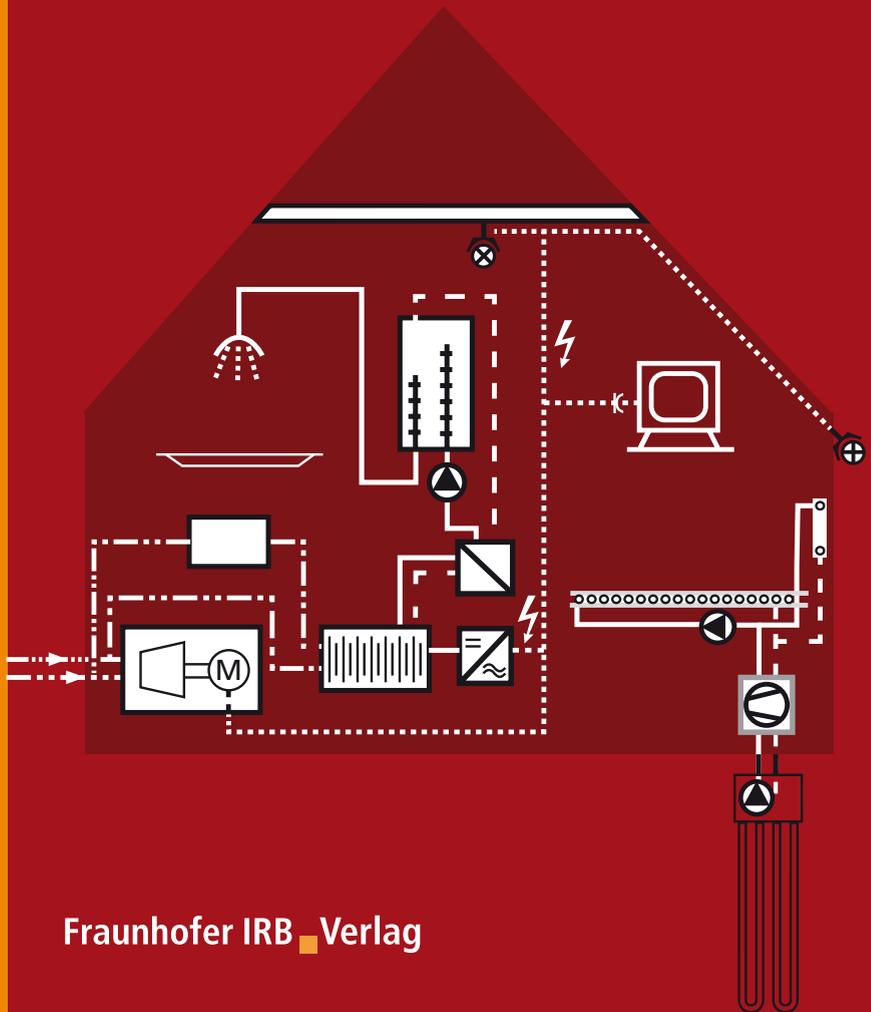


Eric Theiß

# Rationelle Energieanwendungen in der Gebäudetechnik

Energieeffiziente Systemtechnologien  
der Kraft- und Wärmetechnik

Anlagenkonzepte, Anwendungen und Praxistipps



Fraunhofer IRB  Verlag

Eric Theiß

## **Rationelle Energieanwendungen in der Gebäudetechnik**



Eric Theiß

# **Rationelle Energieanwendungen in der Gebäudetechnik**

Energieeffiziente Systemtechnologien  
der Kraft- und Wärmetechnik

Anlagenkonzepte, Anwendungen, Praxistipps

Fraunhofer IRB Verlag

## Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-8167-8269-8

ISBN (E-Book): 978-3-8167-8837-9

Herstellung: Sonja Frank und Dietmar Zimmermann

Layout: Dietmar Zimmermann

Umschlagskonzeption: Elisabeth Theiß

Satz: Manuela Gantner

Druck: Gulde Druck GmbH & Co. KG

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© by Fraunhofer IRB Verlag, 2012

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Postfach 80 04 69, D-70504 Stuttgart

Telefon 0711 9 70-25 00

Telefax 0711 9 70-25 08

E-Mail: [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

<http://www.baufachinformation.de>

## Vorwort

Angesichts einer zunehmenden Verknappung der Energieressourcen sowie der ständig steigenden Energiepreise gewinnen die Technologien der rationellen Energieanwendung zunehmend an Bedeutung. Zudem wird der rationelle Umgang aus ökologischen und ökonomischen Betrachtungen immer wichtiger und hat mittlerweile auch im Bewusstsein der Bevölkerung einen hohen Stellenwert erreicht.

Aufgrund der steigenden Energiepreise und knapper werdenden Rohstoffen wird anhaltend nach technisch neuen Möglichkeiten gesucht, um die bestehenden konventionellen und energieintensiven Systeme zu überdenken und mit innovativen Ansätzen Lösungen zu entwickeln, die bei gleicher Funktionalität erheblich weniger Energie erfordern.

Band 1 der Rationellen Energieanwendungen in der Gebäudetechnik befasst sich mit der Energieeinsparung und Steigerung des Nutzerkomforts in der Kraft- und Wärmetechnik.

Die Reduzierung des Energiebedarfs in Gebäuden sowie die Energiebedarfsdeckung erfordern den Einsatz innovativer architektonischer und gebäudetechnischer Konzepte, die in ganzheitlichen Ansätzen zusammenzuführen sind.

Ein ganzheitliches Denken zur sinnvollen Energienutzung sollte aber von dem Grundsatz hergeleitet werden, dass erst dann über die zusätzlich Integration regenerativer Energien nachgedacht werden sollte, nachdem die Maßnahmen des solaren Bauens (Gebäudeausrichtung, Bauphysik, passiver Solargewinn, etc.) ausgeschöpft wurden. Erst im Anschluss daran sollte der Bedarf der klima- und kältetechnischen Komponenten auf ein wirtschaftlich vertretbares Maß reduziert und der Zusatznutzen mit den finanziellen Möglichkeiten (Förderungs-, Steuer- und Marktanreizprogramm) abgestimmt werden.

Die Gebäude der Zukunft werden nicht nur mit regenerativen Energien versorgt, sondern die rationellen Energieanwendungen werden zunehmend die Technologien der Energiespeicher für elektrischen Strom und Wärme einschließen. Bei der »Rationellen Energieumwandlung und Energieanwendung« handelt es sich im eigentlichen Sinne um keine Energieform. Sie wird aufgrund ihres enormen Potenzials besonders in den Industrieländern der Energie gleichgesetzt, weil zur Gewährleistung der erforderlichen Energiedienstleistungen weniger Primärenergie einzusetzen ist.

Während es in der Energiewirtschaft überwiegend um den Anteil der regenerativen Energien an der Stromerzeugung geht, spielen im Bereich der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) die Kälte- und Wärmebereitstellung die Hauptrolle. So sollte z. B. aus wirtschaftlichen Aspekten die Errichtung von Energiepfählen vor allem in der Entwurfsphase, d. h. vor der Gebäudegründung, untersucht werden.

Aufgrund statistischer Erhebungen zeigt sich, dass auch zunehmend der Altbaubereich durch Sanierungen und Modernisierungen betroffen wird, wobei hier spezielle Lösungen zu suchen sind, die wirtschaftlich, energetisch und technisch realisierbar sein müssen. Gerade im Altbau-, Umbau- und Erweiterungsbereich liegt der Tenor primär in der Reduzierung des Energiebedarfs. Neben den bauphysikalischen Aspekten spielt hier insbesondere die optimierte Anwendung der regenerativen Energien eine besondere Rolle. Die Art und der Umfang der Nutzung sind jedoch von den jeweiligen Randbedingungen abhängig.

Die meisten technischen Lösungen sind hierbei auf die Neubauten zugeschnitten. Diese betreffen einerseits die Abstimmung auf den Leistungsbedarf und andererseits im größeren Umfang deren Integration und Bereitstellung in das Gebäudegesamtsystem.

Mit den Inhalten dieses Fachbuchs wurde beabsichtigt, dass dem Leser die aktuellen marktreifen rationellen Technologien, Prototypen und Innovationen, aber auch die derzeit noch vorliegenden Schwierigkeiten in der Testphase vor Einführung der Serienreife vermittelt werden. Im Fokus stehen neueste Lösungsansätze und Forschungsergebnisse, Objektbeschreibungen über ausgeführte Anlagen und Referenzprojekte. Der Trend zeigt auch, dass Immobilien mit der Kennzeichnung als »Green« oder »Eco« gefragt sind, wobei sich diese Objekte durch die hohen Anforderungen an die Energieeffizienz und den Nutzerkomfort sowie gleichzeitig durch die ausbalancierten Lebenszykluskosten auszeichnen.

Für die hochgesteckten Ziele im Bereich des Klimaschutzes, der Energieeffizienzsteigerung und der Ressourcenschonung kann die technische Gebäudeausrüstung, insbesondere die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung sowie die Klima- und Raumlufttechnik einen wesentlichen Beitrag leisten.

Das Ziel des Themenspektrums in diesem Fachbuch soll es sein, das Bewusstsein zur Energieeffizienz zu fördern. Hierzu zählen insbesondere die Aspekte wie Nachhaltigkeit und dass in der Gebäudekonzipierung im Einklang mit der Auswahl der technischen Gebäudeausrüstung ökologische, ökonomische und Ressourcen sparende sowie energieeffiziente Maßnahmen umgesetzt werden.

Aufgrund dieses Hintergrundes werden auch die den jeweiligen Technologien zugeordneten Parameter unter Zugrundelegung der aktuellen Regelwerke, Verordnungen, Richtlinien sowie der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen dargestellt. Zudem werden zur Vertiefung die für die einzelnen Technologien relevanten Systemfindungen durch Beispiele und Anlagenbeschreibung erläutert sowie um eine Auflistung von Referenzprojekten ergänzt.

Das Glossar der einzelnen Technologiebereiche und die Zusammenfassung der wichtigsten Kontaktadressen schließen die Thematik ab.

Sämtliche Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt und dürfen ohne schriftliche Genehmigung des Verlages nicht in irgendeiner Form reproduziert, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Verwendung der ausgedruckten Grafiken für Studien- und Diplomarbeiten sowie Dissertationen ist bei Angabe der Quelle erlaubt.

Erstellung der Abbildungen, Grafiken und Tabellen: Dipl.-Design. Elisabeth Theiß

München, im September 2011

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.0</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>13</b>
1.1	Allgemein	13
1.1.1	Baukörper und technische Systeme der Energieverwendung	13
1.1.2	Kosten und Nutzen von Maßnahmen zur Energieeinsparung	13
1.1.3	Gesetzliche Rahmenbedingungen	14
1.1.3.1	Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)	14
1.1.3.2	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft)	14
1.1.3.3	Zentrale Stromerzeugung	16
1.1.4	Energiearten	16
1.1.4.1	Energiewertigkeit der Wärme	17
1.1.4.2	Energiebegriffe und Umwandlungen	17
1.1.4.3	Energiebilanz für technische Systeme	22
1.1.5	Energieeffizienz: Energieprofil von Gebäuden	23
1.1.5.1	Energieeinsparverordnung (EnEV)	25
1.1.5.2	Neuerungen in der EnEV 2007	26
1.1.5.3	Neuerungen in der EnEV 2009	26
1.1.5.4	Anwendung der EnEV auf den Gebäudebestand	27
1.1.6	Lebenszykluskosten (Life-Cycle-Costs)	28
1.1.6.1	Nutzungskosten	30
1.1.6.2	Ver- und Entsorgungskosten	30
1.1.6.3	Reinigung, Wartung, Instandsetzung	30
1.1.6.4	Veränderte Randbedingungen	31
1.1.6.5	Objektbeispiel	31
1.2	Maßnahmen zur Energieeinsparung	32
1.2.1	Energetische Bewertung und Nutzerverhalten	33
1.2.1.1	Energieeinsparung durch Raumtemperaturabsenkung	33
1.2.1.2	Nachtabsenkung	33
1.2.1.3	Wärmedämmung und Anlagentechnik	34
1.2.1.4	Gestalterischer Freiraum durch bessere Anlagentechnik (Kompensationsprinzip)	38
1.2.2	Gebäudestandards und Energiespargebäude	41
1.2.2.1	Niedrigenergiehaus	41
1.2.2.2	Nullenergiehaus	45
1.2.2.3	Passivenergiehaus	46
1.2.3	Energieoptimierte Gebäudehülle	48
1.2.3.1	Energieoptimiertes Bauen (EnOB)	49
1.2.3.2	Solararchitektur	50
1.2.3.3	Green-Building-Architektur	50
1.2.3.4	LowEx-Gebäude	50
1.2.4	Bauphysik	51

1.2.4.1	Wärmeschutz und Energieeinsparung nach DIN 4108	52
1.2.4.2	Innovative Wärmedämmungen	52
1.2.4.3	Thermochemische Speicherung	53
1.2.5	Passive Sonnennutzung	56
1.2.5.1	Nutzung der Sonnenenergie ohne technische Umwandlungsprozesse	57
1.2.6	Bauteilaktivierung	58
1.2.6.1	Aktivierbare Speichermasse	59
1.2.6.2	Hybridsysteme	61
1.2.6.3	LowEx-TGA-Systeme	61
1.3	Contracting	62
1.3.1	Contractinggesellschaftsform	62
1.3.2	Energiesparcontracting (Performancecontracting)	65
1.3.3	Wärmecontracting ohne Eigenkapital	65
1.3.4	Anlagencontracting	66
1.3.5	Betriebsführungs- und/oder Instandhaltungscontracting	67
1.3.6	Referenzprojekte	67
1.4	Förderprogramme	67
1.4.1	ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm (Darlehen für Umweltschutzmaßnahmen)	67
1.4.2	Förderungen im Marktanreizprogramm	68
1.4.3	Zusätzliche Förderungsmöglichkeiten	68
1.4.3.1	Förderbedingungen der KfW (Anpassung an die EnEV)	68
1.4.3.2	Förderungen nach dem EEWärmeG	70
1.5	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	70
<b>2.0</b>	<b>Regelwerke</b>	<b>75</b>
2.1	Begriffsbestimmungen, Definitionen	75
2.1.1	Normen und Richtlinien in der Europäischen Gemeinschaft	75
2.1.2	Nationales Recht (Bundesrecht)	75
2.1.3	Landesrecht	75
2.2	Regelwerksystematik	76
2.2.1	Normenkenntnis als Notwendigkeit	76
2.2.2	Entstehung der Normen	76
2.2.3	Die Bedeutung des Farbdrucks bei der Normung	77
2.2.4	Gesetzeslage der Normung	77
2.2.4.1	Anerkannte Regel der Technik	78
2.2.4.2	Stand der Technik	78
2.2.4.3	Stand von Wissenschaft und Technik	79
2.2.4.4	Einhaltung der Normen und Vorschriften	79
2.3	Richtlinien und Verordnungen	80
2.3.1	VDI-Richtlinien (Technische Regeln)	80
2.3.2	VDE-Bestimmungen	80
2.3.3	VdS-Richtlinien	80
2.3.4	Sonstige Richtlinien und Merkblätter	81

2.4	Verzeichnis der Normen in Kapitel 1 bis 5	81
2.5	Verzeichnis der Richtlinien und Verordnungen in Kapitel 1 bis 5	88
<b>3.0</b>	<b>Energetische Potenziale in der Wärmetechnik</b>	<b>95</b>
3.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen	95
3.1.1	Energetische Bewertung von Gebäuden nach DIN V 18599 (Berechnung des Nutz- und Endenergiebedarfs)	95
3.1.1.1	Allgemeine Bilanzierungsverfahren: Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger (DIN V 18599-1)	96
3.1.1.2	Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen (DIN V 18599-2)	96
3.1.1.3	Endenergiebedarf von Heizsystemen (DIN V 18599-5)	97
3.1.1.4	Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen (DIN V 18599-8)	98
3.1.2	Verfahren zur Berechnung der Normheizlast nach DIN EN 12831	99
3.2	Komponenten-Optimierungen	100
3.2.1	Verbrennungsregelungen	100
3.2.1.1	Brennverhalten – Betriebsbedingungen	101
3.2.1.2	Brennerlaufzeiten	102
3.2.1.3	Lambda-Control-System (LCS)	102
3.2.1.4	Das SCOT-Control-Verfahren	103
3.2.2	Pumpenregelungen	104
3.2.2.1	Regelungsmöglichkeiten von Pumpen und energetisch Effekte	105
3.2.2.2	Optimierung der Pumpensteuerungen	106
3.2.2.3	Innovative Umwälzpumpentechnologie	108
3.2.3	Hydraulischer Abgleich	112
3.2.3.1	Zortström-Hydraulik	113
3.2.3.2	Hydraulischer Nullpunkt	114
3.2.4	Mess-, Steuer- und Regelungstechnik/Gebäudeleittechnik	120
3.2.4.1	Die »Weltnorm« DIN EN ISO 16484	120
3.2.4.2	Energieeffiziente Gebäudeautomation	122
3.2.4.3	Vier Effizienzklassen der Gebäudeautomationssysteme	122
3.2.4.4	Gebäudeautomation und Feldebustechnologie	123
3.2.4.5	Normierte Standardbussysteme	126
3.2.4.6	Referenzprojekte	129
3.2.5	Wärmespeichersysteme	130
3.2.5.1	Latentwärmespeicher	130
3.2.5.2	Thermochemische Speicher	132
3.2.5.3	Adsorptionswärmespeicher	133
3.2.5.4	Innovation der thermochemischen Speicherung mit einem Absorptionsverfahren	134
3.2.6	Wärme- und Kälteschutz	134
3.2.6.1	Wärmeverteilungsdämmung	135
3.2.6.2	Kältetechnische Verteilungsdämmung	135

3.3	Brennwerttechnologie	136
3.3.1	Gas-Brennwerttechnologie	137
3.3.1.1	Einflussgrößen der Brennwertnutzung	137
3.3.1.2	Optimale Brennwertnutzung	146
3.3.2	Öl-Brennwerttechnologie	150
3.3.2.1	Öl-Brennwerttechnologie und Solarthermie	150
3.3.3	Objektbeispiel und Referenzprojekte	152
3.3.4	Förderungen und normative Rahmenbedingungen	153
3.3.5	Wirtschaftlichkeit	154
3.4	Kraft-Wärme-Kopplung	155
3.4.1	Grundlagen	155
3.4.1.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen	158
3.4.1.2	KWK-Systemvarianten	159
3.4.1.3	Technik und Betriebsweise	160
3.4.1.4	Wirkungsgradverbesserung	161
3.4.1.5	Innovative KWK-Technologien	161
3.4.2	Kleinst-Kraft-Wärme-Kopplung	161
3.4.2.1	Grundlagen	161
3.4.2.2	Verbrennungsmotorische Kleinst-Kraft-Wärme-Kopplung	164
3.4.2.3	Stirlingmotorische Kleinst-Kraft-Wärme-Kopplung	169
3.4.2.4	Mikrogasturbinen-KWK	183
3.4.2.5	Kleinst-Brennstoffzellen-KWK	192
3.4.2.6	Brennstoffzellen-Innovationen	208
3.4.3	Blockheizkraftwerke	211
3.4.3.1	Verbrennungsmotor-BHKW	212
3.4.3.2	Stirling-BHKW	217
3.4.3.3	Organic Rankine Cycle-BHKW	217
3.4.3.4	Kalina-Technologie	221
3.4.3.5	Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerke	221
3.4.4	Förderungen und normative Rahmenbedingungen	228
3.4.5	Wirtschaftlichkeit	233
3.4.5.1	Wirtschaftlichkeit eines Blockheizkraftwerks (BHKW)	233
3.4.5.2	Wirtschaftlichkeit einer Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	233
3.4.5.3	Wirtschaftlichkeit von Kleinst-KWK-Anlagen	234
3.5	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK)	236
3.5.1	Grundlagen	236
3.5.2	Objektbeispiel	237
3.5.3	Kleinst-KWKK-Anlagen	239
3.5.4	Förderprogramme	240
<b>4.0</b>	<b>Energetische Potenziale in der Sanitärtechnik</b>	<b>241</b>
4.1	Abwasserwärmerückgewinnung	241
4.1.1	Referenzprojekte	242
4.2	Druckluftwärmerückgewinnungsanlagen	244

4.2.1	Objektbeispiel	246
4.3	Förderungen	248
4.4	Wirtschaftlichkeit	248
<b>5.0</b>	<b>Wärmepumpentechnologie</b>	<b>249</b>
5.1	Grundlagen	249
5.1.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen	249
5.1.2	EnEV und Wärmepumpeinsatz bei Sanierungen	251
5.1.3	Kurzverfahren zur Berechnung der Jahresaufwandszahlen	253
5.1.3.1	Gütesiegel	253
5.1.3.2	RAL-Gütesicherung »Geothermische Anlagen«	254
5.1.4	Leistungsbetrachtungen	254
5.1.4.1	Leistungs- und Arbeitszahl	254
5.1.4.2	Leistungsmessungen und Normbetriebspunkte nach DIN EN 255	256
5.1.4.3	Wärmequellenanlage	257
5.1.4.4	Wärmepumpenfunktionsprinzip	259
5.1.4.5	Scrollverdichter	261
5.1.4.6	Geräuschemissionen	261
5.1.5	Genehmigung	262
5.1.5.1	Bauliche Aspekte	262
5.1.5.2	Wasserrechtliche Aspekte	263
5.1.5.3	Wasserrechtliche Aspekte für oberflächennahe Geothermie	264
5.2	Konstruktionsvarianten	265
5.2.1	Elektrowärmepumpe	265
5.2.2	Gasmotorische Wärmepumpe	267
5.2.2.1	Gasmotorisch Kaltdampfanlage bzw. Wärmepumpe (Gas-Heat-Pump)	269
5.2.3	Absorptionswärmepumpe	270
5.2.3.1	Absorptionswärmepumpen (Heizen und Kühlen mit einem System)	271
5.2.3.2	Absorptionswärmepumpe und Eisspeicher	272
5.3	Betriebsvarianten	273
5.3.1	Energiequelle Luft und Umweltenergie	273
5.3.1.1	Monovalenter Wärmepumpenbetrieb	274
5.3.1.2	Monoenergetische Betriebsweise	274
5.3.1.3	Effizienter Betrieb der bivalenten Wärmepumpe	275
5.3.1.4	Bivalente alternative Betriebsweise	275
5.3.2	Energiequelle Grund- oder Brunnenwasser sowie Umweltenergie wie Luft, Sonne, Wärmerückgewinnung	275
5.3.2.1	Bivalente-parallele Betriebsweise	276
5.3.2.2	Bivalent-teilparalleler Betrieb	276
5.3.3	Geregelter Wärmepumpenverdichter	277
5.4	Systemvarianten (Wärmequelle/Wärmesenke)	278
5.4.1	Luft/Wasser-Wärmepumpe (L/W-WP)	278
5.4.2	Luft/Luft-Wärmepumpe (L/L-WP)	279
5.4.3	Wasser/Luft-Wärmepumpe (W/L-WP)	279

5.4.4	Wasser/Wasser-Wärmepumpe (W/W-WP)	280
5.4.5	Sole/Wasser-Wärmepumpe	280
5.4.6	Erdreich/Luft-Wärmepumpe	280
5.4.7	Erdreich/Wasser-Wärmepumpe	280
5.4.8	Objektbeispiele – Referenzprojekte	281
5.4.8.1	Grund-/Brunnenwassernutzung	281
5.4.8.2	Abwärmenutzung	282
5.4.8.3	Massivabsorber (Fundamentplatten)	285
5.5	Oberflächennahe Geothermie	285
5.5.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen	286
5.5.2	Wärmequellenerschließung	286
5.5.2.1	Erdwärme-Flächenkollektoren	287
5.5.2.2	Erdwärmesonden	288
5.5.2.3	CO <sub>2</sub> -Erdwärmesonden	291
5.5.2.4	Energiepfähle (Gründungspfähle)	293
5.6	Wärmepumpen-Innovationen	295
5.6.1	Diffusions-Absorptionswärmepumpe (DAWP)	295
5.6.1.1	Kombination einer Diffusions-Absorptionswärmepumpe mit einem Brennwertwärmeerzeuger	298
5.6.2	Vuilleumier-Wärmepumpe	299
5.6.3	Zeolith-Wärmepumpe	301
5.7	Anlagenvarianten (Hybridsysteme)	303
5.7.1	Wärmepumpe und Solarthermie	303
5.8	Förderungen und normative Rahmenbedingungen	309
5.8.1	Förderung für Wärmepumpen und RLT-Anlagen mit Wärmerückgewinnung	310
5.8.2	Förderungen im Marktanreizprogramm	310
5.9	Wirtschaftlichkeit	312
<b>6.0</b>	<b>Glossar</b>	<b>317</b>
<b>7.0</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>333</b>
7.1	Online-Berichte	333
7.2	Fachbücher	333
7.3	Fachartikel	333
<b>8.0</b>	<b>Kontaktadressen (Weiterführende Weblinks)</b>	<b>335</b>
8.1	Architekten	335
8.2	Institute	336
8.3	Vereine/Verbände	337
8.4	Produkt- und Systemhersteller	338
8.5	Sonstige Informationsquellen und Weblinks	341

## 1.0 Grundlagen

### 1.1 Allgemein

Die weiter steigenden Emissionen der Treibhausgase wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) führen zu einer Klimaveränderung, die dauerhafte negative Folgen nach sich zu ziehen droht. Aus diesem Grund ist es erforderlich, die vorhandenen Energiequellen effektiver zu nutzen und mittels rationeller Energieanwendungen, d. h. technologischer Umwandlungssysteme, innovative Wege zu gehen.

Die Maßnahmen zur rationellen Energieanwendung benötigen zwar keinen Energierohstoff, aber zur Systemlösung ist technisches Wissen und das entsprechende finanzielle Kapital erforderlich. Zur Gebäudesynergie zählen einerseits sämtliche Maßnahmen zum energieoptimierten Bauen und andererseits der Einsatz der wirkungsgraderhöhenden Maßnahmen der Energiewandler. Als Basis ist hier der Normentwurf DIN EN 15315 zugrunde zu legen, der einen allgemeinen Rahmen für die Bewertung des Gesamtenergieverbrauchs eines Gebäudes und die Berechnung der Gesamtenergieeffizienz hinsichtlich der eingesetzten Primärenergie und der CO<sub>2</sub>-Schadstoffemissionen festlegt. Die Berechnung des Energieverbrauchs für bestimmte Leistungen innerhalb eines Gebäudes (Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwassererwärmung, Beleuchtung) wird in separaten Normen definiert.

#### 1.1.1 Baukörper und technische Systeme der Energieverwendung

Allgemein lassen sich hier folgende Möglichkeiten nennen:

- Verbesserung des Wärmeschutzes
- energiebewusstes Verhalten der Nutzer
- intelligente Haus- und Gebäudetechnik
- richtiges Betreiben der Heizungsanlage.

Der Betrieb von Gebäuden verursacht einen erheblichen Anteil des Energieverbrauchs in Deutschland. Die aktuelle Gesetzgebung, aber auch die ständig steigenden Energiepreise zwingen daher die Gebäudebetreiber, sich über eine energieoptimierte Bauausführung (EOB) sowie die energieeffizienteste technische Gebäudeausrüstung (TGA) Gedanken zu machen.

#### 1.1.2 Kosten und Nutzen von Maßnahmen zur Energieeinsparung

Energie sparen bedeutet Minderung des Energieverbrauchs durch

- Vermeidung von unnötigem Verbrauch z. B. bei der Raumheizung
- durch Raumtemperaturabsenkung
- Verbesserung des Nutzungsgrads des Energieverbrauchs
- Änderung der Verfahrenstechnik bei der Energiebereitstellung
- Aufbau von Energiekreislaufprozessen.

Zur Nutzung biogener Energieträger ist bekannt, dass die direkte Nutzung als Festbrennstoff energetisch deutlich interessanter ist als z. B. die aufwendige Aufbereitung zu einem dieselfahrzeugtauglichen Kraftstoff. Aus diesem Grund ist es äußerst wichtig, die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten eines Energieträgers genau zu untersuchen und auf dieser Basis die jeweils energie- und kostengünstigste Anwendung zu ermitteln. In der Zukunft wird es sich herauskristalisieren, ob der Heizenergieverbrauch für Wohn-, Büro- und Verwaltungsbauten durch wärmetechnische Maßnahmen und den Einsatz rationeller Energieumwandlungssysteme gegenüber dem heutigen Stand um über 50% reduziert werden konnte.

Die Heizwärme wird (nur) am Ort und zum Zeitpunkt des Bedarfs nach den individuellen Nutzerwünschen bereitgestellt. Hierfür sind Anlagen auch für kleinste Leistungen und mit schneller Regelbarkeit erforderlich. Ein Teil der Heizenergie und nahezu das gesamte Warmwasser kann z. B. über ein im Dach und in der Fassade integriertes Solarsystem erzeugt werden. Der Stromverbrauch der Gebäude wird sich in Zukunft gegenüber heute kaum verändern.

### **1.1.3 Gesetzliche Rahmenbedingungen**

#### **1.1.3.1 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)**

Zweck des BImSchG ist es, Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen (wie Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge) zu schützen. Das BImSchG enthält Vorgaben und Vorschriften u. a. für die Errichtung und den Betrieb von Feuerungsanlagen. Eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung nach dem BImSchG ist für alle Anlagen erforderlich, die »in besonderem Maße geeignet sind, schädliche Umwelteinwirkungen hervorzurufen« (Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) vom 11. August 2009)).

#### **1.1.3.2 Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft)**

Bei der TA-Luft handelt es sich um eine Allgemeine Verwaltungsvorschrift auf der Grundlage des BImSchG. Diese beinhaltet die Umsetzung der im Letzteren nicht genauer festgelegten gesetzlichen Anforderungen für genehmigungsbedürftige Anlagen in Form von Grenzwerten. Die TA-Luft von 1974 wurde 1983 erstmals novelliert. Dabei wurden nach dem eingeführten Vorsorgeprinzip Auflagen für genehmigungspflichtige Anlagen so formuliert, dass die Anforderungen umso schärfer wurden, je größer das Risikopotenzial der betroffenen Schadstoffe eingestuft wurde. Die TA-Luft enthält einzuhaltende Emissionswerte, Grenzwerte, Immissionswerte und im Besonderen Schwellenwerte für staub- und gasförmige Stoffe.

#### **Die neuen Feinstaubregelungen**

Holz- und Holzpellets sind umweltfreundliche, nachwachsende Brennstoffe, die bei ihrer Verbrennung nicht mehr CO<sub>2</sub> freisetzen, als beim Wachstum der Pflanze gebunden wurde. Gleichzeitig vermindern sie die Abhängigkeit von importierten Energieträgern wie Gas und

Heizöl. Kritisch wird bei der Verbrennung von Festbrennstoffen allerdings der in technisch veralterten Feuerstätten entstehende Feinstaub.

Die rasant gestiegene Anzahl der mit Feststoff betriebenen Feuerungsanlagen ließ den ausgestoßenen Feinstaub drastisch steigen. Aus diesem Grund will die Bundesregierung mit ihrem Referentenentwurf zur Novellierung des ersten BImSchG den Feinstaubausstoß von mit Festbrennstoff betriebenen Feuerstätten begrenzen. Für die betroffenen Feuerstätten bleibt viel Zeit zur Nachrüstung. Sollte der Referentenentwurf zur verbindlichen Verordnung werden, dann ist mit folgenden Regelungen zu rechnen:

**Tab. 1-1:** Feuerungsanlagen-Nachrüstfristen (Quelle: IB-THEISS, München)

Zeitpunkt der Zulassung *	Nachrüstung erforderlich
vor 1975 **	bis 2014
1975 bis 1984	bis 2017
1985 bis 1994	bis 2020
ab 1995	bis 2024
* (vgl. Typenschild) ** oder wenn kein Typenschild vorhanden ist	

Die erste Stufe des Referentenentwurfs betrifft sämtliche Einzelfeuerungsanlagen, deren Typenprüfung vor 1975 erfolgte. Deren Betreiber müssen mithilfe der Zulassung (Typenschild) oder durch eine Feinstaubprüfung dem zuständigen Bezirksschornsteinfegermeister bis 2014 nachweisen, dass die Feuerstätte nicht mehr als 100 mg/m<sup>3</sup> Feinstaub ausstößt. Übersteigt der Wert diese Grenze, müssen sie die Anlage stilllegen oder nachrüsten lassen. Seit Anfang 2008 sind nachrüstbare Feinstaubfilter erhältlich. Bis 2014 sollen dann sämtliche alten Feuerstätten den Anforderungen der Stufe 1 genügen. Fast allen heute erhältlichen Heizanlagen droht weder eine Stilllegung noch ein Filterzwang. Sie erfüllen bereits – unabhängig von der Preisklasse – die geforderten Grenzwerte. Feuerstätten, die nach Inkrafttreten der Verordnung zugelassen werden, sollen maximal 60 mg/m<sup>3</sup> Feinstaub ausstoßen. Ab 2015 sollen nur noch 20 mg/m<sup>3</sup> zugelassen sein. Die Feuerstätten- und Schornsteinhersteller arbeiten daran, dieses ehrgeizige Ziel zu erfüllen. Nutzer, die bereits jetzt einen Kamin-, Kachelofen oder eine Holzpelletsheizung installieren möchten, sollten gezielt nach Anlagen mit niedrigem Feinstaub- und CO<sub>2</sub>-Ausstoß fragen. Diese Anforderungen werden bereits durch Geräte und Komponenten in der unteren Preisklasse erfüllt. Als Kennzeichnung für die über die Normkennzeichnung hinausgehenden Qualitätsmerkmale sind die Qualitätssiegel DINplus, Blauer Engel und das EFA-Siegel zu nennen. Da sich Schornsteine mit keramischem Innenrohr für sämtliche Feuerstätten eignen, besteht kein Grund, auf eine Nutzung der umweltfreundlichen Brennstoffe, z. B. mit einer Holzheizung, als preiswerte und umweltfreundliche Alternative zu Erdgas- oder Ölheizungen zu verzichten.

### 1.1.3.3 Zentrale Stromerzeugung

Elektrischer Strom wird heute überwiegend in großen thermischen Kraftwerken oder Kernkraftwerken erzeugt und über ausgedehnte Versorgungsnetze an die Verbraucher geliefert. Bei der Stromerzeugung und beim Transport entstehen jedoch beachtliche Verluste. Aus diesem Grund erreicht die zentrale Stromerzeugung in der Regel nur Wirkungsgrade zwischen 40 und 50%. Da etliche Großkraftwerke in absehbarer Zeit altersbedingt stillgelegt werden müssen, sollte längerfristig eine Unterstützung der Stromerzeugung in Form von dezentralen rationellen Energieumwandlern erfolgen. Zur Umsetzung der Energieumwandlungsvarianten sind die TA-Luft und das BImSchG zu beachten.

Die dezentrale Stromerzeugung basiert auf der Idee, anstelle der zentralen Stromerzeugung in Großkraftwerken kleine Stromerzeuger (z. B. Kleinst-Wärmekopplung und/oder Brennstoffzellengeräte) in unmittelbarer Nähe der Verbrauchsstellen einzusetzen. Durch die entfallenden oder stark verkürzten Transportwege werden nicht nur die Energieverluste deutlich verringert, sondern zusätzlich lässt sich in der Regel auch die bei der Stromerzeugung anfallende Wärme vor Ort nutzen (Kraft-Wärme-Kopplung). Aus diesem Grund gilt die dezentrale Stromerzeugung als zukunftsorientierte, umwelt- und ressourcenschonende Alternative bzw. als Ergänzung zu Großkraftwerken.

Zahlreiche neue Gesetze (z. B. KWKG-Gesetz, Erneuerbare-Energien-Gesetz) fördern die Dezentralisierung. Unter bestimmten Voraussetzungen können viele dezentrale Stromerzeuger auch zu einem virtuellen Kraftwerk zusammen geschaltet werden. Zur Optimierung und Koordination der Stromerzeugung ist dann ein Dezentrales Energiemanagement (DEMS) erforderlich.

In der Elektrizitätswirtschaft haben die Systeme zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung auf Basis von Brennstoffzellen und Mikrogasturbinen zwischenzeitlich eine große Bedeutung erreicht und ihre Amortisation und Rentabilität aufgrund von Langzeitmessungen und Auswertungen bewiesen.

### 1.1.4 Energiearten

Die Erscheinungsformen der Energie erstrecken sich über:

- mechanische Energie (potenzielle und kinetische)
- thermische Energieformen (innere Energie, Enthalpie)
- chemische Bindungsenergie
- physikalische Bindungsenergie
- elektrische Energie
- elektromagnetische Strahlung.

#### Primärenergie-Sekundärenergieumwandlung

- Kraft-Wärme-Kopplung
- Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

Bei der rationellen Energieanwendung bzw. Energieumwandlung handelt es sich um Energieumwandlungsmaßnahmen, die eine orts-, zeit- und umweltgerechte Versorgung der Nut-

zungsenergie unter Einsatz eines Minimums an Primärenergie ermöglichen. Als Möglichkeiten der rationellen Energieanwendungen lassen sich nachfolgend aufgeführte Sekundärenergieumwandlungen realisieren:

### **Sekundärenergie-Sekundärenergieumwandlung**

- Blaubrennersystem
- Lambda-Steuerung
- Brennwerttechnologie
- Solarthermieeinbindungen
- Wärmepumpeneinsatz
- Kraft-Wärme-Kopplung
- Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung.

#### **1.1.4.1 Energiewertigkeit der Wärme**

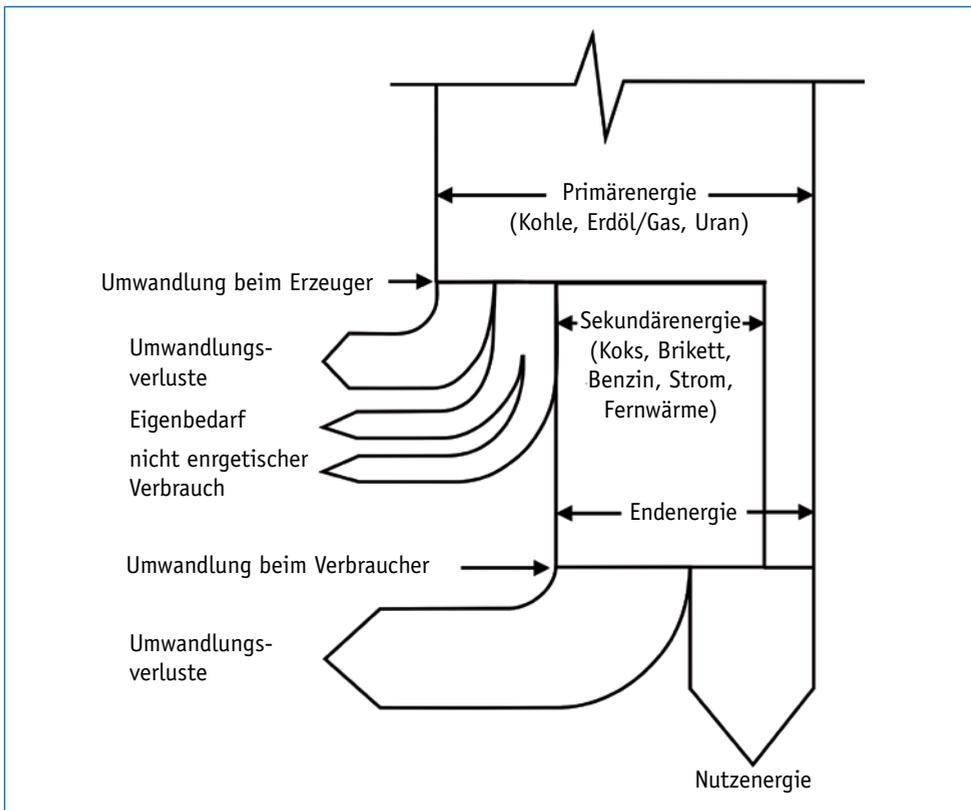
Die Energiewertigkeit dient als Maß für die Arbeitsfähigkeit der Wärme. Da die Wertigkeit einer speziellen Energie durch die aus ihr maximal erreichbare Arbeit, d. h. ihre Exergie, definiert ist, kann auch die Wertigkeit nicht absolut angegeben werden. Es können nur Wertigkeiten bei unterschiedlichen Temperaturen, jeweils bezogen auf die Umgebungstemperatur, z. B.  $T_0 = 288 \text{ K} = 15 \text{ °C}$ , miteinander verglichen werden.

#### **1.1.4.2 Energiebegriffe und Umwandlungen**

**Primärenergie**, d. h. Zustandsänderung ohne einschränkende Bedingung.

Die Primärenergie enthält den Energieinhalt von Energieträgern, die noch keiner Umwandlung unterworfen wurden, z. B. chemische Brennstoffenergie. In den meisten Fällen muss diese Primärenergie in den Kraftwerken, Raffinerien etc. in Sekundärenergie umgewandelt werden (Koks, Briketts, Strom, Fernwärme, Heizöl oder Benzin). Zu den Energieträgern mit rechnerisch nutzbarem Energiegehalt, die in der Natur vorkommen und noch keiner Umwandlung unterworfen sind, zählen die fossilen Energieträger Stein- und Braunkohle, Erdöl und Erdgas, Kernbrennstoffe (nukleare Brennstoffenergie) sowie regenerative Energien (Geothermie, Gezeitenenergie, Sonnenenergie, Wasser- und Windkraft).

Die fossilen Brennstoffe wie Braun- und Steinkohle, Erdöl und Erdgas sind weltweit die am meisten genutzte Energiequelle, können aber nicht nachwachsen und stehen daher nur für einen begrenzten Zeitraum als Vorräte zur Verfügung. Durch die massiven Eingriffe beim Abbau der Rohstoffe und aufgrund der Rückstände aus der Verbrennung bereiten die fossilen Brennstoffe aber auch eines der größten globalen Umweltprobleme. Die Primärenergie wird bis zum Verbraucher über die Endenergie in Nutzenergie umgewandelt. In Deutschland ist Mineralöl mit 39 % der wichtigste Energieträger, gefolgt von Erdgas mit 21 % und Steinkohle mit 13 %. Die regenerativen Energieträger decken derzeit ca. 2 % des Primärenergieverbrauchs ab.



**Abb. 1-1:** Energiebegriffe (Quelle: IB-THEISS, München)

### Sekundärenergie

In den meisten Fällen wird die Primärenergie in Sekundärenergie umgewandelt. Hierbei stellt die Sekundärenergie gleichzeitig auch die Endenergie dar, nicht aber bei den natürlichen Umwandlungsmodi der Strahlungsenergie der Sonne.

### Endenergie

Die Endenergie ist die vom Betreiber für einen bestimmten Anwendungszweck einzusetzende, auf dem Energiemarkt zur Deckung des Nutzenergiebedarfs »eingekaufte« oder als Sonnenstrahlung kostenlos zur Verfügung stehende Energieart. Die Endenergie wird auch als »Sekundärenergie« definiert. Für die Verwendung als Wärmeenergie ist dies z. B. das in Raffinerien aus Rohöl (Primärenergie) aufbereitete leichte Heizöl, die aus Kohle oder Uran erzeugte elektrische Energie, etc. Der Begriff »Endenergie« wird auch in dem Zusammenhang verwendet, um hiermit die zur Deckung eines Energiebedarfs »eingekaufte« Energie zu definieren.

### Nutzenergie

Die Naturvorkommen wie Stein- und Braunkohle, Erdöl oder Erdgas und regenerative Energiequellen werden in Kraftwerken zu Nutzenergie umgewandelt und dienen zur Deckung des

Energiebedarfs verschiedener Energiedienstleistungen. Die Nutzenergie ist kleiner als die Endenergie und entsteht aus der Umwandlung der Primärenergie und wird als Heiz- und Prozesswärme sowie als elektrischer Strom genutzt.

**Tab. 1-2:** Vorsätze und Vorzeichen (Quelle: IB-THEISS, München)

Vorsatz	Abkürzung	Wert		Vorsatz	Abkürzung	Wert	
Kilo	k	$10^3$	Tausend	Milli	m	$10^{-3}$	Tausendstel
Mega	M	$10^6$	Million	Mikro	$\mu$	$10^{-6}$	Millionstel
Giga	G	$10^9$	Milliarde	Nano	n	$10^{-9}$	Milliardstel
Tera	T	$10^{12}$	Billion	Piko	p	$10^{-12}$	Billionstel
Peta	P	$10^{15}$	Billiarde	Femto	f	$10^{-15}$	Billiardstel
Exa	E	$10^{18}$	Trillion	Atto	a	$10^{-18}$	Trillionstel

**Tab. 1-3:** Umrechnung der Energieeinheiten (Quelle: IB-THEISS, München)

Einheit	Bezeichnung	Umrechnung in kj
kj	Kilojoule	
kWh	Kilowattstunden	1 kWh = 3.600 kJ
kg SKE	Kilogramm Steinkohleeinheiten	1 kg SKE = 29.308 kJ
kg RÖE	Kilogramm Rohöleinheiten	1 kg RÖE = 41.868 kJ
m <sup>3</sup> -Erdgas	Kubikmeter Erdgas	1 m <sup>3</sup> Erdgas = 31.736 kJ

**Tab. 1-4:** Umrechnungsfaktoren unterschiedlicher Energieeinheiten (Quelle: IB-THEISS, München)

	kj	kWh	kg SKE	kg RÖE	m <sup>3</sup> -Erdgas
1 Kilojoule (1kJ = 1000 Ws)	1	$0,278 \cdot 10^{-3}$	$0,034 \cdot 10^{-3}$	$0,024 \cdot 10^{-3}$	$0,032 \cdot 10^{-3}$
1 Kilowattstunde (kWh)	3.600	1	0,123	0,086	0,113
1 kg Steinkohle- einheit (SKE)	29.308	8,14	1	0,70	0,923
1 kg Rohöleinheit (RÖE)	41.868	11,63	1,428	1	1,319
1 m <sup>3</sup> -Erdgas	31.736	8,816	1,083	0,758	1

### Anlagenaufwandszahl

Die Anlagenaufwandszahl ist die wesentliche Kenngröße, die bei der Berechnung des Primärenergiebedarfs eines Gebäudes nach DIN V 4701-10 gebildet wird. Die Anlagenaufwandszahl ( $e_p$ ) ist definiert als der Quotient des Primärenergiebedarfs eines Gebäudes bezogen auf die Summe aus Heizwärme- und Trinkwarmwasserbedarf. Sie entspricht damit dem Kehrwert des Anlagenwirkungsgrads.

## Die Primärenergiefaktoren ( $f_p$ )

Der Primärenergiefaktor ist für die unterschiedlichen Primärenergien wie folgt anzusetzen:

### Brennstoffe:

Heizöl (EL)	1,1	Steinkohle	1,1
Erdgas (H)	1,1	Braunkohle	1,1
Flüssiggas	1,1	Holz	1,1

### Nah-/Fernwärme aus KWK:

fossiler Brennstoff	0,7
erneuerbarer Brennstoff	0,0

### Nah-/Fernwärme aus Heizwerken:

fossiler Brennstoff	1,3
erneuerbarer Brennstoff	0,1

### Strom:

Strom-Mix	3,0
Speicherheizung in Kombination mit einer Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung	2,0.

**Tab. 1-5:** Brennstoffe und Primärenergiefaktoren (Quelle: IB-THEISS, München)

Brennstoff	Primärenergiefaktor	Energiegehalt
Heizöl EL	1,1	10,0 kWh/l
Erdgas H	1,1	10,4 kWh/m <sup>3</sup>
Flüssiggas	1,1	12,8 kWh/kg
Steinkohle	1,1	9,0 kWh/kg
Braunkohle	1,2	7,0 kWh/kg
Brennholz	0,2	4,2 kWh/kg
Holzpellets	0,2	4,9 kWh/kg
Strommix	0,2	1,0 kWh/kWh

Die Energieträger weisen verschiedene Primärenergiefaktoren auf, die den Energieaufwand vorgelagerter Prozessketten außerhalb der Systemgrenze »Gebäude« berücksichtigen.

Dazu gehören Verluste bei der Gewinnung, der Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe von der Quelle bis zum Verbraucher. Das Maß für die Ausnutzung der eingesetzten Primärenergie zur Bereitstellung der für einen gegebenen Anwendungszweck erforderlichen Nutzenergie wird mit dem Primärenergienutzungsgrad umschrieben. Je nach Führung des Umwandlungsprozesses kann der Primärenergienutzungsgrad sehr unterschiedlich sein.

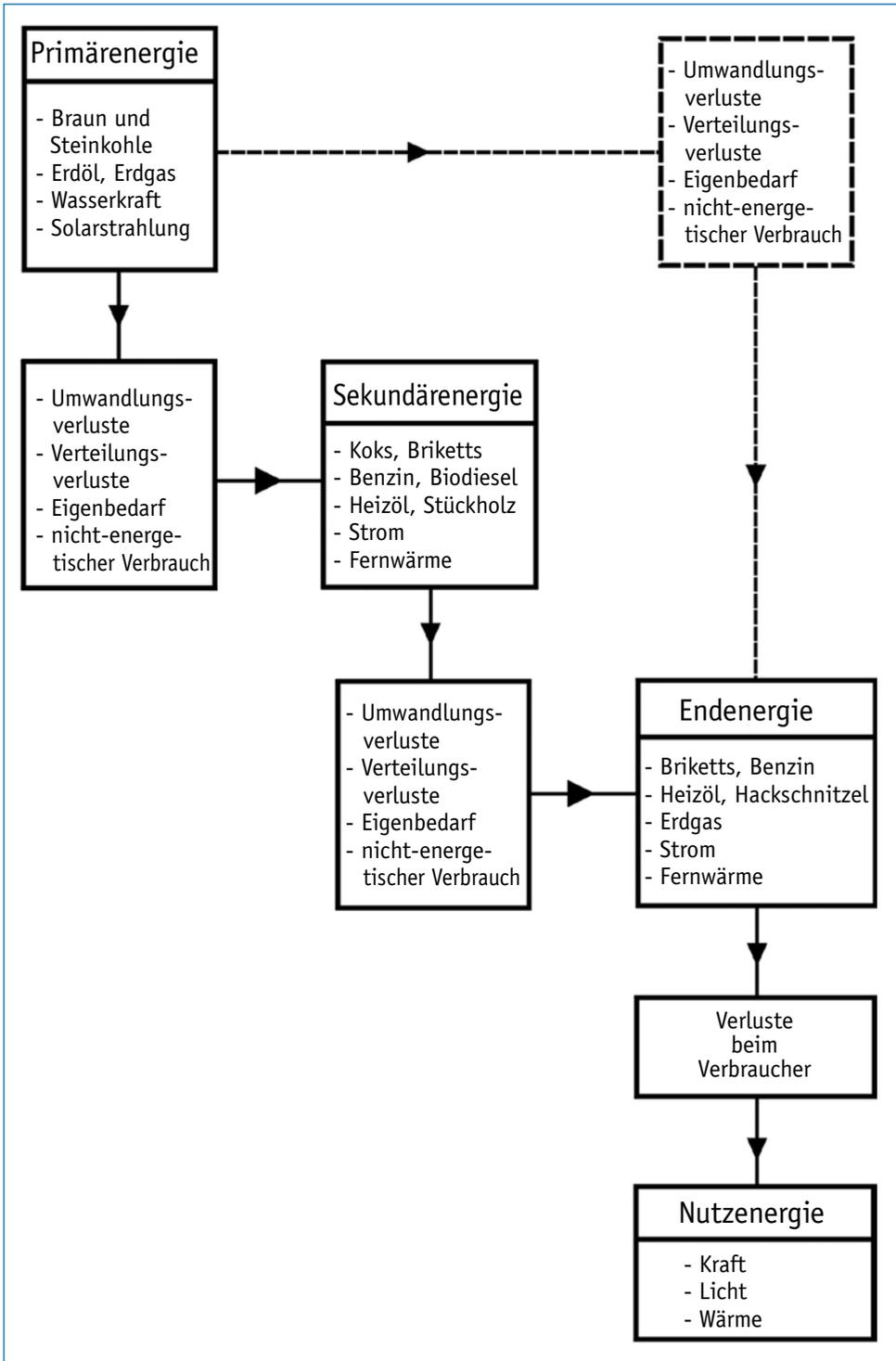


Abb. 1-2: Energieumwandlungskette (Quelle: IB-THEISS, München)

Für die Energiedienstleistung Raumwärme wird die im Kraftwerk zur Elektrizitätserzeugung eingesetzte und dann nur in Wärme umgewandelte Primärenergie des Erdöls also nur halb so gut genutzt wie die direkte Verbrennung als leichtes Heizöl im Ölwärmeerzeuger.

Ein noch höherer Primärenergienutzungsgrad wird bei der Nutzung der Strahlungsenergie mit einer Wärmepumpe erreicht.

### 1.1.4.3 Energiebilanz für technische Systeme

Die Energiebilanz für technische Systeme erfolgt durch eine Gegenüberstellung der in ein System eintretenden bzw. austretenden Energieströme.

In den Bereich der rationellen Energieanwendungen fallen sämtliche Wirkungsgrad erhöhende Maßnahmen an Energiewandlern, gleich welcher Energieumwandlungsstufe: vom Energierohstoff zur Primärenergie, von ihr zur Sekundärenergie, zur Endenergie, zur Nutzenergie, zu den Energiedienstleistungen. Bei sämtlichen energetischen Kopplungsprozessen, z. B. Kraft-Wärme-Kopplung oder Blockheizkraftwerke, handelt es sich um rationelle Energieanwendungen. Die großen Potenziale der rationellen Energieanwendungen liegen jedoch in den Verfahrensänderungen in den Bereichen der Haushalte, der Industrie sowie im Transport- und im Verkehrsbereich, wobei die Unterteilung in drei Sektoren unterteilt werden kann:

#### Primärenergie-/Sekundärenergieumwandlung

Steinkohlenkraftwerke moderner Bauart haben Wirkungsgrade von 38 bis 40%, sie benötigen  $\leq 320 \text{ g Kohle/kWh}_{\text{el}}$ . Wird die Kohle in einem vorangehenden Schritt vergast und von mitgeführten Partikeln gereinigt, dann kann dieses Kohlegas, analog dem Erdgas, als Energielieferant für einen Kombi-Gas- und Dampfturbinen (G+D)-Prozess mit einem Wirkungsgrad von 44% und mehr genutzt werden. In den Fällen, wenn anstelle der Kondensationskraftwerke, die Strom liefern, Kraftwerke in Kraft-Wärme-Kopplung mit Gegendruckturbinen und Wärmeauskopplung zur industriellen Prozesswärme- oder Fernwärmennutzung betrieben werden, steigt der Wirkungsgrad der Primärenergie-/Sekundärenergieumwandlung weiter an.

Das Erdgas deckt in Deutschland rund 22% des Primärenergieverbrauchs und ist die wichtigste Heizenergie. Inzwischen werden fast 50% der Wohnungen mit dieser Energie beheizt, in Neubauten sogar mehr als 75%. Diese Position verdankt Erdgas neben seiner Wirtschaftlichkeit und den zahlreichen Anwendungsvorteilen auch seinen Umwelteigenschaften: Es ist der emissionsärmste fossile Brennstoff; bei seiner Verbrennung entstehen so gut wie kein Schwefeldioxid, Ruß oder Staub. Der  $\text{CO}_2$ -Ausstoß ist ebenfalls vergleichsweise gering ( $\text{CO}_2$  gilt als wichtigstes klimabelastendes »Treibhausgas«). Ein weiterer Vorteil betrifft speziell die Brennstoffzelle. Aus Erdgas lässt sich mit vergleichsweise geringem Aufwand Wasserstoff gewinnen. Es hat von allen fossilen Brennstoffen das beste Kohlenstoff-Wasserstoff-Verhältnis, da es überwiegend aus Methan ( $\text{CH}_4$ ) besteht. Außerdem ist eine gut ausgebaute Versorgungsinfrastruktur vorhanden. Deshalb ist Erdgas kurz- und mittelfristig der wichtigste Wasserstofflieferant für stationäre Brennstoffzellen, langfristig gilt es als Brücke zur Wasserstoffwirtschaft.

## **Sekundärenergie-/Nutzenergieumwandlung**

Mit dem Begriff Nutzenergie wird die Energie definiert, die beim Verbraucher nach der letzten Umwandlung für den jeweiligen Zweck zur Verfügung steht. Es handelt sich um die technische Form der Energie, die der Verbraucher für den jeweiligen Zweck letztlich benötigt, also z. B. Wärme, mechanische Energie, Schall, Nutzelektrizität für Galvanik oder Elektrolyse und elektromagnetische Strahlung (z. B. Licht). Blaubrennende Ölbrenner für den Einsatz in Gebäudeheizungssysteme nutzen die Rezirkulation sauerstoffhaltiger heißer Feuerungsgase zur Vorverdampfung des Brennstoffs und haben daher im Vergleich zu den »Gelbbrennern« einen besseren Wirkungsgrad. Da »Blaubrenner« rußfrei verbrennen und somit die nachgeschalteten Register nicht verschmutzen, können sie auch als Energielieferant für Sorptionswärmepumpen dienen. Beides sind Schritte der rationellen Energieanwendung, wobei der letztere Schritt der rationellen Energieanwendung in Kombination mit der Nutzung der Sonnenenergie (Umgebungswärme) erfolgt.

## **Wandlung der Nutzenergie in Energiedienstleistungen**

Eine höchsteffiziente Sonnenenergienutzung mit thermischen Kollektoren ist wenig sinnvoll, wenn das Gebäude, dem diese Energienutzung dient, nicht ausreichend gut wärmedämmend ist. Ein großer Teil der solaren Nutzenergie dient dann nicht der Erwärmung des Gebäudes, sondern der Dissipation durch Wände und Dach in die Umgebung. Die Endenergie wird auch als »Sekundärenergie« definiert und ist die vom Betreiber für einen bestimmten Anwendungszweck einzusetzende, auf dem Energiemarkt zur Deckung des Nutzenergiebedarfs eingekaufte oder als Sonnenstrahlung kostenlos zur Verfügung stehende Energieart. Dem Anwender wird daher nach der Umwandlung aus Primärenergien die »Endenergie«, z. B. in Form von Wärme oder Licht, zur Verfügung gestellt. Für die Verwendung als Wärmeenergie ist dies z. B. das in Raffinerien aus Rohöl (Primärenergie) aufbereitete leichte Heizöl, die aus Kohle oder Uran erzeugte elektrische Energie, etc. Je nach Verfahren kann aus der im Rohstoff enthaltenen Primärenergie unterschiedlich viel Endenergie »erzeugt« werden. Da diese Umwandlung wirkungsgradbehäftet ist, lassen sich geringe Umwandlungsverluste nicht vermeiden.

### **1.1.5 Energieeffizienz: Energieprofil von Gebäuden**

Die Mitgliedstaaten der Europäischen Union haben Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz neuer und bestehender Gebäude festzulegen. Zudem ist für die Erstellung von Energieausweisen für Gebäude Sorge zu tragen und regelmäßige Inspektionen von Wärmeerzeugern, RLT- und Klimaanlage in Gebäuden sicherzustellen. Als Basis dient die Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über das Energieprofil von Gebäuden. Die Richtlinie gründet sich auf vier Hauptelemente:

- eine gemeinsame Methode zur Berechnung der integrierten Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden
- Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz neuer Gebäude wie auch bestehender Gebäude, die einer größeren Renovierung unterzogen werden sollen

- Zertifizierungssysteme (Erstellung von Energieausweisen) für neue und bestehende Gebäude und – wenn es sich um öffentliche Gebäude handelt – die Anbringung der Energieausweise und anderer relevanter Informationen; die Ausweise sollten nicht älter als fünf Jahre sein
- regelmäßige Inspektion von Wärmeerzeugern und zentralen RLT- sowie Klimaanlage in Gebäuden sowie Überprüfung von Heizungsanlagen, deren Wärmeerzeuger mehr als 15 Jahre alt sind.

Die gemeinsame Berechnungsmethode sollte alle für die Energieeffizienz wichtigen Elemente und nicht nur die Qualität der Gebäudeisolierung einbeziehen. Dieses integrierte Konzept sollte unter anderem Heiz- und Kühlanlagen, Beleuchtungsanlagen sowie die Lage und Ausrichtung des Gebäudes, die Rückgewinnung von Wärme usw. berücksichtigen.

Die Mindestanforderungen an Gebäude werden auf der Grundlage der oben beschriebenen Methode berechnet. Die Mitgliedstaaten sind verpflichtet, Mindestnormen festzulegen.

### **Geltungsbereich**

Die Richtlinie betrifft den Wohnsektor und den Dienstleistungssektor (Büros, öffentliche Gebäude usw.). Bestimmte Gebäude, z. B. historische Bauten, Industrieanlagen usw., sind von den Zertifizierungsvorschriften ausgenommen. Die Richtlinie deckt sämtliche Aspekte der Energieeffizienz von Gebäuden ab.

### **Energieausweise, Mindestanforderungen und Inspektionen**

Die Ausweise sind bei Bau, Verkauf oder Vermietung eines Gebäudes vorzulegen. Zum einen zielt die Richtlinie speziell auf die Vermietung ab, damit gewährleistet ist, dass die Eigentümer, die in der Regel nicht für die Energiekosten aufkommen, die notwendigen Maßnahmen durchführen. Zum anderen ist auch vorgesehen, dass die Nutzer (von Gebäuden) den Eigenverbrauch an Heizenergie und Warmwasser selbst regeln können, soweit die entsprechenden Maßnahmen kosteneffizient sind.

Den Mitgliedstaaten obliegt die Festlegung von Mindestnormen. Auch müssen sie sicherstellen, dass die Erstellung der Energieausweise und die Inspektion der Gebäude durch qualifiziertes und unabhängiges Personal erfolgen.

In der Europäischen Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamteffizienz von Gebäuden (EPBD-Energy Performance of Buildings Directive) wird in Artikel 9 die periodische Inspektion von Lüftungs-Klimaanlagen gefordert:

*»Zur Senkung des Energieverbrauchs und zur Begrenzung der Kohlendioxidemissionen treffen die Mitgliedstaaten die erforderlichen Maßnahmen, um die regelmäßige Inspektion von Klimaanlagen mit einer Nennleistung von mehr als 12 kW zu gewährleisten. Die Inspektion umfasst eine Prüfung des Wirkungsgrads der Anlage und der Anlagendimensionierung im Verhältnis zum Kühlbedarf des Gebäudes. Die Nutzer erhalten Hinweise für mögliche Verbesserungen oder für den Austausch der RLT- und Klimaanlage sowie für Alternativlösungen.«*

In den umfangreichen neu beschlossenen Gesetzen zur Energieeffizienz und erneuerbaren Energien ist die Thematik des Energieausweises fast untergegangen. Die EnEV und der Energieausweis zwingen aktuell zur energieeffizienten Planung und schreiben gleichzeitig die Mindeststandards vor. Der bedarfsorientierte Energieausweis erweist sich als ein gutes

Hilfsmittel, um den Energieverbrauch der Gebäude zu senken. Gleichzeitig bringt der Energieausweis dem Vermieter und Verkäufer die Möglichkeit in Energieeffizienz zu investieren und die im Energieausweis vorgeschlagenen Sanierungsmaßnahmen umzusetzen.

Der Energieausweis, der eine Auskunft über den Gesamtenergieverbrauch von Gebäuden vermittelt, ist nun auch für Nichtwohngebäude vorgeschrieben. Für Nichtwohngebäude im Bestand wird der Energieausweis zum 1. Juli 2009 zwingend gefordert. Erfasst werden hier in der Gesamtenergiebilanz von Wohngebäuden die Heizkosten sowie die Kosten zur Warmwasseraufbereitung: Für Nichtwohngebäude werden bei der Verbrauchsermittlung auch die Werte aus der Raumlufttechnik, Kühlung und Beleuchtung hinzugezogen.

Zur Erstellung des Gebäudeenergieausweises ist zudem die DIN EN 15217 (2007-09) zu beachten, die nachfolgend aufgeführte Kriterien festlegt:

- Gesamtkennwerte zur Darstellung der Energieeffizienz von Gebäuden, einschließlich der Heiz-, Raumluft-, Luftkonditionierungs-, Kühlungs-, Trinkwasser- und Beleuchtungssystemen.
- Möglichkeiten zur Darstellung der energiebezogenen Anforderungen an die Planung neuer oder die Renovierung bestehender Gebäude.
- Verfahren zur Festlegung von Bezugswerten.
- Möglichkeiten zur Entwicklung eines Verfahrens zur Erstellung des Gebäudeenergieausweises.

Wenn das Ziel erreicht wird, den Neubaustandard nach der EnEV um 30% zu unterschreiten, dann erhält der Nutzer von der Kreditanstalt für Wiederaufbau derzeit nicht nur einen günstigen Kredit, sondern auch noch 12,5% der Investition erstattet. Besonders günstig stellt sich hier auch die Investition einer Klein-KWK-Anlage dar.

### 1.1.5.1 Energieeinsparverordnung (EnEV)

#### Chronik/(bisherige Systematik)

1977, 1. Wärmeschutzverordnung:  $k_{\max}$  in Abhängigkeit zum A/V-Verhältnis

1984, 2. Wärmeschutzverordnung: Erhöhung der Anforderung  $k_{\max}$  in Abhängigkeit zum A/V-Verhältnis, zzgl. Fensterdichtigkeit

1995, 3. Wärmeschutzverordnung: Einführung des zulässigen Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit zum A/V-Verhältnis

2002, 1. EnEV: zulässiger Primärenergiebedarf ( $Q_p$ ) in Abhängigkeit zum A/V-Verhältnis, Integration der Anlagentechnik; Unterscheidung Wohn- und Nichtwohngebäude

2004, 2. EnEV: Anpassung an die aktualisierten DIN-Normen

2007, 3. EnEV: Einführung eines Nachweisverfahrens für Nichtwohngebäude unter Berücksichtigung der Raumlufttechnik, Kühlung und Beleuchtung auf der Basis der DIN V 18599. Einführung des Verbrauchsausweises (messtechnisch) und des Bedarfsausweises (rechnerisch) mit Darstellung des Primär- und des Endenergiebedarfs des Gebäudes.

Mit der Novellierung der EnEV 2007 im Januar 2009 und dem Erneuerbare-Energien-Wärme-gesetz (EEWärmeG) soll eine weitere Reduzierung der Schadstoffemissionen, insbesondere der  $\text{CO}_2$ -Konzentration erreicht werden.

### 1.1.5.2 Neuerungen in der EnEV 2007

Die seit 01.10.2007 geltende neue EnEV 2007 verpflichtet u. a. schrittweise zur Erstellung und Vorlage von Energieausweisen. Ab 01.07.2009 müssen die Energieausweise in öffentlichen Dienstleistungsgebäuden, wie beispielsweise Hallenbäder, mit einer Nutzfläche über 10.000 m<sup>2</sup> und einem regelmäßigen Publikumsverkehr gut sichtbar ausgehängt werden. Da die Hallenbäder gegenüber anderen Gebäudekategorien einen vergleichsweise hohen Energieverbrauch aufweisen, stellt sich hier die Frage nach der Energieeffizienz umso deutlicher.

Das integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung (IEKP) wird in 2009 weiter umgesetzt. Nach der Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) und der Einführung des Wärmegesetzes (EEWärmeG) folgen ab Januar 2009 auch neue Regelungen für die EnEV und die Heizkostenverordnung (HeizkostenV).

### 1.1.5.3 Neuerungen in der EnEV 2009

Am 18. März 2009 hat die Bundesregierung die Novellierung der EnEV 2009 beschlossen. Die energetischen Standards für Gebäude wurden sowohl beim baulichen Wärmeschutz als auch bei der technischen Gebäudeausrüstung verschärft. Die Neuregelungen gelten für den Neu- ebenso wie für den Altbau:

- Die primärenergetischen Anforderungen an Neu- und Altbauten sollen durchschnittlich um rund 30 % angehoben werden. Bis 2012 sollen möglicherweise weitere 30 % folgen.
- Dämmung ungedämmter, begehbare, oberster Geschossdecken bis Ende 2011, wenn das darüber liegende Dach ungedämmt ist.
- Ab 2020: Langfristige, schrittweise Außerbetriebnahme von Nachtstromspeicherheizungen in bestimmten Gebäuden.

Unternehmen müssen Nachweise über die Einhaltung der Vorschriften bei Modernisierungen erbringen. Die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen bei heizungstechnischen Anlagen wird durch Sichtkontrollen der Bezirksschornsteinfegermeister überwacht.

Mit dem sogenannten Referenzgebäudeverfahren wird ein neues Berechnungsverfahren eingeführt.

Weitere Neuerungen im Überblick:

- Die Bilanzierungsmethode der DIN V 18599, bisher nur für Nichtwohngebäude geltend, soll auf Wohngebäude in einer einfacheren Version ausgeweitet werden.
- Das bisherige vereinfachte Nachweisverfahren zur Ermittlung des Jahresprimärenergiebedarfs soll aufgegeben werden. Für die Gebäudehülle werden neue Referenzwerte formuliert.
- Das Nachrüsten von Heiztechnik im Altbau wird neu geregelt.

### Heizkostenverordnung

Die neue HeizkostenV, in der das verbrauchsabhängige Abrechnen der Heiz- und Warmwasserkosten festgelegt ist, erhöht den verbrauchsabhängigen Anteil bei der Heizkosten-

abrechnung von 50 auf 70%. Insofern werden z. B. die Warmwasser- und Heizungskosten in gedämmten Häusern mit moderner und effizienter Heiztechnik mit 70% verbrauchsabhängig abgerechnet. Hierdurch sollen die Nutzer von Wohnungen und Gewerbebauten zu einem sparsamen Heizverhalten motiviert werden. Die neue Verordnung gilt für Gebäude, die ein bestimmtes Dämmniveau nicht überschreiten. Mehrfamilienhäuser im Passivhausstandard sind von der Verbrauchserfassungspflicht befreit. Mieter dürfen nach dem gelten der Novelle ihre Miete kürzen, wenn der Vermieter seiner Nachrüstungsverpflichtung beim Wärmeerzeuger nicht nachgekommen ist.

#### **1.1.5.4 Anwendung der EnEV auf den Gebäudebestand**

Die Bewertung von Bestandsgebäuden stellte seit der Einführung der EnEV im Februar 2002 ein ungelöstes Problem dar. Mit der Veröffentlichung einer neuen Norm und einer sie ergänzenden technischen Spezifikation ergeben sich neue Möglichkeiten für die primärenergetische Bewertung von Bestandsanlagen. Die Zielsetzung der EnEV ist es, den Energieverbrauch für die Beheizung und Warmwasserbereitung von Gebäuden nachhaltig zu begrenzen und zu reduzieren.

Mit der Umsetzung der BEG-Richtlinie 2002/91/EG wird unter anderem der Energiepass für Neu- und Altbauten sowie die Einbeziehung des Energiebedarfs für die Beleuchtung und die Klimatisierung von Nichtwohngebäuden in die energetische Bewertung von Gebäuden zur Pflicht, sodass spätestens dann Klarheit für Bestandsgebäude vorliegen wird.

Bei der Modernisierung und Instandsetzung von Bestandsgebäuden bestehen derzeit zwei Möglichkeiten die Vorgaben der EnEV einzuhalten:

Entweder das Bauteilverfahren oder der Nachweis über den Jahresprimärenergiebedarf. Die Anwendung des Bauteilverfahrens bereitet keine großen Probleme. Werden Außenbauteile erneuert, so sind für diese die in Anhang 3 Tabelle 1 der EnEV festgelegten Wärmedurchgangskoeffizienten einzuhalten. Als Alternative hierzu kann der Nachweis über die Beschränkung des Jahres-Primärenergiebedarfs geführt werden. Die Gebäude dürfen bei Anwendung dieser Regel die zulässigen Grenzwerte für den Jahresprimärenergiebedarf von Neubauten um 40% überschreiten. Der Gebäudebestand bietet hier das größte Potenzial zur Energieeinsparung. Aus diesem Grund sollten die Gebäudesanierungen generell unter diesem Gesichtspunkt durchgeführt werden, wenn nicht sowieso Verordnungen wie die EnEV entsprechende Anforderungen an einzelne Maßstäbe beim Austausch oder Neueinbau einzelner Bau- und Anlagenteile stellen.

Bei einer Sanierung ist es erforderlich, eine ganzheitliche Betrachtung vorzunehmen, da die einzelnen Maßnahmen gegebenenfalls auch ungünstige Auswirkungen auf andere Komponenten und Anlagenteile haben können. Der Austausch der alten Wärmeerzeuger gegen moderne Wärmeerzeuger sollte daher nicht bis zu den vorgeschriebenen Terminen hinausgezögert werden. Bei der Sanierung der Heizungsanlage darf es nicht nur beim Austausch des Wärmeerzeugers bleiben. Sämtliche Komponenten, wie Regelung, Pumpen, Verteilung, Heizkörper und Ventile, müssen wie eine neue Anlage betrachtet, und entsprechend ausgetauscht oder erneuert werden.

Die DIN V 4701-12 und PAS 1027 in der Fassung vom Februar 2004 gilt nach den Regeln der Technik als Basis mit denen der Jahresprimärenergiebedarf für bestehende Anlagen er-

mittelt werden kann. Die DIN V 4701-12 befasst sich ausschließlich mit der Bewertung der Wärmeerzeuger und der Trinkwassererwärmung. Die öffentlich verfügbare Spezifikation (PAS = Publicly Available Specification) PAS 1027 gilt als Ergänzung der DIN V 4701-12, mit der es möglich ist auch die Wärmeübergabe und die Wärmeverteilung zu berücksichtigen, und somit eine umfassende Bewertung der gesamten heiztechnischen Anlagen im Bestand durchzuführen.

Die Berechnung erfolgt in Anlehnung an das detaillierte Verfahren nach DIN V 4701-10, jedoch mit entsprechend angepassten Randbedingungen. Genau in der Umsetzung dieser Randbedingungen sind die größten Problematiken enthalten. Weder die alte EnEV noch deren »Reparaturnovelle« definieren entsprechende Randbedingungen für die Anwendung der DIN V 4701-12 und der PAS 1027 oder nehmen Bezug auf diese. Da die Umsetzung der EnEV Ländersache ist, liegt es auch im Ermessen der Länder oder der entsprechenden Bauaufsichtsbehörde, ob und unter welchen Randbedingungen der Nachweis des Jahresprimärenergiebedarfs von Bestandsgebäuden nach DIN V 4701-12 und PAS 1027 als Nachweis anerkannt wird. Eine wesentliche Randbedingung resultiert aus der Frage nach der anzusetzenden Länge der Heizperiode. Für Neubauten ist die Heizperiodendauer nach EnEV grundsätzlich auf 185 Tage festgelegt. Diese ergibt sich aus der für EnEV-Neubauten angenommenen Heizgrenze von 10 °C. Bei nichtsanieren Bestandsgebäuden mit ihrem in der Regel schlechten Dämmstandard, liegt die Heizgrenze jedoch eher bei 15 °C. Daraus würde sich für das EnEV-Normklima in Deutschland eine Heizperiodenlänge von 275 Tagen ergeben, wie sie in den Beispielrechnungen der DIN V 4701-12 und PAS 1027 auch angesetzt wird. Jede wärmeschutztechnische Sanierung der Gebäudehülle führt natürlich zu einer Reduzierung der Heizperiodendauer. Diese müsste daher in Abhängigkeit vom jeweiligen Wärmedämmstandard des Gebäudes festgelegt werden.

Trotz der zur Verfügung stehenden Normen für die Bewertung von Bestandsanlagen ist es, wenn überhaupt, nur im Einzelfall möglich, diese für den öffentlich-rechtlichen Nachweis nach EnEV anzuwenden. Dem Nachweisführenden bleibt also vorerst weiterhin nur der Weg des Nachweises nach dem Bauteilverfahren durch Einhaltung der bei Bauteiländerungen vorgegebenen maximalen U-Werte.

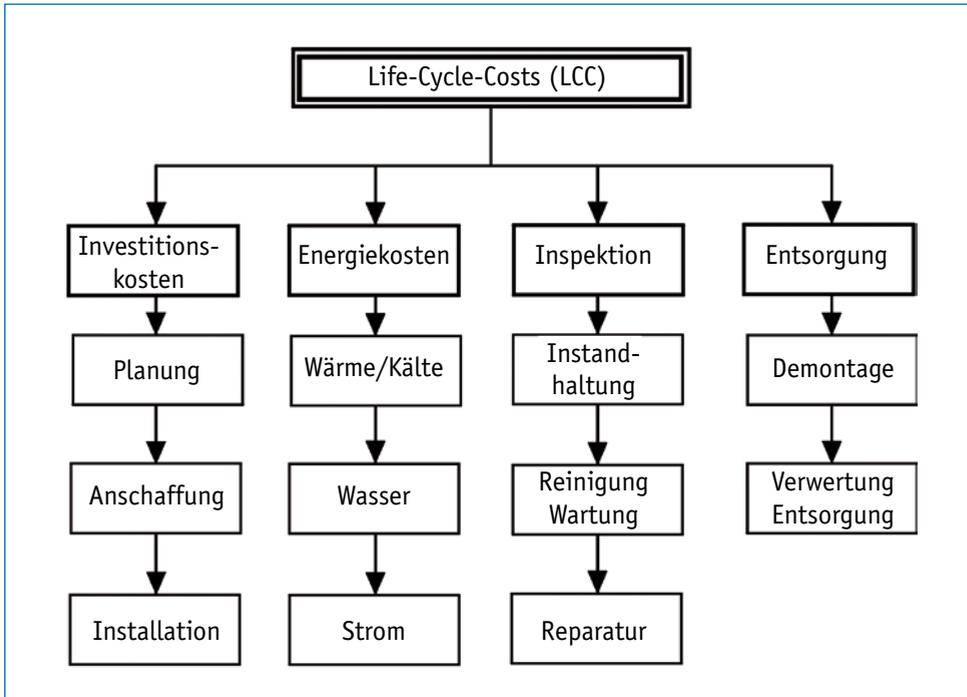
### 1.1.6 Lebenszykluskosten (Life-Cycle-Costs)

Die Ermittlung der Lebenszykluskosten und die daraus resultierenden Optimierungspotenziale gehören langfristig zum Standard der baulichen Investitionsentscheidungen.

Obwohl in diesen Bereichen ein erfreulicher Anstieg zu verzeichnen ist, wird dieses Potenzial seitens der Architektur- bzw. Investorenwettbewerbe noch lange nicht hinreichend ausgereift. Bei der Betrachtung der Lebenszykluskosten befindet sich daher der Markt in Deutschland erst am Anfang seiner Möglichkeiten.

Um in Bauprojekten nicht nur die Erstellungs-, sondern auch die Folgekosten und die Umwelteinwirkungen über die gesamte Lebensdauer angemessen berücksichtigen zu können, werden Lebenszykluskosten (Life-Cycle-Costs) ermittelt. Ihre Berechnung erfolgt aus einer Kombination von Investitions- und Kostenrechnung, in der auch die normalerweise in einer Kostenrechnung nicht erfassten Einflussgrößen enthalten sind. Langfristig gehören die Ermittlung dieser Kosten und die daraus resultierenden Optimierungspotenziale zum

Standard der baulichen Investitionsentscheidungen. Da bereits in der frühen Planungsphase die Grundlage für die spätere Höhe der Lebenszykluskosten gelegt wird, ist ein früher Projekteinstieg unbedingt erforderlich. Nur so lassen sich sämtliche Optimierungspotenziale voll ausschöpfen. In der Praxis hat sich die Gliederung der Lebenszykluskosten in folgende vier Bereichen bewährt: Projektentwicklungskosten, Errichtungskosten, Nutzungskosten und Verwertungskosten.



**Abb. 1-3:** Lebenszykluskosten (Life-Cycle-Costs) (Quelle: IB-THEISS, München)

Durch die frühe Integration der Lebenszykluskosten können hervorragend optimierte Gebäudeentwürfe erstellt werden, z. B. durch energieoptimierte Fassaden und Gebäudehüllen oder durch eine bevorzugte Solararchitektur. Sowohl bei der Wertermittlung einer Bestandsimmobilie als auch bei der Wertsicherung von Krediten für Neubauten hat sich die Einstellung gegenüber dem Gebäude und der Bedeutung der Nutzungsphase verändert. Im Rahmen von Neubauplanungen, Modernisierungen (Umbauten) oder Erneuerungen wollen die Bauherren und Investoren zusätzlich zu den Herstellungskosten zunehmend mehr Informationen über das Verhalten des Gebäudes in der Nutzungsphase wissen.

Derzeit ermöglichen die gültigen Normen in Deutschland und in Europa keine eindeutigen inhaltlichen Bestimmungen der Lebenszykluskosten. Die Normen stehen im Widerspruch zu den Kostenarten zueinander und geben dem Anwender keine Möglichkeit einer eindeutigen Leistungsdefinition. So dienen zur Bestimmung der Gebäudenutzungskosten unterschiedliche Normen und Richtlinien. Die Nutzungskosten von Gebäuden werden z. B. im Zusammenwirken mit der DIN 276 nach DIN 18960 erstellt. Diese Norm ist allerdings in

Teilbereichen nicht mit der älteren Leistungsdefinition der Nutzungsphase nach DIN 32736 kompatibel. Zudem haben mit Einführung der DIN EN 15221 und DIN EN 15222 die Abweichungen zwischen den Kostenarten und den Leistungsdefinitionen noch zugenommen. Für die Ver- und Entsorgungskosten erlaubt die Bedarfsberechnung nach DIN V 18599 allerdings eine wesentlich genauere Vorhersage als dieses bisher mit der EnEV-Berechnung möglich war. Eine genau definierte Zuordnung der unterschiedlichsten Begriffe, wie Betriebskosten, Bewirtschaftungskosten, Facility-Management-Kosten, Nutzungskosten, etc., wird hier insbesondere für die Nutzungsphase und die resultierenden Kosten erschwert.

### **1.1.6.1 Nutzungskosten**

Einerseits sind in der DIN 276 nur geringe Ansätze für die Kostenerfassung der Nutzungsphase enthalten. Andererseits wird in der DIN 18960 eine Struktur zur Erfassung von Kosten für die Nutzungsphase des Gebäudes vorgegeben. Diese Struktur berücksichtigt die Kapitalkosten- und Verwaltungsaspekte. In den Kostenstellen 3 »Betriebskosten« und 4 »Instandsetzung« werden die durch die Nutzung der baulichen Gebäudestruktur verursachten Kosten erfasst.

### **1.1.6.2 Ver- und Entsorgungskosten**

Der Energiebedarf von Nichtwohngebäuden ist seit 2007 entsprechend der Vornorm DIN V 18599 mit einem neuen Berechnungsverfahren zu ermitteln. Als funktionelle Einheit ist nicht mehr der Bezug auf die beheizte Raumkubatur ( $m^3$  beheizter Raum), sondern die beheizte Nettogrundfläche (NGF) zum Ansatz zu bringen.

Die DIN V 18599 berücksichtigt auch die Kühlung eines Gebäudes. Zudem wird je nach Nutzungstyp ein Nutzungsprofil für den Energiebedarf der erforderlichen Einbauten (Hilfsenergie für Heizung, RLT-Klima-Kälte, Transportmittel (Aufzüge, etc.), EDV-Anlagen) einkalkuliert. Die Gebäudebeleuchtung wird entsprechend eines angenommenen Lampentyps sowie der verwendeten Steuerung (EVG, etc.) berücksichtigt. Hierdurch wird ein wesentlich höherer Bedarf an elektrischer Energie berechnet, als dieses bei der EnEV-Berechnung möglich war. Die Bedarfsberechnung nach DIN V 18599 erlaubt insofern eine wesentlich genauere Vorhersage der Ver- und Entsorgungskosten, als dieses bisher möglich war.

### **1.1.6.3 Reinigung, Wartung, Instandsetzung**

Einen entscheidenden Einfluss auf die Kosten für den Nutzungszeitraum hat der Zyklus der auszuführenden Arbeiten. Insofern unterliegt der Reinigungszyklus einer großen Variabilität hinsichtlich der Ausführungselemente, Nutzungsart und dem Hygienestandard. Hinsichtlich der Wartungszyklen sind einerseits die gesetzlichen Vorgaben aufgrund von Verordnungen zu erfüllen, andererseits die Empfehlungen der Hersteller und der AEMV zu berücksichtigen. Die Instandsetzungszyklen beziehen sich in der Regel weitgehend auf die Angaben im »Leitfaden für nachhaltiges Bauen« des Bundesministeriums für Verkehr, Bauen und Wohnen und für die technischen Anlagen auf die Inhalte der VDI 2067. Für die Werke Wärme-, RLT- und Klima-Kältetechnik sollten auf jeden Fall die Hygienerichtlinien

nach VDI 6022 und die darin geforderten Reinigungs-, Wartungs- und Instandsetzungsintervalle beachtet werden.

#### **1.1.6.4 Veränderte Randbedingungen**

Die Verwendung der Gefma-Richtlinien 200, 220 und 300 zeigt sich hier als praxisnäher, stellt aber noch keine für die Lebenszykluskosten ausreichende Lösung dar. Bei den derzeit durchgeführten und analysierten Praxisobjekten hat sich die Kostengliederung für die Nutzungskosten nach den Leistungen der DIN 32736 durchgesetzt. Als praxisnah hat es sich erwiesen, auch die Nutzungskosten in gebäude- und in servicebezogene Kosten zu unterteilen. Zur Berechnung der Lebenszykluskosten bei Industriebauten sind unter Zugrundelegung der in der Planungsphase erfolgten Wirtschaftlichkeitsberechnung die gebäudebezogenen Nutzungskosten zu ermitteln, wobei die servicebezogenen Nutzungskosten nachzuführen sind. Die Nutzungskosten können dann ausgewogen in mieter- und vermietetseitige Kosten aufgesplittet werden.

#### **1.1.6.5 Objektbeispiel**

Capricorn-Haus im Medienhafen Düsseldorf, Architekten: Gatermann+Schossig, Köln. Das Bürogebäude Capricorn wurde mit sehr geringen Betriebskosten konzipiert. Die bereits in der Entwurfsphase seitens des Bauherrn, Capricorn Development, erklärte Prämisse des gesamten Projektes war die Forderung nach einem Niedrigenergiegebäude als Symbiose aus ökologischer Ästhetik und trendgemäßem Komfort für Betreiber und Nutzer über den gesamten Lebenszyklus. Im Lebenszyklus eines Gebäudes betragen die Investitionskosten ca. 30% und die Folgekosten 70%. Die Folgekosten setzen sich zum weit größeren Teil aus Energiekosten zusammen. Aus diesem Grund lag bereits während der Planungsphase der Schwerpunkt des Projekts auf der Energieeffizienz bei gleichzeitig hohem Komfort für die Nutzer. Der Bauherr hat daher nicht nur hohe Ansprüche an die Ästhetik und Funktionalität der Architektur, sondern auch an eine anspruchsvolle Gebäudetechnik gestellt. Er forderte eine intelligente Gebäudekonzeption und die Einhaltung eines monatlichen Energieverbrauchs von unter 65 Cent/m<sup>2</sup>. Dieser fixierte energetische Eckwert liegt um 20% unter den Forderungen der EnEV.

Das Bürogebäude erfüllt die Anforderungen an ein »Low-Energy-Gebäude«, bietet den Nutzern eine komfortable Arbeitsumgebung und erlaubt die flexible Büronutzung auf sämtlichen Stockwerken (Zellenbüros, Kombibüros und Open Space-Nutzung).

Die kompakte Bauweise, eine beispielhafte Wärmedämmung, Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, Betonkernaktivierung in Verbindung mit Geothermie sowie natürliche Belüftungskonzepte erfüllen die Ansprüche an ein ökologisches, energetisch ausgewogenes und ökonomisches Gebäudekonzept. Mit der Gebäudeautomation lassen sich die Beleuchtungs- und Verschattungstechnik sowie die Heizung-, Wärmerückgewinnungs- und Klima-/Kältetechnik automatisch an jeder der 1280 Raumachsen regeln. Das Gebäude lässt sich zudem mit geringem Aufwand und minimalen Kosten an die sich ändernden Nutzungsbedingungen anpassen.

## 1.2 Maßnahmen zur Energieeinsparung

Das EEWärmeG und die EnEV (2007, 2009 und 2012) sollen zur Energieeinsparung beitragen und zur Effizienzsteigerung durch den Einsatz regenerativer Energien und rationeller Energieanwendungen führen. Vorrangig gilt es jetzt, die Ungereimtheiten und Widersprüche innerhalb der Gesetzgebung, Verordnungen und Förderprogramme zu beseitigen.

Beispiel: Die Anforderungen des EEWärmeG, 15% des Wärmebedarfs solar oder mittels Alternativlösungen zu decken, sollten – wie im früheren Gesetzentwurf – auf die Endenergie als Wärmeenergiebedarf und nicht auf die Nutzwärme der Wärmeerzeugung bezogen werden, d. h. einschl. der Aufwandsbeträge für die Übergabe, Verteilung und Speicherung. Beispielsweise kann sonst eine solarthermische Anlage für Einfamilienhäuser (EFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH) theoretisch zu einem Ergebnis gegen Null führen, weil der Solarertrag dann kaum mehr deckt als die mit der Solarthermieanlage verbundenen erhöhten Speicher- und Verteilverluste sowie die erhöhten Teillastverluste der zusätzlichen Wärmeerzeuger.

Die Einstellung der Vorlauftemperaturregelung und der Pumpenförderhöhe, die Verwendung von Hocheffizienzpumpen der A-Klasse und die Durchführung des hydraulischen Abgleichs werden weder für Neubauten noch für energetische Modernisierungen bindend vorgeschrieben. Eine technische Regel für diese Maßnahmen steht derzeit noch aus. Hinzu kommt, dass die erforderlichen Einschränkungen für den erweiterten KWK- und Biomasseinsatz nur unzureichend definiert ist. Der unkoordinierte Einsatz von KWK in Nah- und Fernwärmenetzen kann durch besser gedämmte Gebäude mit geringer Anschlussdichte zu mittel- und langfristig unwirtschaftlichen Lösungen führen. Die an Praxisverbrauchswerten orientierte Energieverbrauchsanalyse (EVA) sollte zur Kontrolle von geförderten energetischen Maßnahmen Standard werden. Statistiken belegen, dass bis zu 80% der Wohngebäude einen Endenergieverbrauch zwischen 100 bis 200 kWh/(m<sup>2</sup>a) aufweisen. Mithilfe einer Energieverbrauchsanalyse lassen sich die größten Verluste in der Gebäudehülle, in der Anlagentechnik oder im Nutzerverhalten lokalisieren.

Die Gebäudestrukturen haben sich in den letzten Jahren stark verändert, wobei die Entwicklung in die Richtung leichterer Bauweisen zielt sowie hohe Glasanteile und Metallkonstruktionen weit verbreitet sind. Aufgrund dieser Bauweisen wird natürlich die Wärmespeicherkapazität der Gebäude reduziert. Andererseits ist daher oft auch die bauliche Masse nicht ausreichend vorhanden, um die Schwankungen der Außentemperatur im Tagesverlauf auszugleichen. Da sich insbesondere während der Übergangszeit, also im Frühjahr und Spätsommer die Kühl- und Heizphasen überschneiden, kann es sogar vorkommen, dass im Tagesverlauf beide Funktionen gefordert sind. Morgens muss das Gebäude nach einer kalten Nacht beheizt werden, wobei am Nachmittag bei tief stehender Sonne der Wärmeeintrag bereits wieder so groß sein kann, das gekühlt werden muss. In diesem Fall kann eine geeignete Beschattung helfen, den Einfall einer zu großen Kühllast durch Sonneneinstrahlung zu verhindern.

Ein weiteres Kriterium besteht in den steigenden inneren Lasten, wobei aufgrund der o. a. zu geringen Wärmespeicherkapazität der Gebäude, die durch Beleuchtung und andere Wärmequellen eingetragene Lasten nicht mehr kompensiert werden können. Jede durch interne Wärmequellen eingetragene Leistung wirkt sich aber unmittelbar auf die Temperatur

im Gebäude aus. Die tendenziell steigenden Energiepreise lassen manchen Bauherrn zum Wunsch eines Nullenergiehauses anregen, d. h. kein zusätzlicher finanzieller Aufwand für Heizenergie und trotzdem behagliche Raumtemperaturen. Diese Erwartungen werden in der Praxis allerdings nur von den wenigsten Gebäuden erfüllt. Ob ein Nullenergiehaus überhaupt das Nonplusultra bzw. erstrebenswert ist, hängt allein schon von der Tatsache ab, dass derartige Gebäude für die Winter- und nicht für die Sommermonate optimiert sind.

Die Maßnahmen zur Verringerung des Energiebedarfs sind trotzdem notwendig und auch möglich. Neben dem Nutzer, der aufgrund der Lüftungsgewohnheiten und durch die gewählte Raumtemperatur einen direkten Einfluss auf den Energiebedarf nimmt, spielt primär die Art der Wärmeerzeugung eine entscheidende Rolle. Das alleinige Verbrennen ist hier sicherlich die schlechteste Variante. Günstiger sind Verfahren, bei denen, neben der Wärme auch noch Strom erzeugt werden kann. (Brennstoffzellen und ihre marktreife Systemtechnik lassen leider noch auf sich warten). Die Entwicklungsarbeiten (Testreihen und Problematiken bei den Prototypen) lassen erkennen, dass noch einige Zeit vergeht bis eine kommerzielle und vor allem wirtschaftliche Nutzung der Brennstoffzellen erreicht wird.

## **1.2.1 Energetische Bewertung und Nutzerverhalten**

Entscheidend für den Nutzen und die Effizienz von solarthermischen Techniken, d. h. des solaren Heizens von Gebäuden oder der solaren Warmwasserbereitung, ist ein solargerechtes Nutzerverhalten, weil das Temperaturniveau (thermische Leistungsfähigkeit) der Solarwärme nicht sehr hoch ist. Aufgrund einer Reduzierung der Raumtemperatur z. B. von 23 auf 20 °C kann eine Energieeinsparung um bis zu 18% erreicht werden.

### **1.2.1.1 Energieeinsparung durch Raumtemperaturabsenkung**

Entsprechend der Definition des U-Werts hängt der Transmissionswärmeverlust ( $\Delta Q_T$ ) von der Differenz zwischen der Innen- und Außentemperatur ab. Hierdurch gilt z. B. bei einer Außentemperatur von 0 °C für die prozentuale Zunahme von  $\Delta Q_T$  bei 22 °C gegenüber 18 °C:  $(22 - 18)/18 = 0,22 = 22\%$ ; d. h. es wird durch dieses Nutzerverhalten eine Energieeinsparung von 5,5% pro K bzw. °C erreicht.

### **1.2.1.2 Nachtabsenkung**

Aufgrund der regelungstechnischen Nachtabsenkung der Raumlufttemperatur um einige Grade wird ebenfalls eine Reduzierung des Heizenergiebedarfs erreicht. Generell muss die während der Nachtabsenkung aus der Speicherwärme der Gebäudehülle infolge Transmission nach außen abfließende Wärmemenge während der Aufheizphase des folgenden Tages dem Gebäude wieder zugeführt werden. Entscheidend ist allerdings, dass der energetische Nutzen der Nachtabsenkung und damit das Maß der dadurch erzielbaren Energieeinsparung von den Gebäudekenngrößen, d. h. vom Dämmstandard und von der Wärmekapazität abhängig sind. Beide Größen bestimmen die thermische Zeitkonstante des Gebäudes und indirekt das Auskühlungsverhalten.

Ein sehr gut gedämmtes, in Massivbauweise ausgeführtes Gebäude mit Fenstern mit temporärem Wärmeschutz wird bei Nachtabsenkung der Raumtemperatur nur wenig Wärme verlieren. Die Zeitkonstante ist hier groß verglichen mit der Temperaturabsenkdauer. Damit ist auch das Ausmaß der Energieeinsparung, und somit die Wirksamkeit der Nachtabsenkung, die insofern einer Nachtabschaltung gleichgesetzt werden kann, geringer als bei schlecht wärmegeprägten Gebäuden mit geringem Speichervermögen.

Nicht nur mit innovativen Antriebstechnologien, sondern auch mit modernen Steuerungskonzepten, wie mit einer automatischen Nachtabsenkungsfunktion, lässt sich elektrische Antriebsenergie einsparen. Wird die Vorlauftemperatur, beispielsweise in der Nacht, durch den Wärmeerzeuger abgesenkt, würde eine differenzdruckgeregelte Pumpe normalerweise aufgrund der sich öffnenden Thermostatventile ihre Drehzahl bis zur maximalen Drehzahl erhöhen und unbenötigte Wassermengen im System verschieben. Bei Pumpen mit Nachtabsenkungsfunktion, wird die Drehzahl automatisch auf die Minimalkennlinie reduziert, sobald die Medientemperatur eine definierte Temperatur unterschreitet. Steigt die Vorlauftemperatur wieder an, wird auf Regelbetrieb zurückgeschaltet. Dies funktioniert nicht nur nachts, sondern auch bei jeder entsprechenden Vorlauftemperaturveränderung in Absenkenphasen.

### 1.2.1.3 Wärmedämmung und Anlagentechnik

In Bezug auf die Begrenzung des Primärenergiebedarfs setzen sich die relevanten Investitionskosten eines Gebäudes aus den Kosten für Wärmedämmmaßnahmen der Gebäudehülle und den Kosten der Anlagentechnik zusammen. Beiden Kosten ist gemeinsam, dass sie progressiv ansteigen, je besser die Wärmedämmung der Außenwände bzw. je energieeffizienter die Anlagentechnik wird. Für die Gesamtkosten des Gebäudes werden beide Kostenteile addiert und das Kostenminimum ermittelt. Durch das Kompensationsprinzip steigen die Kosten der Gebäudehülle an, wenn eine schlechtere Anlagentechnik eingebaut wird bzw. umgekehrt.

**Tab. 1-6:** Maßnahmen zur Energieeinsparung (Quelle: IB-THEISS, München)

Maßnahmen	Energieeinsparung (%)
Außenwanddämmung	20 bis 40
Fenster mit Wärmeschutzglas	10 bis 25
Kellerdeckendämmung	10 bis 20
Dachdämmung	10 bis 25
RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung	15 bis 30

Zur ökologisch und ökonomisch sinnvollen Begrenzung des Primärenergiebedarfs eines Gebäudes ist es unerlässlich, die Wärmedämmung des Gebäudes und die Planung der Heizungsanlage frühzeitig, gleichzeitig und fachkundig durchzuführen. Nur so lassen sich die Gesamtkosten minimieren und Energieeffizienz steigern. Das Kostenminimum ist meist flach ausgeprägt, sodass es einen erweiterten Bereich gibt, in dem verschiedene Lösungsmöglichkeiten finanziell gleichwertig sind. Erst wenn anlagentechnische oder bauphysika-