instrumente, deren verhaltenslenkende Wirkung nicht auf staatlichen Zwang beruhen, ausgebaut werden (Energieberatung, Informations- und Bewertungsinstrumente, Energiekennzahl) und die eher langfristigen Instrumente der Grobsteuerung (Auflagen, Energiesteuer) sinnvoll ergänzen.

LITERATUR zu Kapitel 11:

Literatur zu 11.1.

Bundesamt für Konjunkturfragen; Handbuch Planung und Projektierung wärmetechnischer Gebäudesanierung, Bern 1983

Bundesministerium für Wirtschaft; Bericht zur sparsamen und rationellen Energieverwendung in den Jahren 1985 - 1988, Bonn 1989

Feist, W.; Energieberatung - Notwendigkeit, Anforderungen, Probleme; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1986

Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI); Konzeption von Beratungsinstrumenten und Seminaren auf dem Gebiet der rationellen Energienutzung für die Verbraucher-Beratungsstellen in Nordrhein-Westfalen, Karlsruhe 1985

Gesellschaft für anwendungsorientierte Forschung, Management- und Systemberatung mbH; "Vor Ort"-Beratung zur Energieeinsparung, Studie im Auftrag des BMWI,Hamburg 1988

Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik; Energieberatung in Hessen- das Förderkonzept der Landesregierung, Wiesbaden 1988

Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik; Energieberatung nach Maß, Broschüre, Wiesbaden 1989

Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik; Energiebericht 1985, Wiesbaden 1985

Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik; Jahresbericht 1987, Wiesbaden 1987

Hölzer, B.; Laistner H.; Ranft, F.; Mobilisierung von Energiesparmaßnahmen durch geeignete Energieberatung unter Einbeziehung von Beschäftigungseffekten für Handwerker und Industrie, Abschlußbericht, Reutlingen 1986

Kleinmann, P.; Energieeinsparmöglichkeiten im ländlichen Raum, in: Städte- und Gemeindebund 11/1988

Kleinmann P.; Energie(spar)politik im ländlichen Raum, Basel 1988

Leonhardt W.; Klopfleisch R.; Jochum G.; Kommunales Energie-Handbuch, Karlsruhe 1989

Magistrat der Stadt Kassel, Energiezentrum der Stadt Kassel - Kommunale Energieberatungsstelle, Endbericht, Kassel 1988, unveröffentlicht

Marx, M.; Probst J.; Erfolgreiche Energiesparberatung? in: Städte- und Gemeindebund 11/1988

Monse, K.; Simon L.; Energiepolitische Handlungsfelder für Verbraucherorganisationen, Wuppertal 1982

PROGNOS AG; Beeinflussung der Energienachfrage durch organisatorische und institutionelle Innovation, Basel 1983

Röglin, Christian; Verbraucherberatung zur Energieeinsparung, Studie im Auftrag des BMWI, Bonn 1985

Literatur zu 11.3.

SIA 380/1 Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Empfehlung SIA 380/1 "Energie im Hochbau" 1989

Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik, Institut Wohnen und Umwelt, Leitfaden "Energiebewußte Gebäudeplanung", Wiesbaden 1989

Literatur zu 11.4

Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik, Institut Wohnen und Umwelt (Darmstadt); Leitfaden "Energiebewußte Gebäudeplanung" Wiesbaden 1989

Heizungsanlagenverordnung vom 1.3.1989

Heizkostenverordnung vom 1.3.1989

Der Minister für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen; Energiebericht NRW, Düsseldorf 1982

Goldmann-Gesetze; Energiegesetze, München 1980

Garnreiter F. u.A.; Auswirkungen verstärkter Massnahmen zum rationellen Energieeinsatz auf Umwelt, Beschäftigung und Einkommen, Berlin 1983

Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden vom 24. 02.1982 (Wärmeschutzverordnung)

Literatur zu 11.5

Bänkert, W., Die steuerliche Förderung privater Umweltschutzmaßnahmen, in: Wirtschaftsdienst, H. IV, 1987, S. 208 ff.

Baum, G.R., Mehr Steueranreize schaffen, in: Wirtschaftswoche, Nr. 5, 1989, S. 32

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr, Finanzhilfen in den Bereichen Energieeinsparung, rationelle Energieverwendung, neue Energietechnologien, München 1988

Bericht der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages Zukünftige Kernenergiepolitik, Teil II, Bonn 1980

Büttner, G., Folgen der Gebietsreform für die Energieversorgung in: der Landkreis, 49. Jg., 1979, S. 405 ff.

Burgdorf, D., Energiesparmaßnahmen und Verbrauchskostensenkung durch Sanierung von Sozialhilfeempfängerwohnungen, in: Bremer Energiebeirat (Hg.), Materialien zum Abschlußbericht, Band II: Energieeinsparpotentiale im Wohngebäudebestand in Bremen und Bremerhaven und Stromeinsparpotentiale in privaten Haushalten, Bremen 1989

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, Umweltgutachten 1987, Stuttgart/Mainz 1987

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, Energie und Umwelt, Sondergutachten März 1981, BT-Drucksache 9/872

FPN Arbeitsforschung und Raumentwicklung, Dorfentwicklungsplanung nach dem Hessischen Dorferneuerungsprogramm, Untersuchungen zu ihrer Methodik anhand von Fallbeispielen in Nord-Osthessen, Band I, Kassel 1988

Garnreiter, F. u.a., Auswirkungen verstärkter Maßnahmen zum rationellen Energieeinsatz auf Umwelt, Beschäftigung und Einkommen, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin 1983

Hennicke, P., Die Energiewende ist möglich - Für eine neue Energiepolitik der Kommunen, Frankfurt/M. 1985

Hessisches Ministerium für Umwelt und Energie, Gesetz über sparsame, rationelle, sozial- und umweltverträgliche Energienutzung in Hessen - Energiespargesetz -, Wiesbaden 1986

Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik, Energieberatung nach Maß, Broschüre, Wiesbaden 1989

Hessisches Ministerium des Innern, Bauen, Modernisieren und Energiesparen - Möglichkeiten und Voraussetzungen der Förderung bei selbstgenutztem Wohnraum in Hessen, Wiesbaden 1988

Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik, Energieberatung in Hessen- das Förderkonzept der Landesregierung, Wiesbaden 1988

Hummel, M., Das Subventionsdickicht erfordert weitere Durchforstung, in: IFO-Schnelldienst, H. 18-19, 1988, S. 22 ff.

Jochem, E., Hemmnisse und zielgruppenorientierte Maßnahmen zur rationelleren Stromnutzung, in: Sievert, D. (Hg.), Zukünftiger Strombedarf - Bedeutung von Einsparmöglichkeiten, Köln 1987

Luhmann, H.-J., Wirtschaftspolitische Maßnahmen zur Einsparung von Energie im Sektor "Haushalte und Kleinverbraucher", in: Meyer-Abich, K.M., Meixner, H. u.A., Energie-Sparen: Die neue Energiequelle, Frankfurt/M. 1983

Meixner, H., Dezentrale Energiesysteme - für den Verbraucher unbezahlbar?, in: Verbraucherpolitische Hefte, Nr. 2, 1986, S. 51 ff..

Mühlich-Klinger, I., Modernisierungsförderung in der Bundesrepublik - Eine empirische Untersuchung von Konzeption, Implementation und Resultat des Bund-Länder-Modernisierungsprogramms mit Vorschlägen für eine Neuorientierung, Darmstadt 1988

Modernisierungs- und Energieeinsparungsgesetz - ModEnG vom 12. Juli 1978

Schönnel, H., Eine Steuerbegünstigung ist notwendig, in: Handelsblatt v. 24.1.1989

Schuler-Wallner, G., Greiff, R., Bestandsaufnahme des Modernisierungsbedarfs der Obdachlosenunterkünfte in Hessen, Band I Ergebnisse und Empfehlungen, Darmstadt 1989

Stobaugh, R., Yergin, D., Energie-Report der Harvard-business-school, München 1980,

Suding, D.H., Zehn Jahre Energiesparpolitik in der Bundesrepublik Deutschland, in: Zeitschrift für Energiewirtschaft, H. 3, 1988, S. 191 ff.

Voß, A. (Hg.), Perspektiven der Energieversorgung, Möglichkeiten der Umstrukturierung der Energieversorgung Baden-Württembergs unter besonderer Berücksichtigung der Stromversorgung, Stuttgart 1987, darin: Kapitel 4.3. Hemmnisse bei der Ausschöpfung wirtschaftlicher Einsparpotentiale

Literatur zu 11.7

Apel, H., Probleme programmiert, in: Wirtschaftswoche, Nr. 20, 1989, S. 24 ff.

Benkert, W., Wie sinnvoll sind haushaltswirtschaftliche Sonderregelungen für die umweltbezogene Finanzwirtschaft?, in: Zeitschrift für Umweltpolitik, H. 2, 1988, S. 101 ff.

Binswanger, H. C., Frisch, H. u. A., Arbeit ohne Umweltzerstörung - Strategien für eine neue Wirtschaftspolitik, Frankfurt/M. 1983

Breuel, B., Aus Eigennutz mehr Umweltschutz - Zu neuen Umweltsteuern gibt es keine Alternative, in: DIE ZEIT, Nr. 14, 1989

Cerveny, M., Meyer, M., Umweltabgaben als Instrument der Umweltpolitik - Theoretische Basis und Anwendungsbeispiele aus der internationalen Praxis, Wien 1989

Endres, A., Do Effluent Charges (always) reduce Environmental Damages? in: Oxford Economic Papers, Bd. 35, 1983, S. 254 ff.

Ewringmann, D., Schafhausen, F., Abgaben als ökonomischer Hebel in der Umweltpolitik, Umweltbundesamt-Berichte 8/1985, Berlin 1985

Hansmeyer, K.H., Schneider, H.K., Zur Fortentwicklung der Umweltpolitik unter marktsteuernden Aspekten, abschließender und ergänzender Bericht zum Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes Nr. 10103107, Köln 1989

Herz, W., Ökosteuern - Umbau des Systems, in: Wirtschaftswoche, Nr. 33, S. 14 ff.

Jarras, L., Energiepreise und Energiesteuern in der EG, in: BWK, Bd. 41, Nr. 6, 1989, S. 301 ff.

Kretschmann, K., Voeltzkow, H., Öko-soziale Steuerreform: Ein Ausweg aus der Beschäftigungs- und Umweltkrise?, in: Wirtschaftsdienst, H. II, 1986, S. 560 ff.

Krupp, H.-J., Eine Korrektur des Energiepreisniveaus ist notwendig, in: Energiedialog, Nr. 1, 1988, S. 35 f.

Lambsdorff, O., Ein grundsätzlicher ökologischer Umbau des Steuersystems ist absurd und naiv, in: Handelsblatt, Nr. 167, 1989

Neubert, M., Hahn zu für Kohlendioxid, in: Rheinischer Merkur/Christ und Welt vom 17.2.1989, S. 11

Ritter, W., Wider den Irrweg von neuen Ökosteuern, in: Handelsblatt vom 9.1.1989, S. 4

Schäfer, H.B., Ökologische Orientierung des Steuer- und Abgabensystems, Hektograph. Typuskript, Bonn, 4. April 1989

Schmidt, H., Informationsinstrumente zur Umweltplanung, Frankfurt/M. 1985

Schmidt, H., Wullkopf, U., Umsteuern - Energiepolitik muß in erster Linie die Alternativen fördern, in: Themen, Jg. 4, H. 1, 1989, S. 9 ff.

Steuern als Instrument der Umweltpolitik, et-kontrovers: Beiträge von P. Laufs und H. B. Schäfer, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 39. Jg., H. 6, S. 350 ff.

Teufel, D. u.A., Ökosteuern als marktwirtschaftliches Instrument im Umweltschutz - Vorschläge für eine ökologische Steuerreform, Heidelberg 1988

Weizsäcker, E.U., Mit Steuern steuern, in: Wirtschaftswoche, Nr. 7, 1989 S. 74 ff.

Weizsäcker, E.-U., Plädoyer für eine ökologische Steuerreform, in: Scheidewege, Jg. 18, 1988, S. 197 ff.

Willeke, S., Energiesteuern sollen zum Sparen reizen, in: VDI-nachrichten, Nr. 18, 1989, S. 30 ff.

Literatur zu 11.9

Carlsson, Elmroth, Engvall: Airtightness and Thermal Insulation, Swedish Council for Building Research, D. 37: 1980, Stockholm 1980

Feist, W.: Primärenergie- und Emissionsbilanzen von Dämmstoffen, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1986

Feist, W.: Das vereinfachte Heizenergiebilanzprogramm STATBIL/ENBIL, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1990

Feist W., Klien J.: Das Niedrigenergiehaus, Karlsruhe 1989

Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt: Leitfaden "Energiebewußte Gebäudeplanung", Wiesbaden 1989

Hirst, E. et al.: "Evaluation of the BPA Residential Weatherization Program"; Vale Ridge, Tenn: Vale Ridge National Laboratory Report Con - 180

Klien, J. (Hrsg.): Kostengünstige Fernwärmetransport- und Verteilungssysteme, Protokollband der 8. Sitzung Arbeitskreis Energieberatung, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1988

Masuhr, Eckerle: Rationelle Energieverwendung und -erzeugung ohne Kernenergienutzung, Basel/Köln 1987

Noack, C. C. u. a.: Energie für die Stadt der Zukunft. Der Abschlußbericht des Bremer Energiebeirats, Marburg 1989

Olsen, Marvin E.: "Energy Conservation Policies and Programs in the United States"; Department of Sociology-Michigan State University

Schweizer Bundesamt für Konjunkturfragen. Handbuch Planung und Projektierung wärmetechnischer Gebäudesanierung, Bern 1983

Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein. Empfehlungen SIA 380/1 "Energie im Hochbau" 1989

Swedish Council for Building Research: "Energy in the Built Environment", G. 16: 1988, Stockholm 1988

12. Ausblick: Zukünftig zu erwartende weitere Fortschritte bei Komponenten und Konzepten zum Energiesparen im Gebäudebestand

Die von uns in diesem Bericht zugrundegelegten wärmetechnischen Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebestand (vgl. 4.3, Katalog) sind sämtlich

- o bereits heute am Markt der Bundesrepublik Deutschland verfügbare Systeme,
- o in hinreichender Vielzahl in Gebäuden des Bestandes erprobt und bewährt,
- o bei Kopplung ihrer Durchführung an ohnehin auszuführende Erneuerungs- und Erhaltungsmaßnahmen einzelwirtschaftlich rentabel bzw. an der Grenze zur Rentabilität.

Über diese Maßnahmen hinaus gibt es selbstverständlich weitergehende Möglichkeiten der Reduktion des Heizenergiebedarfs durch bauliche und haustechnische Maßnahmen, die teilweise in Einzelfällen erprobt, teilweise in der Erprobung oder auch erst im Stadium der Komponentenentwicklung sind. Dieser Ausblick soll einige dieser weitergehenden Möglichkeiten darstellen und versuchen, die Auswirkungen eines künftigen weiteren technologischen Fortschrittes abzuschätzen.

12.1 Entwicklung neuer Dämmstoffe und Dämmsysteme

Bisher wurden im Baubereich vor allem Mineralwolle- und Kunststoffschaumdämmstoffe sowie Schüttungen aus diesen Materialien oder Altpapier und Bims eingesetzt. Als "Füllgas" in den Poren des Dämmstoffes wird hier letztendlich Luft verwendet. Die Wärmeleitfähigkeit der Materialien liegt somit im Bereich zwischen λ = 0,03 bis 0,05 W/(mK) mit einem Mittelwert von um 0,04 W/(mK). Die Verwendung solcher Dämmstoffe wurde in diesem Bericht (als konservative Annahme) unterstellt. Eine Konsequenz dieser Annahme sind die resultierenden notwendigen Dämmstoffstärken von z.B. 120 mm bei der Außendämmung von Außenwänden, um die für den Umweltschutz erforderlichen Wärmedurchgangswerte von weniger als 0,3 W/(m^2K) zu erreichen.

Mit den FCKW-geschäumten extrudierten Kunststoffdämmaterialien (wie Polyurethan-Hartschaum, extrudiertes Polystyrol) sind z.Z. auch Dämmstoffe am Markt, welche eine erheblich kleine Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,02 W/(mK) erreichen können und daher auch mit geringeren Dämmstoffstärken vergleichbar hohe Einsparungen erlauben. Die starke Schädigung der Erdatmosphäre durch FCKW verbietet es jedoch, solche Materialien im Baubereich zur Energieeinsparung einzusetzen. Die Umweltbelastung durch die FCKW-Freisetzung ist um ein Vielfaches höher anzusetzen als die Entlastung durch die erzielte Energieeinsparung - zudem läßt sich letztere in nahezu allen Fällen auch durch dickere Dämmstofflagen von FCKW-freien Dämmstoffen erreichen.

Andererseits wurde von verschiedenen Dämmstoffherstellern angekündigt, daß in wenigen Jahren Ersatzstoffe für das Schäumen von Hartschaumdämmstoffen verfügbar sein werden, welche gesundheitlich und umweltseitig unbedenklich sind und dennoch weiterhin **Wärmeleitfähigkeiten zwischen 0.02 und 0.03 W/(mK)** dauerhaft ermöglichen. Die Verfügbarkeit solcher Dämmstoffe würde das Erreichen der in diesem Bericht genannten Zielwerte für Energiekennzahlen im Gebäudebestand erleichtern und in einigen Fällen konstruktiven Mehraufwand verringern helfen. Insbesondere im Bereich der Innendämmung ließen sich auch in einigen der bisher aus konstruktiven oder gestalterischen Gründen ausgenommene Objekte weitere Energieeinsparungen erzielen. Auch die Zielwerte der Dachdämmung lassen sich mit solchen Materialien in einigen Fällen weniger aufwendig und ohne Aufdoppelung der Konstruktion erreichen. Letztendlich wird der Einsatzbereich jedoch (wie bisher auch) eine Frage des Preises sein, da die entsprechenden Materialien deutlich teurer sind als Dämmstoffe mit Wärmeleitfähigkeit um 0,04 W/(mK).

Völlig neue Perspektiven könnten sich jedoch ergeben, wenn künftig auch für den Baubereich neuentwickelte **Superdämmstoffe** verfügbar würden. Solche Materialien sind als "Vakuum-Super-Isolation" (VSI) in Form von Schüttungen, die zwischen Decklagen eingebracht und evakuiert werden, in der Zwischenzeit von einigen Forschergruppen entwickelt worden und teilweise für spezielle Anwendungen (Fernwärmeleitungen, Industrielle Wärmedämmung, Dämmung von Natrium-Schwefel-Batterien) bereits am Markt. Die eigentliche Dämmschicht kann hier Wärmeleitfähigkeiten von weniger als 0,004 W/(mK) erreichen, rund ein Zehntel wie bei

heute im Baubereich üblichen Dämmstoffen. Ob solche Materialien (als Verbundplatten zur besseren Handhabung) künftig auch im Baubereich Einsatz finden können, hängt vor allem von folgenden Fragen ab:

- lassen sich für den praktischen Einsatz leicht handhabbare Verbundelemente anbieten, die ohne Notwendigkeit von Zuschnitt z. B. für die Innen- und Außendämmung geeignet sind?
- lassen sich die Kosten in vertretbaren Größenordnungen halten?

Mit solchen VSI-Verbundelementen würden sich dann gegenüber den von uns definierten Standardmaßnahmen folgende Verbesserungen von typischen k-Werten im Bestand erreichen lassen:

		Außendämmung	Innendämmung
Anfangs-k-Wert		1,3 W/(m^2K)	1,3 W/(m^2K)
Standard-Maßnahme im Katalog		4.3.1.1 Außendämmung mit 12 cm Thermohaut	4.3.1.4 Innendämmung mit 6 cm Dämmstoff
	End-k-Wert	0,27 W/(m^2K)	0,44 W/(m^2K)
	Energie-Einsparung	79 %	66 %
VSI-Maßnahme		Verbundelement mit 40 mm VSI, Gesamtdicke 70 mm	Verbundelement mit 20 mm VSI, Gesamtdicke 45 mm
	End-k-Wert	0,1 W/(m^2K)	0,16 W/(m^2K)
	Energie-Einsparung	93 %	88 %

Mit solchen Vakuum-Super-Isolationen würden sich im Bestand somit durchaus k-Werte der im Neubau heute verfügbaren fortgeschrittensten Niedrigenergiehäuser erreichen lassen.

Begrenzend für die weitere Energieeinsparung durch weitere Verbesserung der Dämmwerte über die im Katalog gegebenen Werte hinaus sind vor allem im Bestand in großer Vielzahl anzutreffende Wärmebrücken.

Praktikable Lösungen, solche Wärmebrücken auch im Bestand zu verringern, können vorgefertigte Dämmelemente sein, die als fertige Profile z. B. in Fensterlaibungen ("Laibungsdämmer"), auf Fensterrahmen ("Rahmendämmer"), im Perimeterbereich, bei Innendämmung auf einmündende Innenwände ("Dämmkeile") oder auf Fußböden und an der Decke eingesetzt werden können. Auch mit konventionellen Dämmstoffen lassen sich hier bereits deutliche Fortschritte erzielen. In Verbindung mit der VSI ist es denkbar, daß solche Elemente in der auftragenden Dicke erheblich reduziert werden können und dadurch auch praktikabler werden.

12.2 Neue Fenstergläser und Fensterbauarten

Für das Energiesparszenario wurde in diesem Bericht die überwiegende Verwendung von (Zweischeiben-)Wärme-Schutzglas mit einem k-Wert der Verglasung von 1,5 W/(m^2K) und einem Sonnenenergiedurchlaß g bei senkrechtem Einfall von 0,69 empfohlen. Diese Gläser haben bereits heute einen nennenswerten Marktanteil mit steigender Tendenz und sind problemlos als Ersatz für bestehende Isolierverglasungen in der gleichen Rahmenkonstruktion einsetzbar, reduzieren den Wärmeverlust aber um fast 50 %. Mit einem Mehrpreis von ca. 70 DM/m^2 (Fensterfläche) gegenüber "normalem" Isolierglas ist der Einsatz von Zweischeibenwärmeschutzglas in aller Regel wirtschaftlich vertretbar.

Über das Standard-Zweischeiben-Wärmeschutzglas hinaus werden jedoch auch heute schon von verschiedenen Herstellern Gläser und Fenster am Markt angeboten, die noch bessere thermische Eigenschaften aufweisen. Einen Überblick zeigt folgende Tabelle 12.2-1.

Tabelle 12.2.-1: Perspektiven für Verglasungen mit noch besseren thermischen Eigenschaften als Standard-Zweischeiben-Wärmeschutzglas

	k-Wert im Zentrum der Verglasung $W/(m^2K)$	g-Wert der Verglasung bei senkrechtem Einfall	Jahresenergiebilanz von 1 m^2 Glasfläche (südorientiert) ($kWh/(m^2a)$) *
Zum Vergleich: normale Zweischeibenisolierverglasung	2,6	0,77	- 76,3
Zum Vergleich: "Standard"-Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung	1,4	0,69	- 1,4
Dreifach-Wärmeschutzglas mit Argon-Füllung	0,78 (erhältlich)	0,52	+ 18,7
Dreifach-Wärmeschutzglas mit Krypton-Füllung	0,65 (Stand der Technik, Sonderfertigung)	0,52	+ 28,1
2-Scheiben-Verbundglas mit einer selektiv beschichteter Folie dazwischen (Luftfüllung; "Heat-Mirror")	1,10 (erhältlich)	0,54	- 1,4
2-Scheiben-Verbundglas mit selektiv beschichteter Folie (beide Seiten) und Argon-Füllung	0,65 (Sonderfertigung)	0,48	+ 22,3
2-Scheiben-Verbundglas mit zwei selektiv beschichteten Folien und Argon-Füllung	0,45 (Sonderfertigung	0,42	+ 28,1
2-Scheiben-Glas mit mehreren Folien und Luftfüllung ("HIT-Verglasung")	0,6 (erhältlich)	0,4	+ 14,4
2-Scheiben-Vakuum-Glas mit selektiver Beschichtung und Aerogel-Stützen	0,34 (Forschung!)	0,68	+ 73,4
2-Scheiben-Glas mit evakuierter Aerogel-Füllung	0,49 (Forschung!)	0,65	+ 58,3
Kastenfenster: Außen: 2fach ISO Innen: 2fach Wärmeschutzglas	0,84 (erhältlich)	0,65	+ 18,7
Kastenfenster: Außen: 2fach Wärmeschutzglas Innen: 2fach Wärmeschutzglas	0,66 (erhältlich)	0,50	+ 24,5
Kastenfenster: Außen: 2fach ISO Innen: 2fach Wärmeschutzglas mit Rollo-System für Folien Tag/Nacht	k-Tag: 0,5 k-Nacht: 0,3 (erhältlich)	0,45	+ 33,6

* negative Werte: Netto-Verlust
positive Werte: Netto-Wärmegewinne

Wie die Tabelle zeigt, sind sowohl Einfachfenster mit k-Werten um 0,8 W/(m^2K), als auch Kastenfenster dieser Qualität mit jeweiligen Energiedurchlaßwerten um 50 % bereits heute am Markt erhältlich (wenn auch relativ teuer). Mit solchen Fenstern wird in aller Regel nun für wenig verschattete Südorientierungen bereits ein Netto-Wärmegewinn auch in den kalten Monaten der Heizperiode erreicht. Von der künftigen Entwicklung müssen vor allem Preisreduktionen bei diesen hochwertigen Fensterverglasungen angestrebt werden. Dies ist denkbar durch rationellere Produktionsmethoden, wie z.B. im Forschungsprojekt "Dreifach-Wärmeschutz-Krypton-Verglasung" angestrebt /LBL 1988/.

Ob der Durchbruch bei selektiv beschichteten Vakuumfenstern mit Aerogel-Stützen (Forschung!) oder beim Aerogel-Fenster (Forschung!) gelingen wird, kann aus heutiger Sicht noch nicht abgesehen werden. Hier sind vor allem neuartige Lösungen für den Randverband gefordert. Sollten solche Fenster eines Tages möglich werden, so ist die Netto-Energiebilanz von derart verglasten Flächen nicht nur für unverschattete Südflächen, sondern selbst für Ost/West und Nordflächen positiv.

Selbstverständlich sind weitere Verbesserungen auch durch zusätzliche Nachtwärmedämmung ("temporärer Wärmeschutz" als Rolladen, Folienpaket oder Dämmfensterladen) denkbar. Je besser der jeweils benutzte Verglasungstyp jedoch schon ohne Nachtwärmedämmung ist, desto geringer sind die zusätzlich zu erwartenden Effekte. Interessant kann ein speziell wärmegedämmter Rolladen dennoch sein, wenn er aus anderen Gründen ohnehin gebraucht wird (z.B. Einbruchsschutz und Sichtschutz). Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß entsprechende Konstruktionen extrem dicht sein müssen, wenn ein wärmetechnischer Gewinn erwartet wird.

Wie bei den gedämmten Bauteilen Wand, Dach und Keller treten auch beim Fenster mit zunehmender Verbesserung des Bauteils in der Fläche **Wärmebrückeneffekte** mehr und mehr in den Mittelpunkt. Beachtet werden müssen hier insbesondere der Randverbund der Isolierglasscheiben (heute meist aus Aluminium) und der Fensterrahmen. Tabelle 12.2.-2 zeigt schlaglichtartig das Problem: während der Aluminiumrandverbund und normale Fensterrahmen bei der Standard-Isolierverglasung noch kaum nennenswerten Einfluß haben, wird ein großer Teil des

Energiespareffektes der fortgeschrittensten Verglasungsart (3-fach-Wärmeschutz-Krypton-Glas) durch Randverbund und Fensterrahmen wieder verzehrt.

Tabelle 12.2.-2: Wärmebrückeneffekte durch Fensterrahmen und Aluminium-Randverbund (zugrundeliegend: Scheibenabmessung 1200 x 1200 mm in einer Öffnung von 1460 x 1460 mm mit Holzrahmen)

Verglasung	k-Glas, Zentrum $W/(m^2K)$	Randverbund k-Glas, Mitte $W/(m^2K)$	k-Fenster $W/(m^2K)$	Energiedurchlaß des Fensters
Standard-Zwei-scheibenisolierglas	2,6	2,8	2,7 (+ 4 %)	51 %
Zweifach-Wärme-schutzglas mit Argon-Füllung Argon-Füllung	1,4	1,63	1,75 (+ 25 %)	46 %
Dreifach-Wärme-schutzglas mit Krypton-Füllung	0,65	0,97	1,316 (+ 102 %!)	34 %

Nach diesem Ergebnis ist es offensichtlich, daß schon für den Einsatz von handelsüblicher Wärmeschutzverglasung eine deutliche Reduzierung der Wärmebrückenwirkung des Randverbundes und wesentlich besser als heute gedämmte Rahmenkonstruktionen wünschenswert sind. Ab dem Einsatz des Krypton-Dreifach-Wärmeschutzglases sind solche Verbesserungen an Rahmen und Randverbund jedoch unverzichtbar: selbst bei großen Scheibenformaten dominieren nun die Randverluste bei weitem.

Die Forschungsanstrengungen sollten sich daher insbesondere auf besser dämmende Randverbundsysteme (z. B. aus aluminiumbeschichteten Kunststoffabstandshaltern) und auf Fensterrahmen für hochdämmende Wärmeschutzgläser konzentrieren (Rahmen-k-Werte unter 0,7 $W/(m^2K)$ sollten erreichbar sein). Mit solchen Verbesserungen ist letztendlich ein k-Wert für das Gesamtfenster von um 0,75 $W/(m^2K)$ erreichbar, wie Prototypen bereits heute demonstrieren. In diesem

Zusammenhang kann die Energieeinsparung, die hochdämmende Fenstergläser versprechen, erst voll zur Auswirkung kommen.

12.3 Effizienzverbesserung bei der Lüftung

Die im Bericht gewählten Annahmen für den Betrieb von Wärmerückgewinnungsanlagen in Gebäuden des Bestandes unterstellen eine durchschnittliche Restinfiltration durch verbleibende Undichtheiten von 0,1 (1/h), einen durchschnittlichen Gesamtluftwechsel im Haus von 0,5fach (1/h) mit einer Enthalpierückzahl von 60 %. Diese Werte zu erreichen, bedarf es bereits einiger Anstrengungen bei der nachträglichen Abdichtung der Gebäude, dem Projektieren der Zu- und Abluftführungen und einer guten marktgängigen Wärmerückgewinnungsanlage. Hygienisch einwandfreie Luftverhältnisse werden dabei in jedem Fall erreicht, wenn die Abluft aus den Problemräumen Bad, Küche und WC entnommen wird.

Der resultierende verbleibende Lüftungswärmeverlust entspricht dann dem eines 0,3fachen (1/h) Luftaustausches ohne Wärmerückgewinnung.

Weitere Verbesserungen dieser Werte sind auf drei Wegen erreichbar:

I. Weitere Verbesserung der Abdichtung gegen unerwünschte Luftinfiltration

Dies ist z. B. durch Abkleben oder Ausstopfen verbleibender Undichtheiten erreichbar, wozu jene jedoch zunächst aufgespürt werden müssen. Dies ist bei der hier bereits unterstellten Dichtheit nur noch im Unterdrucktest bei niedrigen Außentemperaturen und Innenthermographie zu leisten. Ein optimistischer Zielwert könnte auf mittlere Sicht eine verbleibende mittlere Infiltration von 0,05 (1/h) im jährlichen Durchschnitt sein. **Maßnahmen dieser Art haben nur im Zusammenhang mit dem Einsatz von Wärmerückgewinnungsanlagen einen Sinn!**

II. Erhöhung der Effizienz der Lufterneuerung

Austausch von verbrauchter Luft durch frische Außenluft hat nur dort einen Sinn, wo Frischluft auch gebraucht wird. Durch eine intelligente Regelung sowohl der

räumlichen als auch der zeitlichen Verteilung der Zuluftströme läßt sich daher die Raumluftqualität für die Bewohner noch einmal deutlich erhöhen, gleichzeitig aber ein nicht erforderlicher Lüftungswärmeverlust (z. B. bei Abwesenheiten) auf ein Minimum reduzieren. Interessant ist in diesem Zusammenhang eine mit Zeitprogramm programmierbare und von Luftqualitätsparametern geführte mikroprozessorgesteuerte Regelung der Luftströme (nach Menge und Verteilung). Regelungen dieser Bauart sind für große Säle bereits eingeführt. Im Zuge der Kostendegression bei der Mikroelektronik können solche Regelungen auch für die Wohnungslüftung interessant werden. Ihr Einsatz ist nicht nur auf Wärmerückgewinnungsanlagen beschränkt. Auch reine Abluftsysteme würden von einer solchen Regelung deutlich profitieren. Dabei würde sowohl die Raumluftqualität dann verbessert, wenn dies erforderlich ist, als auch zusätzliche Energieeinsparungen erreicht, die nach vorsichtigen Schätzungen bei ca. einem Drittel der verbleibenden Lüftungs-Wärmeverluste der Anlage liegen.

III. Erhöhung des Wärmerückgrades der Lüftungsanlage

Hierbei sind unterschiedliche Konzepte vorstellbar. Ein einfacher Ansatz besteht darin, den Plattenwärmetauscher aufzudoppeln -- eine Reihe von Anlagen dieser Bauart sind bereits am Markt erhältlich. Bedacht werden muß allerdings, daß durch einfachen Wärmeaustausch ein Teil der latenten Wärme der Abluft (Feuchtigkeit aus Quellen im Inneren der Gebäude) grundsätzlich nicht zurückgewonnen werden kann. Andere Ansätze versuchen zu diesem Zweck kleine Wärmepumpenaggregate einzusetzen. Bei der Bewertung dieser Systeme muß jedoch äußerste Vorsicht walten, da zum Betrieb der Wärmepumpe exergetisch hochwertige Energie (mechanischer Antrieb) verwendet werden muß. Erst wenn hier Heizzahlen deutlich über 3 erreicht werden, ergeben sich energetische und umweltseitige Vorteile.
Ein anderes innovatives Konzept ist die Adsorption oder Resorption von Feuchtigkeit in der Abluft durch spezielle Trocknungsmittel (Silikagel, Zeolith, Calciumchlorid). Dabei wird die latente Wärme zu einem großen Teil freigesetzt, die Ablufttemperatur wird erhöht und die Abluft kann im (konventionellen) Wärmetauscher mehr Energie an den Zuluftstrom abgeben. Auch solche Konzepte sind für Großanlagen, insbesondere bei Hallenbädern, bereits realisiert worden.
Mittelfristig scheinen Enthalpie-Rückgewinnungsgrade von um 70 % im Mittel der

Heizperiode erreichbar. Auf längere Sicht sollten auch Konzepte zur Rückgewinnung eines größeren Teils der latenten Wärme zum Durchbruch kommen.

12.4 Systeme zur passiven/aktiven Solarenergienutzung in Gebäuden

12.4.1 Fenster

Zu künftigen Entwicklungsperspektiven bei Fenstern sind bereits Aussagen unter 12.2. gemacht worden. Künftige hochdämmende Fenstergläser führen erstmals zu tatsächlichen Nettowärmegewinnen für Verglasungen in nicht zu stark verschatteten Orientierungen zur Sonne. Es muß unterstrichen werden, daß dies für gängiges Zweischeibenisolierglas nicht der Fall ist.

12.4.2 Transparente Wärmedämmung von opaken Bauteilen (Wand/Dach)

Systemen mit lichtdurchlässiger Wärmedämmung ist ein eigener Forschungsbericht für die Enquete-Kommission "Schutz der Erdathmosphäre" gewidmet. Nähere Ausführungen erübrigen sich daher an dieser Stelle. Mit den heute in der Forschung untersuchten Systemen lassen sich bei optimistischer Sicht künftig Dämmsysteme für Wand und Dach erwarten, die in wenig verschatteten Lagen auf süd-, südost- oder südwestorientierten Flächen ganzjährig Energiegewinne versprechen. Vermutlich werden die Gewinne in derselben Größenordnung liegen wie die der besten heute am Markt erhältlichen Fenstersysteme (Dreifach-Wärmeschutzglas mit Argonfüllung).

12.4.3 Solare Hybridsysteme

Transparente Wärmeschutzmaterialien lassen sich auch als Abdeckung von luft- oder wasserführenden Solarkollektorsystemen verwenden. Diese können außen auf hochgedämmte opake Hüllflächen eines Gebäudes aufgebracht werden und reduzieren dadurch tagsüber den Wärmeverlust zusätzlich. Im Absorber auftreffende Sonnenenergie wird über Hilfsantriebe (Lüfter, Pumpen) in innere Strukturen des Gebäudes zur Speicherung gebracht (Hohldecken, Innenwände). Eine Zusatznutzung ist im Sommer zur Brauchwassererwärmung denkbar.

Solche Hybridsysteme können noch höhere solare Nutzungsgrade erreichen wie die transparente Wärmedämmung von massiven Außenbauteilen -- zudem wird der Nachtverlust durch die konventionelle Dämmung weiter verringert.
Hybridsysteme für die Nachrüstung von sonnenverwöhnten Flächen im Gebäudebestand könnten als Fertigkomponentensystem zur Montage auf Wand oder Dach entwickelt werden.

Eine Entscheidung über die Vielzahl der in diesem Bereich denkbaren Systemalternativen ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch verfrüht. Zunächst müssen durch intensivere Forschung weitere Erfahrungen mit Systemen unterschiedlicher Bauart gewonnen werden.

Die heute vorliegenden Ergebnisse lassen aber die Hoffnung zu, daß künftig auch für opake Bauteile wie Wand und Dach optimierte Konstruktionen entwickelt werden können, die auf diesen Flächen auch in den kalten Wintermonaten Nettowärmegewinne ermöglichen. Sollte dies in Form der Hybridsysteme erfolgen, so wäre eine möglichst gute, konventionelle (opake) Wärmedämmung der Bauteile für den künftigen Einsatz vorteilhaft. Die in diesem Bericht dargestellten Maßnahmen zur wärmetechnischen Gebäudesanierung erweisen sich dann als Voraussetzung für den künftigen Einsatz noch effizienterer Solarsysteme.

12.5 Zu erwartende Energiesparpotentiale mit Zukunftstechnologien in zwei ausgewählten Fällen des Gebäudebestandes

Um die mit den vorausgehend beschriebenen Zukunftstechnologien zusätzlich im Gebäudebestand erreichbaren Energieeinsparungen abzuschätzen, werden im folgenden die Heizenergiebilanzen für je ein Ein- und ein großes Mehrfamilienhaus der Gebäudetypologie untersucht. Dabei wurde jeweils die (häufige) Baualtersklasse 1957-68 ausgewählt.

Als mit zukünftiger Technik erreichbar wurde dabei unterstellt:

- opake Wärmedämmung aller nichttransparenten Bauteile (Wand/Dach/Keller etc.) mit einem Super-Wärmedämm-Verbundsystem auf einen k-Wert von 0,1 W/(m^2K).
- Verwendung von Krypton-gefüllten Dreifach-Wärmeschutzgläsern mit je einer selektiven Beschichtung pro Zwischenraum. Reduzierung der Wärmebrücke des Randverbundes und Verwendung hochdämmender Fensterrahmen (k-Wert Fenster 0,75 W/(m^2K), Energiedurchlaß der Verglasung 0,52 bei senkrechtem Einfall).
- Reduzierung der Wärmebrückenwirkung bei Perimeter, Laibung und auskragenden Bauteilen durch vorgefertigte supergedämmte Bauelemente auf den im Bestand erreichbaren Wert (ohne thermische Trennung, welche im Neubau z.B. durch gedämmte Auflager oder gedämmte Kragbauteile realisierbar wären).
- Abdichtung des Gebäudes auf eine Restundichtheit mit weniger als 0,05facher (1/h) Infiltrationsrate. Einsatz einer luftqualitätsgeregelten Wärmerückgewinnungsanlage mit 70 % Enthalpie-Rückgewinnungsgrad. Der Wärmeverlust durch Lüftung entspricht dann noch einer äquivalenten Kaltluftzufuhr von 0,2fach (1/h).
- Verfügbarkeit kleiner Brennwertwärmeerzeuger (10 kW) mit geringen Bereitschaftsverlusten (0,5 %).

Alle aufgeführten Punkte sind nach dem gegenwärtigen Stand der Forschung und Entwicklung bereits in Prototypen realisiert, entsprechende Produkte sind für den Einsatz in anderen Marktbereichen teilweise sogar am Markt erhältlich. Gegenwärtig liegen die Kosten für solche Systeme allerdings noch weit über den heute wirtschaftlich vertretbaren Grenzen.
Tabelle 12-Z1 zeigt den energietechnischen Datensatz für ein entsprechend diesen Vorgaben nachträglich saniertes Einfamilienhaus im Bestand. Tabelle 12-Z2 und Abb. 12.5-1 dokumentieren die Energiebilanz für dieses Gebäude mit Zukunftstechnik.

Der spezifische Endenergieverbrauch für Heizzwecke für das Einfamilienhaus ließe sich danach auf etwa 24 kWh/(m^2a) reduzieren. Dies sind nur noch etwa 13 % des Endenergieverbrauchs für Heizzwecke im Vergleich zum heutigen durchschnittlichen IST-Zustand dieses Gebäudetypes und nur noch etwa ein Drittel des Verbrauchs, der sich nach Durchführung aller im Standard-Katalog (Abschnitt 4.3) dargestellten Maßnahmen ergeben würde.

Tabelle 12-Z1: Datensatz für ein mit Zukunftstechnik saniertes Einfamilienhaus

Gebäude-Dokumentation	
Objektdaten	EFHE_Z

Haustyp	:	Einfamilienhaus
Baualtersklasse	:	Zukunftstechnik
Umbautes Volumen:		904 Kubikm
Wohnfläche	:	242 m²
Raumhöhe	:	2.52 m
Luftwechsel	:	0.20 1/h

HÜLLFLÄCHEN	Fläche / m²	k-Wert/ W/(m²K)
Dach und Dachgeschoßdecke	180.90	0.100
Außenwände	170.00	0.100
erdberü. Bauteile, Kellerdecke	196.00	0.100
Außenwände vor Heizkörpern	15.33	0.100
gesamte Fensterfläche	38.55	Tag: 0.750
Nachts: Rolladen / Klappladen	38.55	Nacht: 0.750
sonstige : GLASBAU	6.60	0.700
WÄRMEBRÜCKEN (lineare)	**Gesamtlänge / m**	**WBrüKoeff/ W/(mK)**
Wärmebrücke-Perimet	25.55	0.400
Wärmebrücke-Laibung	106.70	0.100
Wärmebrücke-Balkon	4.50	0.400

SOLARENERGIE Fenster	SÜD	OST/WEST	NORD	Gesamtdurchlaß
Fensterfläche / m²	10.02	18.24	10.29	0.2500

Wärmespeicherkapazi. = 12100 Wh/K

DATEN zur NUTZUNG

Tagsolltemperatur	= 17.50 °C	Nachtsolltemperatur	= 14.00 °C
Maximaltemperatur	= 24.00 °C	Leistung Pers/Geräte	= 387 W
Dauer Nachtabsenk.	= 8.0 h	Wochenendabsenkung	: N

DATEN der HEIZANLAGE

Kesselleistung	= 10000 W	Kesselwirkungsgrad	= 96.0 %
Bereitschaftsverl.	= 0.500 %	Bereitschaftsabschaltung	: J
Länge Heizleitungen	= 35.50 m	k*-Wert (Leitungen)	= 0.200 W/m/K
Vorlauftemperatur	= 45.00 °C	Rücklauftemperatur	= 35.00 °C
Zentrale Regelung	: J		

DATEN zur WARMWASSERBEREITUNG Warmwasser wird mitgerechnet : N

Tabelle 12-Z2: Energiebilanz: Saniertes Einfamilienhaus "Zukunft"

ENBIL-Energiebilanz	
Referenzobjekt	EFHE_Z
I W U	

Der Energieeinsatz

Folgende Energieströme werden dem Haus zugeführt (in kWh/a) (in %):

Einstrahlung der Sonne durch die Fenster (nur Heizzeit)	2241	23
Wärmequellen im Innern des Gebäudes (Personen,Geräte)	1810	18
Brennstoff in der Heizanlage (Öl, Gas, Kohle,...)	5762	59
Summe Energieeinsatz	9814	100

Die Energieverluste

Die Wärmeverluste verteilen sich wie folgt (in kWh/a) (in %):

Lüftungswärmeverlust	2509	26
Dach und oberste Geschoßdecken	1094	11
Wärmeleitung durch die Außenwand	1028	10
Grundfläche, Kellerdecke und -wände	593	6
Verluste durch die Heizkörpernischen	139	1
Wärmeverluste durch die Fensterscheiben	1749	18
Wärmeverluste durch zusätzliche Flächen	279	3
Wärmeverluste durch Wärmebrücken	2745	28
Warmwasser aus der Zentralheizung	0	0
Verluste der Heizanlage	1049	11
Summe Energieverluste	9814	100

Abbildung 12.5-1: Energiebilanz: Saniertes Einfamilienhaus "Zukunft"

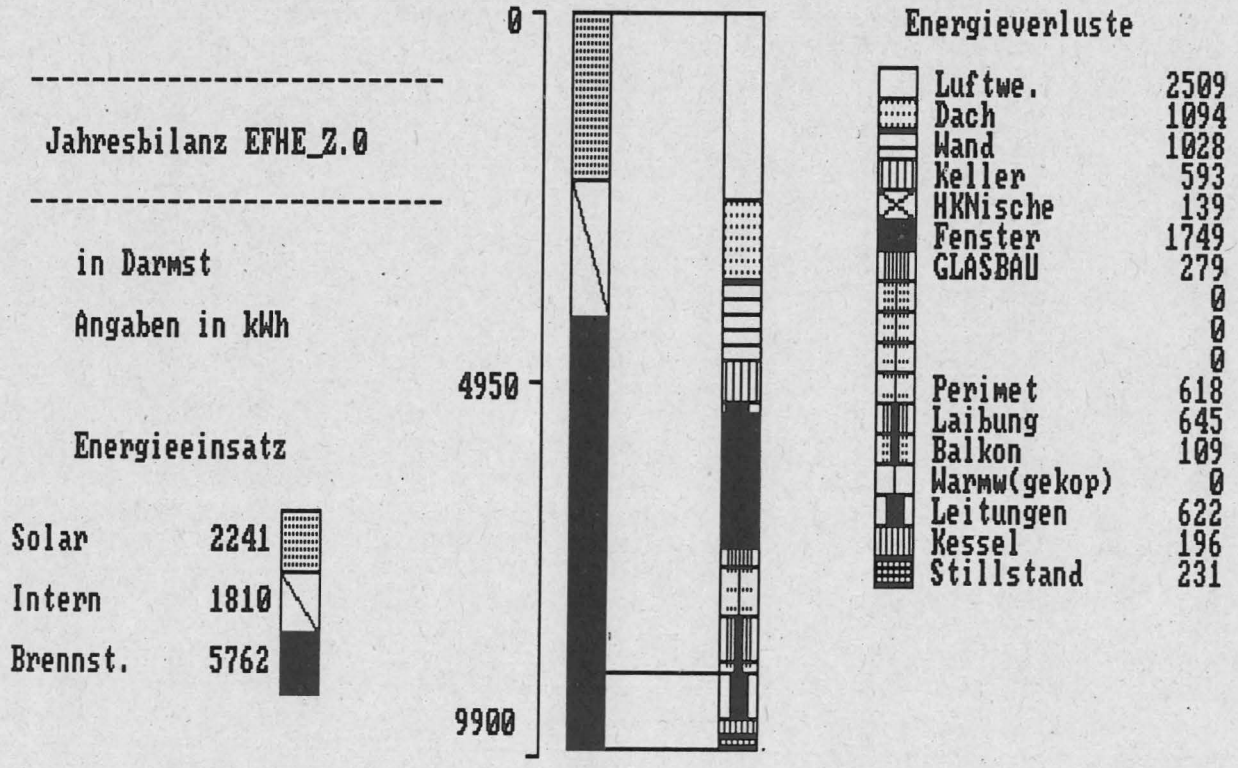


Tabelle 12-Z3: Saniertes Einfamilienhaus "Zukunft": Verbrauchsbeurteilung

Referenzobjekt EFHE_Z

Verbrauchsbeurteilung

Der Brennstoffverbrauch des Gebäudes liegt im Referenzfall durchschnittlich bei 576 Liter HEIZÖL-EL pro Jahr.
Zusätzliche Brennstoffe wurden dem Hauptenergieträger zugerechnet.

Dieser Verbrauch entspricht in Energieeinheiten (kWh) umgerechnet
5762 Kilowattstunden HEIZÖL-EL pro Jahr.
Die Energiekennzahl Heizung
(Endenergieverbrauch pro Jahr bezogen auf die Wohnfläche) beträgt

24 kWh/(m²a) .

Brennstoffkosten

Für HEIZÖL-EL liegt der Berechnung ein heutiger (1989) Durchschnittspreis von brutto 0.380 DM/Liter zugrunde .

Die Brennstoffkosten betragen daher momentan 219 DM/Jahr.
Für die nächsten 25 Jahre wird eine durchschnittliche Teuerung von real 2.60 % pro Jahr für HEIZÖL-EL angenommen.
Die durchschnittlichen Brennstoffkosten OHNE Energiesparmaßnahmen betragen dann im Mittel der nächsten 25 Jahre real 295 DM/Jahr.
Dieser Vergleichswert ist für den Wirtschaftlichkeitsvergleich mit den auf den folgenden Seiten beschriebenen ENERGIESPARMASSNAHMEN zugrundgelegt (es wird Energie zu künftigen Preisen eingespart).

Kapitalkosten für Sparmaßnahmen

Für das eingesetzte Kapital sind Zinsen und Tilgung zu bezahlen.
Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde angenommen, daß die nachfolgenden Energiesparmaßnahmen zu den Bedingungen eines Hypothekendarlehens mit derzeit 4.0 % effektivem realem Jahreszins finanziert werden.

Tabelle 12-Z4 zeigt die Daten für ein mit Zukunftstechnologie saniertes großes Mehrfamilienhaus im Bestand. Tabelle 12-Z5 und Abb. 12.5-2 dokumentieren die Energiebilanz.

Der spezifische Endenergieverbrauch für das Mehrfamilienhaus im Bestand ließe sich mit Hilfe der Zukunftstechniken demnach weiter auf etwa 16 kWh/(m^2a) reduzieren. Dies sind nur noch 9 % des durchschnittlichen Verbrauchs im heutigen IST-Zustand und nur noch etwa ein Drittel des Verbrauchs, der nach Durchführung aller Maßnahmen im Standard-Katalog erreicht wird.

Die dargestellten (durchaus typischen) Fallbeispiele machen deutlich, daß mit den heute verfügbaren und ökonomisch sinnvoll einsetzbaren Techniken der rationellen Energienutzung die technischen Grenzen der Energieeinsparung im Gebäudebestand noch lange nicht erreicht sind. Laufende und absehbare Weiterentwicklungen lassen vielmehr die Perspektive sehr wahrscheinlich erscheinen, daß künftig verfügbare noch weiter verbesserte Techniken der Heizwärmeverbrauch in noch größerem Umfang reduzieren können.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist es jedoch verfrüht, Aussagen über die ökonomischen Parameter solcher Komponenten zu treffen. Durchaus wahrscheinlich ist jedoch, daß solche Techniken bis Ende der neunziger Jahre zu Kosten für die eingesparte Endenergie zwischen 12 und 25 Pf/kWh entwickelt werden können. Da die Ausgestaltung der Komponenten im Detail heute ebenfalls noch nicht absehbar ist, konnten solche perspektivisch verfügbaren Techniken auch noch nicht in der "supply-curve" (Einsparpotential über spezifischen Energiekosten) berücksichtigt werden. Im Bereich der Techniken zu Einsparkosten oberhalb von 12 Pf/kWh ist die Standard-supply-curve (Abb. 7.4-1) daher unvollständig.

Tabelle 12-Z4: Datensatz für ein mit Zukunftstechnik saniertes Mehrfamilienhaus

Gebäude-Dokumentation
Objektdaten GMHE_Z

Haustyp : Mehrfamilienhaus
Baualtersklasse : Zukunftstechnik
Umbautes Volumen: 11510 Kubikm
Wohnfläche : 3534 m²
Raumhöhe : 2.50 m
Luftwechsel : 0.20 1/h

HÜLLFLÄCHEN	Fläche / m²	k-Wert/ W/(m²K)
Dach und Dachgeschoßdecke	479.58	0.100
Außenwände	3134.59	0.100
erdberü. Bauteile, Kellerdecke	459.24	0.100
Außenwände vor Heizkörpern	115.20	0.100
gesamte Fensterfläche	687.03	Tag: 0.750
Nachts: Rolladen / Klappladen	687.03	Nacht: 0.750

WÄRMEBRÜCKEN (lineare)	Gesamtlänge / m	WBrüKoeff/ W/(mK)
Wärmebrücke-Perimet	135.99	0.400
Wärmebrücke-Laibung	1726.50	0.100
Wärmebrücke-Balkon	172.00	0.400

SOLARENERGIE Fenster	SÜD	OST/WEST	NORD	Gesamtdurchlaß
Fensterfläche / m²	26.59	646.13	14.31	0.2900

Wärmespeicherkapazi. = 180200 Wh/K

DATEN zur NUTZUNG

Tagsolltemperatur	= 18.00 °C	Nachtsolltemperatur	= 15.00 °C
Maximaltemperatur	= 24.00 °C	Leistung Pers/Geräte	= 7100 W
Dauer Nachtabsenk.	= 8.0 h	Wochenendabsenkung	: N

DATEN der HEIZANLAGE

Kesselleistung	= 100000 W	Kesselwirkungsgrad	= 103.0 %
Bereitschaftsverl.	= 0.500 %	Bereitschaftsabschaltung	: J
Länge Heizleitungen	= 85.60 m	k*-Wert (Leitungen)	= 0.150 W/m/K
Vorlauftemperatur	= 45.00 °C	Rücklauftemperatur	= 30.00 °C
Zentrale Regelung	: J		

DATEN zur WARMWASSERBEREITUNG Warmwasser wird mitgerechnet : N

Tabelle 12-Z5: Energiebilanz: Saniertes Mehrfamilienhaus "Zukunft"

ENBIL-Energiebilanz	
Referenzobjekt	GMHE_Z
I W U	

Der Energieeinsatz

Folgende Energieströme werden dem Haus zugeführt (in kWh/a) (in %):

Einstrahlung der Sonne durch die Fenster (nur Heizzeit)	44028	33
Wärmequellen im Innern des Gebäudes (Personen,Geräte)	32053	24
Brennstoff in der Heizanlage (Öl, Gas, Kohle,...)	55407	42
Summe Energieeinsatz	131489	100

Die Energieverluste

Die Wärmeverluste verteilen sich wie folgt (in kWh/a) (in %):

Lüftungswärmeverlust	43148	33
Dach und oberste Geschoßdecken	3444	3
Wärmeleitung durch die Außenwand	22513	17
Grundfläche, Kellerdecke und -wände	1649	1
Verluste durch die Heizkörpernischen	1241	1
Wärmeverluste durch die Fensterscheiben	37007	28
Wärmeverluste durch Wärmebrücken	42496	32
Warmwasser aus der Zentralheizung	0	0
Verluste der Heizanlage	1238	1
Summe Energieverluste	131489	100

Abbildung 12.5-2: Energiebilanz: Saniertes Mehrfamilienhaus "Zukunft"

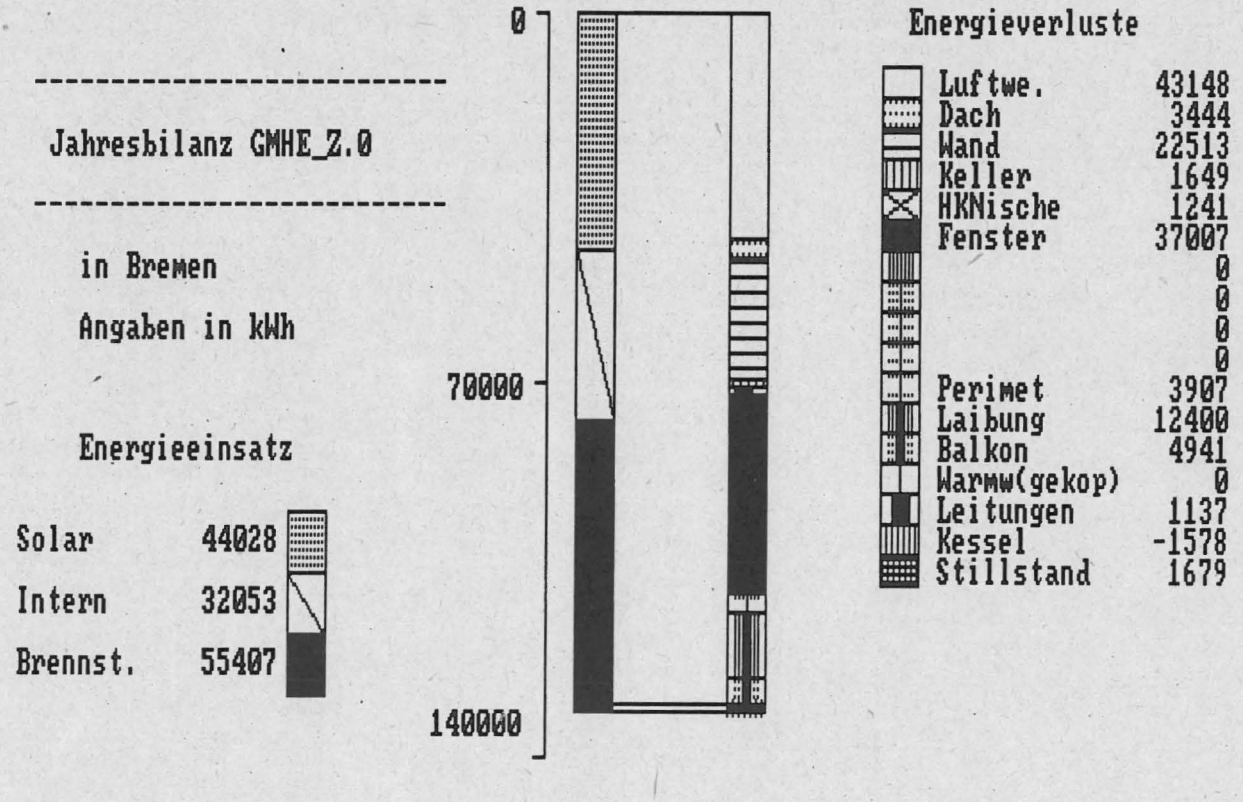


Tabelle 12-Z6: Saniertes Mehrfamilienhaus "Zukunft": Verbrauchsbeurteilung

Referenzobjekt GMHE_Z

Verbrauchsbeurteilung

Der Brennstoffverbrauch des Gebäudes liegt im Referenzfall durchschnittlich bei 55407 kWh Erdgas pro Jahr.
Zusätzliche Brennstoffe wurden dem Hauptenergieträger zugerechnet.

Dieser Verbrauch entspricht in Energieeinheiten (kWh) umgerechnet
55407 Kilowattstunden Erdgas pro Jahr.
Die Energiekennzahl Heizung
(Endenergieverbrauch pro Jahr bezogen auf die Wohnfläche) beträgt

16 kWh/(m²a) .

Brennstoffkosten

Für Erdgas liegt der Berechnung ein heutiger (1989) Durchschnittspreis von brutto 0.055 DM/kWh zugrunde .

Die Brennstoffkosten betragen daher momentan 3047 DM/Jahr.
Für die nächsten 25 Jahre wird eine durchschnittliche Teuerung von real 4.50 % pro Jahr für Energie angenommen.
Die durchschnittlichen Brennstoffkosten OHNE Energiesparmaßnahmen betragen dann im Mittel der nächsten 25 Jahre real 5194 DM/Jahr.
Dieser Vergleichswert ist für den Wirtschaftlichkeitsvergleich mit den auf den folgenden Seiten beschriebenen ENERGIESPARMASSNAHMEN zugrundgelegt (es wird Energie zu künftigen Preisen eingespart).

Kapitalkosten für Sparmaßnahmen

Für das eingesetzte Kapital sind Zinsen und Tilgung zu bezahlen.
Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde angenommen, daß die nachfolgenden Energiesparmaßnahmen zu den Bedingungen eines Hypothekendarlehens mit derzeit 4.0 % effektivem realem Jahreszins finanziert werden.

12.6 Konsequenzen für das (technische) Einsparpotential

Bei den Diskussionen von Kap. 7 zum technischen Einsparpotential sowie in den Modellrechnungen in Kap. 8 wurde von der konservativen Annahme ausgegangen, daß über die 1988 verfügbaren Techniken hinaus kein weiterer technischer Fortschritt zu erwarten sei. Dies ist sicher nicht richtig, wie die vorausgehenden Abschnitte zeigen. Vielmehr wird der technische Fortschritt das technische Potential an zusätzlich erreichbaren Einsparungen über der Zeitachse ständig vergrößern.

Abb. 12.6 zeigt exemplarisch den eher realistischen Verlauf der technischen Einsparpotentiale unter Berücksichtigung des zu erwartenden weiteren Fortschritts der Technik.
Wie in den Abschnitten 12.1 bis 12.5 beschrieben, ist die Reduktion des Heizenergieverbrauchs in einem Wohngebäude im Bestand auf Werte unter 24 kWh/(m^2a) mit in Prototypen realisierten Technologien denkbar, jedoch noch nicht demonstriert. Setzt man konservativ Diffusionszeiträume von 20 Jahren von der Entwicklung bis zur breiten Einsatzmöglichkeit an, so könnte um 2010 eine Gebäudesanierung mit Restheizenergieverbrauch von um 24 kWh/(m^2a) dem Stand der Technik entsprechen - ohne daß heute hierzu irgendeine Aussage zur Wirtschaftlichkeit möglich ist.

Dennoch ist zu erwarten, daß zumindest ein Teil der in Frage kommenden Techniken letztendlich auch zu ökonomisch interessanten Perspektiven führt (z.B. die lichtdurchlässige Wärmedämmung oder das superisolierte Fenster, sehr wahrscheinlich aber luftqualitätsgeführte Regelungen für Lüftungsanlagen). Unter dieser Perspektive muß auch das ökonomische Potential "dynamisch" im Rahmen der Technologienentwicklung gesehen werden. So erscheint es keinesfalls plausibel, daß im Sparszenario (Abb. 8.3.3-1) die Einsparungen entlang einer abklingenden Exponentialkurve um das Jahr 2020 herum allmählich ausgeschöpft erscheinen. Dieser Effekt ist vielmehr einzig auf die konservative Annahme der ausschließlichen Verwendung von heute bereits am Markt verfügbarer, erprobter und bewährter Technik zurückzuführen. Der technische Fortschritt resultiert jedoch eher in einem Verlauf, wie er in Abb. 12.6 in der Kurve "ökonomisches Potential bei Berücksichtigung eines weiteren technischen Fortschritts" dargestellt ist.

Die schraffiert eingetragene Nutzwärme kann zusätzlich über das Standard-SPAR-Szenario hinaus eingespart werden, wenn heute wissenschaftlich in Prototypen entwickelte Komponenten zur Marktreife gebracht werden. Es bedeuten:

□ "Referenz"-Szenario gemäß'Abschnitt 8.3

+ TREND-Szenario gemäß Abschnitt 8.3

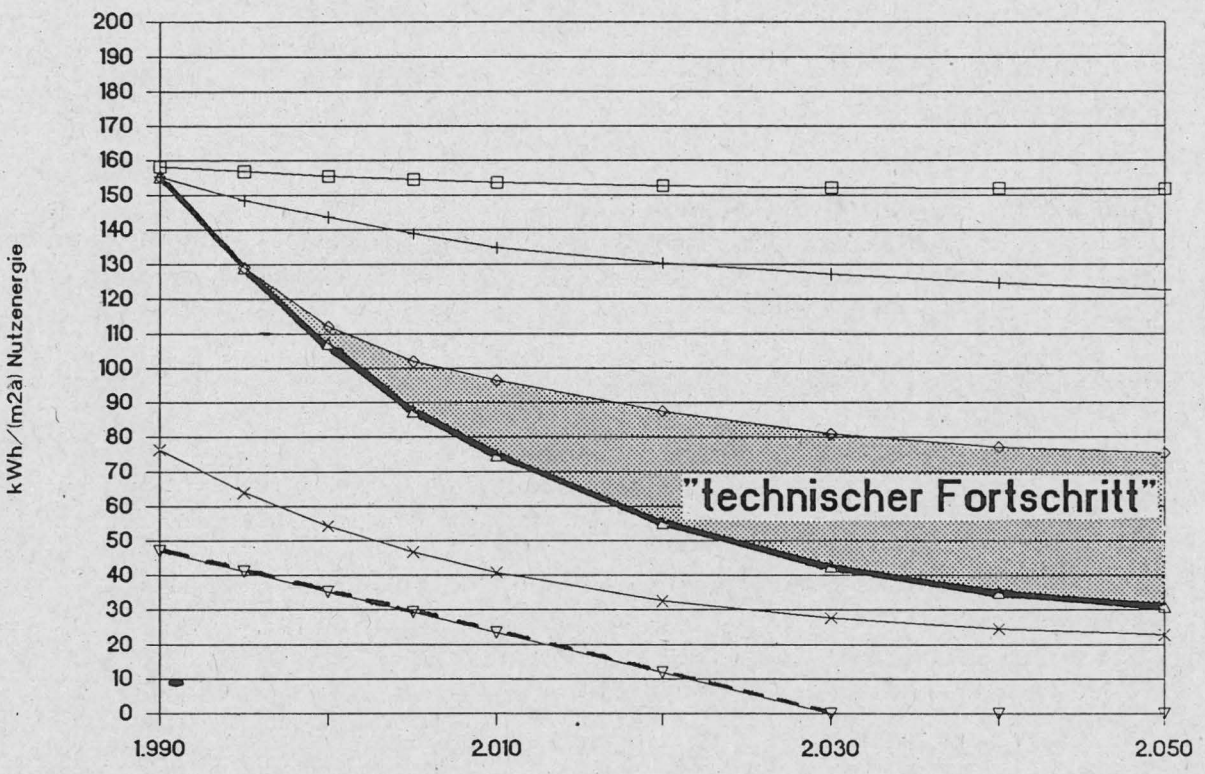
◇ Standard-SPAR-Szenario (vgl. 8.3): Energiesparmaßnahmen nach dem Katalog "SPAR" ausschließlich mit bereits 1987 am deutschen Markt verfügbaren und erprobten Techniken, sofern diese zum Zeitpunkt der Sanierung rentabel sind

△ SPAR-Plus-Szenario: Energieeinsparung durch Maßnahmen, die unter Berücksichtigung des technischen Fortschritts zum jeweiligen Sanierungszeitpunkt wirtschaftlich sein können

× Wirtschaftliches Energiesparpotential unter Berücksichtigung des künftigen technischen Fortschritts

▽ Technisches Energiesparpotential unter Berücksichtigung des künftigen technischen Fortschritts.

Abbildung 12.6: Energiesparpotentiale unter Berücksichtigung des zu erwartenden weiteren technischen Fortschritts



Die Abbildung zeigt die möglichen Entwicklungen des spezifischen Nutzenergiebedarfs im Gebäudebestand gemäß Abb. 8.3.3-1

⊟ Referanzszenario + Trendszenario ◇ Sparszenario

△ Spar-Plus-Szenario x Wirtschaftliches Potential ▽ Technisches Potential

Nach diesen Perspektiven sind aus physikalisch-technischer, bautechnischer und baupraktischer Sicht keine prinzipiellen Grenzen für eine immer weitergehende Reduktion des Heizenergieverbrauchs auch im Gebäudebestand gegeben. Die Frage, ob über die hier dargestellten und im einzelnen nachgewiesenen Einsparungen hinaus weitere Energieeinsparungen in der Zukunft angestrebt und realisiert werden, hängt nach unserer Auffassung weniger von technischen und ökonomischen Grenzen als davon ab, ob beim Erreichen bestimmter Werte (z.B. 30-40 kWh/(m^2a)) eine weitere Verbesserung aus ökologischen oder sozialen Gründen überhaupt

erstrebenswert erscheint, zumal derart geringe Heizwärmeverbräuche entweder vollständig aus regenerativen Quellen oder aber anderwärtig umweltfreundlich und kostengünstig bereitgestellt werden könnten.

Literatur zu Kapitel 12:

/LBL 1988/ D. Arasteh, S. Selkowitz, J. Wolfe:
The Design and Testing of a Highly Insulating Glazing System for Use with Conventional Window Systems, Lawrence Berkeley Lab., LBL-24903, 1988