

HIS
Hochschul-
Informations-
System
GmbH

**Hochschul-
planung 139**

Ralf-Dieter Person

Rationelle Energieverwendung in Hochschulen

HIS GmbH Hannover 1999

Hochschulplanung · Band 139

Herausgegeben von der
HIS Hochschul-Informationssystem GmbH

Rationelle Energieverwendung in Hochschulen

Ralf-Dieter Person

Vorwort

Energieeinsparung ist der beste Weg, durch Senkung der CO₂-Emissionen die klimapolitischen Ziele der Bundesregierung zu erreichen. Neben dieser umweltpolitischen Wirkung kann eine rationelle Energieverwendung entscheidend dazu beitragen, die Betriebskosten von Gebäuden und Anlagen zu senken. An diesem Zusammenhang ändert auch die Liberalisierung des Energiemarktes wenig, obwohl nunmehr aktuell Betriebskosten auch durch Senkung des Strompreises geringer werden.

Ein rationeller Energieeinsatz kann durch verschiedenste Maßnahmen gefördert werden. In vielen Fällen bietet es sich an, der Durchführung von Maßnahmen eine Untersuchung möglicher Einsparpotentiale und eine Wirtschaftlichkeitsanalyse voranzustellen.

Für den Hochschulbereich stellt sich die Aufgabe der Energieeinsparung als besonders dringend dar, da hier eine (teilweise) veraltete Gebäudetechnik und ein sanierungsbedürftiger Gebäudebestand zu einem hohen Energieverbrauch führen. Hinzu kommt, daß strukturelle Hemmnisse wie eine fehlende Infrastruktur zur Messung, Erfassung und Auswertung den Aufbau eines Energiemanagements sowie die Umsetzung von Energiesparpotentialen behindern. Kreativität bei baulichen, technischen und organisatorischen Maßnahmen ist deshalb gefragt.

HIS hat versucht, in den Hochschulen solche beispielhaften Aktivitäten aufzuspüren. Die Ergebnisse wurden gemeinsam mit erschließbaren Fachinformationen aufbereitet und in der vorliegenden Ausarbeitung für eine breite Öffentlichkeit zusammengestellt.

An der Arbeit haben zahlreiche Kooperationspartner beratend und impulsgebend mitgewirkt. All denen, die sich durch aktive Mitarbeit bei der Zusammenführung und Auswertung der Ergebnisse und insbesondere bei der Durchsicht des Abschlußberichts beteiligt haben, gilt an dieser Stelle ein besonderer Dank:

Herrn Dipl.-Ing. Klaus Brose (Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt), Herrn Dr. Reinhard Crusius (Behörde für Wissenschaft und Forschung der Freien und Hansestadt Hamburg), Herrn Dipl.-Ing. Martin Erdbories (Ingenieurbüro Erdbories & Landwehr, Berlin), Herrn Dipl.-Ing. Hartmut Freihofer (Forschungsinstitut für Kerntechnik und Energiewandlung e. V., Stuttgart), Herrn Dipl.-Ing. Thomas Kattenstein (Ruhr-Universität Bochum), Herrn BD Dipl.-Ing. Georg Kitzmüller (Universität Regensburg), Herrn Dipl.-Ing. Dieter Köhl (Fachhochschule Hannover, FB Maschinenbau), Herrn Dipl.-Ing. Lutz Kreklau (Baumanagement Bremen GmbH), Herrn Dipl.-Ing. Jörg Kruhl (Institut für Kältetechnik und Angewandte Wärmetechnik, Universität Hannover) und Herrn Prof. Dr.-Ing. Dieter Nordmann (Fachhochschule Hannover, FB Maschinenbau).

Den Vertretern der Länder und des Bundes in der Fachkommission „Haustechnik und Krankenhausbau“ (Arbeitsbereich „Gebäude- und Betriebstechnik“) sowie des „Arbeitskreises Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV)“ sei für die Bereitstellung der länderspezifischen Regelungen, die sich auf Energiefragen beziehen, herzlich gedankt.

*Dr. J. Ederleh
Geschäftsführer HIS GmbH*

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Aufgabenstellung, Ziel und Vorgehensweise	2
1.2	Erläuterungen zum Begriff „Energie“	3
2	Rahmenbedingungen für eine rationelle Energieverwendung in Hochschulen	5
2.1	Rechtliche und politische Rahmenbedingungen	5
2.2	Energieeinsparung und Umweltschutz	6
2.3	Gebäudestruktur und technische Infrastruktur in der Hochschule	7
2.4	Energiekosten	8
2.5	Organisation/Zuständigkeiten/Steuerung in der Hochschule	9
3	Maßnahmen zur rationellen Energieverwendung	11
3.1	Technische Maßnahmen	11
3.1.1	Gebäudeautomation und MSR-Technik	11
3.1.1.1	Gebäudeautomation	11
3.1.1.2	Zähler	12
3.1.1.2.1	Gas, Heizöl und Kohle	14
3.1.1.2.2	Strom	15
3.1.1.2.3	Wärme	16
3.1.1.2.4	Kälte	17
3.1.1.2.5	Datenlogger	17
3.1.2	Anlagenbezogene Maßnahmen	18
3.1.2.1	Wärmeerzeugungs- und -verteilungsanlagen	18
3.1.2.2	Raumlufttechnische Anlagen	20
3.1.2.3	Kälteanlagen	22
3.1.2.4	Elektrotechnische Anlagen	24
3.1.2.4.1	Transformatoren	26
3.1.2.4.2	Blindstromkompensation	26
3.1.2.4.3	Kabel- und Leitungsnetz	26
3.1.2.4.4	Beleuchtung	27
3.1.2.4.5	DV-Systeme	28
3.1.2.4.6	Aufzugsanlagen	30
3.1.2.4.7	Antriebstechnik	31
3.1.2.4.8	Elektrische Pumpen in Heizungs- und Lufttechnischen Anlagen	32
3.1.2.4.9	Druckluftanlagen	33
3.1.3	Prozeßbezogene Maßnahmen zur Energierückgewinnung	33
3.1.3.1	Wärmerückgewinnung bei Lufttechnischen Anlagen	34
3.1.3.2	Wärmepumpe	37
3.1.3.3	Prozeßabwärmenutzung	38
3.1.4	Anlagen zur Stromerzeugung	39
3.1.4.1	Kraft-Wärme-Kopplung	39
3.1.4.2	Ersatzstromanlagen	42
3.1.5	Gebäudebezogene Maßnahmen	43
3.1.5.1	Wärmedämmung	43
3.1.5.2	Doppelfassaden	43
3.1.5.3	Speicherwirkung massiver Konstruktionen	44
3.1.5.4	Passive Solarenergienutzung	44
3.1.5.5	Tageslichtsysteme	45

3.1.6	Regenerative Energiequellen	45
3.1.6.1	Solare Energienutzung	45
3.1.6.1.1	Solare Nahwärme	46
3.1.6.1.2	Solare Kühlung von Gebäuden	47
3.1.6.1.3	Photovoltaik	48
3.1.6.2	Sonstige Energiequellen	49
3.1.6.2.1	Wasserkraft und Windkraft	49
3.1.6.2.2	Biomasse und Biogas	50
3.1.6.2.3	Elektrochemische Stromerzeugung	51
3.2	Organisatorische Maßnahmen	52
3.2.1	Betriebsabläufe optimieren	52
3.2.1.1	Lastmanagement	52
3.2.1.2	Belegungsplanung	53
3.2.1.3	Nutzungsplanung	53
3.2.2	Information, Schulung und Nutzereinbindung	53
3.2.3	Institutionalisierung (Energiebeauftragte)	54
3.2.4	Übernahme von Aufgaben durch fachfremdes Personal	54
3.2.5	Verursacherbezogene Abrechnung	55
3.2.6	Contracting	55
4	Maßnahmenoptimierung als Teil des Energiemanagements	59
4.1	Energiekonzept und Energiemanagement	59
4.1.1	Zielsetzung	59
4.1.2	Planung	60
4.1.3	Vorgehensweise bei der Realisierung energiesparender Maßnahmen	61
4.2	Analyse des Ist-Zustandes	62
4.2.1	Ermittlung des Energieverbrauchs	63
4.2.1.1	Gradtagzahl und Heizgradtage	63
4.2.1.2	Lüftungsgradtage	64
4.2.2	Kennwertbildung als Grundlage für Energieverbrauchsreduzierungen	64
4.3	Prioritätenlisten	66
4.4	Bedarfsermittlung	67
4.4.1	Wärmebedarf	68
4.4.2	Strombedarf	68
4.5	Anreizsysteme	70
4.5.1	Energiekostenbudgetierung	70
4.5.2	Nutzer motivation	71
4.6	Wirtschaftliche Bewertung der Maßnahmen	72
5	Ausblick	77
	Literaturverzeichnis	79
	Sachregister	85
	Anhang	95
	Rahmenbedingungen des Bundes und der Länder (Übersicht)	95
	Forschungsprojekte und Hochschuladressen	109
	Bezugsquellen und Adressen von Organisationen und Verbänden	113
	Anbieteradressen Energiedatenerfassung etc.	117

Abkürzungen, Formelzeichen und Einheiten

Abkürzungen:

AMEV	Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen
BGF	Brutto-Grundfläche (nach DIN 277)
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMFT	Bundesministerium für Forschung und Technologie (seit 1998: BMBF)
CAFM	Computer Aided Facility Management
DDC	Direct Digital Control
DEC	Dessicant Evaporative Cooling
DIN	Deutsches Institut für Normung
EIB	Europäischer Installationsbus (European Installation Bus)
EL	Extra Leicht (Heizöl)
EU	Europäische Union
EVG	Elektronisches Vorschaltgerät
EVU	Energieversorgungsunternehmen
FH	Fachhochschule
FKGB	Fachkommission Gebäude- und Betriebstechnik
GA	Gebäudeautomation
GLT	Gebäudeleittechnik
GWP	Global Warming Potential
HBFG	Hochschulbauförderungsgesetz
HIS	Hochschul-Informationen-System
HKW	Heizkraftwerk
HNF	Hauptnutzfläche (nach DIN 277)
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
HT	Hochtarif
KVG	Konventionelles Vorschaltgerät
LB	Landesinstitut für Bauwesen (Aachen)
LiBr	Lithiumbromid
LON	Local Operating Network
MAK	Maximale Arbeitsplatz Konzentration
M-Bus	Metering Bus
Mio.	Million
Mrd.	Milliarde
MS	Mittelspannung
MSR	Meß-/Steuerungs-/Regelungs-(Technik)
NF	Nutzfläche (nach DIN 277)
NGF	Netto-Grundfläche (nach DIN 277)
NT	Niedertarif
ODP	Ozone Depletion Potential
PEC	Photoelektrochemische (Solarzellen)
PROFIBUS	Process Field Bus
RBBau	Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes
RLBau	Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Landes ...
RLT	Raumlufttechnik, Raumlufttechnische (Anlagen)
S	Schwer (Heizöl)
TU	Technische Universität
TWD	Transparente Wärmedämmung
U	Universität
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
VOB	Verdingungsordnung für Bauleistungen

VVG	Verlustarmes Vorschaltgerät
WRG	Wärmerückgewinnung
ZBWB-TIB	Zentralstelle für Bedarfsbemessung und Wirtschaftliches Bauen – Technik im Bau
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie

Hinweise zum Zitieren von Literatur:

Im Literaturverzeichnis (s. S. 79) ist die verwendete Literatur aufgeführt. Im Text werden die im Literaturverzeichnis vorangestellten Kürzel (in eckigen Klammern) verwendet.

Formelzeichen:

a	Kapitalwertfaktor
A	Annuität (Tilgung)
b	Faktor (allgemein)
c_p	spezifische Wärmekapazität
E	Einsparung
f	Faktor (allgemein)
f_B	Betriebsfaktor
G_K	Kühlgradstunden
G_L	Lüftungsgradstunden
G_T	Gradtagzahl
G_{15}	Heizgradtage nach VDI 3807
h	Enthalpie
h_N	Nutzungszeit
H_O	Brennwert
H_u	Heizwert
h_{voll}	Vollbetriebszeit
I	Strom
k_x	Faktor
K	Investitionskosten
K_A	Anfangsinvestition
K_{ges}	Gesamtkosten
K_0	Gesamtinvestition
l	Faktor (allgemein)
lg	Logarithmus (allgemein)
m	Anzahl
\dot{m}	Massenstrom
n	Anzahl
p	Zins
P	Leistung
P_{elt}	Elektrische Leistung
P_{inst}	Installierte Leistung
q	Energiepreissteigerung
q_a	Allgemeine Preissteigerung
\dot{Q}	Wärmeleistung
$\dot{Q}_{K,eff}$	effektive Kälteleistung
Q_0	Wärme (Kälteleistung)
r	Instandsetzung (Anteil)
R, R_L	Restwert
T	Temperatur
T_a	Außentemperatur
$T_{Außen}, T_{Fort}$	Außen-, Fortlufttemperatur
T_{Kond}, T_{Verd}	Kondensations-, Verdampfungstemperatur
T_g	Heizgrenztemperatur

T_i	(Innen-)Raumtemperatur
T_u	Umgebungstemperatur
T_{zu}	Zulufttemperatur
U	Bonus (Umweltbonus)
U	Spannung
w	Wartung (Anteil)
W_{el}	Elektrische Energie
$W_{primär}$	Primärenergie
x	Luftfeuchte
y_x	Faktor
z	Anzahl
Δ	Differenz
$\varepsilon, \varepsilon_0$	Leistungszahl, Wärmeverhältnis
$\Phi_{Ab}, \Phi_{Außen}$	Rückwärmezahl (bezogen auf Abluft, Außenluft)
η_c	Carnot-Wirkungsgrad
η_{elt}	elektrischer Wirkungsgrad
η_{ind}	indizierter Wirkungsgrad
η_K	Wirkungsgrad (Kompressionskälteerzeugung)
η_{mech}	mechanischer Wirkungsgrad
η_N	Normnutzungsgrad
φ	Phasenwinkel
ϑ	Temperatur
ζ	Wärmeverhältnis (Absorptionskälte)

Einheiten:

a	anno (Jahr)
bar	(ehem.) Maßeinheit des Luftdrucks
°C	Grad Celsius (ehem. Maßeinheit für Temperatur)
d	day (Tag)
DM	Deutsche Mark
g, kg	Gramm, Kilogramm
G...	Giga... (= 10^9)
h	hora (Stunde)
h...	Hekto...
J, kJ, GJ	Joule (Einheit für Energie), Kilojoule, Gigajoule
k...	Kilo... (= 10^3)
K	Kelvin (Einheit für Temperatur)
l	Liter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
m _n ³	Norm-Kubikmeter
M...	Mega... (= 10^6)
Pa	Pascal (Maßeinheit für Luftdruck)
Pfg	Pfennig
ppm	parts per million
t	Tonne (1.000 kg)
T	Tera... (= 10^{12})
W	Watt (Einheit für Leistung)
Wh, kWh, MWh, GWh, TWh	Wattstunde (Einheit für Energie u. Arbeit), Kilo-, Mega-, Giga, Terawattstunde

1 Einführung

Nach einer Untersuchung des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung (DIW) hat sich der Energieverbrauch (Endenergie) in Deutschland zwischen 1978 und 1996 relativ konstant zwischen etwa 31 und 36 GJ/Einwohner (entsprechend ca. 8.600 bis 10.000 kWh) bewegt, während beispielsweise der Stromverbrauch von 1.315 kWh pro Jahr und Einwohner (Westdeutschland) in 1978 auf 1.636 kWh in 1996 (Gesamtdeutschland) gestiegen ist. Ein Energieverbrauchsanstieg war insbesondere im privaten Sektor (mehr als 30 % Anstieg zwischen 1970 und 1996) und in den Branchen Dienstleistung (um 15 %, bei stark wachsendem Stromanteil) sowie Transport und Verkehr (um 40 %) zu verzeichnen, während in der Industrie der Energieverbrauch um rund ein Drittel zurückgegangen ist (– jeweilige Anteile am Gesamtverbrauch s. **Abb. 1**). Regional betraf dieser Rückgang auch die alten Bundesländer (minus 20 %) [DiRiZi98].

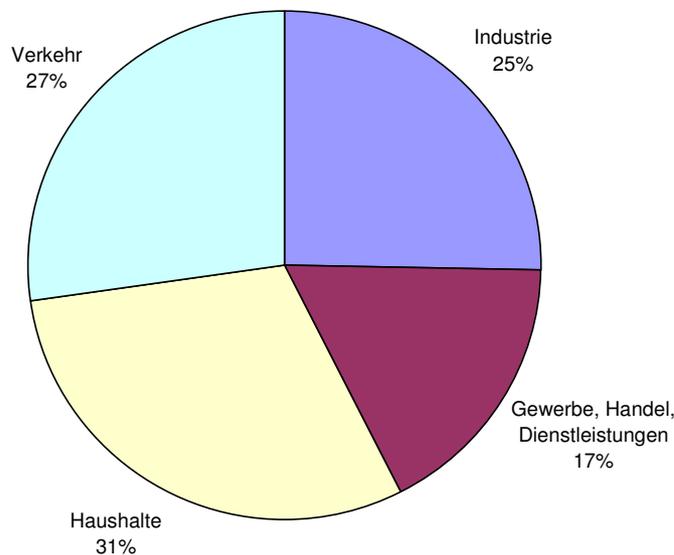


Abb. 1: Struktur des Endenergieverbrauchs in Deutschland 1996 (nach [DiRiZi98]).

Steigender Energieverbrauch war in der Vergangenheit eng mit steigenden Energiekosten verbunden. Maßnahmen einer rationellen Energieverwendung wurden deshalb vornehmlich zur Senkung der Energiekosten eingesetzt. Die bisher überwiegend lineare Verknüpfung von Verbrauch und Kosten ist aktuell durch die Liberalisierung des Strommarktes in einem wichtigen Energiesegment nicht mehr vorhanden. Die Umsetzung der EU-Richtlinie für den Elektrizitätsbinnenmarkt (96/92/EG) im novellierten Energiewirtschaftsgesetz 1998 [EnWG98] hat bereits in der Anfangsphase zu Preisnachlässen von 20 % und mehr bei Großverbrauchern geführt.

Während der Kostenfaktor als Triebfeder für eine rationelle Energieverwendung derzeit ein wenig in den Hintergrund getreten ist, spielt der Mengenfaktor bei der Durchsetzung gesellschaftlicher Umweltschutzziele weiterhin eine gewichtige Rolle. Energieverwendung beinhaltet heute immer noch eine überwiegende Nutzung fossiler Energieträger, deren auf der Erde vorhandene Kapazitäten endlich sind. Sie bedeutet in den meisten Fällen auch Emissionen von CO₂ und weiteren Stoff-

fen, deren Schädlichkeit für die Umwelt nachgewiesen und deren Reduktion im Rahmen internationaler Abkommen beschlossen wurde.

Hochschulen als öffentliche Einrichtungen haben hier auch einen Vorbildcharakter, zumal sie sich in Forschung und Lehre u. a. auf dem Gebiet der rationellen Energieverwendung mit innovativen technischen und organisatorischen Maßnahmen befassen. Diese Maßnahmen in den Betriebsablauf zu integrieren ist jedoch abhängig von der Bereitstellung finanzieller Mittel für Investitionen sowie vom Vorhandensein eines hochschulinternen Kosten- und Umweltbewußtseins für die Folgen starker Energieverbräuche – auch im Hinblick auf die Zukunft, d. h. trotz momentan niedriger Energiepreise. Die Anreize dazu wurden in den letzten Jahren im Hochschulbereich u. a. durch zunehmende Verknappung öffentlicher Mittel sowie durch neue Steuerungsverfahren (Globalisierung der Haushalte, verursachergerechte Kostenzuordnung) stark gefördert.

1.1 Aufgabenstellung, Ziel und Vorgehensweise

HIS hat sich in der Vergangenheit mit Fragestellungen zur Energieeinsparung im Rahmen von Untersuchungen zu Betriebskosten von Hochschulkliniken [Person96], zur Gebäudeautomation [PerTeg98] sowie zum Umweltmanagement [StrMül95] in unterschiedlichen Zusammenhängen beschäftigt. Bei diesen Arbeiten, aber auch in Gesprächen mit technischen Leitern und Energiebeauftragten vor Ort wurde deutlich, daß an vielen Hochschulen zwar Maßnahmen zur Energieeinsparung durchgeführt werden, eine Auswertung der Ergebnisse und damit eine Erfolgskontrolle jedoch nur selten stattfindet.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, technische und organisatorische Maßnahmen zur rationellen Energieverwendung zusammenzustellen und sie hinsichtlich ihrer Einsatzbedingungen im Hochschulbereich zu bewerten. Eine wichtige Informationsbasis bildeten Maßnahmen in Hochschulen, die seit längerem Praxis sind oder zumindest ein Stadium fortgeschrittener Planung erreicht haben. Mit den Untersuchungsergebnissen möchte HIS bei der Konzeption, Planung und Durchführung von Maßnahmen zur Energieeinsparung in vorhandenen Gebäuden eine Orientierungshilfe geben.

Bei der Bearbeitung des Themas wurden verschiedene Möglichkeiten der Informationsbeschaffung berücksichtigt.

- Sichtung von Materialien, Erfahrungsberichten und Planungsunterlagen und Vertiefung in Vor-Ort-Gesprächen bei ausgewählten Hochschulen, die HIS seit Jahren durch kontinuierliche Maßnahmen zur Energieeinsparung bekannt sind.
- Berücksichtigung von Projekten zur Untersuchung des Energiesparpotentials an Hochschulen, die durch Fachbereiche mit wissenschaftlichen Mitarbeitern durchgeführt wurden. Das Zusammenspiel von Technischen Abteilungen und den Fachbereichen, die Projekte im Rahmen von Forschungsaufträgen oder Diplomarbeiten konkretisiert haben, beinhaltet eine günstige Konstellation, verschiedene Interessen und Sichtweisen konstruktiv einbringen zu können. Die Mitarbeiter der Technischen Abteilungen sind in der Regel zeitlich nicht in der Lage, umfangreiche Auswertungen und Konzeptentwicklungen zu erstellen, sind aber mit dem notwendigen Fachwissen für die praktische Durchführung ausgestattet. Die wissenschaftlichen Mitarbeiter haben demgegenüber Know-how und Infrastruktur für umfangreiche Auswertungen und Beobachtungen, benötigen aber betriebs- und anlagentechnische Unterstützung sowie praxisnahe Arbeitsziele und Handlungsorientierungen.
- Sichtung von Sekundärmaterial, wie Fachliteratur, Fachzeitschriften, Verwaltungsvorschriften und Herstellerinformationen. Viele Recherchen lassen sich mittlerweile mit Hilfe des Internets komfortabel und effektiv vornehmen. Wenn auch die Informationsqualität dabei nicht immer den wissenschaftlichen Ansprüchen genügt, so sind Recherchen bei den einschlägigen Fachverbänden sowie bei Her-

stellern und Händlern energiesparender Geräte und Techniken unter dem Aspekt „Aktualität“ fast immer erfolgversprechend. Im Anhang sind deshalb eine Reihe wichtiger Internet-Adressen für weitere Recherchen aufgeführt.

Der vorliegende Bericht gliedert sich im wesentlichen in drei Abschnitte:

- Rahmenbedingungen für eine rationelle Energieverwendung,
- Beschreibung technischer und organisatorischer Maßnahmen,
- Konzept, Planung und Optimierung von Maßnahmen.

Über die Erhebung hinaus erschien es notwendig, an geeigneter Stelle eine Aufarbeitung von Sekundärmaterialien zu den die Thematik begleitenden Begrifflichkeiten vorzunehmen. Eine Notwendigkeit bestand insbesondere deshalb, weil Zusammenhänge und Wirkungsweisen insbesondere technischer Maßnahmen ein begriffliches Grundverständnis voraussetzen.

1.2 Erläuterungen zum Begriff „Energie“

Energie errechnet sich aus dem Produkt von Leistung und Zeit. Sie kann unterschieden werden nach Wärme-, Strahlungs- und Kernenergie sowie mechanischer, elektrischer und chemischer Energie. Bei jeder Art von Aktivität tritt eine Umwandlung einer Energieform in eine andere auf.

Beim Energieeinsatz wird unterschieden zwischen Primärenergie, Sekundärenergie, Endenergie und Nutzenergie. Primärenergie ist lediglich in der direkt verwertbaren Form eines Energieträgers vorhanden (z. B. Gas, Kohle, Rohöl). Aufbereitete Energieformen wie z. B. Strom, Benzin, Heizöl etc. werden als Sekundärenergie bezeichnet. Endenergie ist die Energieform, die gemäß dem Verwendungszweck (z. B. Strom oder Wärme) zur Verfügung steht und in Nutzenergie umgewandelt wird (z. B. mechanische Arbeit, Raumwärme, Licht, Schall).

Nach dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik kann Energie in einem abgeschlossenen System nicht verloren gehen, also auch nicht „verbraucht“ werden.¹ Physikalisch gesehen findet immer eine Energiewandlung statt. Energiewandlungsprozesse sind unter realen Bedingungen nicht reversibel. In der Thermodynamik wird zwischen Energieformen, die Arbeit leisten können (Exergie) und solchen, die keine Arbeit mehr leisten können (Anergie), unterschieden. Die Gesamtenergie setzt sich aus Exergie und Anergie (Umgebungswärme) zusammen. Energieverluste sind in einem Energiewandlungsprozeß gleichbedeutend mit einem Anstieg der Anergie.

Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik macht die Grundvoraussetzung für einen Energiewandlungsprozeß deutlich. Er beschreibt die Nichtumkehrbarkeit natürlicher Vorgänge (Irreversibilität). Eine Energieumwandlung kann dabei immer nur von einem höheren zu einem niedrigeren Energieniveau erfolgen. Dabei geht immer Nutzenergie „verloren“ oder genauer, ein Teil der Energie wird in (nicht nutzbare) Anergie umgewandelt. Es wird in diesem Zusammenhang von einer Zunahme der Entropie (s. u.) gesprochen. Anhand der Wärmeenergie läßt sich der Zusammenhang verdeutlichen. Energie aus Wärme kann immer nur aufgrund einer Temperaturdifferenz gewonnen werden. Dabei ist die Arbeitstemperatur (Größe der Temperaturdifferenz zwischen Ein- und Austritt in den Prozeß) in einem Wärmeprozess ein Maß für den Exergie-Anteil, d. h. für die Arbeitsfähigkeit des Systems (z. B. in einem Kraftwerk).

Aus den Hauptsätzen der Thermodynamik folgt auch, daß es unterschiedliche „Qualitäten“ von Energie geben muß. Wird beispielsweise ein Vergleich zwischen elektrischer Energie und Wärmeenergie durchgeführt, so wird deutlich, daß die elektrische Energie eine höhere Wertigkeit hat, als die Wärmeenergie. Erzeugt z. B. ein Blockheizkraftwerk je eine Kilowattstunde Strom und Wärme,

¹ Da jedoch der Begriff Energieverbrauch im Sprachgebrauch sowie auch in wissenschaftlichen Publikationen durchaus üblich ist, soll er hier ebenfalls verwendet werden.

so ist der Strom universell einsetzbar und kann seinerseits z. B. mechanische Arbeit verrichten. Der Einsatzbereich der Wärme ist dagegen durch das Temperaturniveau bestimmt. Eine beliebige Umwandelbarkeit ist nicht gegeben. Der Exergieanteil der Wärme ist hier im Vergleich zum Strom gering.

In der Thermodynamik wird der Begriff der Entropie verwendet. Die Entropie ist ein Maß für die „Unordnung“ in einem geschlossenen System. Je größer die Entropie in einem Prozeß wird, desto höher ist der freigesetzte Anergieanteil. Entsprechend geringer ist die Arbeitsfähigkeit des Systems. Beispielsweise führt das Vermischen zweier Flüssigkeiten mit unterschiedlichen Temperaturen zu einer Zunahme der Entropie, begründet durch das niedrigere Temperaturniveau der vermengten Flüssigkeiten, wodurch der Exergie-Anteil sinkt.

Eine weitere wichtige Größe zur Beurteilung von Energiewandlungsprozessen ist der Wirkungsgrad. Er beschreibt das Verhältnis von abgegebener (Nutzenergie) zu zugeführter Energie. Beispielsweise wird einem Elektromotor elektrische Energie zugeführt, um eine Maschine anzutreiben (Umwandlung in mechanische Energie). Der Wirkungsgrad beschreibt das Verhältnis von abgegebener Energie (Nutzenergie) – in diesem Fall mechanische Energie – zu zugeführter Energie – im Beispiel elektrische Energie. Er ist immer kleiner als eins, da beispielsweise im Motor Verluste durch Erwärmung (elektrisch), Ummagnetisierung, Reibungswärme etc. auftreten.

In der Thermodynamik wird häufig der Carnot-Wirkungsgrad η_c verwendet. Er errechnet sich aus

$$\eta_c = 1 - T_u/T \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} T_u \dots \text{(absolute) Umgebungstemperatur,} \\ T \dots \text{(absolute) Temperatur (des Mediums).} \end{array}$$

Der Carnot-Wirkungsgrad definiert die (theoretisch) maximal mögliche Energieausbeute, die mit einem Energiewandlungsprozeß, der mit Wärmeenergie arbeitet, erreichbar ist.

Reale Prozesse (z. B. zur Kälteerzeugung) erreichen nach der o. a. Definition von Wirkungsgraden Werte, die größer als eins sein können. Das liegt daran, daß die erzeugte Energie einen hohen Anergieanteil aufweist. (Die Kälteerzeugung ist strenggenommen eine „Exergievernichtung“.)

2 Rahmenbedingungen für eine rationelle Energieverwendung in Hochschulen

2.1 Rechtliche und politische Rahmenbedingungen

Eine rationelle Energieverwendung wird u. a. durch den ordnungsrechtlichen Rahmen, den der Gesetz- und Verordnungsgeber setzt, beeinflusst. Zwei Bereiche können dabei unterschieden werden:

- Steuerung von energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen (z. B. Energiewirtschaftsgesetz, Stromeinspeisungsgesetz, Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform):

Insbesondere das novellierte Energiewirtschaftsgesetz vom 29. April 1998 [EnWG98], in Umsetzung der EU-Richtlinie für den Elektrizitätsbinnenmarkt, hat mit der Aufhebung des durch staatliches Recht quasi-monopolartig organisierten Energiemarktes grundlegende Veränderungen im Bezug von Energie in Deutschland eingeleitet. Hauptziel der Gesetzesnovelle ist „eine möglichst sichere, preisgünstige und umweltverträgliche Versorgung mit Elektrizität und Gas im Interesse der Allgemeinheit“. Durch das Gesetz sind die Voraussetzungen für einen Wettbewerb geschaffen worden. Zentrales Instrument ist die Nutzung vorhandener Netze durch Dritte gegen angemessenes Entgelt. Zusätzlich werden die vertikal integrierten Energieunternehmen (Erzeugung und Verteilung) in ihrem Rechnungswesen entbündelt und damit bezüglich der Netz-Nutzungs-Bedingungen kontrollierbar. Daneben gibt es weiterhin Schutz- und Erleichterungsklauseln für die Kraft-Wärme-Kopplung sowie für den Einsatz erneuerbarer Energien. Sie beruhen auf der Zielsetzung im Energiewirtschaftsgesetz (§ 1), neben der „sicheren und preiswürdigen Versorgung“ ausdrücklich eine „umweltverträgliche“ Energieversorgung zu wollen [Crusiu99].

Ausnahmeklauseln (sog. „Monopolklauseln“) im Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen von 1990 ([GWB1990], §§ 103 und 103a) „sind auf die Versorgung mit Elektrizität und Gas nicht mehr anzuwenden“. Sie sind in der Neufassung des Gesetzes [GWB1998] nicht mehr enthalten. Mit dem Energiewirtschaftsgesetz sind traditionelle Demarkationsabreden für Strom und Gas sowie Ausschließlichkeitsklauseln in Konzessionsverträgen unwirksam [EnWG98].

- Steuerung von Maßnahmen zur Energieeinsparung (Energieeinsparungsgesetz, Wärmeschutzverordnung, Heizkostenverordnung, Heizungsanlagenverordnung, Heizungsbetriebsverordnung, 1. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz):

Eine Reihe von Regelungen befaßt sich unmittelbar mit der Förderung einer rationellen Energieverwendung. Zu nennen ist hier die Heizungsanlagenverordnung [HeizAn94], die durch technische Maßnahmen den Nutzungsgrad, die Auslegung und die Leistungsaufteilung von Wärmeerzeugungsanlagen optimieren möchte. Auch die Wärmeschutzverordnung [WSVO94] unterstützt diese Zielsetzung. Wichtige Ziele sind die Verminderung des Jahresheizwärmebedarfs um 30 %, die Förderung der Wirtschaftlichkeit von Energiesparmaßnahmen sowie die Einführung eines „Wärmepasses für neue Gebäude“. Heizungsanlagenverordnung und Wärmeschutzverordnung werden vom Gesetzgeber fortgeschrieben und sollen im Jahr 2000 in einer Energiesparverordnung zusammengefaßt werden.

Auf Basis o. g. Regelungen, ergänzt um spezielle politisch gewollte Förderungen von Energieeinsparung, bestehen auf allen Ebenen (EU, Bund, Länder) Förderprogramme und Arbeitsanweisungen, z. B. für den staatlichen Hochbau, die es Hochschulen ermöglichen, spezielle Maßnahmen zu begründen und durchzuführen. Eine Liste der HIS bekannten Regelungen des Bundes und der Länder ist im Anhang zusammengestellt (s. S. 95).

Die Bereitschaft Energie einzusparen und in Maßnahmen zur Energiebedarfsreduzierung zu investieren, kann neben Förderprogrammen, rechtlichen und steuerlichen Vorgaben (z. B. „Öko-

Steuer“) auch durch finanzielle Anreize im Rahmen der Haushaltsführung gefördert werden. So hat sich gezeigt, daß mit der Einführung globaler Haushaltsstrukturen, verbunden mit der Möglichkeit für die Hochschulen, an eingesparten Energiekosten zu partizipieren, ein erhöhtes Interesse auch auf der Seite der Hochschulleitung und der nutzenden Fachbereiche entstehen kann, durch Investitionen in technische Maßnahmen den Energieverbrauch und damit die Energieverbrauchskosten zu senken.

An der Universität Hamburg wurden beispielsweise seit Einführung des Globalhaushaltes weit mehr Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs durchgeführt als in den Jahren davor. Investitionen bis zu einer Höhe von 3 Mio. DM im Jahr können durch die Universität selbst ausgeschrieben werden. Eingesparte Kosten müssen nach einem festgelegten Schlüssel auch an die Fachbereiche weitergegeben werden.

2.2 Energieeinsparung und Umweltschutz

Die umweltverträgliche Energieerzeugung spielt auch im novellierten Energiewirtschaftsgesetz [EnWG98] eine wichtige Rolle. Nicht zuletzt die u. a. von der deutschen Bundesregierung getragenen Beschlüsse zur Verminderung der energiebedingten Treibhausgas-Emissionen (als Ergebnis der Weltklimakonferenz in Toronto 1988 sowie der Folgekonferenzen 1990 bis 1998) haben innerstaatlich zu einem Programm mit ordnungsrechtlichen Anforderungen, ökonomischen Instrumenten und flankierenden Maßnahmen geführt. Die Länder wiederum haben diese Vorgaben durch Richtlinien oder Erlasse für ihren Bereich (staatlicher Hochbau) umgesetzt, in denen Möglichkeiten zur Energieverbrauchsreduzierung gefördert bzw. vorgeschrieben werden.

Umfangreiche Überlegungen zur Bewertung von Schadstoffreduktionen hat es im Land Bremen gegeben. Vor dem Hintergrund der Weltklimakonferenzen in Toronto 1988 und dem Ziel, u. a. die CO₂-Emissionen zu reduzieren, wurde versucht, vermiedene Umweltbelastungen mit eingesparten Kosten zu hinterlegen. Aus den Daten einer Untersuchung des Wissenschaftszentrums Berlin (im Auftrag des Statistischen Bundesamtes) sind die Umweltkosten 1985 in der Bundesrepublik Deutschland auf mindestens 200 Mrd. DM/a beziffert worden. Nach Auffassung von Experten entfallen davon ca. 50 Mrd. DM/a auf das Verbrennen von Öl, Kohle und Gas. Mit der Annahme, daß 44 % der Energieverbraucher der Bundesrepublik Deutschland der Gruppe der „Haushalte und Kleinverbraucher“ angehören, zu denen auch die Gebäude der öffentlichen Hand zählen, wurden daraus 22 Mrd. DM Umweltkosten bestimmt. Bezogen auf die seinerzeit (1989) – nach Feststellungen des Bundesumweltamtes – jährlichen CO₂-Emissionen von 200 Mio. t/a für Gebäudeheizung, lassen sich Umweltkosten von 0,11 DM/kg CO₂ errechnen. Dieser Wert war die Basis für die Festlegung eines Umweltbonus-Anteils [Glasne93].

In der Praxis haben sich die Bonus-Regelungen einzelner Bundesländer nicht durchgesetzt. Begründen läßt sich das vor allem mit den knapper gewordenen öffentlichen Mitteln, die Investitionen in energiesparende Maßnahmen erschwert haben. Es wurde aber auch beobachtet, daß insbesondere Anbieter mit monopolartigem Charakter (z. B. EVU) ihre Preise nach Einführung von Bonusprogrammen angepaßt (d. h. erhöht) haben, so daß seitens der öffentlichen Hand preisliche Nachteile befürchtet und auch festgestellt wurden.

Unabhängig von dieser Entwicklung haben einzelne Hochschulen im Zuge eines beginnenden Wettbewerbs untereinander den Umweltschutz als Teil eines „Qualitätsmanagements“ erkannt und durch die Aufstellung von Umweltleitlinien, die Errichtung eines Umweltmanagementsystems, oder sogar durch eine Validierung nach der Öko-Audit-Verordnung² nach außen hin werbewirksam eingesetzt. Bei den Umweltschutzmaßnahmen spielt der Bereich „Energieeinsparung“ im allgemeinen eine zentrale Rolle.

² Nähere Informationen hierzu bei HIS oder von der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Sozialwesen Zittau/Görlitz (FH) unter <http://www.htw-zittau.de> (Beispiel).

An der Technischen Universität Berlin wurde ein Umweltmanagementsystem in Anlehnung an die EU-Öko-Audit-Verordnung [EU93] eingeführt. Im Rahmen des Umweltmanagements stellen Energiethemen einen Schwerpunkt dar. Einen hohen Stellenwert nimmt die Information und Kommunikation der beteiligten Gruppen ein. Unterstützt wird dies durch die Bestellung von Ansprechpartnern in Form von ca. 200 sog. Dezentralen Umweltbeauftragten. Einen weiteren Schwerpunkt stellt die innerbetriebliche Weiterbildung dar. Jährlich werden etwa 20 Kurse zu Energie- und Umweltthemen für interessierte Mitarbeiter angeboten [Albrec98].

An der Universität Osnabrück wurden am Institut für Umweltsystemforschung die Grundlagen für ein Umweltmanagementsystem (in Anlehnung an die EU-Öko-Audit-Verordnung [EU93]) zur Einführung an der Universität erarbeitet. Das Projekt umfaßte fünf Phasen, die die Erstellung von Umweltleitlinien, Erarbeitung einer Öko-Bilanz, Aufstellung von Umweltzielen, Entwurf von Handlungsinstrumenten zum Umweltschutz und Verfassen eines Umweltberichts beinhalteten. Ein wichtiger Projektbestandteil war die Aufstellung von Öko-Bilanzen. Hierzu wurden mit Hilfe einer speziellen Software Energieflußmodelle entwickelt, die es ermöglichen, für verschiedene Energieversorgungsszenarien die umweltrelevanten Stoffströme zu ermitteln. Dabei können alle Faktoren, die beispielsweise zur Energieerzeugung erforderlich sind, berücksichtigt werden. Im Einzelfall können bei der Betrachtung einer Heizungsanlage mit Ölföuerung die Rohölgewinnung, Transport und Raffinierung mit in die Betrachtung einfließen (auch die Herstellung der Anlagen läßt sich berücksichtigen), so daß je nach gewünschter Tiefe der Betrachtung umfangreiche Stoffstromanalysen möglich sind [Viebah98], [VieMat99].

Eine Reihe von Hochschulen verfolgen diese Ziele auch übergreifend im nationalen und internationalen Rahmen, wie die Unterzeichnung der Copernicus³-Charta für nachhaltige Entwicklung 1994, die Gründung eines weltweiten Energy-University-Environment (EUE) Consortiums 1995 in Bordeaux sowie die Errichtung eines deutschen „Netzwerks für eine umweltgerechte Entwicklung der Hochschulen“⁴ deutlich machen (näheres hierzu in [VieMat99]).

2.3 Gebäudestruktur und technische Infrastruktur in der Hochschule

Gebäudestruktur und technische Infrastruktur bestimmen in hohem Maße den Energieverbrauch einer Hochschule. Beispielsweise wird der Wärmebedarf bei einem hohen Altbauanteil an Gebäuden aufgrund fehlender Wärmedämmung und ungünstiger Volumen-Flächen-Verhältnisse der Räume höher sein, als bei von der Nutzung her vergleichbaren Neubauten. Umgekehrt zeichnen sich gerade Neubauten häufig durch eine höherwertige technische Ausstattung (speziell im Bereich Klima- bzw. Raumlufttechnik) aus, die wiederum einen höheren Bedarf an elektrischer Energie erfordert. Nicht zuletzt ist die Art der Nutzung von entscheidender Bedeutung. Forschungsinstitute mit hohem technischen Ausstattungsgrad, wie sie besonders in den naturwissenschaftlichen Fächern (speziell Biologie, Chemie, Medizin und Physik) genutzt werden, zeichnen sich durch einen ungleich höheren Energieverbrauch aus als beispielsweise Einrichtungen und Institute von geisteswissenschaftlichen Fachbereichen.

Untersuchungen an der Universität Hannover haben in bezug auf den Wärmeverbrauch ergeben, daß sowohl die massive Bauweise um die Jahrhundertwende als auch moderne Gebäude (nach 1970 errichtet), die sich durch eine hohe Wärmedämmung auszeichnen, überwiegend einen geringen Wärmeverbrauch aufweisen. Deutlich wurde auch, daß Wärmedämmmaßnahmen bei Gebäuden, die zwischen 1900 und 1970 errichtet wurden, den Energieverbrauch senken können [GiKrMu99].

³ **Cooperation Programme in Europe for Research on Nature and Industry through Coordinated University Studies** – ein Programm der Konferenz der europäischen Hochschulrektoren (CRE) mit dem Ziel eine Zusammenarbeit in Umweltfragen von Hochschulen und anderen gesellschaftlichen Einrichtungen in Europa zu fördern.

⁴ Seit Juli 1999 im Internet zu erreichen unter <http://www.eco-campus.net>.

Heizwärme- und Stromverbrauch sind von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Für den Heizwärmeverbrauch sind

- Alter des Gebäudes,
- Gebäudesubstanz (Wärmedämmung, Bauteile, etc.),
- Ausrichtung und Lage des Gebäudes,
- Nutzung und Nutzerverhalten,
- technischer Ausstattung, Nutzungsgrad und Zustand der Heizanlagen

von Bedeutung. Der Stromverbrauch ist in stärkerem Maße von der installierten bzw. genutzten Technik und deren Nutzung abhängig, insbesondere von:

- Installationsgrad bzw. technischer Ausstattung der Gebäude (Klimatechnik, Beleuchtung, Geräte und Anlagen),
- Betriebszeiten der Anlagen und Geräte,
- technischer Ausstattung, Wirkungsgrad und Zustand der Anlagen
- Nutzung und Nutzerverhalten.

Bisherige Untersuchungen des Strom- und Wärmeverbrauchs an größeren Hochschulen ergaben, daß dort zwei Drittel des Energiebezugs auf die Wärmeenergie und das restliche Drittel etwa auf die elektrische Energie (Strom) entfallen. Für die Hochschulkliniken ist beispielsweise ein Anteil des elektrischen Stroms am Gesamtenergieverbrauch von ca. 27 % ermittelt worden [Person96]. Bei den Kosten liegen die Verhältnisse anders. Hier werden ca. 50 % Kosten für elektrische Energie aufgewendet und nur etwa 40–50 % für die Wärmeversorgung [Katten99].

Die Erfahrung zeigt, daß die in den Hochschulen zur Verfügung stehenden Informationen zum Energieverbrauch und zum Energiebedarf für eine genauere Analyse einzelner Gebäude und Anlagen in der Regel nicht ausreichen. Vorhanden sind häufig nur Abrechnungsdaten, die sich aus den Rechnungen für die Energielieferung (Gas, Öl, Fernwärme, Strom etc.) entnehmen lassen.

2.4 Energiekosten

Der zunehmende Druck, Kosten zu reduzieren, führte in den letzten Jahren dazu, daß auch der Bereich Energie Ziel verstärkter Anstrengungen zur Ermittlung und Realisierung von Einsparpotentialen wurde. Zwar ist der Anteil der Energiekosten an den Nutzungskosten von öffentlichen Einrichtungen, insbesondere an Hochschulen, gegenüber den Personalkosten relativ gering, in der Kostengruppe der Betriebskosten bilden sie jedoch neben den Reinigungskosten häufig den größten Anteil⁵. Während sich die Personalkosten in den Hochschulen kurzfristig nur in geringem Maße als veränderbar erweisen, zeigen Erfahrungen im Bereich Energie, daß hier oft bereits mit kleineren Investitionen spürbare Erfolge bei der Reduzierung der laufenden Energiekosten erreicht worden sind. In der Vergangenheit waren deshalb Investitionen in Energiesparmaßnahmen immer auch mit der gleichzeitigen Zielsetzung „Kostenreduzierung“ gekoppelt.

Während in der Industrie, abgesehen von Projekten mit hohem Förderungsanteil oder hoher Werbewirksamkeit, Amortisationszeiten von höchstens vier Jahren vorausgesetzt werden, sind im Hochschulbereich auch längere Amortisationszeiten interessant, da hier davon auszugehen ist, daß die Standortfrage eine eher untergeordnete Rolle spielt (für Produktionsbetriebe können dagegen häufig keine längeren Standortgarantien zugesagt werden).

Mit der Novellierung des Energiewirtschaftsgesetzes ist – wie an anderer Stelle bereits verdeutlicht – kurzfristig eine Entkoppelung des bislang weitgehend linearen Zusammenhangs zwischen

⁵ Beispielsweise lag der Anteil der Energiekosten (spezifische Kosten) an den Betriebskosten in den Hochschulkliniken 1994 bei ca. 27,5 % (Zum Vergleich: Anteile für Reinigung 36,7 %, Bedienung/Wartung/Inspektion 26,9 %, Wasser/Abwasser 5,2 %, Abfall 3,7 %) [Person96].

einer Senkung der Energiemengen und einer Senkung der Energiekosten entstanden. Derzeit ist durch veränderte Markt- und Verhandlungsbedingungen mit den Energieversorgungsunternehmen eine Kostensenkung durch niedrigere Bezugspreise und günstige Energiebezugsbedingungen erreichbar, ohne daß sich die Verbrauchsmengen ändern müssen.

2.5 Organisation/Zuständigkeiten/Steuerung in der Hochschule

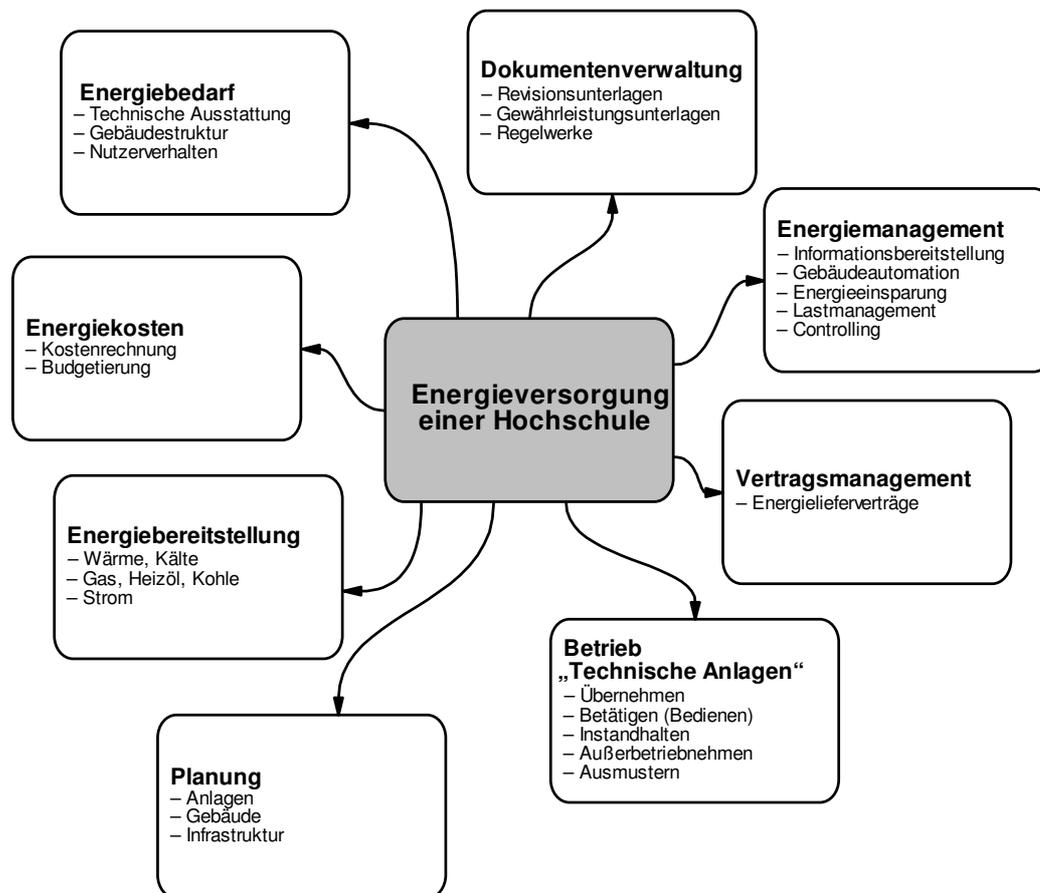


Abb. 2: Aufgaben, die organisatorisch mit der Energieversorgung zusammenfallen

In **Abb. 2** sind die Aufgaben, die an einer Hochschule mit der Energieversorgung zusammenfallen, dargestellt. Organisatorisch sind diese Aufgaben (und damit auch die Energieeinsparung) in der Regel in den technischen Abteilungen (Dezernaten) in den Hochschulen verortet. Es gibt aber auch Fälle, in denen der Aufgabenbereich auf mehrere Sachgebiete, Dezernate und/oder zusätzliche Stabsstellen verteilt ist. In diesem Fall sind interne Abstimmungsverfahren notwendig.

An der Universität Münster befaßt sich z. B. das Dezernat 4 (Bau- und Liegenschaftsangelegenheiten, Hausverwaltung, Umweltschutz, Arbeitssicherheit, Betriebstechnik) mit diesem Aufgabenbereich, hat jedoch die Teilaufgaben unterschiedlichen Abteilungen bzw. Sachgebieten zugeordnet.

Im Rahmen der Einführung von eigenständigen Abteilungen, Sachgebieten etc. für den Bereich Umweltschutz, wurden an einigen Hochschulen Zuständigkeiten für den rationellen Energieeinsatz diesem Bereich zugeordnet (z. B. in Form von Energiebeauftragten bzw. Umweltschutzbeauftragten).

Eine solche grundsätzliche Aufgabentrennung birgt ein latentes Spannungsverhältnis zwischen den eher praktisch ausgerichteten technischen Abteilungen und den häufig auf eine grundsätzliche Änderung in Richtung „Ökologisierung der Hochschule“ ausgerichteten Umweltbeauftragten. HIS hat sich im Rahmen seiner 1996 durchgeführten Bestandsaufnahme zur Organisation des Arbeits- und Umweltschutzes in Hochschulen“ mit einer solchen „Arbeitsteilung“ kritisch auseinandergesetzt und vorgeschlagen [StrMül95]:

„Alle Aufgabenstellungen, die dem ressourcensparenden Umweltschutz dienen und traditionell der Betriebstechnik (z. B. Energie-, Wassereinsparung) oder anderen Verwaltungsbereichen (z. B. Beschaffung) zugeordnet sind, sollten nach dem derzeitigen Kenntnisstand bei diesen verbleiben. Hier sollte versucht werden, eine Leistungsmodernisierung generell durch die Berücksichtigung von Anforderungen des Umweltschutzes zu erreichen (z. B. Energietechnik als Energiesparteknik, Beschaffung als umweltfreundliche Beschaffung). Wenn die Funktion eines Umweltbeauftragten in einer Hochschule, trotz o. g. Bedenken, eingerichtet werden soll, ist dies nur im Sinne einer stärkeren Verklammerung von Forschung, Lehre und Betrieb angebracht (Anbindung beim Präsidenten oder Rektor bzw. Senat).“

Bei einer sorgfältigen Festlegung der Schnittstellen ist allerdings auch eine Arbeitsteilung vorstellbar: Während die Technische Abteilung (Betriebstechnik) in der Regel das Know-how für die praktische Umsetzung technischer Maßnahmen beisteuern kann, ist die Aufgabe der speziellen Umwelt- oder Energiestellen die Vorbereitung der Maßnahmen (Auswahl, Berechnung der Wirtschaftlichkeit etc.) und später die Dokumentation der Ergebnisse, um damit den Erfolg einer Maßnahme nachweisen zu können. Die Praxis zeigt, dass gerade Vorbereitung und Dokumentation von Maßnahmen in den technischen Abteilungen aufgrund des „Alltagsgeschäfts“ zurückgestellt werden müssen.

In der Studie des Instituts für Umweltsystemforschung an der Universität Osnabrück [VieMat99] wird für die eigene Hochschule u. a. folgende organisatorische Lösung vorgeschlagen: Der Präsident wird als verantwortlicher Managementvertreter für die Anwendung und Aufrechterhaltung des Umweltmanagements bestellt [...] [Ihm] wird zur optimalen Durchführung dieser Aufgaben die Koordinationsstelle Umweltmanagement als Stabsstelle unterstellt. Um die gewachsenen Aufgaben des Umweltschutzes zu dokumentieren, wird die Umbenennung des Dezernates 6 (Technik – Liegenschaften – Sicherheit – Bauplanung) in Dezernat 6 (Umwelt und Technik) vorgeschlagen [...] Die bisherige Struktur wird ergänzt um die Bereiche Gesamtplanung Energie und Gesamtplanung Wasser.

Für den Hochschulbereich gibt es bezogen auf das Aufgabenfeld Energie noch eine Besonderheit. Organisatorisch ist die Energieeinsparung in der Regel in den technischen Abteilungen verortet. Im Rahmen der landeseigenen Betriebsüberwachung ist die Bauverwaltung (Oberfinanzdirektionen) oder die dafür zuständige Stelle (Hamburg: Umweltbehörde, Nordrhein-Westfalen: Landesinstitut für Bauwesen – LB – Aachen, Baden-Württemberg: Zentralstelle für Bedarfsbemessung und wirtschaftliches Bauen – ZBWB) mit eingebunden bzw. ausschließlich zuständig. Historisch gesehen ist die in den meisten Fällen anzutreffende Zuständigkeitsverteilung aus den Regelungen der RBBau⁶ entstanden, die von den Bundesländern in der Regel in dieser Form übernommen wurden. Im Zuge der Vergrößerung der Verwaltung und damit auch der Betriebstechnik an den Universitäten wurden im Laufe der Zeit Aufgaben an diese delegiert, bzw. werden dort aus eigenem Interesse wahrgenommen.

⁶ Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes im Zuständigkeitsbereich der Finanzbauverwaltungen [RBBau95]. Von den Bundesländern in der Regel übernommen und dort jeweils als RLBau (bzw. DABau) eingeführt.

3 Maßnahmen zur rationellen Energieverwendung

3.1 Technische Maßnahmen

Die Versorgung von Gebäuden mit Energie und Medien in Form von Wärme, Strom, Kälte, Druckluft, Wasser etc. ist ohne den Einsatz von Technik nicht denkbar. Neben dem Energieeinsatz zur Heizung, Beleuchtung, Belüftung und Klimatisierung sind in den Hochschulen eine Vielzahl technischer Anlagen und Geräte zur Unterstützung von Forschung und Lehre, Medizin (Universitätskliniken) und Verwaltung im Einsatz. Die Optimierung der Energieverwendung ist in der Regel mit einem Einsatz von zusätzlicher Technik verbunden.

In den folgenden Abschnitten wird zunächst auf die zentralen Elemente der Steuerung, Regelung, Überwachung und Datenerfassung eingegangen (Gebäudeautomation und MSR-Technik). Im Anschluß werden anlagenbezogene Maßnahmen im Bereich der Wärmeerzeugung- und -verteilung, Raumlufttechnik, Kälteversorgung und Elektrotechnik näher beschrieben. Prozeßbezogene Maßnahmen, wie Wärmerückgewinnung, Einsatz von Wärmepumpen und Nutzung von Prozeßabwärme werden gesondert betrachtet. Anlagen zur Stromerzeugung z. B. in Form von Kraft-Wärme-Kopplung und gebäudebezogene (bauliche) Maßnahmen (Wärmedämmung, passive Solarenergienutzung) bilden weitere Schwerpunkte. Außerdem werden Möglichkeiten des Einsatzes regenerativer Energieträger aufgezeigt.

3.1.1 Gebäudeautomation und MSR-Technik

3.1.1.1 Gebäudeautomation

Der Einsatz von Gebäudeautomation erfolgt zur Überwachung, Steuerung und Regelung von Beleuchtung, Heizung, Lüftung, Kühlung sowie sonstigen Anlagen, die den Strom- und/oder Wärmeverbrauch beeinflussen. Durch einen verbesserten Anlagenbetrieb können damit Einsparungen bei den Energiekosten bewirkt werden, die im Einzelfall mehr als 25 % betragen können [BarWie96]. Die Aufschaltung von betriebstechnischen Anlagen auf ein Gebäudeautomations-System ermöglicht die individuelle Parametrierung einzelner Energieverbraucher. Mit Hilfe automatisierter Abläufe, z. B. durch zeit- und ereignisgesteuerte Schaltprogramme, lassen sich erhebliche Energieeinsparungen mit geringem Aufwand realisieren (– weitere Informationen zur Gebäudeautomation enthält [PerTeg98]).

Insbesondere durch den Einsatz einer Gebäudeleittechnik (GLT) entsteht ein übergeordnetes Betriebsführungs- und Überwachungsinstrument, mit dem gebäude- bzw. bedarfsspezifische Anpassungen des Energieverbrauchs möglich sind. Durch den Ausbau einer Gebäudeautomation zu einem GLT-System kann ein wirkungsvolles Energiemanagement durchgeführt werden. Die GLT unterstützt dies durch Bereitstellung von jeweils aktuellen Informationen zum Energieverbrauch und Zustand der Anlagen, so daß ein Erkennen von Schwachstellen und ein frühes Eingreifen möglich ist. Ein GLT-System trägt damit indirekt zur Reduzierung des Energieverbrauchs bei.

Der Einsatz von speziellen Gebäudeautomations-Systemen ermöglicht die automatische Durchführung von Abschaltungen sowie Überwachungen und Optimierungen des Betriebs, auch bei komplexen Abläufen. Daneben sind aber auch einfachere und kostengünstigere Systeme erhältlich. Dazu zählt die Gebäudesystemtechnik mit dem Europäischen Installations Bus (EIB), der in vielen Fällen eine Alternative zu aufwendigen Gebäudeautomations-Systemen darstellt. Neben dem EIB gibt es weitere Systeme mit unterschiedlichen Charakteristika, wie z. B. das Local Operating Network (LON). Sie lassen sich zum Teil auch zu vollständigen GLT-Systemen ausbauen oder bieten sich als Subsysteme zu deren Unterstützung an.

In Verbindung mit GLT-Systemen ermöglicht die Gebäudeautomation auch die Durchführung von Analysen und Auswertungen, die dem wirtschaftlichen Anlagenbetrieb dienen. Hierzu zählen die Ermittlung von Energiesparpotentialen (durch Bereitstellung von Vergleichsdaten) und Instandhal-

tungsinformationen (werden die Anlagen bestimmungsgemäß betrieben?). Fehlerhafte, verschmutzte oder schlecht gewartete Anlagen zeichnen sich häufig durch einen erhöhten Energieverbrauch aus.

Im Universitäts-Krankenhaus Hamburg-Eppendorf (UKE) gelang durch die kontinuierliche Erweiterung der GLT-Aufschaltung im Bereich der Heizungsanlagen eine Reduzierung des Energieverbrauchs. Beispielsweise konnte die Heizwasserrücklaufemperatur um 10 K abgesenkt werden. Durch die GLT-unterstützte Steuerung und Überwachung der Heizzentralen in den einzelnen Gebäuden bzw. die individuelle Parametrierung einzelner Heizkreise ist es möglich, einen an den spezifischen Bedarf der Gebäude angepaßten Heizbetrieb zu realisieren.

Am Fachbereich Maschinenbau der Fachhochschule Hannover wird derzeit ein Projekt zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs durch den Einsatz einer Einzelraumregelung durchgeführt. Dabei wurden drei identische Gebäudetrakte der Fachhochschule mit vergleichbarem Vorlesungsbetrieb ausgewählt. Ein Trakt wurde mit einer Einzelraumregelung ausgestattet, die beiden anderen können zu Vergleichsmessungen herangezogen werden. Die Einzelraumregelung ermöglicht die bedarfsabhängige Regelung der benötigten Raumwärme u. a. durch Fensterkontakte zur Kontrolle der Fensteröffnung, Raumtemperaturfühler, Präsenzmelder (zur Erkennung ob ein Raum belegt ist) und Taster zur individuellen Wärmeanforderung. Die Bauteile sind an ein Gebäudeleitsystem angeschlossen, mit dessen Hilfe aktuelle Daten überwacht und protokolliert werden können. Die bisherigen Auswertungen ergaben Energieeinsparungen in dem betreffenden Gebäudetrakt von ca. 35 % [Nordma99]. Mit vergleichsweise geringem Aufwand wurden wesentlich höhere Kosteneinsparungen (ca. 15.000 DM pro Jahr) durch die Reduzierung der Vertragsleistung für Fernwärme von zunächst 3.000 kW in mehreren Schritten auf 1.500 kW erreicht. Die Reduzierung wurde erst durch die Auswertung der Daten ermöglicht, die das (im Zuge der Messungen an den Einzelraumregelungssystemen) installierte GLT-System zur Verfügung stellte.

Betriebstechnische Daten (z. B. Energiedaten) können mit Hilfe entsprechender Technik (Modem, ISDN, Funk etc.) auch von entfernten Liegenschaften abgefragt bzw. gesendet werden. Bereits jetzt zeichnet sich ab, daß hier auch Internet-Technologie an Bedeutung gewinnt. So ist es durchaus technisch realisierbar, Automationssysteme als Web-Server zu konfigurieren, und so einen Zugriff auf einzelne Controller oder ganze GLT-Systeme zu ermöglichen⁷.

3.1.1.2 Zähler

Die Ermittlung des Energieverbrauchs steht am Anfang einer jeden Ist-Erfassung. Sie erfolgt durch Messen und Zählen der Mengen der verschiedenen Energieträger über einen festgelegten Zeitraum. Wichtige Voraussetzung für eine effiziente Ermittlung von Energieverbräuchen ist daher eine entsprechende Ausstattung mit Zählern, verbunden mit der Möglichkeit, diese weitgehend automatisch ablesen zu können. In der Praxis ist die Ausstattung mit entsprechender Technik auf der Gebäude- und Anlagenebene häufig nicht gegeben. Lediglich an der Schnittstelle zum Energiesorger sind Zähler installiert. Aber auch wenn Zähler vorhanden sind, ist der Aufwand für eine häufige regelmäßige Ablesung oft zu hoch, wenn diese mühsam von Hand durchgeführt werden muß.

Für die Vernetzung von Zählern und die direkte Abfrage und Übertragung von Meß- und Zählwerten an ein Leitsystem (z. B. PC) sind mittlerweile busfähige Zähler erhältlich. Bisher ist es nicht gelungen, ein einheitliches Format für die Datenübertragung zu definieren, so daß eine Reihe von Bus-Systemen und Übertragungsprotokollen existieren. In der Praxis haben sich für diesen Aufgabenbereich speziell die Systeme EIB, Interbus-S, LON, M-Bus und Profibus-DP durchgesetzt. Während die meisten Bus-Systeme einen universellen Charakter aufweisen und allgemein in der Meß-/Steuer- und Regelungstechnik (MSR-Technik) verwendet werden, handelt es sich beim M-Bus um ein speziell für den Einsatz von Zählern entwickeltes Bus-System. Eine Übersicht über verschiedene Bus-Systeme, wie sie in der Gebäudeautomation verwendet werden, findet sich in [PerTeg98].

⁷ Beispiele hierzu sind im Internet u. a. unter <http://www.echelon.com> zu finden.

Die Durchführung automatisierter Messungen kann in Abhängigkeit von den Anforderungen an die Verfügbarkeit der Daten stark vereinfacht werden. In vielen Fällen reicht es aus, wenn aktuelle Meßergebnisse im Abstand von mehreren Stunden, einmal täglich oder noch seltener zur Verfügung stehen. Solche Anlagen oder Gebäude, bei denen außerdem keine starken bzw. beeinflussbaren Verbrauchsschwankungen zu erwarten sind oder die nur selten in Betrieb genommen werden, können z. B. über Selbstwählsysteme an das Telefonnetz angeschlossen werden. Hierzu gibt es eine Reihe von Kompakt-Automationssystemen, die speziell für kleine Liegenschaften oder Systeme mit eingeschränkten Überwachungsfunktionen optimiert sind und über entsprechende Kommunikationsfunktionen verfügen⁸.

Bei der Zusammenschaltung von Energiezählern mit Unterzählern z. B. für einzelne Gebäude oder abzurechnende Verbraucher sind die Meßfehler, die z. B. aus Leitungsverlusten resultieren sowie eventuell angeschlossene zusätzliche Verbraucher ohne eigenen Zähler zu beachten. Sie verfälschen das Gesamtergebnis und können ggf. beim Einsatz von DV-gestützten Systemen zu Problemen (Plausibilität) führen. Im Beispiel (s. **Abb. 3**) ergibt die Summe der Zählerablesungen der Zähler A...C nicht das auf dem Hauptzähler abgelesene Ergebnis (Verbraucher Gebäude D und Verluste auf den Leitungen X-A, X-B u. X-C werden nur über den Hauptzähler erfaßt).

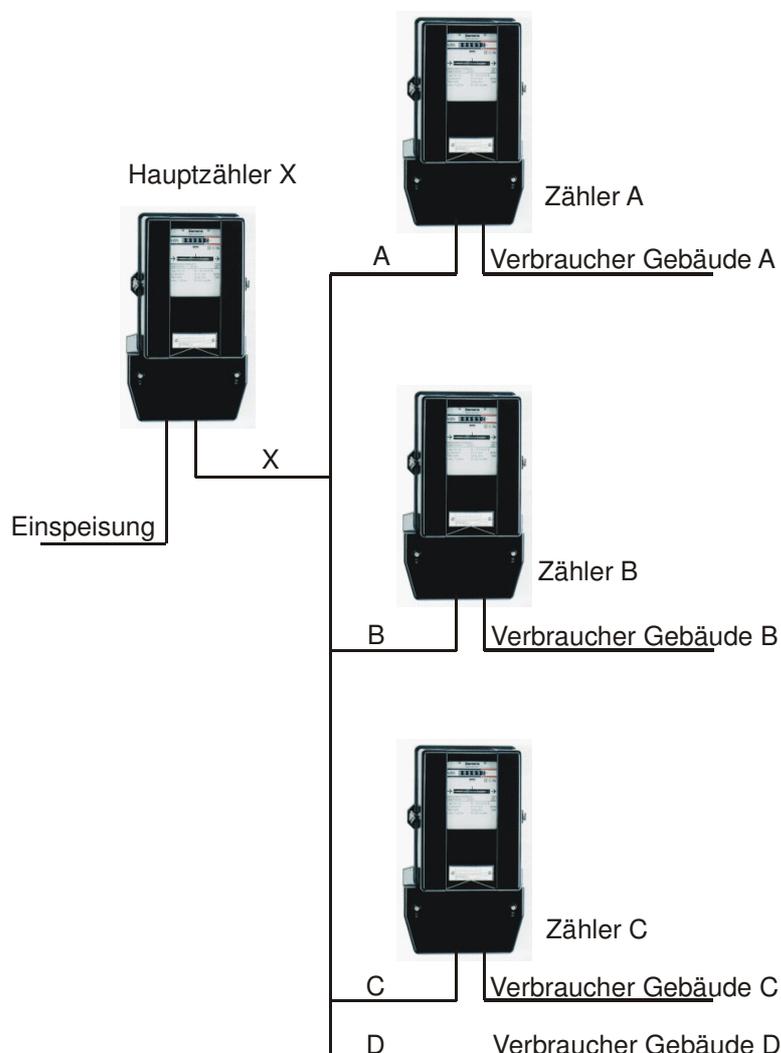


Abb. 3: Zusammenschaltung mehrerer Unterzähler mit einem Hauptzähler

3.1.1.2.1 Gas, Heizöl und Kohle

Gas, Heizöl und Kohle zählen – neben der Kernenergie, die hier nicht betrachtet wird – zu den am häufigsten eingesetzten primären Energieträgern⁸. Sie werden zur Erzeugung von elektrischer Energie, Wärme und Kraft eingesetzt. Die Zählung erfolgt in der Regel nicht in Energie-, sondern in Mengeneinheiten. Der Energiegehalt läßt sich aus den spezifischen Angaben der Energieträger ermitteln. Diejenige Wärmemenge, die bei vollständiger Verbrennung eines Brennstoffes frei wird, heißt nach DIN 5499 Brennwert (Angabe in kJ/kg oder kJ/m³).

Der Energiegehalt von Brennstoffen, die Wasserstoff und damit in den Verbrennungsprodukten auch Wasserdampf enthalten, wird mit dem Heizwert H_u gekennzeichnet. Wird die Verdampfungswärme des Wassers in den Verbrennungsgasen mit berücksichtigt (z. B. bei der Brennwertechnik), wird der Brennwert H_o zugrunde gelegt.

Brennwerte und Heizwerte werden auf bestimmte Umgebungsbedingungen bezogen (z. B. auf eine Temperatur von 25°C bei einem Umgebungsdruck von 1,013 bar = 1.013 hPa).

Für Erdgas liegt der Brennwert H_o zwischen ca. 35.000 (Typ L) und 41.000 kJ/m³ (Typ H) bzw. 9,7 und 11,4 kWh/m³, für Stadtgas bei 18.000 kJ/m³ (= 5 kWh/m³). Grundlage ist der Normkubikmeter m³ (1 m³ bei 1.013 hPa und 0°C). Der Energiegehalt ist auf den Abrechnungen des EVU angegeben (maßgebend ist hier jeweils der Brennwert).

Gaszähler ermitteln die Durchflußmenge bezogen auf einen festgelegten Zeitraum (z. B. m³/h). Geräte mit digitalem Impulsausgang liefern eine bestimmte Anzahl von Impulsen je Mengeneinheit. Die Umrechnung muß mit einer nachgeordneten Auswerteelektronik (Impulszählung und Umrechnung in die gewünschte Einheit) erfolgen. Für Vergleichszwecke erfolgt die Umrechnung vorzugsweise in Kilowattstunden (1 kWh = 3.600 kJ).

Für Heizöl EL beträgt der Heizwert H_u = 42.700 kJ/kg, entsprechend ca. 11,86 kWh/kg. Bei einer Dichte von 850 kg/m³ (bei 15°C) ergibt sich der Heizwert H_u = ca. 36.300 kJ/l (ca. 10,08 kWh/l). Für Heizöl der Kategorien M gilt: H_u = 41.020 kJ/kg bzw. ca. 11,29 kWh/kg). Bei einer Dichte von 910 kg/m³ sind das ca. 37.300 kJ/l bzw. 10,37 kWh/l. Für schweres Heizöl (Typ S) liegt der Heizwert H_u bei 39.770 kJ/kg (ca. 11,05 kWh/kg), bei einer Dichte von 960 kg/m³ ergeben sich ca. 38.200 kJ/l (ca. 10,61 kWh/l).

Heizölzähler werden in der Regel als Ringkolbenzähler (ggf. mit Impulsausgang) für Durchflußmengen zwischen 4 und 20.000 l/h angeboten [FKGB1993].

Als feste Brennstoffe werden Steinkohle, Rohbraunkohle und Braunkohlenbriketts eingesetzt. Die Heizwerte sind abhängig vom Rohstoff und schwanken je nach Herkunft. Sie betragen für Steinkohle zwischen ca. 28.000 kJ/kg (ca. 7,8 kWh/kg) und 33.000 kJ/kg (ca. 9,2 kWh/kg), für Rohbraunkohle zwischen etwa 7.500 kJ/kg (ca. 2,1 kWh/kg) und 14.000 kJ/kg (ca. 3,9 kWh/kg) und für Braunkohlenbriketts zwischen etwa 20.100 kJ/kg (ca. 5,6 kWh/kg) und 20.900 kJ/kg (ca. 5,8 kWh/kg).

Die laufende Zählung der Verbrauchsmenge an festen Brennstoffen gestaltet sich in der Praxis von der Handhabung her ungünstig. Möglich wäre das Auswiegen entweder des entnommenen Brennstoffes oder der Restmenge.

Die Ausbeute an Nutzenergie (z. B. Heizwärme im Gebäude) wird infolge von Verlusten immer niedriger sein als der Betrag des Energiegehaltes der eingesetzten Brennstoffe. Beispielsweise liegt bei einem Heizkessel mit Verlusten von ca. 6 % sowie Leitungsverlusten zum Gebäude von ca. 8 % der Anteil an nutzbarer Wärmeenergie bei ca. 86,5 % (= 100 · 0,94 · 0,92). Diese ist beim Einsatz von Zählern zu Abrechnungszwecken zu berücksichtigen.

⁸ Einen Einblick in die damit verbundenen Möglichkeiten bietet die im Rahmen des Projektes REUSE am IKE der Universität Stuttgart entstandene Software. Der Zugriff ist unter <http://reuse.ike.uni-stuttgart.de> möglich.

⁹ Heizöl zählt genau genommen bereits zu den sekundären Energieträgern. Primärenergieträger wäre hier Rohöl.

Bei der Betrachtung der Energiekosten sind immer die tatsächlichen Kosten zu berücksichtigen. Beim Einsatz von Primärenergieträgern also die Kosten für den Bezug des Energieträgers, ggf. Kosten für die Lagerung etc. Beim Einsatz von Sekundärenergieträgern, z. B. Strom, sind die Bezugskosten sowie ggf. die Kosten für Zähl- bzw. Meßeinrichtungen zu berücksichtigen.

Etwas anders sieht die Betrachtung aus, wenn die Umweltverträglichkeit (z. B. CO₂-Ausstoß bei der Energiewandlung) berücksichtigt werden soll. Geht es beispielsweise darum, ob eine Kälteerzeugung unter Umweltgesichtspunkten besser mit Strom oder mit Gas erfolgen soll, so ist die Primärenergiebilanz dafür entscheidend. Während Gas als Primärenergieträger nur nach seinem Energiegehalt hin (allenfalls noch mit Berücksichtigung der Transportverluste zum Abnehmer) zu bewerten ist, ist Strom hinsichtlich des Energieaufwandes bei der Erzeugung und beim Transport zu beurteilen (Rückrechnung auf die eingesetzte Primärenergie). Hierbei kann es in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten durchaus zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. Für eine vollständige Bilanzierung sind sogar sämtliche Stoffströme erforderlich. Dabei werden auch Abbau und Transport von Rohstoffen berücksichtigt (s. hierzu [Viebah99], [VieMat99]).

Bei der Betrachtung der Endenergie (bzw. Nutzenergie) ist auch der Wirkungsgrad der Anlagen zu beachten. Beispielsweise beträgt des Wärmeverhältnis (Verhältnis von Kälteleistung zu elektrischer Leistung)

$$\varepsilon_0 = \frac{Q_0}{P_{el}}$$

bei Kältemaschinen mit elektrischem Kompressionsantrieb ca. 4,5 (3,3 bis 5,5). (Einstufige) Absorptionskältemaschinen kommen auf Werte um 0,7 (0,5 bis 0,75). Bei zweistufigen Absorptionskältemaschinen können Werte zwischen 1,3 und 1,5 erreicht werden. Wird eine Absorptionskältemaschine mit Gas betrieben, so wird diese – selbst bei einem angenommenen, vergleichsweise niedrigen Wirkungsgrad bei der Stromerzeugung (für die Kompressionskälte) von lediglich 33 % – unter Umweltaspekten gegenüber einer elektrisch betriebenen Kompressionskältemaschine im Nachteil sein¹⁰.

3.1.1.2.2 Strom

Zähler für elektrischen Strom werden eingesetzt, um die Energie (Arbeit) zu zählen (übliche Einheit: Kilowattstunde – kWh). Bei größeren Verbrauchern wird außerdem die (momentane) Leistung (übliche Einheit: Kilowatt – kW) gemessen.

Die Basis der Abrechnungen bildet in der Regel die Wirkleistung. Sie errechnet sich aus dem Produkt der gleichphasigen Anteile von Spannung und Strom ($P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$). Unterschieden wird in der Regel zwischen einem Hochtarif (HT), der tagsüber bzw. zu den Hauptbelastungszeiten gilt und einem Niedertarif (NT), der in der übrigen Zeit (z. B. nachts) gilt. Die Zeiträume für die Berechnung von HT oder NT hängen von den örtlichen Gegebenheiten beim EVU ab. Die Energiemengenzählung erfolgt durch getrennte HT- und NT-Zähler mit automatischer Umschaltung über einen Impuls, der vom EVU über das Stromnetz gesendet wird.



Abb. 4:
Elektrizitätszähler für
Hutschienenmontage

Zähler werden mittlerweile in sehr kompakter Ausführung angeboten (z. B. für Hutschienenmontage, s. **Abb. 4**).

Neben der Wirkleistung spielt bei größeren Verbrauchern die Blindleistung eine Rolle. Sie bezeichnet den Anteil des Stromes, bei dem Spannung und Strom genau um 90° zueinander phasenverschoben

¹⁰ $W_{\text{primär}} = \frac{1}{\eta_K \cdot \varepsilon_0} \cdot Q_0$

– Im Beispiel ergibt sich für die Erzeugung von 1 kWh Kälteenergie ein Primärenergieaufwand von 0,673 kWh ($\varepsilon_0 = 4,5$; $\eta_K = 0,33$).

sind. Strenggenommen handelt es sich hier daher um keine Leistung, da das (skalare) Produkt aus Strom und Spannung Null ergibt. Aus verschiedenen Gründen müssen die EVU jedoch daran interessiert sein, den Blindleistungsanteil innerhalb gewisser Grenzen zu steuern. Das betrifft den Phasenwinkel (kapazitiv, d. h. der Strom eilt der Spannung um 90° vor) oder induktiv (d. h. die Spannung eilt dem Strom um 90° vor) und den absoluten Anteil der Blindleistung. Blindleistung läßt sich anschaulich als ein Anteil des Stromes interpretieren, der zwischen Erzeuger und Abnehmer hin und her pendelt. Solange keine Verluste auf diesem Weg entstehen, wird keine Leistung verbraucht. In der Realität sind die Leitungen jedoch verlustbehaftet, so daß auch der Blindstrom zu einer Belastung, d. h. Erwärmung der Leitungen führt. Hinzu kommt, daß die Blindleistung vom Energieerzeuger bereitgestellt werden muß, was im Regelfall unerwünscht ist.

Die Entstehung von Blindstrom kann an der Quelle (Erzeuger) oder Senke (Abnahmestelle) kompensiert werden. Solche Kompensationsanlagen sind z. T. vorgeschrieben. Die Kompensation kapazitiver Blindleistung erfolgt dabei durch Hinzufügen eines induktiven Anteils, die Kompensation eines induktiven Anteils entsprechend durch Hinzufügen eines kapazitiven Anteils. Da der induktive Anteil meistens überwiegt (Motoren und Leuchtstofflampen mit klassischen Vorschaltgeräten sind z. B. induktive Verbraucher) sind Kompensationsanlagen in der Regel mit Kapazitäten aufgebaut. Zähler für Blindleistung (hier gibt es ggf. auch eine Trennung zwischen HT und NT) messen den Anteil ($P = U \cdot I \cdot \sin \varphi$) (– übliche Einheit: Kilo-Volt-Ampere-reaktiv – kvar).

In einigen Fällen erfolgt die Abrechnung nach der sog. Scheinleistung. Die Scheinleistung ist die vektorielle Addition von Blindleistung und Wirkleistung. Sie errechnet sich aus dem Produkt von Spannung und Strom – gemessen am Verbraucher ohne Berücksichtigung des Phasenwinkels.

Die Leistungsmessung erfolgt in der Regel innerhalb eines 15-minütigen Intervalls, welches durch das EVU vorgegeben wird. Die Messung wird durch einen Impuls, der vom EVU über das Stromnetz gesendet wird, ausgelöst. Innerhalb des Intervalls wird der Mittelwert der jeweiligen Momentanleistungen gebildet. Nach 15 Minuten beginnt das nächste Meßintervall. Der aktuelle Wert wird abgespeichert, sofern er höher war als die vorhergehenden. Der höchste Wert eines solchen Intervalls innerhalb eines Monats gilt als Abrechnungsgrundlage für die Berechnung der zu bezahlenden Leistung. Ein übliches Verfahren ist es, aus den drei höchsten Monatswerten eines Jahres einen Mittelwert zu bilden, der als Grundlage für die Jahresabrechnung der Leistung dient.

Neben der beschriebenen Leistungsmessung innerhalb eines definierten 15-Minuten-Intervalls sind auch andere Meßintervalle und Berechnungsverfahren möglich, jedoch weniger gebräuchlich. Im Zuge der Liberalisierung des Energiemarktes ist eine Änderung der Abrechnungsbasis wahrscheinlich. Beispielsweise ist eine stärkere Orientierung an Leistungsprofilen zu erwarten. Möglich ist auch eine (vertragliche) Trennung zwischen dem Bezug von z. B. Grund-, Wochen-, Tages- und Spitzenlast.

3.1.1.2.3 Wärme

Geräte zur Erfassung des Wärmeverbrauchs lassen sich mit Hilfe von direkten (z. B. elektronische Zähler) oder indirekten (z. B. Heizkostenverteiler) Meßverfahren realisieren. Für eine physikalisch exakte Verbrauchsmessung werden direkte Verfahren verwendet.

Bei der Versorgung mit Dampf kann die Dampfmenge oder die Kondensatmenge gemessen werden. Bei bekanntem Dampfzustand läßt sich daraus die Wärmemenge ermitteln. Die Dampfmenge kann über Drosselgeräte (Blenden, Düsen, Venturirohre) ermittelt werden, die Kondensatmessung erfolgt mit Hilfe von Trommelzählern.

Die Ermittlung der Wärmemenge bei Warmwasserheizungen basiert auf der Messung des Volumensstroms und der Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf. Geeignet zur Messung der Durchflußmengen sind Flügelrad- oder Drosselgeräte. Neuere Verfahren basieren auf magnetisch induktiven oder Ultraschall-Sensoren. Die Temperaturdifferenz wird mit Hilfe von Temperaturfühlern ermittelt.

Die Wärmeleistung errechnet sich aus

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta\vartheta$$

mit \dot{Q} ... Wärmeleistung, \dot{m} ... Massenstrom, c_p ... spezifische Wärmekapazität des Wassers, $\Delta\vartheta$... Temperaturdifferenz (am Verbraucher bzw. zwischen Vor- und Rücklauf).

3.1.1.2.4 Kälte

Zur Zählung der Kälteenergie werden ebenfalls Wärmemengenzähler eingesetzt. Die physikalischen Voraussetzungen sind gleich. Allerdings ist darauf zu achten, daß die eingesetzten Zähler für niedrige Temperaturen sowie geringe Temperaturdifferenzen einsetzbar sind bzw. mit der gewünschten Genauigkeit funktionieren.

Physikalisch gesehen ist der Begriff Kälteenergie irreführend. In der Thermodynamik wird der Begriff Wärme oder innere Energie verwendet. Sobald ein Körper eine Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunktes annimmt, besitzt er innere Energie. Aus einer Temperaturdifferenz läßt sich eine nutzbare Energie ableiten, wobei der Ort mit der höheren Temperatur auch dem des höheren Energieniveaus entspricht. Genaugenommen wird bei der Erzeugung von Kälte ein niedrigeres Energieniveau erreicht. Das erklärt auch die bei dieser Art der Betrachtung möglichen hohen Wirkungsgrade (hier Leistungszahl genannt) von ca. 3...5 bei Kompressionskältemaschinen.

3.1.1.2.5 Datenlogger

Für den Fall, daß über einen definierten Zeitraum Daten erfaßt werden sollen, bietet sich der Einsatz von Datenloggern an. Es handelt sich dabei um Meßgeräte, die es ermöglichen, Messungen nach einem programmierten Ablauf (z. B. in festen Zeitabständen oder in Abhängigkeit von bestimmten Grenzwerten) durchzuführen und die Meßwerte zu speichern. Die so erhaltenen Meßwerte (z. B. Temperatur, Druck, Spannung, Strom) können dann später in einen PC übertragen und weiter ausgewertet werden. Da sich die Geräte auch mobil einsetzen lassen, sind sie besonders zur Messung an Anlagen oder in Gebäuden geeignet, für die keine fest installierten Zähleinrichtungen verfügbar sind. Beispielsweise kann so ein Energieverbrauchsprofil ermittelt werden.

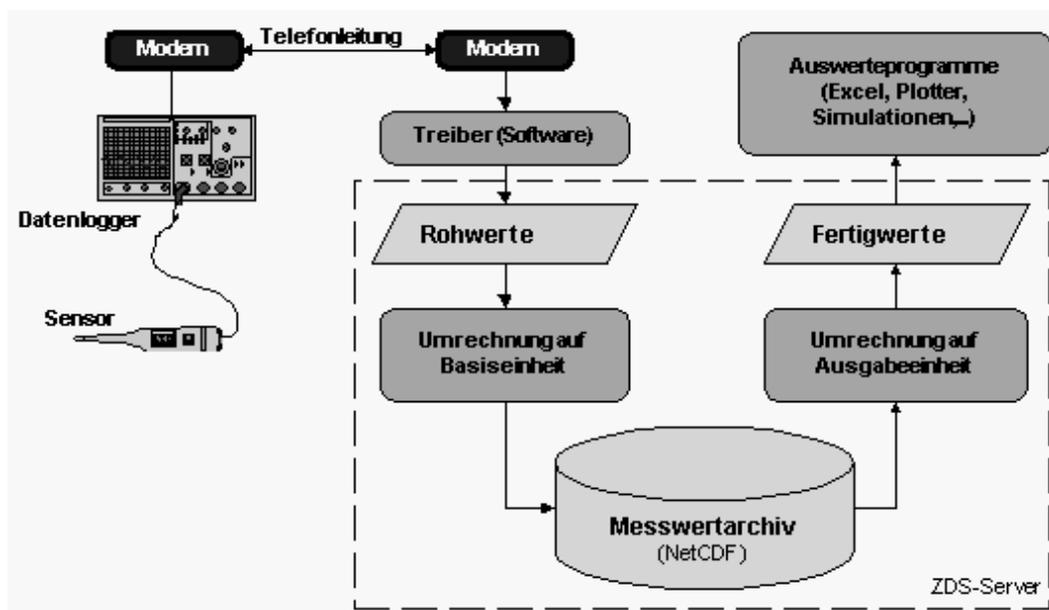


Abb. 5: Beispiel für die Automatisierung der Datenerfassung unter Einsatz eines Datenloggers [IKE99].

In **Abb. 5** ist der Einsatz eines Datenloggers im Rahmen des Zentralen Datenerfassungssystems (ZDS), das am IKE in Stuttgart im Rahmen des REUSE-Projektes entwickelt wurde, dargestellt¹¹. Die dort gezeigte Verbindung zwischen Datenlogger und Auswertesystem als Telefonverbindung über Modems ist nur eine Möglichkeit. Wichtig ist, daß die Meßwerte rechtzeitig vor einem Speicherüberlauf des Datenloggers ausgelesen werden. Im Beispiel werden die Rohwerte aus dem Datenlogger im Auswertesystem (ZDS-Server) in die gewünschten Basiseinheiten umgerechnet und anschließend im Archiv gespeichert. Von dort stehen sie dann (nach einer weiteren Umrechnung in die gewünschte Ausgabeeinheit) als Eingangsdaten für Auswerteprogramme zur Verfügung.

3.1.2 Anlagenbezogene Maßnahmen

Die im folgenden beschriebenen Möglichkeiten zur Reduzierung des Energieverbrauchs beziehen sich auf Maßnahmen an einzelnen Anlagen¹². Auf prozeßbezogene Maßnahmen (Wärmerückgewinnung, Abwärmenutzung) wird im Abschnitt 3.1.3 eingegangen.

3.1.2.1 Wärmeerzeugungs- und -verteilungsanlagen

Die Bereitstellung von Wärme gehört zu den elementaren Aufgaben in jeder Hochschule. Der dafür eingesetzte Energieanteil (Endenergie) liegt beispielsweise an den Hochschulkliniken bei über 70 %. Auch wenn die Preise für Wärmeenergie wesentlich niedriger sind als die Strompreise, liegen die Kosten häufig in einer ähnlichen Größenordnung. [Person96].

Heizungsanlagen sind – insbesondere wenn es sich um ältere Systeme handelt – in der Regel überdimensioniert. Das betrifft sowohl die Dimensionierung der Heizkessel als auch die der Pumpen für die Heizkreise. Zu groß dimensionierte Heizkessel sind in Folge der häufigen verlustbehafteten Stillstandszeiten zu vermeiden. Bei größeren Anlagen empfiehlt es sich, einen Kessel für die Grundlast (mehrstufig) und ggf. zusätzliche Kessel in selbsttätiger Folgeschaltung für die Abdeckung der Spitzenlast vorzusehen. Kurze und energieaufwendige Schaltfrequenzen können durch die Regelung (Verzögerungsschaltungen) vermieden werden. Motorisch betriebene Absperrklappen verhindern eine schnelle Auskühlung durch Wasserzirkulation bei abgeschalteten Kesseln. Der Jahresnutzungsgrad¹³ von Heizungsanlagen läßt sich auf diese Weise verbessern.

Häufig werden in einem Gebäude regelmäßig zu bestimmten Zeiten nur wenige Räume genutzt. In diesem Fall empfiehlt es sich, getrennte Heizkreise vorzusehen, so daß eine Abschaltung einzelner Bereiche möglich ist. Die erreichbaren Einsparungen betreffen dann nicht nur die Heizenergie, sondern auch elektrische Energie. Vorteilhaft wirken sich dabei drehzahlgeregelte Pumpen aus, die an veränderte Heizwassermassenströme angepaßt werden können. Es ist außerdem darauf zu achten, daß ein vorschriftsmäßiger hydraulischer Abgleich des Wärmeverteilnetzes durchgeführt wurde (auch bei Veränderungen am Verteilnetz), um Verluste zu vermeiden.

Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung des Heizenergieverbrauchs ist der Absenkbetrieb. Dabei wird die Heizungsvorlauftemperatur nachts (Nachtabsenkung), an den Wochenenden bzw. zu Zeiten, in denen das betreffende Gebäude nicht genutzt wird, um einen voreingestellten Wert verringert. Infolge gegebener Randbedingungen wie Außentemperatureinfluß und Speicherfähigkeit des Gebäudes, kann es dabei sinnvoll sein, das Absenken der Temperatur bereits einige Zeit vor dem Ende der Nutzungszeit vorzunehmen, da die Speichermassen des Gebäudes in der Lage sind, die Temperatur noch für einen gewissen Zeitraum aufrecht zu erhalten. Umgekehrt ist dann z. B. morgens ein früherer Aufheizbeginn erforderlich, um den Einfluß der Speichermassen (Wiederaufladen) zu berücksichtigen. Durch den Einsatz moderner Gebäudeautomations-Systeme ist es mög-

¹¹ Eine Online-Dokumentation des ZDS ist im Internet unter <http://REUSE.ike.uni-stuttgart.de/ZDS20> verfügbar.

¹² Die folgende Darstellung basiert auf der FKGB-Empfehlung „Planungshilfe Energiesparendes Bauen – Anlagentechnische Maßnahmen“ [FKGB98].

¹³ Nach [DIN4702] definiert sich der sog. Normnutzungsgrad η_N aus dem Verhältnis der jährlich abgegebenen Heizwärme zu der jährlich zugeführten Feuerungswärme.

lich, die Einflüsse aus Raumtemperatur, Außentemperatur und Speichermasse des Gebäudes so zu berücksichtigen, daß rechtzeitig zum Nutzungsbeginn die Solltemperatur in den Räumen erreicht wird. Mit Hilfe sog. selbstadaptierender Regelungsalgorithmen sucht das System in Abhängigkeit von den eingegebenen Sollwerten sowie den vorhandenen Randbedingungen (Speichermasse, Temperaturen) selbsttätig den optimalen Ein- und Ausschaltzeitpunkt.

Die Ausstattung von Gebäuden mit Heizkörperthermostaten sollte, zumal in den meisten Fällen bereits gesetzlich vorgeschrieben, selbstverständlich sein.

Die Leitungen zur Verteilung der Heizenergie sind mit einer ausreichenden Isolierung auszuführen, um hier unnötige Verluste zu vermeiden.

Weiterhin bietet sich der Einsatz moderner Brennertechnik (z. B. Brennwertgeräte, s. u.) an. In einigen Fällen läßt sich Wärme zu Heizzwecken auch als Abwärme von prozeßtechnischen Anlagen gewinnen (s. Abschnitt 3.1.3).

Der Gesamtwärmeinhalt eines Brennstoffes (bezogen auf seine Masse) wird als Brennwert H_0 (früher: oberer Heizwert) bezeichnet. Er enthält einen Anteil trockener oder auch sensibler (fühlbarer) Wärme, dessen Energiegehalt allein durch den Heizwert (H_u – früher: unterer Heizwert) gekennzeichnet ist sowie einen Anteil Verdampfungswärme (latente Wärme). Während bei der herkömmlichen Heiztechnik (z. B. durch Standard- oder Niedertemperaturkessel) nur ein Teil der beim Verbrennungsprozeß frei werdenden Wärme genutzt wird (trockene bzw. sensible Wärme), ermöglicht die Brennwerttechnik auch die Nutzung der Verdampfungswärme (latente Wärme). Dadurch kann eine Steigerung des Jahresnutzungsgrades zwischen 5 und 16 % (bezogen auf eine Systemtemperatur von 40/30 °C) erreicht werden.

Nach der Definition des Brennwertes [DIN5499] wird von einer Abkühlung der Abgase auf 25 °C ausgegangen und dabei eine Kondensation des in den Abgasen enthaltenen Wasserdampfes vorausgesetzt (entsprechend dem Gleichgewichtszustand bei atmosphärischem Druck und einem Temperaturniveau von 25 °C). Entsprechend dieser Definition müßte bei voller Brennwertnutzung die Wärmeenergie noch unterhalb des Abgas-Temperaturniveaus von 25 °C genutzt werden können. Dies ist bei den praktisch ausgeführten Heizsystemen nicht der Fall, so daß hier genaue genommen von einer Teil-Brennwertnutzung gesprochen werden müßte. Dabei erreicht die Abgastemperatur einen Wert oberhalb von 25 °C, aber unterhalb der Taupunkttemperatur.

Der gewinnbare Anteil an Verdampfungswärme bei Nutzung der Brennwerttechnik (Einsatz von Brennwertkesseln) hängt von einer möglichst niedrigen Heizmittelrücklauftemperatur ab. Die möglichen Wärmegewinne sind beim Erdgas mit einem Anteil der latenten Wärmemenge von ca. 10 % höher als beim Heizöl (Anteil ca. 6 %). Die Brennwertnutzung kann z. B. durch Vorwärmung der Verbrennungsluft (nur eingeschränkte Brennwertnutzung möglich), Vorwärmung des Wassers für die Brauchwasserbereitung (an sich sehr gut geeignet, aber ggf. wegen der unregelmäßigen Abnahme ungünstig) oder Vorwärmung des Rücklaufwassers (wird am häufigsten angewendet) geschehen.

Das beim Einsatz von Brennwertkesseln entstehende Kondensat verbindet sich mit den im Abgas vorhandenen Gasen (u. a. Schwefeldioxid beim Betrieb mit Heizöl sowie Stickoxide) zu Säuren, die eine entsprechende korrosionsbeständige Auslegung von Kessel und Abgasanlage erforderlich machen. Heizölbetriebene Anlagen sind von der Korrosionsproblematik infolge des Schwefelgehaltes des Heizöls stärker betroffen als Anlagen, die mit Erdgas betrieben werden. Das entstehende Kondensat ist sehr aggressiv (enthält Schwefelsäure), so daß Brennwertsysteme für Heizöl-Feuerungsanlagen kaum angeboten werden. Das bei allen Brennwertsystemen anfallende Kondensat muß ggf. vor der Einleitung in die Kanalisation neutralisiert werden (– hier sind in jedem Fall die Abwassersatzungen der Kommunen zu beachten).

Am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. ist im Rahmen des Forschungsschwerpunktes Energetik ein Verfahren entwickelt worden, das die Nachteile bei der Brennwertnutzung in Verbindung mit Ölheizungen (Wirkungsgrad, Kondensatproblematik) verringert [Frago99]. Außerdem kann durch die spezielle Technik, die eine Kombination aus Abgasreinigung und Brennwerttechnik darstellt, eine kostengünstigere Lösung als bei der sonst üblichen Nachschaltheizfläche (Wärmetauscher), erreicht werden. Hinzu kommt eine speziell optimierte Heizungsregelung, die eine Teil-Brennwertnutzung auch bei Heizungsanlagen mit höheren Vor-/Rücklauftemperaturen ermöglicht (z. B. 75/60 °C). Das Prinzip der Regelung, die sowohl für Öl- als auch für Gasanlagen geeignet ist, basiert auf einer Anhebung der Vorlauftemperatur auch bei niedrigen Außentemperaturen und gleichzeitig einer Reduzierung der Rücklaufkennlinie (Drosselung des Massenstromes). Durch die große Temperaturspreizung verringert sich der Heizkreismassenstrom und reduziert damit die Korrosion des Heizkessels sowie den Stromverbrauch der Umwälzpumpe.

Als Alternative zum Betrieb eigener Heizanlagen kann auch der Anschluß an ein vorhandenes Nah- oder Fernwärmenetz angestrebt werden. Zwar sind die Wärmegestehungskosten dann in der Regel höher zu veranschlagen als die bisher bezahlten Brennstoffkosten, aber der vermiedene Aufwand für Investitionen, Bedienung und Instandhaltung wiegt diesen Nachteil in der Regel schnell auf. Hinzu kommt, daß größere Anlagen zumeist wirtschaftlicher betrieben werden können und sich durch bessere Wirkungsgrade auszeichnen, wobei allerdings die Verteilverluste in ausgedehnten Wärmenetzen zu berücksichtigen sind.

Ein häufiges Ärgernis in öffentlichen Gebäuden sind geöffnete Fenster bei aufgedrehter Heizung. In einigen Fällen ist die Möglichkeit, Heizkörper individuell schließen zu können, gar nicht vorgesehen (z. B. in Schulen). Am einfachsten kann dieser Zustand durch das direkte Ansprechen der Nutzer und Information über die Problematik verbessert werden. Als besonders wirkungsvoll hat sich dabei vor allem die Schaffung von finanziellen Anreizen (hierzu gibt es verschiedene Modelle, die bereits erfolgreich an Schulen realisiert wurden) erwiesen (s. a. unter 4.5.2).

In Fluren oder Bereichen, in denen das Schließen der Heizkörperventile häufig vergessen wird, oder in denen aufgrund eines häufigen Personenwechsels eine Verantwortlichkeit nur schwer zu erreichen ist, kann sich der Heizenergieverbrauch durch den Einsatz von Thermostatventilen sogar noch erhöhen.

In einigen Einrichtungen wurde versucht, durch den Einbau von Fensterkontakten zur Steuerung der Thermostatventile (– die Ventile schließen automatisch beim Öffnen des Fensters) Abhilfe zu schaffen. Sofern es sich dabei um Gebäude mit guter Wärmedämmung bzw. niedrigem spezifischen Wärmeverbrauch handelt, die zudem nur zu bestimmten Tageszeiten (normale Arbeitszeit) genutzt werden, sind damit in der Praxis allerdings keine Vorteile erzielt worden [ReWiMe98].

3.1.2.2 Raumluftechnische Anlagen

Raumluftechnische Anlagen haben in der Regel einen erheblichen Anteil am Energieverbrauch von Gebäuden. Insbesondere Klimaanlage erfordern hohe Investitionen und verursachen durch den hohen Energieverbrauch sowie hohe Kosten für die Instandhaltung erhebliche Betriebskosten.

Untersuchungen der Fachkommission Gebäude- und Betriebstechnik haben ergeben, daß die Betriebskosten für das Kühlen doppelt so hoch, für das Entfeuchten sogar dreimal so hoch sind wie für das Heizen [FKGB97].

In der Vergangenheit wurden Klimaanlage fast ausschließlich nach festen Sollwerten für Temperatur und Feuchte geregelt, was mit hohen Energiekosten verbunden war. Neuere Systeme zeichnen sich durch wesentlich aufwendigere Regelungsmöglichkeiten aus. Damit ist es möglich sog. Behaglichkeitsfelder zu definieren. In einem Behaglichkeitsfeld sind mehrere Möglichkeiten für die Einhaltung von Grenzwerten für Temperatur und Feuchte zugelassen. Die thermodynamischen Behandlungsfunktionen werden erst dann aktiviert, wenn die Grenzwerte des Behaglichkeitsfeldes erreicht worden sind (*h,x*-geführte Regelung).

Besonders hohe Einsparungen sind durch das Abschalten oder Herunterfahren von Lüftungsanlagen außerhalb der Nutzungszeiten der Gebäude erreichbar. Dies kann in Stufen oder auch stufenlos (mit regelbaren Antrieben) – in Abhängigkeit von der zu erwartenden Nutzungsintensität – geschehen (Anpassung der Luftmenge). Im günstigsten Fall kann das Schalten durch eine Verknüpfung mit Belegungsplänen, die z. B. in die GLT eingegeben bzw. direkt übernommen werden, erfolgen.

In Fällen, in denen die Raumbelastung stark variiert (z. B. Hörsäle, Seminarräume o. ä.), kann die Belüftung bzw. Klimatisierung auch bedarfsabhängig gesteuert werden. Im einfachsten Fall geschieht dies durch Anforderung des Nutzers mittels eines Schalters, worauf die Anlage mit einer gewissen Nachlaufzeit (z. B. eine Stunde) reagiert. Aufwendigere Systeme können durch Einführung einer Luftqualitätsregelung individuell den Lüftungsbedarf an die tatsächlichen Belegungsverhältnisse anpassen. Als Führungsgröße für die Regelung eignen sich dabei sog. Luftqualitätsfühler in Form von Mischgas- oder CO₂-Fühlern. Bei einem bedarfsabhängigen Betrieb der Anlage, kann sich eine massive Reduzierung des Energieverbrauchs ergeben, ohne daß es dabei zu Komforteinbußen kommen muß.

CO₂-Fühler reagieren vor allem auf die Anwesenheit von Personen, da diese den CO₂-Gehalt eines Raumes direkt beeinflussen. Mischgasfühler erfassen zusätzlich auch andere Ausdünstungen, wie z. B. Tabakrauch oder Emissionen von Materialien und bieten sich daher insbesondere bei häufig wechselnden Belegungen an. Mischgasfühler reagieren sehr schnell (innerhalb von Sekunden) auf eine Änderung der Gaszusammensetzung. Allerdings ist die Abklingzeit deutlich länger. Außerdem ist eine Unterscheidung zwischen angenehmen und unangenehmen Gerüchen nicht möglich. Die Optimierung des Systems ist daher individuell erforderlich. In staubiger Umgebung oder in Räumen, in denen z. B. Fettdämpfe auftreten, können auch auf der Oberfläche der Sensoren Ablagerungen entstehen, die die Empfindlichkeit verringern. Zwar läßt sich dies durch den Einsatz von Filtern in gewissen Grenzen vermeiden, eine regelmäßige Überprüfung ist aber in jedem Fall erforderlich und führt zu einem höheren Wartungsaufwand.

Ein Vorteil der Luftqualitätsfühler besteht darin, daß bestehende Anlagen in der Regel einfach erweitert werden können. Insbesondere bei Klimaanlage führt der Einsatz von derartigen Regelungen nicht nur zu einer Reduzierung des Energieverbrauchs für die Lüftung, sondern auch für die Kälteerzeugung und die Luftkonditionierung. Der Einsatz kann sowohl bei einem Start-Stopp-Betrieb als auch bei einem variablen Volumenstrom-System erfolgen.

Die Amortisationszeit von Investitionen in Mischgas- oder CO₂-Fühlern kann zwischen ca. einem Jahr und mehr als 15 Jahren betragen. Abhängig ist dies letztendlich von der erreichten Laufzeitreduktion der Lüftungsanlagen, die sich um so stärker auswirkt, je höher der tatsächliche Luftdurchsatz ist. Beispielsweise wurden bei einem Luftdurchsatz von 5.000 m³ Luft/h Amortisationszeiten von einem Jahr, (bei 40 % Laufzeitreduktion) und bis zu 7 Jahren (bei 10 % Laufzeitreduktion) errechnet. Beträgt die Luftmenge dagegen nur etwa 1.200 m³/h, so liegen die erreichbaren Amortisationszeiten bei 40 % Laufzeitreduktion bei mindestens 7 Jahren. Die längeren Amortisationszeiten bei niedrigen Luftmengen sind damit zu begründen, daß die Investitionskosten in der Regel unabhängig von der Luftmenge sind, die Einsparungen jedoch proportional zur Luftmenge steigen. In einem Fall wurde der Energieverbrauch im Jahresdurchschnitt gegenüber einer Steuerung mit einer Schaltuhr um ca. 50 % reduziert [Meier94].

An der Universität Regensburg wurden im Rahmen der Durchführung von Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs u. a. Verbesserungen an den Raumluftechnischen Anlagen vorgenommen. So erfolgt die Schaltung der Lüftungsanlagen nach Belegungsplänen über das vorhandene GLT-System. Durch den Einbau von Luftqualitätsfühlern wurde eine bessere Anpassung der Lüftung an den tatsächlichen Bedarf erreicht. Da Lüftungsanlagen zur Raumheizung energetisch gesehen unwirtschaftlich sind (an kalten Tagen reichen die Leistungsreserven nicht aus, um außerhalb der Nutzungszeiten die Raumtemperaturen abzusenken, außerdem sind die Lufttransportkosten sehr hoch), wurde der Einbau von statischen Heizflächen (Heizkörpern) vorgesehen. Sie ermöglichen eine Temperaturabsenkung außerhalb der Nutzungszeiten und eine schnelle Wiederaufheizung.

Räume, die nicht mit einer statischen Heizung ausgestattet sind und somit allein mit der Lüftungsanlage temperiert werden müssen, sind während des Aufheizvorgangs mit voller Umluft zu betreiben. Dies gilt auch dann, wenn nach einer längeren Nutzungspause während des Tages die Raumtemperatur unter den Sollwert fällt. Eine evtl. vorhandene CO₂-Regelung muß dann während der Aufheizphase überbrückt werden.

Weitere Hinweise zur Planung und Ausführung von Raumluftechnischen Anlagen finden sich in der AMEV-Empfehlung RLT-Anlagen-Bau-93 [AMEV93].

3.1.2.3 Kälteanlagen

Bei Anlagen zur Kälteerzeugung, wie sie im wesentlichen im Hochschulbereich Verwendung finden, lassen sich nach der Art der Kälteerzeugung zwei Grundprinzipien unterscheiden:

- Kompressionskälteanlagen (Verdichter)
- Sorptive Kühlung (z. B. mit Absorptionskälteanlagen)

Beiden Anlagentypen gemein ist, daß für den Kälteprozeß ein Medium verwendet wird, das durch Energiezufuhr von außen die eigentliche Kühlung bewirkt.

Am weitesten verbreitet sind Kompressionskältemaschinen. Vom Prinzip her wird dabei ein Kältemittel, das sich durch einen möglichst niedrigen bzw. für den Kälteprozeß (Temperaturbereich) geeigneten Siedepunkt auszeichnet, zunächst in einem Verdichter komprimiert. Danach wird das Kältemittel über eine Expansions- bzw. Drossleinrichtung geführt, um eine Reduzierung des Drucks zu erreichen. Die darauf folgende Verdampferstufe läßt das Kältemittel expandieren und entzieht dabei der (zu kühlenden) Umgebung Wärme. Das Kältemittel strömt danach wieder zurück zum Verdichter, wo der Vorgang von neuem beginnt (Kreisprozeß). Zusammengefaßt findet also ein Wärmetransport mit Hilfe eines Kältemittels statt. Dem zu kühlenden Ort wird Wärme entzogen und diese – quasi auf ein höheres Temperaturniveau transformiert – an einen anderen Ort abgegeben. Der Kälteprozeß kann vom Prinzip her auch in der Form genutzt werden, daß die Wärme der Umgebung (Außenluft, Erdreich) entzogen wird und auf einem höheren Temperaturniveau als Heizwärme genutzt wird (Wärmepumpe). Dabei sind allerdings andere Randbedingungen vorzusetzen (höhere Drücke, andere Temperaturniveaus sowie entsprechende Kältemittel). Kompressionskältemaschinen gibt es in verschiedenen Ausführungen (Hubkolbenverdichter, Schraubenverdichter und Turboverdichter).

Als Kältemittel kommen überwiegend R22¹⁴, R134a, R717 (Ammoniak) zum Einsatz (wegen ihres Ozon-Schädigungspotentials nicht mehr zulässig sind die früher eingesetzten Stoffe R11 und R12).

Der Wirkungsgrad von Kältemaschinen wird als Leistungszahl (ε_K) bezeichnet. Er errechnet sich aus dem Verhältnis der Arbeitstemperaturen (absolute Werte in [K]) auf der Verdampferseite („kalte Seite“ des thermodynamischen Kreisprozesses) zu der Temperaturdifferenz zwischen Kondensation („warme Seite“ des Kreisprozesses) und Verdampfung, unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades. Die Leistungszahl läßt sich auch aus der effektiv abgegebenen Kälteleistung zur zugeführten (i. a. elektrischen) Antriebsleistung ermitteln:

$$\varepsilon_K = \frac{T_{Verd}}{T_{Kond} - T_{Verd}} \cdot \eta_{mech} \cdot \eta_{ind} \cdot \eta_{elt} = \frac{\dot{Q}_{K,eff}}{P_{elt}}$$

$\dot{Q}_{K,eff}$	effektive Kälteleistung
P_{elt}	Elektrische Leistung (Kältemaschine)
$\eta_{elt}, \eta_{ind}, \eta_{mech}$	elektrischer, indizierter (innerer) und mechanischer Wirkungsgrad
T_{kond}, T_{Verd}	Kondensations-, Verdampfungstemperatur (absolute Werte in [K] des thermodynamischen Kreisprozesses)

¹⁴ In Deutschland ist der Einsatz von R 22 in Neuanlagen nach dem 1.1.2000 nicht mehr zulässig.

Die in der Praxis erreichbaren Leistungszahlen liegen zwischen 3 und 5,5¹⁵. Sie sind von den Eigenschaften des eingesetzten Kältemittels (Arbeitstemperaturbereich) abhängig.

Sorptive Kälteanlagen arbeiten mit einem Stoffgemisch (in der Regel ein Stoffpaar). Meistens wird ein sog. Sorptionsmittel und Wasser verwendet. In Abhängigkeit vom ablaufenden Mechanismus wird von Adsorption oder Absorption gesprochen. Bei der Absorption geht das Sorptionsmittel (üblich sind wäßrige Salzlösungen, z. B. Lithiumbromid (LiBr), auch Lithiumchlorid oder Kaliumchlorid) eine molekulare Verbindung mit dem Kältemittel (vorwiegend Wasser, aber auch Ammoniak) ein.

Bei der Adsorption verbindet sich das Sorptionsmittel mit dem Wasser, ohne dabei in Lösung zu gehen (die Moleküle des Wassers werden an das Sorptionsmittel gebunden). Ein geeignetes Sorptionsmittel zeichnet sich daher durch eine hohes Verhältnis Oberfläche zu Volumen aus (verwendet werden u. a. Salze, Silikagel, Aktivkohle).

Beiden Prozessen gemein ist der Ablauf. In der Absorptions- bzw. Adsorptionsphase wird der Umgebung Wärme entzogen. Um den Kältekreislauf zu schließen, ist eine Regenerationsphase erforderlich, bei der die Stoffpaare wieder voneinander getrennt werden. Dieser auch Desorption genannte Vorgang geschieht entweder durch Temperaturerhöhung oder Druckabsenkung mittels Energiezufuhr von außen.

Absorptionskältemaschinen arbeiten üblicherweise mit dem Stoffpaar Lithiumbromid/Wasser, seltener auch mit Wasser/Ammoniak (Problematisch ist hier die Toxizität von Ammoniak). Einer Absorptionskältemaschine wird Wärme (Heizwasser, Dampf oder Direktbefeuerung) zugeführt. Die Heizenergie wird dazu genutzt, das Kältemittel (Stoffpaar in Lösung) wieder voneinander zu trennen. Dies geschieht durch Verdampfen des Stoffes mit der niedrigeren Siedetemperatur. Die getrennten Stoffe werden anschließend wieder bei niedrigem Druck vermischt (absorbiert) und entziehen dabei der Umgebung Wärme. Absorptionskältemaschinen erreichen üblicherweise Wärmezahlen (vergleichbar der Leistungszahl bei Kompressionsmaschinen) von ca. 0,7 bis 0,8 (in einstufiger Bauweise, zweistufig ca. 1,3 bis 1,5). Neben der benötigten Wärmeenergie ist noch Energie als Hilfsstrom (ca. 5 % der Kälteleistung) sowie ggf. für den Antrieb von Ventilatoren und Pumpen (Kühlwasser, ggf. Pumpen für Naß-Rückkühlwerk) zu veranschlagen. Hinzu kommt der Wasserverbrauch bei Verdunstungskühlung. Nachteilig kann sich bei einstufigen Absorptionskältemaschinen die verhältnismäßig hohe Rücklauftemperatur bei einer geringen Temperaturspreizung auswirken (s. a. unter 3.1.4.1).

Adsorptionskältemaschinen funktionieren prinzipiell wie Absorptionskältemaschinen. Lediglich der Sorptionsprozeß unterscheidet sich. Die inneren Abläufe Verdampfen, Kondensieren, Adsorbieren und Austreiben laufen in getrennten Kammern ab, die jeweils durch Ventile und Leitungen miteinander verbunden sind. Um den Prozeß dauerhaft aufrecht zu erhalten, müssen die Kammern für Kondensation und Verdampfung sowie für Adsorption und Austreiben jeweils vertauscht werden können (durch entsprechende Steuerung der Ventile).

Der Sorptionsprozeß kann auch zur direkten Klimatisierung (Dessicant Evaporative Cooling – DEC) eingesetzt werden. Dabei wird durch adiabate Befeuchtung der Luft eine Temperaturreduzierung erreicht. Die in der Regel dafür notwendige Entfeuchtung der Zuluft (zur Begrenzung der Gesamtluftfeuchte) wird in einem Sorptionsprozeß (Sorptionsrad) durchgeführt, der mit einem Wärmerückgewinnungssystem gekoppelt sein kann [Herbst99].

¹⁵ Normalerweise kann der Wirkungsgrad lediglich Werte zwischen 0 und 1 annehmen, da reale Prozesse immer mit Verlusten behaftet sind. Bei Kältemaschinen sind Werte über 1 möglich, da – im Gegensatz zur Wärme – Kälte physikalisch gesehen keine Energieform ist. Die Erzeugung von Kälte stellt insofern eigentlich die Erzeugung eines niedrigeren Energieniveaus dar. Streng genommen wird Energie nur durch die Wärmeabgabe der Kältemaschine erzeugt. Infolge des niedrigen Temperaturniveaus ergibt sich rechnerisch eine höhere Energieabgabe, als der Energieaufwand vermuten läßt. Das erklärt die hohe Leistungszahl. Der Begriff Wirkungsgrad wird, um Verwechslungen zu vermeiden, für Kältemaschinen nicht verwendet.

Beim Aufbau von Kälteanlagen wird zwischen direkten (direkt verdampfenden) und indirekten Systemen unterschieden. Beim direkt verdampfenden System gibt es einen Kältemittelkreislauf. Der Verdampfer befindet sich im zu kühlenden Raum. Indirekte Systeme verwenden einen zusätzlichen Kältekreislauf (Kaltwasser- oder Kaltsole). Dieser kann z. B. ein Fernkältenetz speisen. Vorteilhaft ist hier die Trennung zwischen Kältemittelkreislauf und Kaltwasserkreislauf (bzw. Sole). Neben der erhöhten Sicherheit für den zu kühlenden Bereich, sind die Kältemittelfüllmengen wesentlich geringer. Energetisch nachteilig wirken sich hier die zusätzlichen Temperaturdifferenzen zwischen primärem Kältemittelkreis und sekundärem Flüssigkeitskreislauf aus. Der Einsatz von Ammoniak als Kältemittel, das neben seiner Umweltfreundlichkeit (ODP=0, GWP=0) auch die höchste Kälteleistung bei niedrigem Energieverbrauch bietet, kann sich hier vorteilhaft auswirken. Ein Nachteil von Ammoniak ist die gegenüber anderen Kältemitteln erheblich höhere Toxizität (MAK = 50 ppm, gegenüber 1.000 ppm für R 22, R 134a). Infolge des stechenden Geruches sind aber bereits Konzentrationen ab etwa 5 ppm wahrnehmbar.

Bei der Kälteerzeugung sind unterschiedliche Möglichkeiten zur Reduzierung des Energieverbrauchs möglich:

- Durch ein zeitweiliges Abschalten der Kälteanlagen (z. B. nachts oder am Wochenende) können Energieverbrauch und Kosten gesenkt werden. Die erforderliche Kälteleistung kann dadurch jedoch höher ausfallen als im Dauerbetrieb, da die gleiche Kühlleistung ggf. in kürzerer Zeit zur Verfügung stehen muß.
- Im Außentemperaturbereich von +5 bis +15°C (Übergangszeit zwischen Sommer und Wintermonaten) empfiehlt sich bei Kälteanlagen ein gleitender Übergang zwischen freier Kühlung und Kühlung mit Kältemaschinen (kombinierter Betrieb). In der Industrie sind damit Amortisationszeiten von etwa 1–2 Jahren erreicht worden [Förste99].
- Mit dem Einbau einer Frequenzumrichtersteuerung bei Kolbenverdichtern kann – im Gegensatz zum Ein-Aus-Betrieb –, neben dem Vorteil eines günstigeren Betriebsverhaltens, eine bessere Anpassung der benötigten Kälteleistung erreicht werden. Im Einzelfall wurden Energieeinsparungen von 25 % erreicht [Trauer99].

Durch den Einbau eines Eisspeichers läßt sich der Leistungsbedarf für die Kälteerzeugung erheblich verringern bzw. auf Zeiten verminderter Kosten (NT-Tarif) verschieben. Der Eisspeicher wird z. B. nachts durch Kältemaschinen geladen, so daß tagsüber zu HT-Zeiten bzw. zu Zeiten erhöhten Leistungsbedarfs die Kälte mit geringem Energieeinsatz abgenommen werden kann. Der Energieverbrauch selbst kann, aufgrund der Speicherverluste, etwas höher liegen als bei herkömmlichen Anlagen. Im Nachtbetrieb können die Verluste jedoch durch eine höhere Leistungszahl kompensiert werden, die sich durch die niedrigere Umgebungstemperatur (Kondensationstemperatur) ergibt (nachts im Durchschnitt ca. 10 K niedriger als am Tage). Die Kostenersparnis kann – insbesondere bei kurzzeitig hohem Bedarf – beträchtlich sein. Hinzu kommt, daß i. d. R. eine geringere Kältemaschinenleistung installiert werden muß. Eisspeicher werden als direkte, indirekte oder hybride Systeme ausgeführt.

3.1.2.4 Elektrotechnische Anlagen

Das Einsparpotential im Bereich der Elektroenergie setzt sich aus vielen Einzelkomponenten zusammen. Bereits durch sorgfältige Planung läßt sich der Verbrauch an elektrischer Energie beträchtlich einschränken. So sollten Geräte, die zeitweilig nicht genutzt werden bzw. leer laufen, abschaltbar ausgeführt werden (über GLT bzw. Zeitschaltung).

Organisatorische Maßnahmen sind häufig die kostengünstigste Möglichkeit, um den Stromverbrauch zu reduzieren. Dazu gehört beispielsweise die Verlegung der Nutzung elektrischer Anlagen in günstige Betriebs- bzw. Auslastungszeiten oder auch die Beeinflussung des Nutzerverhaltens durch Information und Schulung.

Im Bereich der anlagentechnischen Möglichkeiten bieten sich Großverbraucher bzw. -verbrauchsgruppen als erstes für eine Betrachtung an. Beispielsweise sind dies in Hochschulen und Hochschulkliniken die Anlagen zur Kälteerzeugung (Kompressionskältemaschinen), medizinische Geräte und die Beleuchtung. Durch Maßnahmen zur Optimierung des Anlagenbetriebs und durch Reduzierung von Leerlaufverlusten lassen sich Einsparungen von mehr als 10 % vom Gesamtenergieverbrauch erzielen. Infolge des hohen Preises, der für elektrische Energie zu zahlen ist, sind häufig bereits prozentual geringe Einsparungen wirtschaftlich.

Elektrische Energie besitzt gegenüber anderen Energieformen oder Energieträgern den Vorteil, daß sie sich gut auch über weite Entfernungen transportieren läßt. Am Nutzungsort wird eine Wandlung in die gewünschte Nutzenergieform, z. B. mechanische Energie, Licht und Wärme erforderlich. Durch entsprechende Auswahl der dafür notwendigen Energiewandler sowie die Steuerungs- und Regelsysteme ist zu gewährleisten, daß die Umsetzung von Strom in die gewünschte Nutzenergie mit hohem Wirkungsgrad erfolgt.

Zur Verdeutlichung von Stromverbräuchen und installierten Leistungen, speziell bei Bürogebäuden bzw. vergleichbaren Nutzungen, sind in der folgenden Tabelle Erfahrungswerte, die in der Schweiz im Rahmen von Untersuchungen ermittelt worden sind [GaBuFü94], zusammengestellt:

	Installierte Leistung [W/m ²]	Vollbetriebs- stunden im Jahr [h]	spezifischer Energie- verbrauch [kWh/m ²] pro Jahr
Beleuchtung:			
*) gilt für Mehrpersonen-Büros			
Büro*) mit viel Tageslicht	12	1000	12
Büro*) mit wenig Tageslicht	12	1600	20
Büro*) ohne Tageslicht	12	2750	32
Flur	4	2750	11
Tiefgarage	2	1500	3
Bürogeräte: (1 PC pro 2 Arbeitsplätze)			
Herkömmliche Technik	7	1500	10
Stromspartechnik	1,5	1500	2
Klimatisierung: (Büroräume)			
niedriger Installationsgrad			0
mittlerer Installationsgrad			10
hoher Installationsgrad			25
Lüftung:			
Garage			5

Abb. 6: Erfahrungswerte für elektrische Leistung und Stromverbrauch [GaBuFü94].

3.1.2.4.1 Transformatoren

Die Stromversorgung kleinerer Liegenschaften und Einzelgebäude erfolgt in der Regel im Niederspannungsbereich (i. a. 230/400 V). In größeren Hochschulliegenschaften sind eigene Transformatoren vorhanden, oft auch ein eigenes Mittelspannungsnetz (i. a. 10 oder 20 kV) mit eigenen Trafostationen und Schaltanlagen, deren Betrieb in der Verantwortung der Hochschule liegt.

Häufig ist zu beobachten, daß durch falsche Annahme des Gesamtgleichzeitigkeitsfaktors¹⁶ der installierten Leistung [Zeine97] eine zu große Jahreshöchstleistung zugrunde gelegt wurde. Wesentlich überdimensionierte Transformatoren sind die Folge. Die verwendeten Transformatoren zeichnen sich zwar grundsätzlich durch hohe Wirkungsgrade (ca. 99 %) aus, da die Verluste teilweise auch im Leerlauf und außerdem dauerhaft auftreten, empfiehlt sich eine Überprüfung der Anlagen hinsichtlich einer Reduzierung der Verluste.

Zur Senkung der Leerlaufverluste von Transformatoren sind alle technischen Möglichkeiten auszuschöpfen, wie der Einsatz von Transformatoren mit herabgesetzten Leerlaufverlusten und die Möglichkeit, Transformatoren je nach Betriebs- und Belastungsverhältnissen zu- oder abzuschalten.

Für die Mittelspannungsversorgung und die Niederspannungshauptverteilungen sollten im Hinblick auf spätere Erweiterungen bei Steigerung des Leistungsbedarfs besser bauliche Reserveflächen in Form von Leerfeldern vorgehalten werden, anstatt von vornherein eine zu große Transformatorleistung zu installieren. Die endgültige Bestückung kann dann in Zahl und Leistung entsprechend den Betriebserfahrungen nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten erfolgen.

3.1.2.4.2 Blindstromkompensation

Der Blindstrom (s. a. unter 3.1.1.2.2) ist vorrangig an seinen Entstehungsquellen zu kompensieren, weil er ansonsten die Verteilungsleitungen bis zur Zentralstelle einer Kompensationsanlage zusätzlich belastet. Die dezentrale Kompensation ist verhältnismäßig preisgünstig herzustellen, wenn

- Leuchtstofflampen im Duo- oder teils im Induktiv-, teils im Kapazitivbetrieb geschaltet werden (bei Verwendung von elektronischen Vorschaltgeräten ist eine Kompensation nicht erforderlich),
- Motorantriebe mit örtlichen Kondensatoren kompensiert werden.

Wenn darüber hinaus eine Zentralkompensation erforderlich wird (gemäß vertraglicher Regelung), dann sollte diese, wegen der Schwierigkeit der richtigen Dimensionierung, in einem sicher zu erwartenden Mindestausbau, erweiterbar nach Vorliegen von Betriebserfahrungen, erstellt werden.

3.1.2.4.3 Kabel- und Leitungsnetz

Bei hohen zu übertragenden Leistungen ist besonders auf kurze Leitungslängen zu achten. Leiterquerschnitte in übergeordneten Versorgungsnetzen, in Hauptleitungen sowie insbesondere in Leitungen zu Einzelverbrauchern und Verbrauchergruppen mit relativ hoher Jahresnutzungsdauer sind, außer nach den technischen Kriterien (Spannungsfall und Belastbarkeit), grundsätzlich auch nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu bemessen, d. h. Investitions- und Betriebskosten sind zu optimieren. Das kann dazu führen, daß der wirtschaftliche Leiterquerschnitt über dem nach der thermischen Belastbarkeit zulässigen Querschnitt zu wählen ist (bei großen Querschnitten bieten sich auch Parallelkabel an). Werden Leitungsquerschnitte ausschließlich nach technischen Ge-

¹⁶ Der Gleichzeitigkeitsfaktor ist ein Maß dafür, inwieweit mit dem gleichzeitigen Betrieb eines Verbrauchers (von z. B. Strom, Wärme oder Kälte) zusammen mit anderen zu rechnen ist. Der Gleichzeitigkeitsfaktor ist insbesondere im Zusammenhang mit der Betrachtung von Leistungsabschätzungen von Bedeutung. Haben beispielsweise zwei Ventilatoren einen Leistungsbedarf von je 50 kW, bei einem Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,7 für den einen und 0,5 für den anderen, so ist davon auszugehen, daß die Leistungen zu unterschiedlichen Zeiten auftreten. Im Beispiel wäre die wirksame Leistung mit 60 kW anzusetzen.

sichtspunkten konzipiert, besteht die Gefahr, daß zuviel elektrische Energie in den Leitungen „verheizt“ wird, die dem EVU bezahlt werden muß. Die dabei auftretenden Spannungsverluste und Spannungsschwankungen (z. B. durch das Schalten größerer Lasten) können sich außerdem nachteilig auf die angeschlossenen Verbraucher auswirken.

Daneben ist zu überlegen, ob große Verbraucher durch Mittelspannung versorgt werden können. Dies gilt insbesondere für Antriebsmotoren großer Lüfteraggregate, elektrisch angetriebener Wärmepumpen hoher Leistung usw.

Im Bereich komplexer Verkabelungen in Verbindung mit Bedienelementen (Lichtschalter etc.) und bei zu erwartenden häufigen Nutzungsänderungen kann die Verdrahtung eines Steuerleitungssystems (z. B. EIB, LON etc.) von Vorteil sein.

Erhöhte Verluste können auch an Sicherungen minderer Qualität auftreten.

3.1.2.4.4 Beleuchtung

Der Austausch von Leuchten ist vor allem im Rahmen anstehender Sanierungs- und Neubaumaßnahmen in Betracht zu ziehen. Dabei sind Leuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) aufgrund der günstigeren Energiebilanz vorzuziehen (s. **Abb. 7**).

Neben einer Reduzierung des Energieverbrauchs kann sich auch die Grundlast (Leistungsbezug) spürbar verringern.

Merkmal – Lampentyp	KVG	VVG	EVG
Gesamtleistung Lampe	58 W	58 W	50 W
Verlust im Vorschaltgerät	13 W	8 W	5 W
Summe	71 W	66 W	55 W

Abb. 7: Vergleich KVG, VVG und EVG [FKGB98]

Vorzugsweise sind Leuchten mit hohem Wirkungsgrad einzusetzen. Spiegelrasterleuchten können aufgrund ihres höheren Wirkungsgrades eine Reduzierung des Stromverbrauches von ca. 40 % gegenüber Wannenleuchten mit opalen Kunststoffabdeckungen bewirken [AMEV92]. Gegenüber den z. T. noch gebräuchlichen Leuchtstoffröhren mit 38 mm Durchmesser, die bei einer 65-W-Röhre eine Lichtausbeute von 4.100 Lumen erreichen sind die 26-mm-Röhren mit einer Lichtausbeute von 5.200 Lumen bei 58 Watt wirtschaftlicher. Außerdem sind bereits Lampensysteme mit 16 mm Durchmesser erhältlich, die in der 35-W-Ausführung eine Lichtausbeute von 3.700 Lumen erreichen. Diese Leuchtstofflampen lassen sich nur noch mit elektronischen Vorschaltgeräten betreiben.

Aufbauleuchten sind, wo möglich und sinnvoll, Einbauleuchten vorzuziehen. Es sind bevorzugt Lampen mit hoher Lichtausbeute zu verwenden. Bei der Verwendung von Leuchtstofflampen sind EVG aufgrund ihrer niedrigen Verluste den konventionellen (KVG) bzw. auch den sogenannten verlustarmen Vorschaltgeräten (VVG) grundsätzlich vorzuziehen. Lampen mit EVG erbringen gegenüber solchen mit KVG eine um 12 % höhere Lichtausbeute sowie eine Verringerung der Verlustleistung im Vorschaltgerät (s. **Abb. 7**). Letzteres führt zu geringerer Wärmeabgabe. Bei einer 58 W Lampe wird die benötigte Leistung von 71 W bei konventioneller Technik auf 55 W (mit EVG) reduziert (außerdem entfällt die Kompensation). Als Nebeneffekt ergibt sich eine um 50 % längere Lebensdauer der Lampe. Dadurch sinken die Instandhaltungskosten. Des weiteren ist kein sichtbares Flackern der Lampen mehr vorhanden und der Geräuschpegel sinkt ebenfalls. Die Lampen können auch mit Gleichstrom betrieben werden, so daß eine einfache Integration in ein Notbe-

leuchtungssystem möglich wird. Bei bestimmten Nutzungen, wie Kantinen, Großraumbüros, Treppenhäusern usw. ist es zweckmäßig, entweder Stufenschaltungen oder Helligkeitsregelungs- bzw. -steuerungsanlagen (z. B. tageslichtabhängig) einzusetzen. Bei Hörsälen, Seminarräumen und anderen größeren Räumen ab ca. 1 kW installierter Leistung für Beleuchtung, ist die selbsttätige Schaltung der Beleuchtung in Abhängigkeit von der Personenanwesenheit (Bewegungsmelder in Verbindung mit Zeitschaltung) anzustreben. Die getrennte Schaltbarkeit von Leuchten kann sich in Arbeitsräumen bereits ab zwei Leuchten empfehlen. Außerdem sollte eine arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung vermehrt vorgesehen werden¹⁷.

Der Einsatz von Zeitschaltprogrammen und Dämmerungsschaltern zur Beleuchtungssteuerung, ggf. in Verbindung mit einer GLT-Aufschaltung ermöglicht weitere Einsparungen.

Als Nebeneffekt besonders hochwertiger Beleuchtungstechniken kann durch ein verändertes Nutzerverhalten (die Beleuchtung wirkt auch bei Tageslicht nicht mehr störend) die Energieeinsparung geringer ausfallen als erwartet. In solchen Fällen ist eine tageslichtabhängige Steuerung zu empfehlen, wobei eine überlagerte Zeitsteuerung oder eine Auslösung durch Bewegungsmelder die Abschaltung zu den Zeiten ermöglicht, in denen keine Nutzung stattfindet.

Bei der Ermittlung der Wirtschaftlichkeit eines Leuchtaustausches außerhalb von ohnehin anstehenden Sanierungsmaßnahmen, ist zu beachten, daß neben den Kosten für die Leuchte und die Montage ggf. weitere Kosten (z. B. für Malerarbeiten) entstehen können. Insbesondere ist dies dann der Fall, wenn aufgrund des höheren Wirkungsgrades weniger Leuchten als vorher montiert werden müssen. Einige Hersteller bieten komplette Austauschätze für die Umrüstung von geeigneten Leuchten mit EVG an (mit Kabelsatz, EVG, ggf. sogar Spiegel). Der Leuchtenwechsel kann dadurch entfallen. Zu beachten sind dabei allerdings die einschlägigen Sicherheitsbestimmungen sowie Hinweise der Hersteller, da durch die Umrüstung Prüfzeichen bzw. Zulassungen ihre Gültigkeit verlieren können.

Erhebliche Reduzierungen des Energieverbrauchs einzelner Leuchten können durch die Umrüstung von Außenbeleuchtungen auf energiesparende Leuchtmittel erreicht werden.

Von einigen Unternehmen werden auch Anlagen zur Spannungsabsenkung in Beleuchtungsanlagen angeboten. Dies kann entweder elektronisch (Phasen-Anschnitt, -Abschnitt oder -Einschnitt) oder mit Hilfe von Transformatoren (meistens zentral) erfolgen. In einer Umfrage des AMEV [AMEV97a] konnten lediglich vier Städte über Erfahrungen mit solchen Anlagen berichten. Danach gab es sowohl positive als auch einschränkende (Farbverfälschung des Lichtes, Gewährleistung, Lampenlebensdauer) Rückäußerungen. In der Praxis wird meistens Investitionen in Beleuchtungsanierungen der Vorzug gegeben. Seitens der Leuchtmittelhersteller werden die o. g. Anlagen eher negativ beurteilt, da eine Spannungsabsenkung eine Verringerung der Beleuchtungsstärke, des Wirkungsgrades und ggf. Lichtfarbe mit sich bringt. Je nach Systemausführung sind weitere Verluste (z. B. Transformatorverluste) zu berücksichtigen (s. a. [AMEV97a]).

Generell sollte der Einsatz solcher Systeme auch im Hinblick auf Folgekosten geprüft werden. Insbesondere in älteren Gebäuden mit überdimensionierten Beleuchtungssystemen oder Gebäudeteilen mit untergeordneter Bedeutung der Beleuchtung (Flure, Lagerräume), bei denen andere Sanierungsmaßnahmen aus Kostengründen nicht in Frage kommen, ist ein Einsatz solcher Systeme denkbar.

3.1.2.4.5 DV-Systeme

Bei der Beschaffung von DV-Geräten oder aktiven Komponenten für DV-Netze, ist auf niedrige elektrische Anschlußleistungen zu achten. Nach Möglichkeit sollen Energiemanagement-Systeme

¹⁷ Es sind dabei die einschlägigen arbeitsschutzrechtlichen Anforderungen (z. B. §7 ArbStättV bzw. ASR 7/3) zu beachten (s. a. [ARBSTV75]).

eingesetzt werden, die bei längerer Nutzungspause selbsttätig einen energiesparenden Ruhezustand einnehmen.

Da mittlerweile nahezu jeder Büroarbeitsplatz mit PC-Systemen ausgestattet ist, deren Leistungsaufnahme jeweils bei ca. 100–200 W liegt, kommen in Gebäuden mit überwiegend büroartiger Nutzung erhebliche Leistungen zustande. Zur Reduzierung von Leistungsaufnahme und Stromverbrauch sind in [Metasc97] einige Empfehlungen zusammengestellt worden:

- Auswahl energiesparender Geräte bei Neuanschaffungen.
- Verwendung von Tintenstrahldruckern anstelle von Laserdruckern. Letztere benötigen etwa das zehnfache des Stromes eines Tintenstrahldruckers. Ggf. sollten einzelne Laserdrucker zentral (z. B. etagenweise) genutzt werden.
- Aktivierung von Powermanagement-Funktionen und ggf. Abschaltung von z. B. Netzwerk-Servern durch Zeitschaltuhren außerhalb der Arbeitszeiten.
- Abschalten der Geräte an den Arbeitsplätzen in Arbeitspausen bzw. bei Nichtgebrauch.
- Auch im sog. Standby-Modus benötigen viele Geräte noch Leistungen, die sich im Bereich von 5–50 W bewegen (bei Laserfax-Geräten bis zu 90 W). Viele Geräte, die mit Stecker-Netzteilen betrieben werden, besitzen zudem lediglich einen Ausschalter am Gerät, nicht jedoch für das Netzteil. Zum vollständigen Abschalten von Geräten bieten sich daher schaltbare Steckdosenleisten und ggf. Zeitschaltuhren an.
- Neuere Flachbildschirme benötigen wesentlich weniger Energie als herkömmliche Monitore mit Bildröhre. Derzeit liegt der Preis für Flachbildschirme allerdings beim 3–4fachen eines herkömmlichen Bildschirms. Es ist aber mit einer Angleichung der Preise zu rechnen.

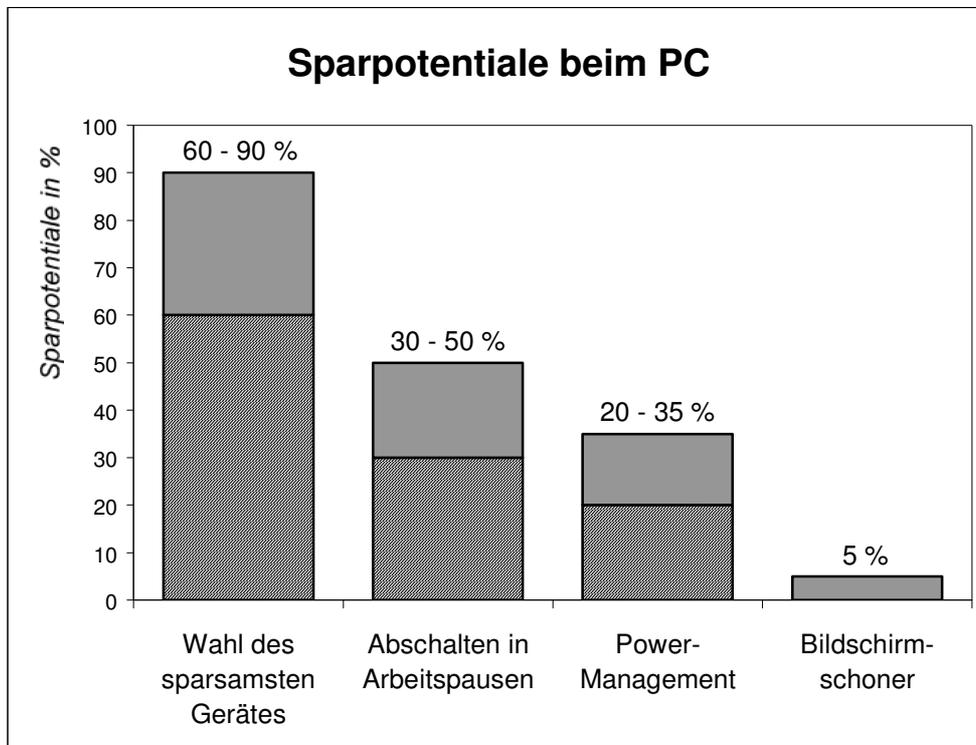


Abb. 8: Sparpotentiale beim PC [Metasc97].

Abb. 8 zeigt mögliche Energiesparpotentiale bei PCs. Auffällig ist dabei, daß die größten Einsparungen durch die Geräteauswahl (Beschaffung) und das Abschalten der Geräte in den Arbeitspausen erreicht werden.

In [Metasc97] wurde für lokale PC-Arbeitsplätze eine Leistungsaufnahme von 100 bis 200 W angenommen (PC ca. 100–130 W, Netzwerkrechner ca. 96–200 W, in Abhängigkeit von der Monitor-Einschaltdauer). Bei einer Leistungsaufnahme von 100 W und einer Einschaltdauer von 1.600 Stunden im Jahr ergibt sich rechnerisch ein Stromverbrauch von 160 kWh/a für einen einzigen PC.

3.1.2.4.6 Aufzugsanlagen

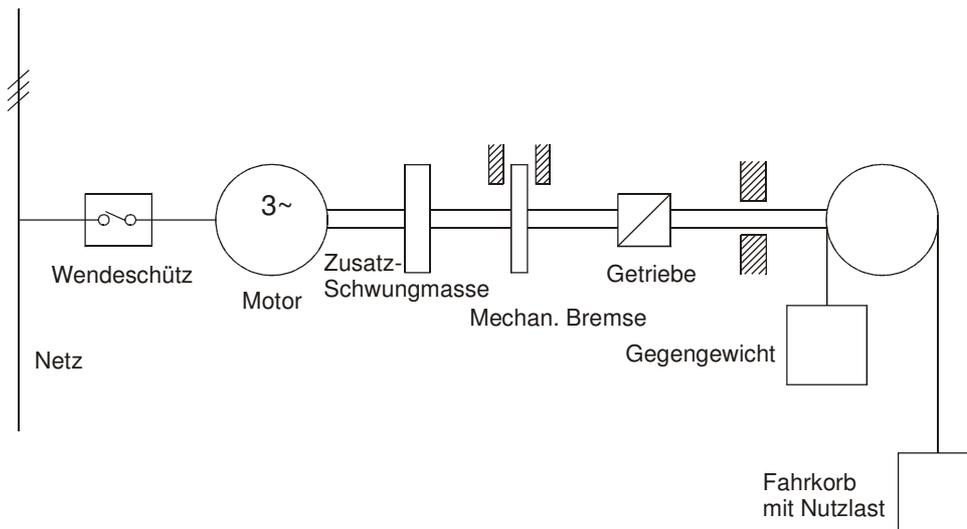


Abb. 9: Schematischer Aufbau einer Aufzugsanlage [FKGB98].

Bei Aufzugsanlagen hängt der Energieverbrauch wesentlich von der Größe der beschleunigten Massen ab. **Abb. 9** zeigt den schematischen Aufbau einer konventionellen Aufzugsanlage. Der Einsatz moderner Antriebstechnik kann den Stromverbrauch spürbar verringern. Geregelt Aufzugsantriebe benötigen keine zusätzlichen Schwungmassen (zur Verbesserung von Fahrkomfort und Haltegenauigkeit) und benötigen dadurch weniger Energie (Einsparung bis zu 40 % gegenüber konventionellen Antrieben). Sie schonen zusätzlich Getriebe, Treibscheibe und Seile, was sich positiv auf den Instandhaltungsaufwand auswirkt. Die Überdimensionierung, wie sie bei unregelmotoren in Verbindung mit Zusatzschwungmassen eingesetzt wird, benötigt neben dem Mehrverbrauch an Energie auch einen höheren Anlaufstrom.

Sind mehrere Aufzüge vorhanden, bietet sich zur Optimierung des Betriebs der Einsatz von Sammel- und Gruppensteuerungen an (s. a. [AMEV97]).

Mittlerweile sind moderne Aufzugssysteme auf dem Markt, die infolge der kompakten Antriebstechnik, bestehend aus getriebelosen elektronisch geregelten Antrieben, keinen Maschinenraum mehr benötigen (s. **Abb. 10**). Aufgrund der weiter verringerten bewegten Massen und des hohen Wirkungsgrades zeichnen sich diese Antriebe durch eine geringe Energieaufnahme und niedrige Anlaufströme aus. Der Preis ist zwar höher, als bei konventionellen Systemen (mit Getriebe), eine Angleichung wird aber erwartet [Heide99]. Hinzu kommt die Verringerung der Instandhaltungskosten durch eine geringere Anzahl an Verschleißteilen.

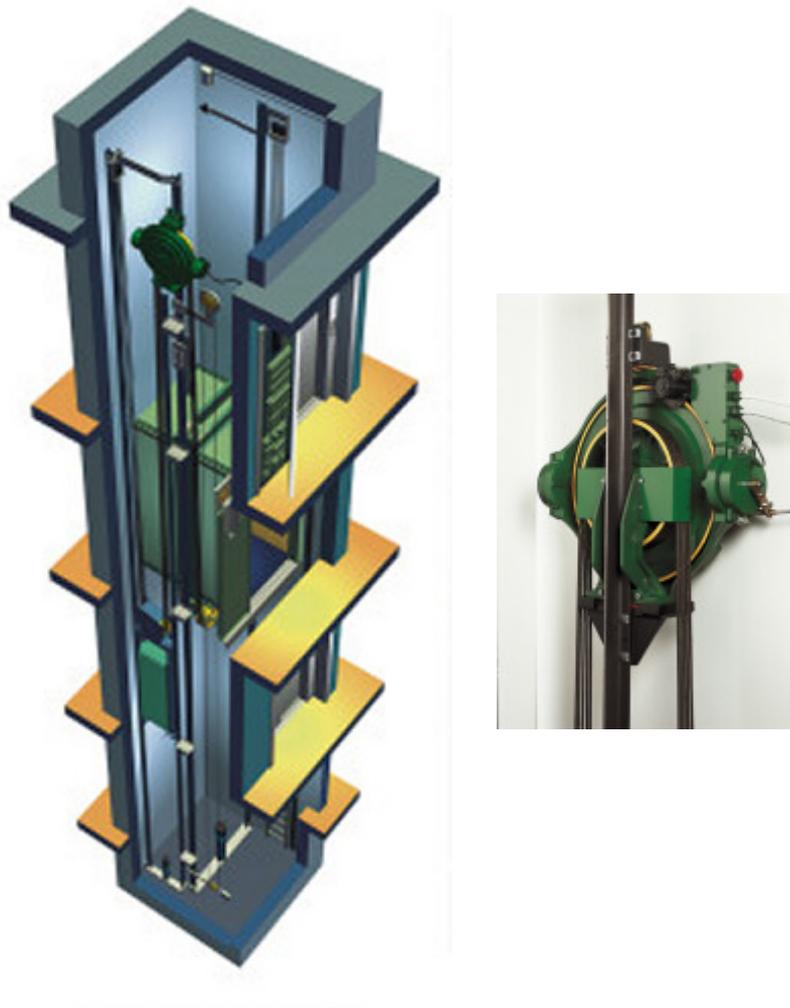


Abb. 10: Aufzug ohne Maschinenraum, Antrieb (Fotos: Fa. Kone)¹⁸

3.1.2.4.7 Antriebstechnik

Antriebe finden überwiegend in Heizungsanlagen (Umwälzpumpen für das Heizwasser), in Lufttechnischen Anlagen (Antrieb für Ventilatoren), im Sanitärbereich (Pumpen zur Druckerhöhung, für Abwasserhebeanlagen) und im Bereich der Fördertechnik (Antriebe für Aufzugsanlagen, Warentransportanlagen etc.) Verwendung. Außerdem gibt es eine Vielzahl von Kleinantrieben, die z. B. zum Öffnen bzw. Schließen von Türen und Fenstern, für Haushalts- und Arbeitsgeräte verwendet werden. Der Anteil solcher Antriebe am Gesamtstromverbrauch ist nicht zu vernachlässigen. In privaten Haushalten stellen die Antriebe der Kompressoren von Kühl- und Gefriergeräten häufig die größten Einzelverbraucher dar. Antriebe haben bei Lufttechnischen Anlagen einen hohen Anteil am Energieverbrauch dieser Anlagen. Umwälzpumpen in Heizungsanlagen sind meistens überdimensioniert.

Nach einer Untersuchung des Fachverbandes Elektrische Antriebe im ZVEI ließen sich durch konsequenten Einsatz elektronischer Drehzahlregelungen und energetisch optimierter Elektromotoren allein in Deutschlands Industrie jährlich ca. 19 TWh an Energie einsparen, bei einer Verminderung der CO₂-Emissionen um 11 Mio. t und Stromkosteneinsparungen von ca. 2,8 Mrd. DM [ZVEI99].

¹⁸ Weitere Informationen sind im Internet unter <http://www.kone.com> abrufbar.

Eine wichtige Kenngröße von Antrieben ist der Wirkungsgrad. In der Praxis hängt der erzielbare Wirkungsgrad von der Art des gewählten Antriebssystems und von dessen richtiger Dimensionierung ab. Hierzu müssen Daten zum geforderten Leistungs-, Drehmoment- und Drehzahlverlauf bekannt sein.

Bei den häufig verwendeten Drehstrom-Asynchronmotoren (sog. Normmotoren) liegt das Wirkungsgradmaximum im Betrieb zwischen 75 und 100 % der Nennleistung (ab 20 kW Nennleistung beträgt der maximale Wirkungsgrad bei Drehstrom-Asynchronmotoren mehr als 90 %). Ein überdimensionierter Antrieb weist neben einem schlechteren Wirkungsgrad auch eine erhöhte Blindleistungsaufnahme auf, die zu Stromverlusten führt und ggf. Kompensationsmaßnahmen erfordert. Eine Unterdimensionierung kann, bei kurzen Hochlastintervallen im Minutenbereich, sinnvoll sein, da Asynchronmotoren bis zum 1,5-fachen der Nennleistung überlastbar sind.

Bei wechselnden Lastverhältnissen sind drehzahlgeregelte Antriebe einzusetzen, dagegen ist bei konstanten Lastverhältnissen die richtige Dimensionierung des Antriebes entscheidend. Werden bei konstanten Lastverhältnissen Antriebe in Kombination mit einer Drehzahlregelung eingesetzt, verschlechtert sich der Wirkungsgrad. Eine Drehzahlregelung sollte nicht dafür benutzt werden, einen überdimensionierten Motor an eine (konstante) Lastsituation anzupassen.

Eine einfache Lösung, überdimensionierte Antriebe an ihre Last anzupassen, oder Antriebe mit großen Lastsprüngen wirtschaftlich zu betreiben, ist die Dreieck-Stern-Umschaltung. Die Umschaltung erfordert allerdings entsprechende Anschlußmöglichkeiten am Motor und bewirkt einen relativ großen Leistungssprung von 100 auf 33 %.

Kleinmotoren im Leistungsbereich unter 1 kW zeichnen sich meist durch schlechte Wirkungsgrade (z. T. weit unter 50 % aus). Die Motorverluste setzen sich dabei aus ohmschen Verlusten in der Wicklung, magnetischen Eisenverlusten, Erregerverlusten, Lüfter- und Lagerverlusten und Zusatzverlusten (z. B. Wirbelstromverluste) zusammen. Hinzu kommen Verluste durch Getriebe sowie durch Hilfsenergien für Regelungs- und Steuerungssysteme. Der Einsatz von Kleinmotoren mit hohen Wirkungsgraden, insbesondere bei hohen Betriebszeiten, ist anzustreben.

3.1.2.4.8 Elektrische Pumpen in Heizungs- und Lufttechnischen Anlagen

Durch den Einbau von Steuerungs- und Regelsystemen, die ein gezieltes Abschalten der Anlagen zulassen, bzw. eine bedarfsgerechte Lastanpassung ermöglichen, lassen sich insbesondere bei Lüftungsanlagen bedeutende Mengen an Elektro- sowie Wärme- und Kälteenergie einsparen.

Der Einbau selbsttätiger Pumpenregelungen ermöglicht eine Reduzierung des Stromverbrauchs um bis zu 50 % (im flächendeckenden Durchschnitt 30–40 %). Sog. Elektronikpumpen mit integrierter elektronischer Leistungsregelung benötigen keine separaten Schaltgeräte, so daß sich außerdem der Installationsaufwand reduziert.

In einer Untersuchung des IKE¹⁹ wurde bei Einfamilienhäusern eine Überdimensionierung der Heizungspumpen um den Faktor 2,7 und bei Mehrfamilienhäusern um den Faktor 3,4 festgestellt. Auch wenn die Verhältnisse dort mit denen in Hochschulen nur bedingt vergleichbar sind, so ist davon auszugehen, daß in der Vergangenheit auch hier Überdimensionierungen erfolgt sind.

Durch den Einsatz von Einzelraumregelungssystemen in Verbindung mit variablen Volumenströmen bei RLT-Anlagen lassen sich bei der Versorgung mehrerer Räume mit unterschiedlichen Lüftungsanforderungen Reduzierungen im Energieverbrauch erreichen. Die bedarfsabhängige Regelung der RLT-Anlagen in Verbindung mit entsprechender Antriebstechnik (z. B. Frequenzumformer) bringt, gegenüber dem reinen Schaltuhrbetrieb, eine weitere Verringerung des Strom- sowie Kälte- und Wärmeverbrauchs mit sich (s. a. unter 3.1.2.2).

¹⁹ Institut für Kernenergetik und Energiesysteme, Information zur Studie zur CO₂-Reduzierung durch Pumpensanierung, Prof. Bach, Universität Stuttgart, 1992 [Bach92].

Die gute Abstimmung von Ventilatoren auf die Lüftungsanforderungen (möglichst Betrieb im Wirkungsgradmaximum) ermöglicht eine Reduzierung des Stromverbrauchs.

3.1.2.4.9 Druckluftanlagen

Druckluft ist eine verhältnismäßig teuer erzeugte Energieform, da Anlagen zur Druckluftherzeugung mit geringen Wirkungsgraden arbeiten. Die Kosten für 1 m³ Druckluft liegen bei einem Druckluftnetz mit 6 bar bei ca. 2 Pfg.

Verluste im Netz (z. B. durch Leckagen) und falsch dimensionierte Anlagen können zu einer erhöhten Energie- und Kostenbelastung führen. Nach Untersuchungen der Energieagentur Nordrhein-Westfalen [CHEPRO99] summieren sich die Kosten bei einem Loch von 4 mm Durchmesser auf ca. 23.000 DM/Jahr (bei einem 10 bar-Druckluftnetz).

Die richtige Dimensionierung der Anlagen erfordert eine genaue Bedarfsermittlung vor Ort, um die Kompressorgröße an die Lastverhältnisse anzupassen. Ggf. empfiehlt es sich bei stark wechselnden Lasten, mehrere Kompressoren zusammenzuschalten (Verbundsteuerung) oder größere Druckluftspeicher zu installieren. Letzteres hat den Vorteil eines verringerten Bedarfs an elektrischer Leistung.

Wirtschaftlich gestaltet sich bei dieser Technik häufig auch die Wärmerückgewinnung aus dem Ölkreislauf. Über einen Wärmetauscher kann die Wärme dann in einen Heizkreislauf eingespeist werden. Mehrstufige Verdichter mit einer oder mehreren Zwischenkühlungen sind dabei einstufigen Systemen vorzuziehen.

3.1.3 Prozeßbezogene Maßnahmen zur Energierückgewinnung

Energierückgewinnung bedeutet in der Regel Nutzung eines Teils der in Energiewandlungsprozessen entstehenden Wärmeenergie.

In vielen Prozessen fällt Wärme als unerwünschtes Nebenprodukt bei der Energieerzeugung oder -wandlung an. Beispielsweise ist dies bei der Erzeugung von Kälte- und Druckluft, bei der Stromerzeugung (z. B. in Kraftwerksanlagen), bei der Kühlung von Anlagen und Geräten etc. der Fall.

Die Wärmerückgewinnung (WRG) kann an verschiedenen Stellen erfolgen:

- Bei Lüftungsanlagen durch den Entzug der in der Abluft enthaltenen Wärmeenergie, die der Luft entweder direkt oder indirekt über Wärmetauscher entzogen wird.
- Bei Kälteanlagen, in dem die beim Kälteprozeß entstehende Abwärme genutzt wird (z. B. über Wärmetauscher). Ggf. kommt auch der Einsatz von Wärmepumpen in Frage, um niedrigere Temperaturniveaus ausnutzen zu können.
- Aus Abwässern (Warmwasser) über Wärmetauscher.
- Aus der Kühlung von prozeßtechnischen Anlagen und Geräten (Lasersysteme, Laborkühlsysteme, Druckluftherzeugung etc.) über Wärmetauscher.

3.1.3.1 Wärmerückgewinnung bei Lufttechnischen Anlagen

Bei der Wärmerückgewinnung ist die Wirtschaftlichkeit im Einzelfall zu betrachten. In einigen Fällen, insbesondere bei Lüftungsanlagen stehen mehrere Lösungsmöglichkeiten zur Auswahl, die sich hinsichtlich der Kosten unterscheiden können. Vom Verfahren her werden drei Arten der WRG unterschieden:

- rekuperativ (Energieübertragung durch Wärmeleitung),
- regenerativ (Energieübertragung durch Wärmespeicherung),
- mittels Wärmepumpe.

Unabhängig davon stellt auch der Umluftbetrieb eine Form der Wärmerückgewinnung dar (direkte Wärmerückgewinnung durch Mischen von Zu- und Abluft). In der Technik wird die optimierte Steuerung der Umluftklappen auch als Enthalpieoptimierung bezeichnet. Der Begriff der Wärmerückgewinnung wird jedoch für diese Art üblicherweise in der Lüftungstechnik nicht gebraucht. Umluftsysteme sind nur bei ausreichender Qualität der Abluft anwendbar. Bei schadstoffbelasteter Fortluft scheidet diese Möglichkeit aus [Beck96].

Technisch gibt es im wesentlichen vier Systeme, die eingesetzt werden [Beck96], [ReSpSc95]:



Abb. 11:
Rotationswärmetauscher
(nach ABB-Unterlagen)

a) Rotationswärmetauscher (regenerativ), hohe Rückwärmezahl 65 bis 90 %, Übertragung von Feuchtigkeit möglich, Kompakte Abmessungen auch bei großen Luftleistungen, Leckage (bis 10 % der Nennluftleistung zwischen Fortluft und Außenluft), Druckverlust ca. 50 bis 350 Pa, ca. 35 % Marktanteil, niedrige Kosten (einschl. Installation) ca. 1,00–1,60 DM je m³/h .

Ein Rotationswärmetauscher (s. **Abb. 11**) besteht aus einer festen, aber luftdurchlässigen Speichermasse, die über einen Motor angetrieben wird (langsame Drehzahl, ca. 20 min⁻¹). Das Gehäuse ist in der Mitte geteilt. Außenluft und Fortluft werden so getrennt durch den Wärmetauscher geführt.

Die Drehbewegung der rotierenden Masse führt dazu, daß abwechselnd die Fortluft und die Außenluft durch die Speichermasse strömen. Dabei erfolgt eine Wärmeübertragung und damit eine Energieabgabe vom wärmeren zum kälteren Medium. Neben der Wärme kann auch Feuchtigkeit übertragen werden.

Die Regelung erfolgt über die Drehzahl der rotierenden Masse oder über einen Bypass.

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit ist neben den Betriebszeiten der Druckverlust am Wärmetauscher einzubeziehen, der durch eine Erhöhung der Ventilatorleistung auszugleichen ist sowie die Antriebsenergie für die rotierende Masse. Neben den Energiekosten sind noch Wartungskosten zu berücksichtigen (Antrieb, Dichtungen).



Abb. 12:
Plattenwärmetauscher
(nach ABB-Unterlagen)

b) Plattenwärmetauscher (rekuperativ), Rückwärmezahl ca. 50 bis 70 %, keine Übertragung von Stoffgrößen (Feuchtigkeit), sehr geringe Leckagen (< 1 % der Nennluftleistung) bzw. Vermischungen zwischen Fortluft und Außenluft (keine Kontamination der Zuluft), hohe Betriebssicherheit und leichte Reinigung, Druckverlust ca. 100 bis 250 Pa, ca. 30 % Marktanteil, niedrige Kosten bei kleineren Luftleistungen bis ca. 20.000 m³/h (einschl. Installation) ca. 0,90–1,40 DM je m³/h.

Zu- und Abluft werden beim Plattenwärmetauscher üblicherweise im Kreuzstrom (aus Kostengründen, Gegenstrom wäre besser geeignet) durch dünne Platten geführt, die gegeneinander abgedichtet sind

(s. **Abb. 12**). Die Wärmeübertragung erfolgt durch Wärmeleitung. Es sind keine beweglichen Teile vorhanden.

Die Regelung der Wärmerückgewinnung kann über einen Bypass erfolgen.

c) Wärmerohr oder *heat pipe* (indirekt rekuperativ), Rückwärmezahl ca. 25 bis 35 % (Normalanlagen) bzw. 50 bis 75% (Hochleistungsanlagen), keine Übertragung von Stoffgrößen (Feuchtigkeit), keine Kontamination der Außenluft, sehr geringe Leckagen, kleine Geräteabmessungen und geringes Gewicht bei großen Luftleistungen, wartungsarm, Druckverlust ca. 200 bis 400 Pa (Hochleistungsanlagen 100 bis 250 Pa), Kosten (einschl. Installation) ca. 1,00–1,60 DM je m³/h, ca. 5 % Marktanteil, hohe Arbeitstemperaturen möglich.

In einem in der Mitte geteilten Gehäuse sind mehrere Reihen von evakuierten Rohren, die ein Kältemittel enthalten angeordnet. Zur besseren Wärmeübertragung sind die Rohre mit Rippen versehen. Um den unteren Teil des Wärmerohres strömt die Fortluft und erwärmt dadurch das Kältemittel, das dabei verdampft, sich im oberen Teil, der von der Außenluft umströmt wird, niederschlägt (kondensiert) und dabei Wärme an die einströmende Außenluft abgibt.

Die Regelung des Systems erfolgt mittels Bypass oder durch Kippen des Systems bei horizontalen Rohren (Kippregelung).



Abb. 13:
Wärmetauscher mit Kreislaufverbundsystem
(nach ABB-Unterlagen)

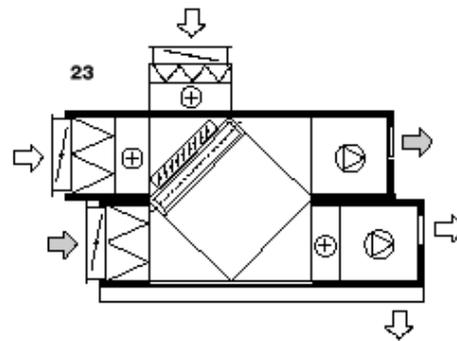
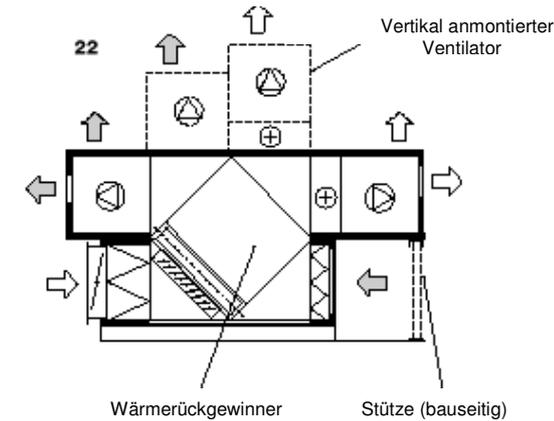
d) Kreislaufverbundsystem (indirekt rekuperativ): Rückwärmezahl ca. 35 bis 45 % (Hochleistungsanlagen bis 75 %), keine Übertragung von Stoffgrößen (Feuchtigkeit), keine Kontamination der Außenluft, keine Leckagen wegen der Trennung von Zu- und Abluft möglich, kleine Geräteabmessungen bei großen Luftleistungen, Druckverlust ca. 150 bis 250 Pa, Kosten (einschl. Installation) ca. 1,20–2,50 DM je m³/h, ca. 20 % Marktanteil, Zu- und Abluft können lokal getrennt geführt werden.

Die Wärmeübertragung erfolgt über ein Kühlregister in der Fortluft und ein Heizregister in der Außenluft, die über ein wassergefülltes (ggf. mit Frostschutzmittel) Rohrsystem (Vor- und Rücklauf) miteinander verbunden sind. Das Wasser wird durch eine Pumpe umgewälzt (s. **Abb. 13**).

Die Wärme der Fortluft wird durch das Kühlregister aufgenommen und an den Wasserkreislauf übertragen. Die Wärme wird zum Heizregister transportiert und wärmt dort die Außenluft vor.

Die Regelung erfolgt über ein Mischventil oder einen Bypass.

Wärmerückgewinner RECUTERM
(Größe 11 – 42)
Ohne Umluft



Mit Umluft

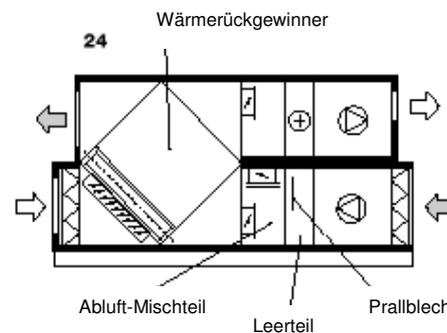


Abb. 14: Aufbau (Beispiele) für WRG-Systeme (nach ABB-Unterlagen)

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit ist neben den Betriebszeiten der Druckverlust am Wärmetauscher zu berücksichtigen, der durch eine Erhöhung der Ventilatorleistung auszugleichen ist. Hinzu kommt der Energieaufwand für die Umwälzpumpe. Neben den Energiekosten sind hier ebenfalls die Wartungskosten von Bedeutung. Beispiele für die Ausführung von WRG-Systemen sind in **Abb. 14** dargestellt.

Zur Beurteilung der Effektivität eines WRG-Systems kann die Rückwärmezahl herangezogen werden. Sie errechnet sich aus:

$$\Phi_{\text{Außen}} = \frac{T_{\text{Zu}} - T_{\text{Außen}}}{T_{\text{Ab}} - T_{\text{Außen}}} \quad \text{oder} \quad \Phi_{\text{Ab}} = \frac{T_{\text{Ab}} - T_{\text{Fort}}}{T_{\text{Ab}} - T_{\text{Außen}}}$$

Sind die Massenströme auf der Außen- und Abluftseite gleich und wird nur sensible Wärme übertragen, so gilt

$$\Phi_{\text{Außen}} = \Phi_{\text{Ab}} = \frac{T_{\text{Zu}} - T_{\text{Außen}}}{T_{\text{Ab}} - T_{\text{Außen}}}$$

Beim Einbau von Wärmerückgewinnungsanlagen ist auf Zugänglichkeit und ggf. leichte Ausbaubarkeit zu achten, damit die notwendigen Reinigungsarbeiten problemlos ausgeführt werden können. Die Wartung der Anlagen umfaßt:

- Regelmäßige Funktionsprüfung (Druckverlust, Rückwärmezahl, ggf. Überprüfung der bewegten Teile wie Pumpen und Antriebe),
- optische Kontrolle (Verschmutzung, Korrosion),
- Überprüfung der Sollwerte und Funktion der Regelung sowie der Sicherheitsschaltungen.

Bezüglich der Wärmerückgewinnung aus schadstoffbehafteter Fortluft sei an dieser Stelle auf weiterführende Literatur [Beck96] verwiesen.

Eine Leistungsregelung ist immer dann notwendig, wenn durch interne Wärmelasten die Ablufttemperatur so hoch wird, daß durch die Wärmerückgewinnung die Zuluft stärker als die gewünschte Raumtemperatur erwärmt wird. Bei geringen Wärmelasten bzw. bei Kühlung ist eine Regelung der Wärmerückgewinnung nicht notwendig. Der Einsatz eines Bypasses zur Regelung hat den Vorteil, daß die Anlage auch ohne WRG-System betrieben werden kann (Betriebssicherheit). Zudem läßt sich die Einfriergefahr umgehen.

Druckverluste wirtschaftlicher Systeme liegen unterhalb von 250 Pa (üblich sind Werte zwischen 150 und 250 Pa). Bei einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtung muß die Energieersparnis durch die WRG dem Stromverbrauch u. a. durch die Erhöhung des Drucks zur Luftförderung entgegengestellt werden. Unter Umweltgesichtspunkten ist der Wirkungsgrad der Stromerzeugung (ca. 34 % bei der Erzeugung in konventionellen Kraftwerken) zu berücksichtigen (Betrachtung des Einsatzes von primären Energieträgern). Es muß dann mindestens etwa dreimal soviel Wärmeenergie eingespart werden als zum Betrieb an zusätzlicher elektrischer Energie benötigt wird, um einen entsprechenden Teil elektrischer Energie zu kompensieren.

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit sind zu berücksichtigen:

- Druckverluste durch das WRG-System, d. h. erhöhte Luftförderleistung;
- Aufwand für zusätzliche Antriebe;
- Aufwand für Regelung und Installationskosten des WRG-Systems;
- Zusatzaufwand für Instandhaltung.

3.1.3.2 Wärmepumpe

Technisch arbeitet eine Wärmepumpe wie eine Kältemaschine, mit dem Unterschied, daß nicht die Kühlleistung des Verdampfers sondern die Wärmeleistung des Verflüssigers genutzt wird. Als Antrieb sind Elektro-, Gas- oder Dieselmotoren verwendbar. Die Ausführung als Absorptionswärmepumpe (von der Funktion her vergleichbar mit der Absorptionskältemaschine) beispielsweise mit Fernwärme als „Antriebsenergie“ ist ebenfalls möglich.

Die Wärmepumpe ist geeignet, Abwärme aus technischen Anlagen und Prozessen (Abwasser, Fortluft aus Lüftungsanlagen etc.) sowie Umweltwärme zu nutzen, indem diesen Quellen Wärme entzogen wird und mittels Energiezufuhr als Antriebsleistung z. B. für einen Verdichter auf ein höheres Temperaturniveau zur Beheizung, Warmwasserbereitung etc. angehoben wird.

Je nach Einsatzgebiet wird unterschieden zwischen monovalenten (Wärmebereitstellung erfolgt ausschließlich mittels Wärmepumpe) oder bivalenten (Wärmebereitstellung erfolgt durch Wärmepumpe und zusätzliches konventionelles Heizsystem) Systemen.

Inwieweit eine Wärmepumpe energetisch und wirtschaftlich sinnvoll als Alternative oder Ergänzung zu konventionellen Heizsystemen eingesetzt werden kann, hängt von den Investitionskosten, vom Brennstoffeinsatz (für die Umweltverträglichkeit ist hier der Primärenergieeinsatz zu berücksichtigen²⁰) und von den Instandhaltungskosten ab. Auch ist die erreichbare Vorlauftemperatur von ca. 55°C in vielen Fällen ein Hindernis, so daß lediglich ein bivalenter Betrieb mit einem zweiten Wärmeerzeuger möglich ist. Zum Teil werden auch Förderprogramme von den Ländern, aber auch von vielen EVU angeboten²¹.

Art der Beheizung	Primärenergie [kWh/a]	Primärenergieeinsatz (26.727 kWh/a = 100 %)	CO ₂ -Emissionen [kg CO ₂ /a]	Spezifische CO ₂ -Emissionen [kg CO ₂ /kWh]
Strom*	78.577	294 %	15.715	0,20
Heizöl EL	33.409	125 %	8.686	0,26
Erdgas	31.805	119 %	6.361	0,20
Bundesdurchschnitt	39.021	146 %	9.755	0,25
Strom-WP*	26.994	101 %	5.399	0,20
Gasmotor-WP	18.976	71 %	3.795	0,20

* laut Kraftwerksmix der Bundesrepublik Deutschland

Abb. 15: Primärenergieeinsatz und CO₂-Emissionen von Wärmepumpen im Vergleich zu anderen Heizsystemen (nach [ASUE95]) am Beispiel eines Einfamilienhauses.

Die erreichbare Primärenergieeinsparung und die damit verbundene Verringerung des CO₂-Ausstoßes ist aus **Abb. 15** ersichtlich. Werden vornehmlich diese Faktoren betrachtet, so schneidet die gasmotorisch betriebene Wärmepumpe am besten ab. In **Abb. 15** sind verschiedene Energieträger zur Nutzung für die Raumheizung am Beispiel eines Wohngebäudes mit einem Heizenergiebedarf von 26.727 kWh/a bezüglich Primärenergieeinsatz und CO₂-Ausstoß miteinander verglichen worden (Strom auf der Basis des Kraftwerksmix in Deutschland, angenommener Kraftwerkswirkungsgrad 34 %, Leistungszahl $\epsilon = 3$ für die Strom-Wärmepumpe bzw. 3,3 für die gasmotorisch betriebene Wärmepumpe).

Insbesondere bei gas- bzw. dieselmotorisch angetriebenen Wärmepumpen hat es in der Vergangenheit häufiger Betriebsprobleme gegeben. Beim Einsatz solcher Systeme ist zu prüfen, ob im Rahmen der Gewährleistung und dieser ergänzenden Wartungsverträgen solche Risiken minimiert werden können.

3.1.3.3 Prozeßabwärmenutzung

Die in vielen Energiewandlungsprozessen als Nebenprodukt anfallende Wärme läßt sich für verschiedene Zwecke verwenden. Sie kann zur Brauchwassererwärmung, Speisewasservorwärmung bei der Dampferzeugung, direkten Gebäudeheizung, Einspeisung in Fernwärmenetze etc. verwen-

²⁰ Für das Verhältnis End- zu Primärenergieeinsatz sind mit allen Wärmepumpen Werte oberhalb von 1 (bis 1,5) erreichbar.

²¹ Informationen hierzu sind beim Initiativkreis Wärmepumpe e. V. (IWP) erhältlich (<http://www.waermepumpe-iwp.de>)

det werden. In den meisten Fällen wird die so gewonnene Wärme als Ergänzung zu einem herkömmlichen Heizsystem genutzt. In Abhängigkeit vom Temperaturniveau der Abwärme ist die Einspeisung dann parallel oder in Serie vorzunehmen.

Die Nutzung der Abwärme von Kälteanlagen (Verdichterabwärme) sollte möglichst direkt, d. h. zur Einspeisung in vorhandene Heizsysteme erfolgen. Es sind allerdings Fälle denkbar, in denen der Wärmebedarf zu Zeiten des höchsten Abwärmeeinflusses nicht genutzt werden kann (z. B. bei der Kälteerzeugung für die Raumklimatisierung im Sommer). Hier ist auch die Nutzung der Abwärme in einer Kälte-Wärme-Kälte-Kopplung möglich. Die Abwärme einer Kompressionskältemaschine wird dabei zur Energieversorgung einer Absorptionskältemaschine verwendet. Die Ausführung ist allerdings wesentlich kostenaufwendiger als bei der direkten Wärmenutzung. Voraussetzung ist außerdem ein Temperaturniveau der Abwärme oberhalb von ca. 85 °C.

Bei der Nutzung der Verdichterabwärme sind – abhängig von der Leistung, jährlichen Nutzung und Verdampfungstemperatur –, unter bestimmten Voraussetzungen (Verdichtertemperatur -30 bis -40 °C) Kosteneinsparungen bei der Kälteerzeugung von 30 % erreichbar. Für die rückgewonnene Wärme wurden 0,08 DM/kWh angesetzt, für die Kälteerzeugung 0,20 DM/kWh. In ökonomischer Hinsicht werden die besten Ergebnisse bei niedrigen Verdampfungstemperaturen, verbunden mit großen Anlagen, erreicht. Übliche Temperaturen in der Klimakälte ergeben dagegen lediglich eine geringe kostenmäßige Entlastung. Die ökologischen Entlastungen der Kälte-Wärme-Kopplung sind dagegen direkt proportional zur Kälteleistung [Förste99].

In sanitären Anlagen (Bäder), Küchen und Wäschereien kann es sich anbieten, die im Abwasser enthaltene Wärme zu nutzen. Aus Kostengründen, insbesondere unter Berücksichtigung eines ggf. erhöhten Wartungsaufwandes, sind solche Maßnahmen im Hinblick auf ihren Effekt unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten genau zu prüfen.

3.1.4 Anlagen zur Stromerzeugung

3.1.4.1 Kraft-Wärme-Kopplung

Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung werden heute in einem weiten Leistungsbereich angeboten. Es gibt Kleinanlagen mit ca. 6 kW Nennleistung (Kompakt-BHKW), Anlagen im mittleren Leistungsbereich bis ca. 1 MW als motorische BHKW oder als Gasturbinenanlagen sowie Anlagen im Leistungsbereich von Großkraftwerken. BHKW-Systeme sind in der Regel modular aufgebaut, d. h. die Anlagen können aus mehreren Modulen zusammengesetzt und so an die gewünschte Leistung angepaßt werden.

In einem BHKW wird durch einen Motor oder durch eine Dampfturbine ein Generator angetrieben, der Strom erzeugt. Der Wirkungsgrad der Stromerzeugung liegt hier bei ca. 31–33 % und kann beim kombinierten Gas- und Dampfturbinenprozeß bis etwa 40 % gesteigert werden. In **Abb. 16** ist beispielhaft ein Energieflußbild für ein BHKW dargestellt, aus dem die Energieanteile und Verluste (Umwandlungsverluste bei der Strom- und Wärmeerzeugung und Transportverluste im Nahwärmenetz) deutlich werden. Die Besonderheit beim BHKW liegt in der Nutzung der Abwärme, die im Motor (Öl- und Kühlwasserkreislauf) bzw. im Abdampf vorhanden ist. Bei konventioneller Stromerzeugung würde diese Wärme in Kühltürmen ungenutzt an die Umgebung abgegeben. Durch die zusätzliche Nutzung der Wärmeenergie werden Wirkungsgrade, bezogen auf den Primärenergieeinsatz von über 90 % erreicht²².

Prinzipbedingt sind die Abgabe von Strom und Wärme bei der Kraft-Wärme-Kopplung miteinander verknüpft, so daß bei der Erzeugung einer bestimmten Menge Strom eine entsprechende Menge Abwärme in der Anlage entsteht, die dann einer Nutzung zugeführt werden kann, oder über geeignete Kühleinrichtungen „vernichtet“ werden muß – was den Prozeß dann allerdings unwirtschaft-

²² Eine Übersicht über Wirkungsgrade und weitere technische Daten von BHKW-Anlagen verschiedener Anbieter im Leistungsbereich (elektrisch) von ca. 3–8.500 kW ist bei der Arbeitsgemeinschaft für Sparsamen und Umweltfreundlichen Verbrauch e. V. (ASUE) erhältlich [ASUE97].

lich macht. Unter diesem Hintergrund ist bei der Planung von KWK-Anlagen zu beachten, daß ein ausreichender, möglichst konstanter Wärmebedarf während des Betriebes gewährleistet ist. Dies stellt außerhalb der Heizperiode häufig ein Problem dar.

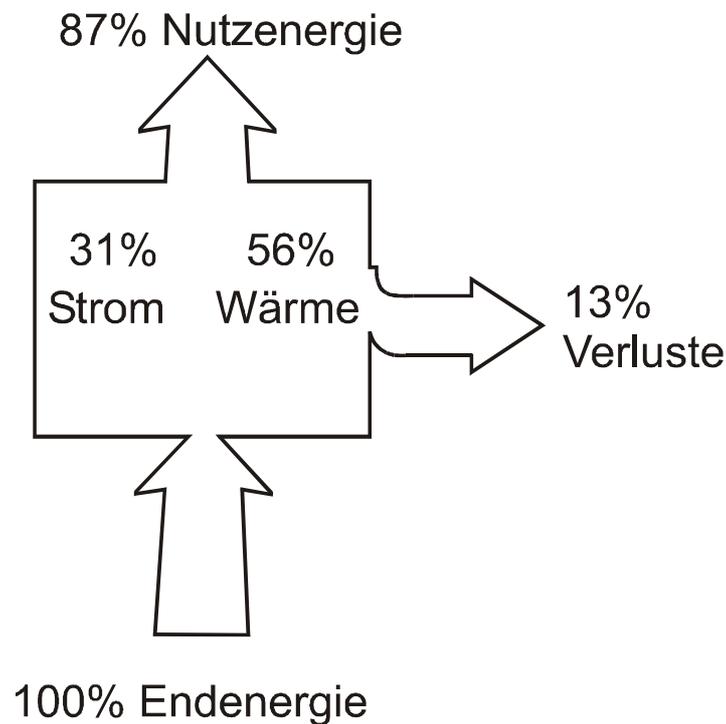


Abb. 16: Energieflußbild für ein BHKW (Beispiel)

Damit ein BHKW wirtschaftlich betrieben werden kann, ist die Berücksichtigung der örtlichen Rahmenbedingungen erforderlich. Grob lassen sich zwei Voraussetzungen für die optimale Nutzung eines BHKW formulieren:

- Eine Mindestauslastung von ca. 4.000 Stunden im Jahr ist gegeben.
- Die Abnahme der Wärme, die in der Regel als „Abfallprodukt“ bei der Stromerzeugung anfällt, muß gewährleistet sein.

In der Praxis werden auch BHKW-Anlagen eingesetzt, die die o. g. Bedingungen nicht erfüllen. Dies kann wirtschaftlich sein, wenn z. B. die Stromerzeugung oder das Abfahren von Strom-Lastspitzen im Vordergrund steht und die Nutzung der anfallenden Wärme eine untergeordnete Rolle spielt. Der Wirkungsgrad der Anlage verringert sich dann allerdings, da die Wärme ggf. bei fehlendem Bedarf ungenutzt über Rückkühlwerke abgeführt werden muß.

Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen sind vor allem folgende Faktoren zu beachten:

- Investitionskosten der Anlage (Annuität),
- Kosten für Bedienung, Wartung, Inspektion und Instandsetzung,
- Brennstoffkosten (mit Berücksichtigung der Lagerkosten),
- Kosten für Energie und Leistung beim Bezug über das EVU,
- Mögliche Einnahmen für den eigenerzeugten Strom (Einspeiservergütung) bzw. Kostenersparnis durch den verringerten Bezug (Energie und Leistung).
- Kostenersparnis (ggf. auch Einnahmen) durch die erzeugte Wärme.

Zur Sicherung der Wärmeabnahme auch außerhalb der Heizperiode, d. h. besonders im Sommer, kann die Wärme als Energieträger zur Kälteerzeugung eingesetzt werden. Hierzu sind Kältemaschinen geeignet, die mit Wärme betrieben werden. Diese Absorptionskältemaschinen zeichnen sich gegenüber Kompressionskältemaschinen allerdings durch wesentlich niedrigere Wirkungsgrade (bei Kompressionskältemaschinen als Leistungszahl, bei Absorptionskältemaschinen als Wärmeverhältnis bezeichnet) aus. Während Kompressionskältemaschinen Werte von bis zu 5,5 (3,3 bis 5,5) erreichen, liegen die vergleichbaren Werte bei Absorptionskälteanlagen lediglich bei ca. 0,7 (0,5 bis 0,75), bei zweistufigen Anlagen bei Werten zwischen ca. 1,3 und 1,5.

Beispiel:

Kompressionskälte:

$$\varepsilon = 4,5$$

Absorptionskälte:

$$\zeta = 0,7 \text{ (zweistufig: 1,4)}$$

Eine Kompressionskältemaschine benötigt zur Erzeugung der gleichen Kältemenge nur etwa $\frac{1}{6}$ der Energie wie eine (einstufige) Absorptionskältemaschine. Auch unter Berücksichtigung des schlechten Wirkungsgrades bei der Stromerzeugung in Kondensationskraftwerken von ca. 33 %, erscheint eine Kälteerzeugung in einer Absorptionsmaschine daher zunächst widersinnig. Während eine Kompressionskältemaschine aus einer elektrischen Leistung von 1 kW eine Kälteleistung von 4,5 kW erzeugt (Motorverluste vernachlässigt) – unter Berücksichtigung des Primärenergieaufwandes liegt das Verhältnis ungefähr bei 1 : 1,5 – so erzeugt eine Absorptionsmaschine aus 1 kW Wärmeenergie lediglich 0,7 kW Kälte, d. h. für 1 kW Kälte sind ca. 1,4 kW Wärme erforderlich – der Wirkungsgrad der Wärmeerzeugung ist dabei noch nicht berücksichtigt.

Auch unter ökologischen Gesichtspunkten ergibt sich für den Einsatz einer einstufigen Absorptionskältemaschine kein Vorteil. In [Schlott99] ergibt sich ein Verhältnis von ca. 1,24 : 1 hinsichtlich des CO₂-Ausstoßes einer Absorptionskältemaschine (einstufig) gegenüber einer Kompressionskältemaschine. Mit einer mehrstufigen Absorptionskältemaschine sind wesentlich bessere Werte erreichbar. Hier sind allerdings die Anlagenkosten ungleich höher anzusetzen.

Durch den Einsatz der (Überschuß-)Wärme aus der Kraft-Wärme-Kopplung wird der Nachteil des niedrigen Wirkungsgrades von Absorptionskälteanlagen allerdings kompensiert. Günstig wirkt es sich dabei aus, wenn die Abwärme des KWK-Prozesses beispielsweise im Winter zu Heizzwecken und im Sommer zum Betrieb von Absorptionskälteanlagen eingesetzt wird, wobei eine im Idealfall gleichmäßige Auslastung (Grundlast) erreicht wird.

Aus 3 kWh Primärenergie werden in einem BHKW ca. 1 kWh Strom und ca. 1,5 kWh Wärme. Mit einer Absorptionskältemaschine lassen sich aus der Wärme ca. 1,05 kWh Kälte erzeugen. Sofern die Gestehungskosten für die Energieerzeugung im BHKW sich im Rahmen des Strompreises bewegen, kann die Anlage wirtschaftlich betrieben werden. Zum Vergleich: Der Bezug von 1,25 kWh Strom (inkl. ca. 0,25 kWh für Kälte bei einer Leistungszahl der Kältemaschine von $\varepsilon = 4,5$) erfordert bei herkömmlichen Kondensationskraftwerken einen Primärenergieeinsatz von ca. 3,7 kWh (bei einem Kraftwerkswirkungsgrad von 34 %). Die Energiebilanz ist damit – bezogen auf den Primärenergieeinsatz – für das BHKW mit Absorptionskälte-Einsatz günstiger. Noch besser dürfte das Ergebnis ausfallen, wenn die Wärme zur Kälteerzeugung vorwiegend im Sommer eingesetzt wird und im Winter vorwiegend zu Heizzwecken genutzt wird.

Allerdings kann die hohe Rücklauftemperatur, verbunden mit einer geringen Temperaturspreizung, beim Einsatz von Absorptionskältemaschinen (insbesondere bei einstufigen Maschinen) ein Problem darstellen. Eine geringe Temperaturspreizung erfordert einen entsprechend erhöhten Massenstrom, um eine bestimmte Energiemenge zu übertragen. Die Rohrleitungen für den Wärmetransport müssen dafür geeignet sein (Näheres zu der Problematik findet sich in [Jungbl96]).

Ein hohe Rücklauftemperatur kann außerdem bei der Fernwärmeversorgung aus Kraft-Wärme-Kopplung ein Absinken der Turbinenauslastung für den Kraftprozeß zur Folge haben. Bei motorischen BHKW verteilt sich die Wärmeabgabe auf das Kühlwasser (ca. 50%, bei einer Temperatur von ca. 80–90 °C) sowie auf das Abgas (ca. 50%, bei einer Temperatur von ca. 120 bis 180 °C). Bei einer hohen Rücklauftemperatur (oberhalb der Kühlwassertemperatur) ließe sich der Wärmeanteil aus dem Kühlwasser nicht mehr verwenden, so daß sich der Wirkungsgrad weiter verschlechtert. Eine Reihenschaltung der Absorptionskälteanlage mit weiteren Verbrauchern (sofern z. B. im Sommer verfügbar) ist dazu geeignet, eine Absenkung der Rücklauftemperatur zu ermöglichen.

In [Schott99] finden sich Aussagen zu Investitionskosten von Kältemaschinen, die hier als Hilfe für weitere Abschätzungen mit aufgeführt sind. Bezogen auf die Kälteleistung Q_0 können die Gesamtkosten K_{ges} aus der folgenden Gleichung ermittelt werden.

$$K_{ges,x} = \frac{k_x}{Q_0^{y_x}} \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} k_x = 12215 \text{ und } y_x = 0,4702 \\ \text{für Kompressionskältemaschinen,} \\ k_x = 34333 \text{ und } y_x = 0,5655 \\ \text{für Absorptionskältemaschinen (1-stufig),} \\ k_x = 51213 \text{ und } y_x = 0,5757 \\ \text{für Absorptionskältemaschinen (2-stufig).} \end{array}$$

In den Kosten sind die Kältemaschine, Kalt- und Kühlwasserkreislauf, Wasseraufbereitung, Rückkühlanlage, Elektrische Komponenten und MSR-Technik sowie weitere Zubehörteile der Anlagen enthalten.

Am Universitäts-Krankenhaus Hamburg-Eppendorf ist eine Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung realisiert (Tandem-Heizkraftwerk), bei der die Kälteerzeugung direkt, d. h. durch mechanische Kopplung einer Kompressionskältemaschine mit dem HKW-Antriebsmotor auf der Antriebswelle erfolgt. Die maximal verfügbare Leistung liegt bei 0,9 MW_{Strom}, 3,4 MW_{Wärme} sowie 1,4 MW_{Kälte}. Während der Generator fest mit der Antriebswelle verbunden ist, kann der Verdichter ausgekuppelt werden. Die verfügbare Leistung für Strom- und Kälteabgabe ist voneinander abhängig. Abgesehen von mechanischen Problemen, die in der Anfangsphase aufgetreten sind, läuft die Anlage zufriedenstellend. Vorteilhaft wirkt sich hier der bessere Wirkungsgrad bei der Kälteerzeugung aus, nach wie vor ist der Prozeß jedoch mit einer Wärmeabgabe gekoppelt, deren Verwendung gesichert sein muß.

3.1.4.2 Ersatzstromanlagen

Durch gesonderte Vereinbarungen mit dem zuständigen Energieversorgungsunternehmen ist es möglich, eine vorhandene Ersatzstromanlage zur Einspeisung in das eigene Netz zu nutzen. Dadurch lassen sich vor allem dann Kosten einsparen, wenn dies zu Zeiten geschieht, in denen die Leistungsspitze hoch ist und damit eine Reduzierung gelingt. Der eigenerzeugte Strom dürfte dagegen – angesichts der derzeitigen Strompreisentwicklung – allenfalls geringe Vorteile bringen, da für die Aggregate in der Regel Dieselöl als Brennstoff eingesetzt wird (bei einem verhältnismäßig geringem Gesamtwirkungsgrad der Stromerzeugung). Ein Vorteil ergibt sich bei regelmäßiger Nutzung aber auch dadurch, daß die Verfügbarkeit der Anlagen laufend sichtbar wird (üblich sind sonst meist Testläufe einmal pro Monat). Der häufigere Betrieb der Aggregate kann sich auch positiv auf die Lebensdauer des Dieselmotors auswirken (Verringerung der Gefahr von sog. „Kolbenfressern“ durch Kondensation und Rostbildung im Motor). Dadurch ist sogar ein Absinken der Instandhaltungskosten möglich. Zu beachten sind aber die einschlägigen Umwelt- bzw. Betriebsauflagen, die ggf. beim Betrieb ausschließlich als Notstromversorgung nicht zur Anwendung kommen sowie steuerliche Aspekte beim Brennstoffeinsatz.

Am Universitäts-Krankenhaus Hamburg-Eppendorf werden die Notstromaggregate an den Arbeitstagen zwischen 7 und 9 Uhr zur Einspeisung in das eigene Netz betrieben. Hierdurch wird der Bezug von ca. 480 MWh elektrischer Arbeit im Jahr ersetzt. Die zu bezahlende Jahresleistungsspitze sinkt durch diese Maßnahme um 650 kW.

Bei einem angenommenen Leistungspreis von DM 180,- und einem Arbeitspreis von 0,13 DM/kWh ergeben sich eingesparte Kosten beim EVU von ca. 180.000 DM. Bei einem Heizölverbrauch von 164.000 Litern sind bei einem angenommenen Preis von 0,38 DM/Liter ca. 62.000 DM an Kosten entstanden, so daß – unter Vernachlässigung möglicher Einflüsse des häufigeren Betriebs der Aggregate auf die Instandhaltungskosten – eine Ersparnis von fast 120.000 DM erreicht wird.

An der Ruhr-Universität Bochum sind vier Dieselaggregate als Notstromversorgung installiert. Sie werden dort ebenfalls zur Reduzierung von Strombedarfsspitzen genutzt.

3.1.5 Gebäudebezogene Maßnahmen

3.1.5.1 Wärmedämmung

In einem beheizten Gebäude findet konstruktionsbedingt immer ein Wärmetransport von innen nach außen statt, solange ein Temperaturgefälle in dieser Richtung besteht. Die dabei transportierte Wärmemenge hängt vor allem von der Wärmeleitfähigkeit der Bauteile ab (Transmissionswärmeverluste). Zusätzliche Verluste entstehen durch freie oder erzwungene Lüftung, z. B. durch geöffnete Fenster, Undichtigkeiten oder Lüftungsanlagen. Während diese Lüftungswärmeverluste durch die Dichte der Gebäudehülle und durch das Nutzerverhalten (Lüften) bzw. die Raumlufttechnik (Wärmerückgewinnung) beeinflusst werden können, sind die Transmissionswärmeverluste in erster Linie durch die physikalischen Eigenschaften der Bauteile (Wände, Fenster, Fußboden, Decke etc.) sowie deren Fläche bestimmt. Da die Flächenreduzierung in der Regel durch Anforderungen an die Raumgestaltung begrenzt ist – es kann lediglich eine möglichst kompakte Baukonstruktion gewählt werden – bleibt als Maßnahme zur Reduzierung der Wärmeverluste nur die Wahl geeigneter Dämmmaterialien bzw. von Bauteilen, die sich durch niedrige Wärmedurchgangskoeffizienten (k-Werte) auszeichnen.

Wärmedämmmaßnahmen können nachträglich, z. B. im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen ausgeführt werden. Dabei kommt der Austausch von Fenstern, die Beseitigung von Wärmebrücken und die Verkleidung der Fassade mit Dämmstoffen in Frage.

Wärmedämmmaßnahmen sind in der Regel sehr aufwendige Baumaßnahmen, die sich erst nach vielen Jahren (> 20) amortisieren. Sie werden daher in der Regel nur zusammen mit ohnehin anstehenden Sanierungen von Fenstern und/oder Fassaden ausgeführt.

In ungünstigen Fällen, bedingt z. B. durch hohe innere Wärmelasten, kann eine Erhöhung der Wärmedämmung sogar zu einem Anstieg der Betriebskosten führen, da dann Maßnahmen zur Wärmeabfuhr (Kühlung) erforderlich werden.

3.1.5.2 Doppelfassaden

Doppelfassaden werden häufig als Möglichkeit zur Sanierung von Gebäudefassaden vorgesehen. Der bauliche Aufwand bleibt durch das Vorsetzen einer neuen vor die alte Fassade gering. Nach [Mened97] können Doppelfassaden nicht grundsätzlich den Einsatz von Raumlufttechnischen Anlagen vermeiden. Durch entsprechendes Nutzerverhalten lassen sich aber Energieeinsparungen erreichen, indem die Betriebszeit von technischen Anlagen (vor allem Raumlufttechnik) reduziert werden können.

Als Vorteile der Doppelfassade werden u. a. genannt [Mened97]:

- Nachtkühlung im Sommer, bei geöffnetem Fenster der Innenfassade. Fensterlüftung auch bei Hochhäusern möglich.
- Reduzierung des Heizenergieverbrauchs („Wintergartenefekt“),
- Sonnenschutzeinrichtungen können geschützt im Fassadenzwischenraum eingebaut werden,
- Verbessertes Windschutz (Hochhäuser) und erhöhter Schallschutz (Außenlärm).

Nachteilig wirken sich dagegen die erhöhten Lufttemperaturen im Sommer im Fassadenzwischenraum aus (äußere Kühllast wird erhöht) sowie insbesondere die hohen Investitions- und Betriebskosten (Fensterreinigung, Zu- und Abluftgitter). Hinzu kommen u. a. noch erhöhter Aufwand für den Brandschutz sowie die Gefahr der Kondensatbildung an der Innenseite der Außenfassade.

An der Universität Hannover wurde ein Sanierungskonzept auf der Basis einer Doppelfassade für das Mehrzweckgebäude (Hochhaus, 70er Jahre Bau, mit ca. 27.000 m² BGF) entwickelt. Das Konzept wurde vom Institut für Kältetechnik und Angewandte Wärmetechnik in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Architektur (Institut für Bautechnik und Entwerfen) erarbeitet. Es berücksichtigt verschiedene Aspekte der Energieeinsparung und -nutzung (u. a. die Wärmedämmung, Lüftung, Solarenergienutzung) sowie die Asbestproblematik. Aus Kostengründen wurde das Konzept bislang nicht realisiert.

3.1.5.3 Speicherwirkung massiver Konstruktionen

Die alleinige Berücksichtigung der Wärmedämmung bei der Betrachtung der Wärmeverluste führt nur im Falle eines stationären Zustandes, d. h. ohne Berücksichtigung von wärmespeichernden Elementen oder externen und internen Wärmequellen, zu exakten Ergebnissen. In der Praxis sind aber zwei weitere Faktoren zu berücksichtigen:

- Unmittelbare solare Wärmegewinne durch Wärmestrahlung,
- Solare Wärmegewinne verbunden mit der Speicherwirkung von massiven Bauteilen (Massivmauerwerk, Beton).

Beim Einsatz massiver Konstruktionen, wird in den Bauteilen, z. B. in der Wand, Energie gespeichert (Heizwärme von innen, Sonneneinstrahlung oder Wärme von außen). Die für die Nutzung entscheidende Wärmeabgabe nach innen findet infolge der Speicherwirkung verzögert statt. Der Transmissionswärmeverlust kann verringert oder sogar gestoppt werden, wenn beispielsweise durch die von einer massiven Wand aufgenommene und gespeicherte Wärme zu einem erhöhten Temperaturniveau in der Wand führt und somit der Wärmeabgabe vom Innenraum nach außen entgegenwirkt. Da die Speicherwirkung massiver Wände, je nach Aufbau, über viele Stunden anhalten kann, wird in den Abend- und Nachtstunden die gespeicherte Wärme nach innen abgegeben werden.

Im Sommer kann dagegen durch die Speicherwirkung der massiven Wand eine schnelle Wärmeabgabe nach innen verhindert werden. In den Nachtstunden erfolgt dann ggf. die Wärmeabgabe nach außen, sofern die Temperatur unter das Temperaturniveau der Wand sinkt.

Die Berücksichtigung speicherfähiger Massen, ggf. auch als Alternative zu Dämmmaßnahmen wird in [Meier99] u. a. speziell für den Altbau erörtert. Dort werden auch Bedingungen erläutert, unter denen die Durchführung von Dämmmaßnahmen sogar zu nachteiligen Auswirkungen im Energieverbrauch führen kann. Genauere Aussagen lassen sich dabei allerdings nur durch aufwendige Simulationsverfahren treffen.

3.1.5.4 Passive Solarenergienutzung

Passive Solarsysteme sorgen dafür, daß über die Gebäudehülle Solarenergie aufgenommen wird. Das Gebäude wirkt gewissermaßen als Solarkollektor. Die Gebäudekonstruktion kann dabei in die Wärmespeicherung einbezogen werden. Zur optimalen Nutzung des Solarsystems sind Beheizung, Beleuchtung und Sonnenschutzeinrichtungen an das System anzupassen.

Bei der sog. transparenten Wärmedämmung (TWD) werden Materialien verwendet, die neben dem Effekt der Wärmedämmung, das Sonnenlicht von außen nach innen möglichst wenig geschwächt durchtreten lassen und so einen Beitrag zur Raumwärme leisten. Unterschieden werden Direktgewinnsystem, Solarwandsystem und thermisch abgekoppeltes System.

Nach [Germey99] kann ein transparentes Wärmedämmsystem seine beste Leistung bei Südorientierung der Fassade erreichen. Bei der Anwendung von TWD-Systemen ist eine Abstimmung auf das Gebäude und die zeitliche Nutzung unbedingt erforderlich, da sonst störende Nebeneffekte

(Aufheizeffekte) auftreten können. Die Forderung nach größtmöglicher Kompaktheit eines Gebäudes (geringes Oberflächen-Volumen-Verhältnis), zur Reduzierung der Wärmeverluste, steht der TWD-Forderung nach möglichst großen Flächen zur „Energiesammlung“ entgegen.

Ein Nachteil der TWD ist die Gefahr der Überhitzung des Gebäudes, die durch zusätzlichen baulichen und ggf. auch Lüftungstechnischen Aufwand verhindert werden muß. Hinzu kommt der hohe Investitionsaufwand, der dazu führt, daß eine Wirtschaftlichkeit von Investitionen in TWD derzeit nicht gegeben ist.

3.1.5.5 Tageslichtsysteme

Tageslichtsysteme stellen eine Kombination aus passiver Solarenergienutzung und Sonnenschutz dar. Mit Hilfe optischer Systeme (Spiegel, Prismen oder holografisch-optische Elemente) wird das Tageslicht von den Fenstern gezielt umgelenkt. Die Vorteile eines Tageslichtsystems lassen sich folgendermaßen charakterisieren:

- Passive Solarenergienutzung durch Erhöhung bzw. bessere Verteilung des Lichteinfalls, so daß eine verringerte künstliche Beleuchtung vorgesehen werden kann.
- Reduzierung des Kühlbedarfs im Sommer durch Ausblenden des Sonnenlichtes (Strahlungswärmeanteil), der nicht für die Raumausleuchtung benötigt wird.

Die Auslegung eines Tageslichtsystems sollte so erfolgen, daß außerdem im Winter ein Beitrag der Sonneneinstrahlung zur Raumerwärmung möglich ist. Weitere Hinweise zu Planung und Ausführung von Tageslichtsystemen finden sich in [Köster99] und [Einhau99].

3.1.6 Regenerative Energiequellen

Bisher sind nur wenige Maßnahmen, die die Nutzung regenerativer Energiequellen im Hochschulbereich beinhalten – abgesehen von Objekten, die ausschließlich wissenschaftlichen Zwecken dienen –, bekannt²³.

Da davon auszugehen ist, daß der Einsatz dieser Energieträger in den nächsten Jahren eher zunehmen wird, soll hier ein Überblick über verschiedene Systeme, die sich prinzipiell auch für den Hochschulbereich eignen, gegeben werden.

3.1.6.1 Solarenergienutzung

Solarenergie stellt quasi eine kostenlose Energiequelle dar. Die Investitionskosten in Anlagen zur Solarenergienutzung sind allerdings verhältnismäßig hoch. Dies gilt insbesondere für die Photovoltaik. Durch gezielte Förderprogramme seitens der Bundesregierung bzw. einzelner Landesregierungen sind in den letzten Jahren eine Reihe von Anlagen entstanden. Auch im Hochschulbereich wird über die Installation von Solaranlagen nachgedacht.

Eine solarthermische Anlage gibt es beispielsweise an der Universität Hamburg. Dort ist auch eine Photovoltaikanlage geplant. Eine Photovoltaikanlage wird bereits seit einigen Jahren an der Universität Bremen genutzt. Sie dient dort zum „betanken“ von Elektromobilen. Umfangreiche Überlegungen zum Potential der Solarenergienutzung sind an der Universität Osnabrück durchgeführt worden [VieMat99].

²³ Es handelt sich bei diesen Systemen vorwiegend um solche zur thermischen Solarenergienutzung.

3.1.6.1.1 Solare Nahwärme

Bei der Planung von Solaranlagen zur Wärmeerzeugung ist zu klären, ob diese als

- monovalentes System oder als
- bivalentes System ausgeführt werden.

Bei einem monovalenten System deckt die Solaranlage allein den Energiebedarf z. B. zur Wärmeerzeugung ab, bei einem bivalenten System ist die Solaranlage mit einem zweiten System, z. B. einer Heizungsanlage kombiniert.

Solaranlagen zur thermischen Energiegewinnung können mit Kurzzeitspeichern versehen werden und dienen dann vorwiegend der Brauchwassererwärmung.

An der Universität Hannover wird derzeit eine solarthermische Anlage zur Versorgung eines Laborgebäudes (Chemie) geplant (Baubeginn im Jahr 2000). Die Anlage dient der Erwärmung von Betriebswasser für den Laborbetrieb. Da keine Trinkwassererwärmung stattfindet, kann dort ein Betrieb mit niedriger Temperatur (45 °C) erfolgen²⁴. Die Anlage soll ca. 30–40 m² Kollektorfläche (Röhrenkollektoren) umfassen, um den Tagesbedarf des Gebäudes (ca. 2 m³ Betriebswarmwasser) zu decken. Der Speicher (ca. 4 m³) kann alternativ auch über die angeschlossene Fernwärme (Winterbetrieb) oder über eine Elektroheizung (Übergangszeit) aufgeladen werden, wenn die solare Wärmeenergie nicht ausreicht. Die Anlage ist als Pilotanlage konzipiert und soll auch für Lehr- und Forschungszwecke genutzt werden.

Nach [Fisch99] ist das Kosten/Nutzen-Verhältnis bei großen Solaranlagen (> 100 m²) etwa zwei- bis dreimal günstiger als bei kleinen Anlagen. Während der solare Beitrag zur Deckung des Gesamtwärmebedarfs bei den Anlagen mit Kurzzeit-Wärmespeicher, die vorwiegend der Brauchwassererwärmung dienen, zwischen 15 und 20 % beträgt, liegt dieser bei Anlagen mit Langzeit-Wärmespeichern zwischen 50 und bis zu 70 %, da diese auch maßgeblich zur Deckung des Raumwärmebedarfs beitragen können.

Mit Hilfe von Langzeit-Wärmespeichern ist es möglich, Sonnenwärme im Sommer zu speichern und im Winter an die Heizungsanlage abzugeben. Die Anlagen bestehen aus einer Heizzentrale zur Deckung des Restwärmebedarfs, dem Langzeit-Wärmespeicher, den Solarkollektoren mit dem zugehörigen Sammelnetz und den Wärmetauschern (bei geschlossenem Kreislauf) sowie dem Nahwärmenetz. Allerdings ist der Investitionsaufwand für eine solche Anlage sehr hoch, so daß derzeit keine Wirtschaftlichkeit gegeben ist.

Das Speicherwasser wird auf ca. 40 bis 90 °C erwärmt. Zu berücksichtigen ist der Wärmeverlust an den Wärmetauschern (zwischen 3 und 8 K). Niedrige Rücklauftemperaturen sind wichtig für einen ausreichenden Wirkungsgrad der Solaranlage.

Die spezifischen Wärmeverluste eines Wärmespeichers hängen stark von seiner Größe ab. Bei kleineren Speichern ist in jedem Fall eine Wärmedämmung erforderlich. Bei größeren Anlagen mit mehr als 30.000 m³ (Erdsonden- oder Aquiferspeicher mit mehr als 100.000 m³) kann die Isolierung ohne weiteres entfallen. Die Baukosten nehmen – bezogen auf das Volumen – mit zunehmender Größe ab. Ab einem Volumen von 10.000 m³ sind dafür weniger als 250 DM/m³ zu veranschlagen [Fisch99]. Eine Verringerung der Baukosten ist zudem möglich, wenn eine gewisse Geländeüberhöhung durch den Einbau des Speichers zugelassen wird. Beispielrealisierungen finden sich u. a. in Hamburg (124 Reihenhäuser mit ca. 15.000 m² Wohnfläche) und Friedrichshafen (8 mehrgeschossige Gebäude mit ca. 40.000 m² Wohnfläche). Die Wärmepreise liegen bei ca. 0,30 DM/kWh (Friedrichshafen) und 0,50 DM/kWh [Fisch99].

²⁴ Bei Anlagen zur Trinkwassererwärmung sind solche niedrigen Temperaturen aus hygienischen Gründen problematisch (u. a. wegen der Gefahr des Auftretens von Legionellen, s. a. [FKGB90]).

Die Kosten für Kollektorfelder betragen nach [Fisch99] ca. 400 bis 500 DM/m² Kollektorfläche bei Flächen über 200 m² (inklusive Montage und Verrohrung bis zum Rand des Feldes). Infolge der Verbesserung des Wärmeschutzes (z. B. durch die Wärmeschutzverordnung) sind bei Neubauten in der Regel kleinere Kollektorfelder nötig als früher, um den Wärmebedarf etwa zu 50 % zu decken.

Gefördert wurden Maßnahmen im Zusammenhang mit dem Schwerpunktprogramm „Solarthermie 2000“ des BMBF²⁵.

Der Einsatz solarer Nahwärmesysteme ist allerdings nur dann sinnvoll, wenn keine KWK-Anlagen (z. B. BHKW-Anlagen) vorhanden sind. Zumindest darf das solare Nahwärmesystem nicht die Abnahme der KWK-Wärme gefährden.

3.1.6.1.2 Solare Kühlung von Gebäuden

Der Bedarf an Energie zur Kühlung von Gebäuden ist eng mit der Sonneneinstrahlung verknüpft. Sofern nicht wärmeabgebende Verbraucher (elektrische und prozeßtechnische Anlagen) ausschließlich zur einer Erhöhung der Raumtemperatur beitragen, ist die Sonneneinstrahlung für den Bedarf an Kühlleistung verantwortlich. Es liegt daher nahe, solare Energie zur Kühlung zu verwenden.

Die Gebäudekühlung kann auf verschiedene Weise durchgeführt werden:

- Erhitzen einer Flüssigkeit in einer Kollektoranlage zur Nutzung als Antriebsenergie für die Kälteerzeugung,
- Erzeugung von Warmluft mit Hilfe von Luftkollektoren,
- Einsatz von Photovoltaik-Anlagen zur Stromerzeugung,
- Passive Kühlung durch Verschattung und Durchlüftung.

Der Einsatz von Photovoltaik-Anlagen kommt aufgrund der hohen benötigten Leistungen zum Antrieb der Kältemaschinen und der damit verbundenen hohen Investitionskosten und benötigten Flächen für diesen Zweck nicht in Frage.

In der Praxis ist die sorptive Kühlung von Bedeutung. Unterschieden wird zwischen Adsorption und Absorption (näheres hierzu unter 3.1.2.3).

Das für Absorptionskältemaschinen erforderliche Temperaturniveau von ca. 80 bis 150 °C kann mit Röhren-, ggf. auch bereits mit herkömmlichen Flachkollektoren erreicht werden. Der Wirkungsgrad der Anlage ist allerdings abhängig von der Antriebswärme. Unterhalb von 80 °C sinkt die Kälteleistung rapide ab.

Zu beachten ist auch, daß neben der Wärme auch elektrische Energie benötigt wird (Antrieb von Pumpen und Ventilatoren, Hilfsstrom), die in der Größenordnung von 5 % der Kälteleistung liegt.

Adsorptionskältemaschinen sind prinzipiell wie Absorptionskältemaschinen aufgebaut, so daß diese ebenso für den Einsatz in Verbindung mit Solarkollektoren geeignet sind. Auch hier gilt, daß Wirkungsgrad und Kälteleistung mit der Antriebswärme verknüpft sind.

Für den Einsatz von Solartechnik zur Gebäudekühlung können folgende Empfehlungen gegeben werden:

- Einsatz von bivalenten Systemen zur Anpassung der verfügbaren Sonneneinstrahlung an den Bedarf,

²⁵ Weitere Informationen zu Solarenergie-Förderprogrammen sind im Internet unter <http://www.solarserver.de> erhältlich.

- frühzeitige Berücksichtigung bei der Planung, insbesondere im Hinblick auf den Platzbedarf (gilt besonders für die erforderlichen Kollektorflächen),
- Zusammenarbeit zwischen Architekten und Haustechnikplaner (integrierter Planungsprozeß),
- Berücksichtigung der Folgekosten (Instandhaltung),
- Einsatz von Simulationsverfahren zur optimalen Auslegung der Anlagen.

3.1.6.1.3 Photovoltaik

Bei der Photovoltaik wird die Strahlungsenergie der Sonne direkt in elektrischen Strom umgewandelt. Für die Umsetzung werden zur Zeit mehrere Wege beschrieben, die nach dem verwendeten Basismaterial charakterisiert werden können [FKGB98]:

- einkristallines Silizium,
- amorphes Silizium,
- multikristallines Silizium,
- Verbindungshalbleiter,
- Tandemzellen,
- photoelektrochemische (PEC-) Zellen.

Die heute eingesetzten Solarzellen bestehen überwiegend aus den vorgenannten Arten auf Siliziumbasis. Obwohl die theoretischen Wirkungsgrade bei etwa 26 % liegen, werden in der Praxis maximale Wirkungsgrade von 8–18 % erreicht. Theoretische Wirkungsgrade z. B. durch die Koppelung von PEC-Zellen mit Tandemzellen von 44 % sind zur Zeit technisch noch nicht marktreif.

Der gewonnene Strom kann in Batterien gespeichert, über Wechselrichter und ggf. Transformatoren in die konventionellen Netze eingespeist oder zur Wasserstoffherzeugung genutzt werden.

Die Anlagenkosten betragen je nach Aufwand für Batterie- und Wechselrichteranlagen 12.000 bis 28.000 DM/kW (Stand: Mitte 1996), das entspricht einem Preis von 1.300 bis 2.000 DM pro Quadratmeter Modulfläche [FKGB98]. In diesen Preisen sind die Kosten der Peripherie (Wechselrichter, Elektrotechnik, Verkabelung und Montage) nicht enthalten. Trotz der hohen Kosten nimmt der Einsatz solcher Anlagen zu, vor allem dort, wo bisher mit aufwendigen und sehr teuren Kabelzuführungen gespeist werden mußte (Signalanlagen in abgelegenen Gebieten, See- und Verkehrszeichen, Relaisstationen, Beleuchtung in abgelegenen Straßentunneln). Pilotprojekte und Förderprogramme des Bundes und der Länder sowie erhöhte Einspeisevergütungen für den Solarstrom (regional unterschiedlich und vom EVU abhängig) tragen zu einer weiteren Verbreitung der Photovoltaik bei.

Die Gestehungskosten einer kWh müssen derzeit mit etwa 2,- DM angesetzt werden. In den nächsten Jahren ist aufgrund intensiver Forschungen und Massenproduktion mit Preisreduzierungen zu rechnen. Mit preiswerteren und leistungsfähigeren Solarzellen werden neue und vielfältige Einsatzmöglichkeiten eröffnet. Die „Solararchitektur“ wird durch Photovoltaik-Fassaden und Photovoltaik-Dachkonstruktionen zukünftig an Bedeutung gewinnen. Ein großer Vorteil solcher in das Gebäude integrierten Solarbauteile ist, daß keine zusätzlichen Flächen erforderlich werden.

Die Nutzung von Fassaden sowohl als solarthermische Kollektoren, als auch zur Erzeugung von Strom mit Hilfe von Photovoltaik-Elementen ist möglich. Dabei wird solar erwärmte Frischluft durch die Solarfassade abgesaugt und die gewonnene Wärme für Heizzwecke genutzt.

Die Nutzung der Sonne zur Stromerzeugung ist dort am sinnvollsten, wo die Solarstrahlung am stärksten ist. In Höhe des Äquators beträgt die Strahlungsenergie etwa 2.200 kWh/m²a, in Deutschland etwa 1.000 kWh/m²a.

An der Universität Hamburg ist im Rahmen der Sanierung der Philosophischen Fakultät der Einbau einer Photovoltaikanlage (Solarfassade) zusammen mit einer Maßnahmen zur Verbesserung der Wärmedämmung vorgesehen.

An der Universität Osnabrück wurden im Rahmen der Erstellung eines Umweltmanagement-Konzeptes umfangreiche Überlegungen zur Solarenergienutzung angestellt. Für 13 Gebäude wurde das Potential der solaren Stromerzeugung abgeschätzt. Außerdem wurden Betrachtungen zu den Stromgestehungskosten angestellt. Danach wird mit spezifischen Kosten für die Stromerzeugung mit einer Photovoltaikanlage von ca. 1,84 DM/kWh gerechnet [VieMat99].

Eine Alternative zur direkten Stromerzeugung bietet die elektrophysikalische Erzeugung von Wasserstoff. Dabei dient der mittels Solarzellen erzeugte Strom zur Spaltung von Wasser. Damit ist es möglich, gewonnene elektrische Energie umzuwandeln, in Form von flüssigem Wasserstoff zu transportieren und an entfernter Stelle zu verarbeiten. Eine Umweltbelastung findet praktisch nicht statt. Wasserstoff verbrennt sehr umweltfreundlich. Er könnte Erdgas als Brennstoff ablösen. Zur Verteilung bieten sich die bestehenden Erdgasleitungen an. Ein umfangreiches Wasserstoffrohrnetz existiert bereits im Rhein-Ruhr-Raum.

Bisher wurden in Deutschland lediglich Versuchsanlagen errichtet. Diese Demonstrationsanlagen zeigen, daß die Strom- und damit die Wasserstoffherzeugung aus Sonnenenergie über photovoltaische Umwandlung noch sehr weit von der Wirtschaftlichkeit entfernt ist. Bisher kostet der Strom aus Photovoltaikanlagen ein Vielfaches des in konventionellen Kraftwerken erzeugten Stromes

3.1.6.2 Sonstige Energiequellen

Die Nutzung weiterer Energiequellen ist in einigen Fällen technisch bereits seit längerer Zeit gelöst (Wasserkraft, Windkraft, Biogas etc.). Auch die Wirtschaftlichkeit ist in vielen Fällen höher als z. B. bei Photovoltaikanlagen. Hinzu kommen Fördermöglichkeiten der EU, des Bundes und der Länder.

Nachteilig ist die meist vorhandene Bindung der Energieerzeugung an bestimmte Standorte (z. B. bei der Wasser- und Windkraft). Dies ist sicher mit ein Grund dafür, daß eine praktische Nutzung dieser Energiequellen im Hochschulbereich kaum stattfindet.

3.1.6.2.1 Wasserkraft und Windkraft

Die Nutzung von Wasserkraft und insbesondere Windkraft hat in den letzten Jahren erheblich zugenommen. Als Energiequellen zeichnen sich beide Technologien durch das Fehlen jeglicher Schadstoffemissionen bei der Stromproduktion aus. Bei der Wasserkraft allein beträgt zudem das technisch nutzbare Potential rund das doppelte der jährlichen Weltstromerzeugung von 1996 [FKGB98]. Allerdings spielt hier neben der Standortfrage auch zunehmend der Widerstand in der Bevölkerung (z. B. bei der Errichtung von Windkraftanlagen) aus Gründen des Landschafts- und Naturschutzes eine Rolle.

Ende 1998 waren in Deutschland rd. 6.200 Windkraftanlagen mit einer installierten Leistung von ca. 2.900 Megawatt am Netz (Anfang 1997 betrug die installierte Leistung noch ca. 1.500 Megawatt). Ihre Stromerzeugung betrug etwa 4.600 GWh, was einer Steigerung von mehr als 53 % gegenüber dem Jahr 1997 entspricht. Die Kosten der Windkraftanlagen sind in den vergangenen Jahren im Verhältnis der Leistungsgröße gesunken und betragen bei Großanlagen (nach Informationen der dänischen Windkraftindustrie²⁶) ca. 1.000,- US \$ pro kW. Nach dem Stromeinspeisungsgesetz wird die kWh mit rund 16,52 Pfg. (Stand 1999) vergütet²⁷ [Allnoc99].

Aus dem Hochschulbereich sind – abgesehen von Demonstrationsanlagen – bisher keine Projekte zur Stromerzeugung aus Wind oder Wasser bekannt. Infolge der starken Standortabhängigkeit derartiger Anlagen, besteht nur ein begrenztes Entwicklungspotential.

²⁶ Im Internet unter <http://www.windpower.dk/de/tour/econ/index.htm> einzusehen.

²⁷ Weitere Informationen zur Windenergie sowie zu weiteren regenerativen Energieträgern finden sich beim Internationalen Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR), im Internet unter <http://www.uni-muenster.de/energie/> zu erreichen.

3.1.6.2.2 Biomasse und Biogas

Die nachwachsende Biomasse ist – rein rechnerisch gesehen – in der Lage, den derzeitigen Primärenergiebedarf der Welt mehrfach zu decken [FKGB98].

Allein die beiden sich flächenmäßig nicht ausschließenden Methoden der Forstwirtschaft und der Strohverwertung in der Landwirtschaft weisen ein Gesamtpotential aus, das mehr als das vierfache des derzeitigen Primärenergieverbrauchs darstellt. Viele Experten vermuten, daß die tatsächliche Nutzung noch erheblich höher sein könnte. In jedem Fall stellt die energetische Nutzung von Biomasse heute einen Beitrag zur Weltenergieversorgung dar, der weit über die Nutzung der Wasserkraft und natürlich auch über die Nutzung aller anderen regenerativen Energiequellen hinausgeht. Freie Flächen können prinzipiell zur Biomasseproduktion genutzt werden, stillgelegte landwirtschaftliche Flächen bieten sich darüber hinaus geradezu an.

Die drei grundsätzlichen Prozesse der energetischen Nutzung von Biomasse sind physikalische, thermochemische und biologische Verfahren. Die daraus resultierenden Einzeltechniken überdecken ein breites Spektrum mit Gesamtwirkungsgraden zwischen 20 und 80 % und einem Entwicklungsstand, der von Laborversuchen bis zum kommerziellen Betrieb reicht. Überwiegend werden solche Verfahren heute eingesetzt, um feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe sowie Wärme bereitzustellen. Stromerzeugungsmöglichkeiten ergeben sich in einigen Ländern der Welt mit holzgefeuerten Kraftwerken.

Von allen Biomassetypen kommt dabei dem Holz die größte Bedeutung zu. Diese Verwertung der Biomasse ist aber mit einer ganzen Reihe von Problemen behaftet. Sie reicht von der Ernte über die Aufbereitung und Lagerung bis zu den verschiedenen Feuerungstechniken. Um hier mögliche Emissionen gering zu halten, müssen Holz und andere Biomasse optimal verbrannt werden.

Im Bereich der biologischen Verfahren der energetischen Nutzung von Biomasse ist die Biogaserzeugung zeitweilig ins öffentliche Interesse gerückt. Von den jährlichen in Deutschland anfallenden rd. 300 Millionen m³ Gülle wird derzeit nur ein verschwindender Bruchteil energetisch genutzt. Dabei bietet die Technologie nicht nur die Möglichkeit der Energieerzeugung, sondern verhindert schädliche Emissionen und stellt darüber hinaus ein ausgezeichnetes Düngemittel in Form des ausgefaulten Substrats zur Verfügung.

Biogas entsteht durch anaerobe Gärung organischer Abfallstoffe unter Luftabschluß und wird aus Kläranlagen, landwirtschaftlichen Betrieben und Mülldeponien und in der Ernährungsindustrie gewonnen. Biogas enthält hauptsächlich Methan als brennbaren Bestandteil. Als Verbrennungsprodukt entsteht Kohlendioxid. Das für die Biogasproduktion verwendete organische Material benötigt für seine Entstehung ebenfalls Kohlendioxid, das durch Photosynthese aus der Luft gewonnen und in den Pflanzen gebunden wurde. Bezüglich des Treibhauseffektes handelt es sich um einen umweltneutralen kurzfristigen Kreislauf.

Die Verbrennung von Biomasse ist heute weitgehend Stand der Technik, die Biomassevergasung zur Erzeugung von Wasserstoff oder Synthesegas (z. B. als Brennstoff für ein Gas-Dampf-Kraftwerk) befindet sich in der Entwicklung. Aus Biomasse hergestellter Wasserstoff könnte auch zur Hydrierung von schwersten Ölen, die durch Wasserstoffanreicherung erst einer Nutzung zugänglich sind, eingesetzt werden. Die Hydrierung von Ölen erlaubt eine Streckung der Ressourcen und trägt indirekt zur CO₂-Minderung bei. Die Kosten für aus Biomasse erzeugten Wasserstoff liegen mit ca. 0,3 DM/m_n³ deutlich unter denen der Wasserstoffherzeugung aus Photovoltaikanlagen (ca. 5–8 DM/m_n³) [FKGB98].

Biogas kann direkt als Brenngas oder als Treibstoff für Verbrennungsmotoren, z. B. von Blockheizkraftwerken, eingesetzt werden, enthält aber häufig große Anteile von Stickstoff sowie weitere Gaskomponenten (Schwefel, Chlor, Fluor, Schwermetalle etc.), die (insbesondere beim Einsatz von Katalysatoren zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte), aufwendige Gaswäsche Prozesse erfordern.

In Mülldeponien beginnt die Methangasproduktion etwa 2 Jahre nach Abschluß eines Deponieabschnitts intensiv. Sie hält etwa 20 Jahre an und ergibt in dieser Zeit ca. 120 m³ Gas/t Müll. Geeignet ist außerdem das Faulgas aus biologischen Kläranlagen (enthält etwa 70 % Methan) sowie aus der Landwirtschaft (Gülle).

Biogas eignet sich zur Erzeugung von Wärme und elektrischem Strom (z. B. in BHKW-Anlagen). Aufgrund des technischen Aufwands (Gaswäsche, Transport von Gas oder Wärme zum Verbraucher) ist der Anteil an der Energieerzeugung bisher gering. In vielen Fällen wird nur der Eigenbedarf gedeckt, der allerdings recht hoch sein kann. Für Kläranlagen, die sowohl hohen Strom- als auch Wärmebedarf haben, bietet sich die Installation eines Blockheizkraftwerks mit diesem Gas an [FKGB98]. Der Standortnachteil kann technisch durch den Einsatz eines mobilen Sorptionssystems aufgewogen werden. Mit einem solchen System läßt sich Energie an Wärmequellen verlustfrei speichern. Das in einem Container gelagerte Speichermaterial nimmt die Energie auf und kann dann zum Anwender transportiert werden, wo die Energie wieder nutzbar gemacht wird [Kronau99].

3.1.6.2.3 Elektrochemische Stromerzeugung

Bei der elektrochemischen Stromerzeugung werden durch Reaktionen von Stoffen in einem Elektrolyten Elektronen frei, die durch die Elektroden (Anode und Kathode) in Form von Gleichstrom als elektrische Energie entnommen werden können. Brennstoffzellen sind neben den Batterien, die für Großanlagen weniger geeignet sind, die bekanntesten Vertreter dieser Technik.

Brennstoffzellen zeichnen sich durch einen hohen elektrischen Wirkungsgrad, ein gutes Teillast- und Regelverhalten sowie durch niedrige Schadstoffemissionen und eine geringe Geräuschkentwicklung der zugehörigen Aggregate aus.

Es gibt verschiedene Typen von Brennstoffzellen, die nach ihrer Arbeitstemperatur und nach der Art des Elektrolyten klassifiziert werden:

- Alkalische Brennstoffzelle (Alkaline Fuel Cell – AFC) mit Wasserstoff als Brennstoff bei einer Betriebstemperatur von 70–100°C. Der Einsatzbereich umfaßt Spezialanwendungen (Militär und Raumfahrt).
- Membran-Brennstoffzellen (Polymer Elektrolyte Membrane Fuel Cell – PEMFC und Direct Methanol Fuel Cell – DMFC), mit Wasserstoff oder Methanol als Brennstoff bei einer Betriebstemperatur von 50–100°C. Der Einsatzbereich umfaßt stationäre und mobile Anwendungen.
- Phosphorsäure-Brennstoffzelle (Phosphoric Acid Fuel Cell – PAFC) mit Wasserstoff (aus Erdgas) als Brennstoff bei einer Betriebstemperatur von 160–200°C. Der Einsatzbereich umfaßt stationäre (kleinere Kraftwerke) und z. T. mobile Anwendungen.
- Karbonatschmelze-Brennstoffzelle (Molten Carbonate Fuel Cell – MCFC) mit Wasserstoff und Kohlenmonoxid (aus Erd- oder Kohlegas) als Brennstoff bei einer Betriebstemperatur von 650°C. Der Einsatzbereich umfaßt stationäre Anwendungen (kombinierte Strom- und Dampfproduktion in Kraftwerken).
- Oxidkeramik-Brennstoffzelle (Solid Oxide Fuel Cell – SOFC) mit Wasserstoff und Kohlenmonoxid als Brennstoff (aus Erd- oder Kohlegas) bei einer Betriebstemperatur von 800–1.000°C. Der Einsatzbereich umfaßt stationäre und z. T. mobile Anwendungen (Strom- und Wärmeproduktion im häuslichen Bereich und in Kraftwerken)²⁸.

Werden Wasserstoff und Sauerstoff als Brenngase (bzw. Oxidationsmittel) verwendet, so entsteht als Abgas lediglich Wasserdampf. Aufwendig gestaltet sich allerdings die Wasserstofferzeugung. Voraussetzung für einen großflächigen Einsatz von Brennstoffzellen wäre die kostengünstige und energieverbrauchssarme Erzeugung von Wasserstoff durch biologische oder chemische Prozesse ggf. in Verbindung mit solar erzeugtem Strom [FKGB98].

²⁸ Weitere Informationen zu Technik und Einsatz von Brennstoffzellen finden sich u. a. im VDI-Bericht 1383 [VDIB98].

Für den Einsatz der Brennstoffzelle als erdgasbetriebenes System zur Energieversorgung (Wärme- und Stromerzeugung z. B. in Wohnhäusern) sind bereits einsatzfähige Geräte entwickelt worden (s. [Hocker99]).

3.2 Organisatorische Maßnahmen

Allein durch organisatorische Maßnahmen ergeben sich vielfältige Möglichkeiten, sowohl den Energieverbrauch als auch die Kosten für den Energiebezug zu senken. Beispielsweise kann dies durch Optimierung von Betriebsabläufen (Lastmanagement, Belegungs- und Nutzungsplanung) geschehen. Durch Information und Schulung ist es außerdem möglich, Kenntnisse zum effizienteren Umgang mit Energie zu vermitteln, das Bewußtsein für die Problematik beim Nutzer zu stärken und durch Schaffung von Anreizen (z. B. finanzielle Anreize, Übertragung von Verantwortung) das Interesse selbst aktiv zu werden, zu stärken. Der wichtigste Vorteil organisatorischer Maßnahmen liegt darin, daß sie – abgesehen von technisch unterstützten Maßnahmen (z. B. Lastmanagement) – in der Regel ohne zusätzliche Investitionen durchgeführt werden können.

Im folgenden wird neben den genannten Maßnahmen auch auf Fragen der organisatorischen Einbindung von Energiethemen in den Hochschulen eingegangen. Den Abschluß bildet das Thema Contracting, das hier, entsprechend der Bedeutung, die es derzeit in der öffentlichen Diskussion einnimmt, ausführlicher behandelt wird.

3.2.1 Betriebsabläufe optimieren

Die Optimierung von Betriebsabläufen umfaßt das Lastmanagement sowie die Planung von Raumbelagung und Nutzung von Geräten. Sie kann häufig nicht ohne Berücksichtigung des Nutzers durchgeführt werden, da in der Regel Eingriffe in den Ablauf notwendig sind oder Einschränkungen bezüglich der Nutzungszeit gemacht werden müssen. Die betroffenen Nutzer sollten daher beteiligt und über die Auswirkungen einer Überschreitung der vorgesehenen Betriebszeiten informiert werden. Werden beispielsweise laut Vertrag mit dem EVU erhöhte Leistungspreise bei Überschreitung der vertraglich festgelegten Leistung fällig, so können diese erhebliche Mehrkosten verursachen und so die vorausgegangenen Einsparungen zunichte machen bzw. zusätzliche Kosten entstehen lassen. Zur Gewährleistung eines dauerhaften Erfolgs der Maßnahmen ist es außerdem empfehlenswert, diese zusammen mit den erreichten Ergebnissen zu dokumentieren.

3.2.1.1 Lastmanagement

Die Kosten für Energie richten sich in der Regel nicht nur nach dem Verbrauch, sondern auch nach der auf einen bestimmten Zeitraum bezogenen in Anspruch genommenen Leistung. Dies wirkt sich insbesondere beim Strombezug aus, da hier die leistungsbezogene Komponente bei allen größeren Kunden Bestandteil des Vertrages ist (– dies wird sich auch mit der Liberalisierung der Energiemärkte nicht grundlegend ändern). Außerdem treten beim Strom in der Regel größere Lastschwankungen (z. T. kurzfristig) auf als beispielsweise beim Bezug von Fernwärme oder Gas. In Zeiten in denen Spitzen beim Bezug der elektrischen Leistung auftreten, sollten daher leistungsintensive Verbraucher nicht betrieben werden. Technisch besteht die Möglichkeit mittels eines Programms zur Spitzenlastüberwachung und einem nachgeschalteten Lastabwurf, Lastspitzen zu reduzieren. Voraussetzung ist, daß die technische Infrastruktur und entsprechende Schaltmöglichkeiten vorhanden sind. In vielen Fällen lassen sich bereits durch organisatorische Maßnahmen in Form von Festlegungen, wann Anlagen bzw. Geräte mit hohem Leistungsbedarf betrieben werden dürfen bzw. wann nicht (in Abstimmung mit dem Nutzer), Energiekosten mit geringem Einsatz einsparen.

Überschreitungen der auf der Grundlage von Messungen festgelegten und vom Energieversorgungsunternehmen bereitgestellten Höchstleistungen, sind unbedingt zu vermeiden. Der Einbau von Maximumwächtern und Vorrangschaltungen zur Spitzenbegrenzung der Leistungen, ist zu empfehlen. Gegenüber isolierten Einzellösungen erweist sich eine Einbindung in ein ggf. vorhandenes Gebäudelleitsystem als vorteilhafter. In einigen Fällen besteht auch die Möglichkeit, bestimmte Verbraucher zu Hochtarifzeiten zu sperren.

Weitere Beispiele für mögliche Maßnahmen sind das gestaffelte Einschalten von Geräten zur Speisenerwärmung auf den Stationen von Klinken und das Betreiben von elektrischen Dampferzeugern außerhalb der Spitzenlastzeiten.

3.2.1.2 Belegungsplanung

Die Kopplung der Belegungsplanung von Räumen (insbesondere Hörsäle, Seminarräume, Werkstätten etc.) mit den Systemen zur Steuerung von Anlagen zur Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung, beispielsweise über die GLT, ermöglicht es, diese Anlagen bei Nichtnutzung automatisch herunterzufahren oder abzuschalten.

Auch die Verlagerung einzelner intensiv genutzter Räume (Büroräume, Labore) aus Gebäuden, die außerhalb der regulären Arbeitszeiten weitgehend leer stehen, in ggf. vorhandene kleinere oder durchgängig genutzte Gebäude, ermöglicht es ggf. Anlagen zur Klimatisierung und Heizung abzuschalten oder herunterzufahren, so daß Einsparungen im Energieverbrauch und Leistungsreduzierungen erreicht werden.

3.2.1.3 Nutzungsplanung

Bei bestimmten Geräten, vorwiegend im Bereich Forschung und Lehre, ist eine zentrale Abschaltung z. B. über die GLT nicht praktikabel. Die Nutzungsplanung einzelner Geräte (z. B. in Laboren) muß daher dezentral durchgeführt werden. Eine Möglichkeit die Betriebsdauer solcher Geräte zu reduzieren besteht darin, Belegungslisten am Gerät vorzusehen. Wird dann beispielsweise das Abschalten eines Gerätes nach seiner Nutzung vergessen, ist jede andere Person durch einen Blick in die Belegungsliste in der Lage, eine Abschaltung vorzunehmen.

3.2.2 Information, Schulung und Nutzereinbindung

Maßnahmen zur Schulung und Information sowie zur Einbindung der Nutzer in das Energiesparen sind bereits an einigen Hochschulen durchgeführt worden. Beispielhaft seien hier die TU Berlin [Albrec98], die Universität Hamburg [Zeise98], die Universität Osnabrück [Viebah98] und die ETH Zürich [Jenni98] genannt.

Aus den bisherigen Erfahrungen wurde deutlich, daß es schwierig ist, die verschiedenen Gruppen, die an einer Hochschule tätig sind, zu einem bewußteren Umgang mit Energie zu motivieren. Es gibt aber Ansätze, durch Schulung und Information der Hochschulmitarbeiter im Bereich der Verwaltung eine erhöhte Sensibilität zu erreichen. Auch können Mitarbeiter an besonders geeigneten Positionen (Hausmeister, Reinigungskräfte etc.) durch Übertragung von Verantwortlichkeiten zu stärkerer Wachsamkeit bezüglich Energieverschwendungen motiviert werden. Schwieriger ansprechbar dürfte jedoch der Personenkreis sein, der nur eine begrenzte zeitliche Bindung an die Hochschule hat (z. B. Studierende). Die Initiierung und Unterstützung von Arbeitskreisen oder „Runden Tischen“ zu Energiethemen sowie Informationsveranstaltungen und die Nutzung verfügbarer Medien (z. B. Internet) zur Information können dazu beitragen, daß eine stärkere Identifikation mit den Zielen der Hochschule hinsichtlich einer Reduzierung des Energieverbrauchs erfolgt.

In den Fachbereichen ist das Interesse ebenfalls meistens gering, da dort dem Lehr- und Forschungsbetrieb absolute Priorität eingeräumt wird und somit jede Störung des Betriebsablaufs,

auch wenn sie nur als theoretische Möglichkeit existiert, oft kategorisch abgelehnt wird. Entscheidend für die Durchsetzung energiesparender Maßnahmen ist daher, daß diese von der Hochschulleitung getragen werden. Ist diese Voraussetzung erfüllt, kann versucht werden, die unterschiedlichen Nutzergruppen durch eine direkte Beteiligung an den Maßnahmen mit einzubinden. Dabei hat sich die Benennung von Ansprechpartnern, beispielsweise in den Fachbereichen bewährt. Es besteht dadurch die Möglichkeit, gezielt mit den jeweiligen Ansprechpartnern in Kontakt zu treten und langwierige Verwaltungsabläufe zu vermeiden. Die Vorbereitung und Koordination von Maßnahmen kann – in Abhängigkeit von den organisatorischen Voraussetzungen an der jeweiligen Hochschule – durch die für Energiefragen und Umweltschutz zuständige Stelle, z. B. Umweltbeauftragte, die technische Abteilung, oder auch ein interessierter Fachbereich übernehmen. Zusätzliche Anreize zur Energieeinsparung können außerdem erreicht werden, wenn in der Hochschule die Möglichkeit besteht, eingesparte Mittel zumindest teilweise an die Fachbereiche oder andere betroffene Organisationseinheiten weiterzugeben.

An der Universität Hamburg formierte sich im November 1997 ein „Energie-Tisch“ mit 40 Interessenten aus fünf Fachbereichen. Die Initiative erarbeitete in Anlehnung an das Hamburger Energie- und Wassersparprojekt „fifty-fifty“ Möglichkeiten zur Energie- und Wassereinsparung. Im Ergebnis wurden in einem Jahr bereits ca. 220.000 DM eingespart. Hervorzuheben ist der Anreiz zur Einsparung, der dadurch gegeben ist, daß 50 % der eingesparten Mittel direkt den betreffenden Fachbereichen zufließen. Die andere Hälfte erhält die Universität, die in Hamburg ihren Haushalt weitgehend eigenverantwortlich verwaltet (Globalhaushalt) [Zeise98].

3.2.3 Institutionalisierung (Energiebeauftragte)

In vielen Hochschulen sind die Aufgaben, die im Zusammenhang mit der Energieeinsparung stehen, institutionalisiert worden. Beispielsweise ist bereits 1991 an der TU Berlin eine Stabsstelle „Umweltschutzingenieur“ eingerichtet worden, der neben den umweltbezogenen Themen aus den Bereichen Abfall und Wasser auch der Bereich Energiesparen zugeordnet ist²⁹. Hinzu kommen mehr als 200 dezentrale Umweltbeauftragte (in der Regel wurden die vorhandenen Sicherheitsbeauftragten mit dieser Aufgabe betraut), die hier Verantwortung übernehmen und die Abstimmung mit den verschiedenen Organisationseinheiten ermöglichen [Albrec98]. Zu beachten ist, daß Energiebeauftragte über ein Fachwissen verfügen sollten, das sie in die Lage versetzt, die technischen Möglichkeiten von Energiesparmaßnahmen abzuschätzen und die physikalischen Zusammenhänge beurteilen zu können. Neben einer ausreichenden Qualifikation (z. B. Ingenieur Ausbildung) sind Erfahrung und die Fähigkeit, sich mit den z. T. kontroversen Einzelinteressen und Argumentationen auseinandersetzen zu können von Bedeutung.

3.2.4 Übernahme von Aufgaben durch fachfremdes Personal

In der Praxis stellt sich insbesondere in kleineren Hochschulen mit Liegenschaften ohne aufwendige technische Ausstattung und ohne eigenes technisches Personal zusätzlich die Aufgabe, bei der Beschäftigung von Fremdfirmen fachfremdes Personal soweit einzuweisen, daß zumindest elementare Maßnahmen zur Energieeinsparung ergriffen werden können. Beispielsweise kann das Reinigungspersonal angewiesen werden, nach erfolgter Reinigung bzw. Durchsicht der Räume, auf (noch) geöffnete Fenster zu achten und diese zu schließen, elektrische Verbraucher ggf. abzuschalten, die Beleuchtung auszuschalten und die Heizkörperthermostate in eine definierte Stellung (z. B. Stufe 1) zu bringen. Die Berücksichtigung solcher Maßnahmen muß zumindest bei der Fremdreinigung gesondert beauftragt werden. Bei der Eigenreinigung ist die Motivierung und Sensibilisierung des eigenen Personals durch Informationsveranstaltungen und Schulungen möglich. Vergleichbare Aufgaben können auch von Hausmeistern (Rundgänge) übernommen werden.

²⁹ Seit dem 1.9.1999 ist an der TU Berlin zusätzlich die Stelle eines Energiebeauftragten besetzt worden. Damit soll die Bearbeitung von komplexen technischen Aufgabenstellungen weiter ausgedehnt werden. Der Energiebeauftragte ist dem Bereich Technik zugeordnet, soll aber übergreifend (vergleichbar einer Stabsstelle) tätig sein.

3.2.5 Verursacherbezogene Abrechnung

Durch die Umlage der Energiekosten auf die verursachenden Stellen (z. B. Fachbereiche), verbunden mit einer Budgetierung der Haushaltsmittel, werden die Voraussetzungen für ein starkes Eigeninteresse an einem geringen Energieverbrauch auf der Nutzerseite geschaffen. Die durch eine Reduzierung der Betriebskosten eingesparten Mittel können beispielsweise im Bereich der Forschung und Lehre eingesetzt werden (s. a. unter 3.2.2 u. 4.5).

3.2.6 Contracting

Häufig scheidet die Umsetzung von Maßnahmen zur rationellen Energieversorgung an den nicht vorhandenen oder nicht frei verfügbaren Finanzmitteln. Im Bereich der öffentlichen Hand ist dabei die Unterscheidung zwischen Investitionsmitteln und sächlichen Haushaltsmitteln von Bedeutung. Eine Übertragung von eingesparten Sachkosten in den Investitionshaushalt ist aus haushaltsrechtlichen Gründen nicht ohne weiteres möglich. In der Regel sind die vorhandenen Investitionsmittel begrenzt, so daß in den meisten Fällen keine Mittel für energiesparende Maßnahmen zur Verfügung stehen. Von der Finanzierung her problematisch sind außerdem Maßnahmen, die eine vergleichsweise lange Amortisationszeit aufweisen, beispielsweise im Bereich der Beleuchtung, Wärmedämmung und Energieerzeugung. Mit Hilfe von Contracting ist es teilweise möglich, solche Maßnahmen zu realisieren, auch wenn entsprechende Investitionsmittel nicht zur Verfügung stehen.

Unter dem Oberbegriff Contracting werden – im Zusammenhang mit Energie – verschiedene Formen der Finanzierung von Maßnahmen zur Energieeinsparung zusammengefaßt. Dabei kann es um die Lieferung von Sekundärenergie in Form von Wärme, Kälte, Druckluft oder Strom (Kraft-Wärme-Kopplung) gehen und um die Sanierung von Anlagen sowie die Bereitstellung weiterer Dienstleistungen bis hin zum vollständigen Betrieb von technischen Anlagen. Zu den Anbietern von Contracting-Leistungen gehören Versorgungsunternehmen, Anlagen- und Komponentenanbieter, Ingenieurbüros und Energieagenturen.

Contracting sollte überall dort verwirklicht werden, wo Investitionen für langlebige Anlagen auf dem Energiesektor aufgrund ungenügender Amortisationszeiten scheitern. Allerdings wird durch Contracting „...eine Energieanlage weder billiger noch wirtschaftlicher...“ [Niebis99]. Vorteilhaft kann sich aber die Vermeidung von Investitionskosten bzw. des daraus entstehenden Risikos von Fehlinvestitionen und die dem Contractor zu unterstellende Erfahrung in Energiefragen auswirken.

Die Durchführung von technischen Maßnahmen mit Hilfe eines Contractors kann im Bereich der öffentlichen Verwaltung unterschiedliche Gründe haben [FKGB1998a]:

- Mit Hilfe von Contracting-Maßnahmen besteht die Möglichkeit, Aufgabenbereiche aus der öffentlichen Verwaltung auszugliedern. Dies kann insbesondere dann von Bedeutung sein, wenn eigenes Personal nicht, oder nicht mit der erforderlichen Qualifikation zur Verfügung steht. Mit dem Contractor kann in solchen Fällen die Instandhaltung und Bedienung vertraglich vereinbart werden.
- Aufgrund fehlender Investitionsmittel der öffentlichen Hand sind in der Vergangenheit Maßnahmen unterblieben, obwohl die Wirtschaftlichkeit nachweisbar war. Die Erschließung solcher Einsparpotentiale kann durch Contracting ermöglicht werden.
- Stehen umweltpolitische Aspekte im Vordergrund, so sind zunächst für den Contracting-Nehmer keine finanziellen Vorteile zu erkennen, z. B. wenn durch Einbau energiesparender Technik der Energiebedarf zwar gesunken ist, aber zur Refinanzierung der Investitionen des Contractors die Kosten gleich geblieben sind. Die Verringerung des Energiebedarfs führt aber zu einer Reduzierung der Emissionen, so daß Ziele wie die CO₂-Reduktion auch auf diesem Wege erreichbar sind.

- Die Finanzierung von Modernisierung und Bau technischer Anlagen kann mit Hilfe von Contracting bei fehlenden oder nicht ausreichenden Haushaltsmitteln eine Möglichkeit sein, Maßnahmen von hoher Wichtigkeit überhaupt realisieren zu können. Insbesondere für die Nutzerseite kann sich dadurch eine Beschleunigung der Durchführung von Maßnahmen ergeben.

Grundsätzlich ist jedoch davon auszugehen, daß sich Contracting im öffentlichen Bereich nur dann rechtfertigen läßt, wenn es um Maßnahmen von entsprechender Bedeutung (Umweltschutz, Modernisierung, Kostenreduzierung) handelt und andere Möglichkeiten zur Bereitstellung von Investitionsmitteln ausscheiden.

In Anlehnung an die Definitionen in einem Rechtsgutachten zum Vergabeverfahren aus Nordrhein-Westfalen „Contracting bei Öffentlichen Bauten“ [BauMat97] werden vier Typen unterschieden:

- a) Anlagencontracting,
- b) Einspar- oder Performance-Contracting,
- c) Contracting im weiteren Sinne, z. B. Wärmelieferung durch Stadtwerke,
- d) Intracting.

Während sich Anlagen- und Einspar-Contracting durch die Art der Finanzierung (Anlagencontracting mit zusätzlicher Finanzierung durch den Auftraggeber, Einsparcontracting mit ausschließlicher Finanzierung aus den eingesparten Energiekosten) unterscheiden, aber als gemeinsames Merkmal den Übergang der Anlagen an den Nutzer nach Ablauf der Vertragsdauer (üblich sind hier 7 Jahre) haben³⁰, verbleiben beim Contracting im weiteren Sinne die Anlagen beim Contractor (z. B. bei der Wärmelieferung bei den Stadtwerken).

Allgemein werden für Contracting-Maßnahmen länderspezifisch Zeiten für den Kapitalrückfluß (Amortisation) angegeben. Sie liegen in der Regel bei 7 Jahren, in einigen Fällen auch darüber.

Eine Besonderheit stellt das sog. Intracting („verwaltungsinternes Contracting“) dar. Es entspricht dem Energiespar- bzw. Performance-Contracting, mit dem Unterschied, daß an die Stelle des Contractors das Land tritt. Durch Einrichtung eines speziellen Ausgaben-/Einnahmen-Titels lassen sich zunächst Maßnahmen vorfinanzieren. Die daraus resultierenden Einsparungen fließen anschließend in den Titel zurück und können zur Finanzierung weiterer Maßnahmen genutzt werden. Initiiert wurde dieses Verfahren in Nordrhein-Westfalen (s. a. [KrNaMe98]).

Schwierigkeiten gibt es auf Länderebene im Hinblick auf die Vereinbarkeit von Contracting mit dem geltenden Haushalts- und Vergaberecht. Beispielsweise könnte das Vergaberecht dem Bestreben der öffentlichen Hand entgegen stehen, Stadtwerke als Contracting-Partner ohne öffentliche Ausschreibung zu gewinnen. Allerdings wird die Anwendung des Vergaberechts im Zusammenhang mit Contracting kontrovers diskutiert. In bezug auf die Vergabe sind auch Bedenken bei der üblichen Vorgehensweise (Beauftragung): Grobanalyse (kostenlos) – Feinanalyse (zu vergüten) – Auftragsvergabe (mit Anrechnung der Kosten für die Feinanalyse) geäußert worden. Kritisch gesehen wird hierbei die Vermischung von Planungs- und Ausführungsleistungen (HOAI bzw. VOB).

Haushaltsrechtliche Bedenken können dann entstehen, wenn Contracting als eine Form der verdeckten Kreditaufnahme betrachtet wird (indirekte Finanzierung von Investitionen über den Sachmittelhaushalt). Als Alternative zur Contracting-Maßnahme stünde die kostengünstigere Möglichkeit der direkten Finanzierung (Erhöhung der Neuverschuldung) zur Verfügung. Zu berücksichtigen ist allerdings dabei, daß zum einen der direkten Verschuldung Grenzen gesetzt sind (Haushaltsrecht) und zum anderen insbesondere beim Einspar-Contracting keine sichtbaren Kosten entstehen (Finanzierung aus Energieeinsparung). In einigen Bundesländern sind die haushaltsrechtlichen Voraussetzungen für die Durchführung von Contracting im Bereich der öffentlichen Hand geschaffen worden (z. B. in Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen). Eine andere Möglichkeit besteht in der Durchführung solcher Maßnahmen in Form von Pilotprojekten (z. B. in Bayern praktiziert).

³⁰ Formal findet der Eigentumsübergang (nach BGB §§ 93 ff., 946 ff.) mit dem Einbau statt.

Mittel für den Hochschulbau, die normalerweise zur Hälfte vom Bund getragen werden (HBFG-Mittel) werden durch Contracting-Maßnahmen beeinflusst. Sofern es sich um sog. Intracting handelt, ist offenbar eine volle Übernahme des Bundesanteils möglich. Bei Contracting mit Dritten, bei denen das Land einen Zuschuß gewährt, werden anteilig nur die reinen Investitionskosten übernommen. Eine fallweise Klärung ist erforderlich.

Im Leitfaden des Ministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen [BMVBW98] wird ein Wirtschaftlichkeitsnachweis für Contracting-Maßnahmen gefordert. Die damit verbundene Überprüfung des Angebotes bedingt quasi eine zusätzliche Planung durch den Contracting-Nehmer, die neben der dadurch erforderlichen zusätzlichen Personalkapazität auch haushaltsrechtlich nicht unbedenklich ist.

Weitere Unklarheiten sind hinsichtlich der Eigentumsfrage sowie im Zusammenhang mit steuerrechtlichen Fragen aufgetreten. Nur wenn der Contractor Eigentümer ist, kann er die vorhandenen Abschreibungsmöglichkeiten ausnutzen. Üblich ist der Eigentumsübergang mit Einbau des technischen Gerätes, sofern es als wesentlicher Bestandteil des Gebäudes angesehen werden kann (BGB §§ 93ff., 946ff.). Die Auslegung ist jedoch umstritten. Diskutiert wird dabei auch die Haftungsfrage bei einem „zufälligen Untergang“ während der Laufzeit. Die Risiken durch einen zufälligen Untergang (verbunden mit Regressforderungen des Contractors) werden aber als gering angesehen.

Vom Contractor eingebaute MSR-Technik (Gebäudeautomation) kann sich als inkompatibel zu vorhandenen Systemen erweisen. Die Übernahme der Anlagen durch den Nutzer nach Ablauf des Vertrages kann diesen vor erhöhte Probleme bei der Bedienung stellen, wenn es sich dabei um Insellösungen handelt.

Ein häufiges Ärgernis ist die Festlegung des Referenzverbrauchs (sog. Baseline). Beispielsweise können Umnutzungen, Sanierungs- oder Umbaumaßnahmen während der Laufzeit des Vertrages („Einsparung“ durch Nicht-Nutzung von Gebäuden) oder auftretende Schäden an Anlagen, verbunden mit Stillstand oder höheren Verbräuchen, zu Streitigkeiten führen. Auch Veränderungen an Anlagen ohne Abstimmung mit dem zuständigen Bauamt bzw. Abklärung mit dem Errichter der Anlagen können Gewährleistungsprobleme mit sich bringen und im ungünstigsten Fall einen Rückbau erforderlich machen.

Bei der Ermittlung der Baseline sind insbesondere folgende Hinweise zu berücksichtigen:

- Bei den Messungen ist auf Nutzungsänderungen während des Erfassungszeitraums zu achten. Anlagendefekte bzw. -ausfälle, leerstehende Räume, Sanierungsmaßnahmen oder Umnutzungen können den Energiebedarf maßgeblich in positiver oder negativer Hinsicht beeinflussen.
- Sinnvoll ist es auch solche Verbraucher auszugrenzen, auf die Optimierungsmaßnahmen nicht anwendbar sind (bestimmte wissenschaftliche Geräte, PCs, etc.). Bei der Beurteilung des Einsparpotentials, dürfen diese nicht berücksichtigt werden.

Zu beachten ist auch die Frage der Instandhaltung der Anlagen. Liegt diese beim Nutzer, kann es zu Konflikten bei Schäden kommen, die aufgrund nicht-bestimmungsgemäßer Betriebsweise der Anlagen entstehen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn der Contractor das Erzielen hoher Einsparergebnisse über den ordnungsgemäßen Betrieb der Anlagen stellt. Da der Contractor die Verantwortung für die Einsparungen trägt, ist dem Nutzer häufig ein Eingriff in den Anlagenbetrieb verwehrt. Zu Empfehlen sind hier eindeutige Abgrenzungen der Verantwortlichkeiten sowie die Garantie eines bestimmungsgemäßen Betriebs der Anlagen durch den Contractor. Ist letzteres nicht gegeben, werden Einsparungen im Extremfall durch häufigen Anlagenausfall und Reparaturaufwand erkaufte bzw. zunichte gemacht. Im Einzelfall können Regelungen vereinbart werden, die entweder dem Contractor Aufgaben der Instandhaltung mit übertragen, oder den Nutzer (hier z. B. die Technische Abteilung) am Anlagenbetrieb beteiligen (ggf. sind Schulungsmaßnahmen zu vereinbaren).

Empfehlenswert ist weiterhin, auf die fachliche Beurteilung der durchzuführenden Maßnahmen zu achten. Andernfalls besteht die Gefahr, daß mit geringem technischen Aufwand lediglich organisatorische Mißstände an der nutzenden Einrichtung kompensiert werden, aber keine echte Modernisierung der Technik stattfindet.

Wichtig ist außerdem die Information über die erforderlichen Umbaumaßnahmen und deren Dokumentation (Aktualisierung der technischen Unterlagen). Erforderlich ist ggf. die Abstimmung mit dem zuständigen Eigenpersonal. Dadurch kann vermieden werden, daß z. B. Wartungsarbeiten dem Optimierungsziel zuwider laufen.

Hinweise für die praktische Umsetzung von Contracting-Verfahren sind u. a. im Leitfaden des Landes Hessen [HMU98] sowie im Leitfaden des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen [BMVBW98] zusammengestellt.

Im Rahmen des Projektes REUSE (Rational Use of Energy at the University of Stuttgart Building Environment) wurden vom Institut für Kernenergetik und Energiesysteme (IKE) an der Universität Stuttgart, in Zusammenarbeit mit weiteren Instituten sowie unter Beteiligung von Firmen bzw. Ingenieurbüros im Rahmen eines EU-Projektes, Möglichkeiten der energetischen Optimierung von ausgewählten Gebäuden der Universität untersucht. Das Projekt finanziert sich zum Teil selbst über eingesparte Energiekosten. Die erforderlichen Investitionen (insgesamt ca. 3,5 Mio. DM) wurden zum Teil von Dritten (externe Firmen) vorfinanziert und aus den eingesparten Energiekosten zurückbezahlt („Contracting“-Verfahren).

Bei der Durchführung des Projektes gab es zunächst Probleme bei der Datenbeschaffung. Es wurden daher eigene Analysen durchgeführt und Berichte bzw. Statistiken etc. angefertigt. Zur Energiedatenerfassung wurden überwiegend Datenlogger eingesetzt (s. a. unter 3.1.1.2.5).

Da keine universell einsetzbare (herstellerunabhängige) Software für die Anbindung der vorhandenen Systeme (Zähler, Gebäudeautomation) verfügbar war, wurde diese im Rahmen des Projektes selbst entwickelt. Das dabei entstandene System, das auch weitergehende Auswirkungen über Schnittstellen zu üblichen Tabellenkalkulationsprogrammen ermöglicht, läßt sich einfach an die Gegebenheiten vor Ort anpassen. Seitens des IKE wird die Software kostenlos für Einrichtungen der öffentlichen Hand zur Verfügung gestellt.

Detaillierte Informationen über das Projekt sowie ein direkter Zugriff auf Energiedaten und Auswertungen sowie die eingesetzte Software sind im Internet unter <http://reuse.ike.uni-stuttgart.de> abrufbar.

An der Universität Bremen wird die Energiebewirtschaftung des Sportzentrums an einen Contractor übergeben. Ziel ist es, eine bessere Verteilung und Nutzung von Energie (u. a. Klimatisierung und Beleuchtung) zu erreichen. Die Vertragslaufzeit beträgt 7 Jahre.

In Hessen wurde die Energieversorgung der TU Darmstadt und weiterer Liegenschaften des Landes aufgrund des Erneuerungsbedarfs der vorhandenen Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen europaweit ausgeschrieben. Für die TU Darmstadt ging es um den Ersatz des vorhandenen Dampfheizkraftwerks und die Erneuerung des Wärmenetzes. Den Zuschlag bekam ein Konzept der Saarberg-Fernwärme GmbH (SFW), basierend auf einer KWK-Anlage mit ca. 6 MW elektrischer Leistung sowie einer Kesselanlage für die Mittel- und Spitzenlast (insgesamt ca. 52,5 MW Wärmeerzeugung). Die Investitionen des Gesamtprojektes bestehend aus Fernwärmenetz-Ausbau, Bau des Heizkraftwerks, MS-Schaltanlagenerneuerung und Umbau sowie Abriß der alten Kraftwerkskomponenten werden von der SFW übernommen. Der Vertrag läuft ab dem Jahr 2000 für eine Dauer von 15 Jahren. Leistungs- und Arbeitspreise für die Strom- und Wärmeversorgung orientieren sich an den Kosten (Kapital, Betrieb, Instandhaltung etc., z. T. indiziert sowie Gewinnanteil für den Energielieferanten). Für weitergehenden Unterstützungs- und Beratungsaufwand ist eine erfolgsabhängige Vergütung von 50 % der eingesparten Kosten vorgesehen. Eine feste Einsparung bei der Wärme wird garantiert. Der Vertrag beinhaltet auch die Belieferung der TU Darmstadt mit Strom für den Bedarf oberhalb der Eigenerzeugung unter Ausnutzung der Möglichkeiten aus der Liberalisierung des Strommarktes [Kany99].

4 Maßnahmenoptimierung als Teil des Energiemanagements

4.1 Energiekonzept und Energiemanagement

Die Erstellung eines Energiekonzeptes dient der strukturierten Vorgehensweise bei der Auswahl bzw. Durchführung von Maßnahmen. Insbesondere werden hier Prioritäten nach vorzugebenden Kriterien, wie z. B. maximale Wirtschaftlichkeit, gesetzt. Das Konzept basiert auf den vorhandenen Gegebenheiten und Daten. Grundlage bildet somit eine aktuelle Analyse der Kosten und Verbräuche sowie der geplanten Sanierungsmaßnahmen.

Energiemanagement ist als eine dauerhafte Aufgabe zu verstehen, die mit Hilfe von permanenten Auswertungen von Energieverbräuchen sowie der Energiekostenkontrolle eine laufende Optimierung beinhaltet. Veränderungen an den Systemen, Nutzungen und örtlichen Gegebenheiten sind dabei zu berücksichtigen. Wird das Energiemanagement im Sinne eines Facility Managements betrachtet bzw. betrieben, so umfaßt es den gesamten Lebenszyklus der Gebäude und ist daher bereits in der Planungsphase präsent.

4.1.1 Zielsetzung

Ziel eines Energiemanagements ist es, den Energieverbrauch und die Energiekosten zu minimieren. Hilfsmittel sind dabei:

- Bedarfsanalyse (Kenntnis von Anlagen, Gebäuden etc. und deren Energiebedarf, Messung und Auswertung),
- Technisches Betriebsverhalten und Auslegung der Erzeugung (Struktur der Energieversorgung und -verteilung),
- Regelung, Steuerung und Betriebsweise der Anlagen,
- Controlling (Energieverbrauchsüberwachung, Auswertung, Steuerung).

Zusammen mit dem Betreiben von Anlagen der Technischen Gebäudeausrüstung stellt das Energiemanagement einen wesentlichen Bestandteil des Technischen Gebäudemanagements dar.

Nach einer Definition des VDMA ist Energiemanagement „die Anwendung einer auf die fortwährende Optimierung von Aufwand und Nutzen bezogene Strategie für das Betreiben von Gebäuden nach energiewirtschaftlichen Gesichtspunkten. Es beinhaltet die Planung, Realisierung und Überwachung von Maßnahmen zur Sicherstellung eines sparsamen Energieverbrauchs unter Berücksichtigung der jeweils erforderlichen Nutzungsqualität“ [AIG95].

Das Ziel eines rationellen Einsatzes von Energie läßt sich nur erreichen (und begründen), wenn Bedarfsstruktur, Belastungsverläufe und Verbrauchsmengen bekannt sind. Hierzu ist die Ermittlung des Energiebedarfs von Anlagen, Gebäuden und Nutzungen erforderlich. Die Verfügbarkeit dieser Daten ist eine Voraussetzung zur Ermittlung von Energiesparpotentialen und zur Zuordnung von Kosten. So lassen sich Informationen über den Verbrauch einzelner Bereiche (Anlagen, Nutzer, Kostenstellen) gewinnen. Die Daten dienen zum einen der transparenten Kostenabrechnung, zum anderen der Feststellung derjenigen Anlagen, Gebäude und Organisationseinheiten bzw. Nutzer, bei denen sich infolge hoher Verbräuche bereits geringe prozentuale Einsparungen auszahlen.

Weitere Aufgaben des Energiemanagements können sein:

- Anlagenüberwachung zur Gewährleistung eines optimalen und sicheren Betriebs,
- Optimierung bzw. Anpassung von Nutzungszeiten in bezug auf vertragliche Regelungen, z. B. Anpassung des Leistungsbezugs (Maximumbegrenzung bei Strom, Fernwärme, Fernkälte und Gas),

- Überprüfung und laufende Anpassung von Lieferverträgen,
- Erstellung von Trendanalysen zur Planung der zukünftigen Verbrauchsentwicklung,
- verursacherbezogene Aufteilung von Energieverbräuchen auf Kostenstellen,
- Vorbereitung und Durchführung von technischen und baulichen Maßnahmen.

4.1.2 Planung

Trotz verschiedener Vorgaben der Länder und des Bundes zur Reduzierung des Energieverbrauchs (Wärmeschutzverordnung, Energiesparrichtlinien der Länder etc. – s. unter 1.1 sowie im Anhang) ist in vielen Fällen zu beobachten, daß aufgrund unzureichender Planung oder mangelhafter Koordination von Architekten und/oder Gewerkeplanern keine optimalen Ergebnisse bei der Erstellung von Bauten erzielt werden.

Voraussetzung für den sparsamen Umgang mit Energie ist die Einbeziehung von Bau- und Betriebsphase in die Betrachtung. Der Begriff „Integrale Planung“ ist in diesem Zusammenhang von Bedeutung. Nur wenn Architektur und Technik die gleichen Ziele verfolgen, kann eine energiesparende und kostengünstige Bauweise realisiert werden. Planungsdefizite sind später oft nur mit zusätzlicher Technik auszugleichen, was in der Regel einen erhöhten Aufwand für die Instandhaltung nach sich zieht und zu einem Energieverbrauch auf hohem Niveau führt.

Wichtige Voraussetzungen sind neben der integralen Planung auch eindeutige Zielvorgaben, eindeutige Entscheidungskompetenz sowie Erfolgskontrolle während der Planung und Ausführung. Für die Abnahme von Gebäuden und technischen Systemen empfiehlt es sich, eine Checkliste vorzubereiten. Damit wird eine systematische und vollständige Prüfung der energetisch relevanten Komponenten (Funktionsfähigkeit, Leistungserfüllung etc.) sichergestellt [AMEV99].

Unter dem Aspekt der Energieverbrauchsoptimierung ist es wünschenswert, wenn die Planung und die Koordination der Bauausführung in einer Hand liegen. Ferner ermöglicht heute der frühzeitige Einsatz von technischen Hilfsmitteln wie beispielsweise die Gebäudesimulation, mit vertretbarem Aufwand energetisch günstige Lösungen zu entwickeln und Überdimensionierungen zu vermeiden.

In der Praxis auftretende Probleme ergeben sich daraus, daß

- gestalterische Elemente gegenüber Energieeffizienz bevorzugt werden;
- die Honorarberechnungsgrundlagen bei der Planung teure Lösungen gegenüber einfachen oder aufwendig zu planenden, aber kostengünstigen Lösungen, bevorzugen (z. B. durch die HOAI);
- die Planung von technischen Anlagen häufig über verschiedene Gewerke verteilt ist und daher eine unter Energiegesichtspunkten wünschenswerte integrale Planung – auch unter Einbeziehung der Architektur – verbunden mit einer Koordination der Gewerke, nicht stattfindet.

Als Instrument für die Planung (Neu- und Umbauten, Sanierungen) hat die computerunterstützte Simulation von physikalischen Vorgängen im Zusammenhang mit der Wärmeversorgung, Lüftung und Klimatisierung von Gebäuden eine wichtige Bedeutung erlangt.

Die Simulation dient dazu, die physikalischen Gegebenheiten im Gebäude (Wärmespeicherfähigkeit, innere Wärmelasten, Wärmegewinne durch Sonneneinstrahlung etc.) in einem Modell darzustellen. Sie bietet im Vorfeld der Realisierung die Möglichkeit ein Modell mit allen Einflußgrößen zu erstellen und durch Variation der Parameter eine Optimierung herbeizuführen. Dabei kann auch die Ausführung der vorgesehenen technischen Systeme verändert werden, um den Einsatz bestimmter Anlagen (z. B. Klimaanlage) bei der Realisierung zu vermeiden oder diese so zu planen, daß ein möglichst geringer Energieverbrauch erreicht wird.

Wegen der hohen Investitions- und Betriebskosten von Raumluftechnischen Anlagen bietet sich der Einsatz von Simulationsverfahren in diesem Bereich besonders an. Erfahrungen haben gezeigt, daß in vielen Fällen der Einsatz solcher Verfahren zu einer kleineren Dimensionierung von RLT-Anlagen geführt hat oder auf deren Einsatz ganz verzichtet werden konnte, sofern geringfügige bauliche Änderungen vorgenommen wurden.

4.1.3 Vorgehensweise bei der Realisierung energiesparender Maßnahmen

Zur Ermittlung von Einsparpotentialen und zur sinnvollen Aufteilung der vorhandenen Mittel ist eine strukturierte Vorgehensweise zu empfehlen:

□ Analyse des Ist-Zustandes

- Ermittlung und Dokumentation des derzeitigen Zustandes aus vorhandenen Unterlagen sowie durch ergänzende Erfassung und Aufbereitung der entsprechenden Daten:
 - vorhandene Anlagen und Anlagentechnik mit Nenndaten (z. B. Typ, Art der Anlage, Anschlußleistung, Besonderheiten)³¹;
 - Energieverbrauch ermitteln (Messen, Zählen, Abschätzungen), unter Berücksichtigung der Energieträger (Strom, Wärme/Fernwärme, Gas, Heizöl etc.) sowie der Energiewandlungsprozesse (Licht, Wärme, Kälte, Kraft etc.);
 - Energiekosten ermitteln (Kennwerte, Statistik);
 - Organisatorische Randbedingungen (Zuständigkeiten, Betriebsablauf, Art der Nutzung);
 - Technische Voraussetzungen (z. B. vorhandene GA-Systeme).

□ Konzeption (Soll, Zielplanung):

- Erarbeitung von Optimierungsansätzen auf der Basis vorhandener Versorgungsstrukturen:
 - Ermittlung des Energiebedarfs (Soll) anhand von Kennwerten bzw. Vergleichszahlen – soweit vorhanden bzw. beschaffbar. Aufbau eines Kennzahlensystems. „Baseline“ festlegen.
 - Prioritätenlisten erstellen (Mit welchen Gebäuden und Anlagen lassen sich die höchsten absoluten Einsparungen erzielen? Wo ist ggf. der höchste Sanierungsbedarf vorhanden, so daß sich Sanierungsmaßnahmen mit Energiesparmaßnahmen verbinden lassen?).
- Überprüfung der in Frage kommenden Maßnahmen (s. Kap. 3):
 - Organisatorische Maßnahmen: z. B. veränderte Betriebszeiten, Betriebsabläufe verbessern, Energieträgereinsatz sinnvoll gestalten, Bewußtsein beim Nutzer und Personal durch Information und Schulung wecken.
 - Kaufmännische Maßnahmen: Lieferverträge überprüfen (Aktualität, Anreize zur Reduzierung), Finanzierung von Maßnahmen (Haushaltsmittel, Fördermittel, Contracting), verursacherbezogene Abrechnung, finanzielle Rahmenbedingungen beobachten (z. B. Novellierung des Energiewirtschaftsgesetz, aktuelle Förderrichtlinien).
 - Technische Maßnahmen: Einsatz energiesparender Technologien, Verbesserung der MSR-Technik-Ausstattung, Einsatz von Anlagen mit höherem Wirkungsgrad, Verbesserung der Energieverbrauchsüberwachung, Nutzung von Kraft-Wärme- und Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, Einbau von Wärmerückgewinnungsanlagen und ggf. Wärmepumpen, Einsatz regenerativer Energieträger.
 - Bauphysikalische Maßnahmen: z. B. Wärmedämmung.

□ Planung und Durchführung der Maßnahmen (Umsetzung)

unter Berücksichtigung der Hinweise aus Abschnitt 4.1.2 (Integrale Planung, Simulation etc.).

³¹ Hinweise zur systematischen Erfassung von Anlagendaten finden sich in der „Gebäudedatei“ der Fachkommission Gebäude- und Betriebstechnik [FKGB95].

□ Erfolgskontrolle/Controlling

- Allgemein: Berichtswesen, Dokumentation, Statistik;
- Laufende Beobachtung und Auswertung der Verbrauchsentwicklung;
- Laufende Beobachtung der Kostenentwicklung;
- Berücksichtigung geänderter Randbedingungen (Informationsaustausch über bauliche Veränderungen, geänderte Nutzungszeiten etc.).

Zur Unterstützung der Konzeption und Planung von größeren Maßnahmen kann es sich anbieten zunächst einen überschaubaren Bereich exemplarisch zu untersuchen bzw. Einzelmaßnahmen durchzuführen.

Am Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS) der TU Braunschweig wird im Rahmen eines Forschungs- und Demonstrationsvorhabens ein Gesamtkonzept zur Sanierung eines Bürogebäudes (zwölfgeschossiges Hochhaus, Baujahr 1975/76, ca. 8.500 m² BGF) der Technischen Universität erstellt. Das Vorhaben wird von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück gefördert³². Die Umsetzung soll zunächst exemplarisch in einem Geschoß durchgeführt werden und dann, nach einer einjährigen Monitoring-Phase, unter Berücksichtigung der gewonnenen Erkenntnisse auf das gesamte Gebäude ausgedehnt werden. Die möglichen Sanierungsmaßnahmen wurden u. a. mit Hilfe einer thermischen Gebäudesimulation ermittelt. Sie umfassen den Austausch der Verglasung, Innendämmung der Betonstützen, Fassadensanierung, Verringerung der Wärmeverluste der Lüftungsanlage, Unterstützung der freien Kühlung, Ermöglichung natürlicher Querlüftung, Freilegung von Speichermassen, effiziente Tageslichtnutzung und Beleuchtung sowie die Unterstützung der technischen Maßnahmen durch den Einsatz eines Gebäudeautomations-Systems (Gebäudesystemtechnik) [FisRoz99].

4.2 Analyse des Ist-Zustandes

Die Analyse des Ist-Zustandes kann – in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten – zunächst in grober Form erfolgen. Je nach Umfang und Qualität der bereits vorhandenen Daten und Unterlagen ist die Erfassung von Verbräuchen bei nicht vorhandenen Zählleinrichtungen durch Abschätzungen über bekannte Anschlußleistungen und Betriebszeiten möglich. Die Auswahl von Anlagen und Gebäuden richtet sich nach Kriterien wie „vergleichsweise hohe Anschlußleistung“ und „hohe Betriebsstundenzahl“. Damit lassen sich auch bei einer wenig ausgebauten oder nicht vorhandenen Zähler-Infrastruktur Aussagen bezüglich eines zu erwartenden Einsparpotentials machen.

Wenn es allerdings darum geht, Maßnahmen genauer miteinander zu vergleichen, verlässliche Abschätzungen hinsichtlich der Amortisation von Investitionen zu treffen und ggf. Einsparmaßnahmen gegen Widerstände durchzusetzen bzw. deren Wichtigkeit z. B. gegenüber der Hochschulleitung deutlich zu machen, so ist es sinnvoll, eine genauere Analyse der Einsparpotentiale vorzunehmen. In einer solchen Detailanalyse ist die Betrachtung einzelner Verbrauchsbereiche anhand typischer Tagesgänge an Werk- und Wochenendtagen sowie geordneten Jahresdauerlinien unter Berücksichtigung von Energieflußbildern und Kostenbilanzen erforderlich. Auch der Umweltgedanke spielt eine Rolle, insbesondere wenn alte, vermeintlich wirtschaftlich zu betreibende Heizwerke³³ stillgelegt werden und z. B. durch Fernwärme ersetzt werden sollen. Die Aufstellung von Emissionsbilanzen kann sich hier hilfreich auswirken (s. a. [VieMat99]).

Zur Analyse von Energieverbräuchen einzelner Gebäude sollte der Anteil größerer Verbraucher bekannt sein (z. B. Raumlufttechnische Anlagen, Aufzüge, Geräte aus dem Bereich Forschung

³² Eine Projektbeschreibung ist im Internet unter http://www.igs.bau.tu-bs.de/san_igs.htm verfügbar.

³³ Häufig wird bei den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen außer acht gelassen, daß der Betrieb von Heizwerken Personal bindet.

und Lehre mit hohen Anschlußwerten) bzw. mit erfaßt werden. Die Auswertung der Ergebnisse (Interpretation von Kennwerten) wird dadurch erleichtert.

4.2.1 Ermittlung des Energieverbrauchs

Die Ermittlung des Energieverbrauchs steht am Anfang der Ist-Erfassung. Neben der unmittelbaren Erfassung und Zuordnung von Verbräuchen spielt auch die Auswertung der Daten über definierte Zeiträume eine Rolle (Bildung von Kennwerten). So können beispielsweise Entwicklungen über Jahre hinweg verfolgt werden und aufgrund der verfügbaren Datenbasis Unregelmäßigkeiten zuverlässig erkannt werden. Eine Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist die Berücksichtigung von Störgrößen (z. B. Witterungseinflüsse). Mit Hilfe der Gradtagzahl erfolgt eine Normierung der von Energieverbräuchen (Wärme) auf einen Bezugswert der Außentemperatur (s. a. unter 4.2.1.1).

Die Erfassung der Verbrauchsdaten geschieht technisch durch Messen und Zählen physikalischer Größen. Dafür werden geeignete Meßgeräte (Stromzähler, Wärmemengenzähler etc.) benötigt (s. a. unter 3.1.1.2). Zur Reduzierung des Aufwands bei der Zählerablesung empfiehlt sich die Installation von Meßsystemen mit Impulsausgang oder von busfähigen Zählern. Bei einem Zähler mit Impulsausgang werden in Abhängigkeit von der gezählten Menge proportional elektrische Impulse am Ausgang abgegeben. Die Auswertung der Impulse (Zählen, Umrechnung in die gewünschte Einheit) geschieht in einem geeigneten Auswertesystem (z. B. Gebäudeautomations-System). Busfähige Zähler sind dagegen in der Lage, die Zählraten selbst auszuwerten und geben daher den gemessenen Verbrauch als Zahlenwerte aus – ggf. mit Zusatzinformationen (Temperatur, Zustand des Meßmoduls, Störungs- und Betriebsmeldungen etc.). Die Kommunikation nach außen erfolgt über das Bus-System. Andere Systeme ermöglichen den Datenverkehr per Funk oder über das Telefonnetz.

Mittlerweile werden auch Meßsysteme angeboten, die mit Hilfe spezieller Techniken die Fernablesung herkömmlicher Zähler ermöglichen. Dadurch lassen sich in vielen Fällen die Kosten gegenüber dem Austausch von Zählern verringern.

4.2.1.1 Gradtagzahl und Heizgradtage

Zum Vergleich witterungsabhängiger Energieverbräuche wie Heizwärme und Kälte für die Klimatisierung ist es erforderlich, diese von Nebeneffekten zu bereinigen. Beispielsweise zeigt der Bedarf an Heizenergie eine Abhängigkeit von der Außentemperatur. Mit Hilfe der Gradtagzahl kann eine Normierung der Energiewerte auf einen Bezugswert der Außentemperatur (Mittelwert über mehrere Jahre, „Normwert“ eines typischen Jahres o. ä) erfolgen, so daß die Vergleichbarkeit von Angaben, unabhängig von den jeweiligen Witterungsverhältnissen möglich wird.

In der VDI-Richtlinie 2067, Blatt 1 [VDI2067] ist die Gradtagzahl G_T definiert für eine Heizgrenztemperatur von 15°C und eine Raumtemperatur von 20°C. Dabei wird von der Annahme ausgegangen, daß die meisten Gebäude bauphysikalischen Mindestanforderungen entsprechen sowie Sonnenenergiegewinne und innere Wärmelasten dafür sorgen, daß oberhalb von 15°C Außentemperatur nicht geheizt werden muß (Heiztage werden nur für $T_a < 15^\circ\text{C}$ berücksichtigt). Die Gradtagzahl errechnet sich aus

$$G_T = \sum_1^z (T_i - T_{am})$$

darin bedeuten:

G_T	Gradtagzahl der Heizperiode (in K d/a),
z	Anzahl der Heiztage in der Heizperiode (1.9. bis 31.5. eines Jahres)
T_i	mittlere Raumtemperatur (= 20°C),
T_a	mittlere Außentemperatur eines Heiztages.

Als Bezugswert für den Vergleich von Heizenergieverbräuchen, können die mittleren Gradtagzahlen eines Ortes (z. B. über 10 bis 20 Jahre gemittelt) verwendet werden. Bei Vergleichen mehrerer Orte wird häufig eine Referenzort mit durchschnittlichen Klimaverhältnissen gewählt (z. B. Würzburg, mit $G_T = 3883 \text{ K d/a}$ [VDI3807]).

In der VDI 3807 wird ein abweichendes Berechnungsverfahren empfohlen, das die Wärmegewinne durch solare Einstrahlung, innere Wärmelasten etc. besser berücksichtigt, indem als Bezugstemperatur nicht die mittlere Raumtemperatur T_i sondern die Heizgrenztemperatur $T_g (= 15^\circ\text{C})$ angesetzt wird. Die Berechnung der als Heizgradtage G_{15} bezeichneten Größe geschieht analog der obigen Formel, mit dem Unterschied, daß T_i durch T_g zu ersetzen ist. Der Wert für die Heizgradtage (G_{15}) ist niedriger als die Gradtagzahl (im Beispiel Würzburg ist $G_{15} = 2524 \text{ K d/a}$) [ReSpSc95].

4.2.1.2 Lüftungsgradtage

Bei der Ermittlung des Wärme- und Kältebedarfs von Lüftungsanlagen wird ebenfalls der Begriff Gradtage verwendet. Die Lüftungsgradtage kennzeichnen den Wärmebedarf einer Lüftungsanlage. Sie sind als Produkt aus der Zahl der Lüftungstage und dem Unterschied zwischen Zulufttemperatur und mittlerer Außentemperatur definiert. Die Zahl der Lüftungsgradtage ist größer als die der Heizgradtage bzw. Heiz-Gradtagzahl, da die Grenztemperatur von 15°C für die Lüftungsanlagen keine Rolle spielt. Zur Berücksichtigung der Tatsache, daß Lüftungsanlagen häufig stundenweise betrieben werden, wird an Stelle der mittleren Tagestemperatur, die mittlere Temperatur während der Betriebszeit (eines Tages) zugrunde gelegt. Damit ergeben sich die Lüftungsgradstunden (G_L in hK/a) zu:

$$G_L = \sum_z (T_{zu} - T_a)$$

mit T_a mittlere Außentemperatur eines Tages während der Betriebszeit der Lüftungsanlage (zu den verschiedenen Tageszeiten),
 T_{zu} Zulufttemperatur.
 z Zahl der Lüftungsstunden eines Jahres.

Analog erfolgt die Ermittlung der Kühlgradstunden G_K . Sie sind ebenfalls auf die Temperaturdifferenz bezogen (zwischen mittlerer Außentemperatur T_a und Zulufttemperatur T_{zu}).

Hinweise zur Berechnung, Tabellen und Beispiele zur Anwendung finden sich in [DIN4710] und [ReSpSc95].

4.2.2 Kennwertbildung als Grundlage für Energieverbrauchsreduzierungen

Die Bildung von Energiekennwerten dient der besseren Vergleichbarkeit von Gebäuden, Liegenschaften etc. untereinander. Durch die Möglichkeit des Vergleichs ist es insbesondere in großen Liegenschaften möglich, Schwachstellen zu erkennen und diese gezielt zu eliminieren. Der Vergleich von Kennwerten wird auch häufig unter dem Begriff „Benchmarking“ zusammengefaßt. Letzteres wird allerdings meistens als reiner Leistungsvergleich („Vergleich mit den Besten“) verstanden.

Die Kennwertbildung basiert zumeist auf einfachen und leicht beschaffbaren Größen. Häufig wird dafür die Fläche (Hauptnutzfläche – HNF – nach DIN 277) herangezogen³⁴. Nicht immer sind die HNF oder auch NF, NGF oder BGF die am besten geeigneten Bezugsgrößen. In vielen Fällen können andere Größen, wie Studenten- und Beschäftigtenzahl, beheizte oder energieverSORgte Flächen, Rauminhalt, nutzungsbezogenen Flächen o. ä. sinnvoller sein. Unter Umständen ist es

³⁴ In der VDI 3807 (Teil 1) sind Flächen-Umrechnungsfaktoren (u. a. HNF, NF, NGF u. BGF) für verschiedene Gebäudearten aufgeführt. An der Universität Bochum wurde zur Umrechnung der Energiebezugsfläche (EBF) auf die Hauptnutzfläche (HNF) mit einem Faktor 0,65 ($\text{HNF} = 0,65 \cdot \text{EBF}$) gerechnet.

auch empfehlenswert, mehrere Bezugsgrößen miteinander zu verknüpfen. Die verwendeten Kennwerte sind immer auch auf die Zeit bzw. einen Zeitraum (in der Regel ein Jahr) bezogen.

Bei der Auswahl der Bezugsgröße sind folgende Aspekte von großer Wichtigkeit:

- die Bezugsgröße(n) muß (müssen) für alle zu vergleichenden Gebäude bzw. Einheiten hinreichend genau beschaffbar sein. Es macht wenig Sinn, für einen Hochschulstandort den Brutto-rauminhalt als Basis für die verbrauchte Wärmemenge festzulegen, wenn dieser Wert lediglich für einige Neubauten zur Verfügung steht.
- Der Zweck des Vergleichs darf durch die Wahl der Bezugsgröße(n) nicht eingeschränkt werden. So ist es wichtig festzulegen, ob ein eingeschränkter Vergleich, beispielsweise nur eines Gebäudes über einen längeren Zeitraum, durchgeführt werden soll, oder ob unterschiedliche Gebäude (ggf. aus verschiedenen Liegenschaften) zu berücksichtigen sind. Auch die Betrachtung von Verbrauchs- bzw. Kostengruppen erfordert einheitliche Bezugsgrößen. In der Praxis nützt es beispielsweise wenig, wenn zwar exzellentes Kennwertmaterial vorliegt, jedoch der Vergleich dadurch erschwert wird, daß beispielsweise der Verbrauch bzw. Kosten bei der Heizwärme je nach Gebäude uneinheitlich auf die Anzahl von Mitarbeitern und Studenten, HNF, beheizte Fläche oder BRI bezogen ist. Noch schwieriger wird es, falls spezifische Betriebs- oder Energiekosten zusammengefaßt verglichen werden sollen, wenn beispielsweise Stromverbrauch auf die HNF, Wärmeverbrauch auf die beheizte Fläche und Wasserverbrauch auf die Mitarbeiterzahl bezogen wird.
- Für spezielle Vergleiche, die sich auf einzelne Gebäude, Fachbereiche, Anlagen oder besondere Einrichtungen beziehen, kann es sinnvoll sein, spezielle Bezugsgrößen zu verwenden. Im Klinikbereich ist beispielsweise die Bettenzahl üblich.

Bei einem an der Universität Bochum durchgeführten Vergleich unterschiedlicher Universitäten wurden 1996 Stromverbrauchskennwerte ermittelt, die sich zwischen ca. 120 und 240 kWh pro m² HNF im Jahr bewegten. Bei den Wärmeverbräuchen lagen die Werte zwischen etwa 160 und etwa 450 kWh pro m² HNF [Katten99].

Aufwendig gestaltet sich in der Regel bereits die Beschaffung von Daten der eigenen Liegenschaft. Aussagefähige Vergleichswerte anderer Liegenschaften sind oft nur schwer zu bekommen. Häufig sind Vorbehalte bei der Weitergabe von Daten an Dritte zu beobachten. Wünschenswert wäre hier eine stärkere Orientierung der Hochschulen dahingehend, solche Vergleiche weniger als mögliche Gefahr durch das Preisgeben ggf. vorhandener Defizite zu sehen, sondern als Chance zu begreifen, dadurch Schwachstellen leichter erkennen und beheben zu können.

Bekannt ist, daß für die öffentlichen Gebäude in jedem Bundesland entsprechende Datensammlungen seit langem existieren und jährlich aktualisiert werden. Die Betriebsüberwachungsstellen der Länderbauverwaltungen³⁵ führen diese Daten und sollten in der Lage sein, entsprechende Vergleichskennzahlen zur Verfügung zu stellen. Eine Sammlung von Vergleichskennwerten verschiedener Gebäude (nach Bauwerkszuordnungskatalog) findet sich auch in der VDI 3807 (Blatt 2).

Es sollte aber vor allem im Interesse einer jeden Hochschule liegen, den Zugriff auf einen entsprechenden Datenbestand der eigenen Liegenschaften zu haben und ggf. selbsttätig Erfassungen und Auswertungen vorzunehmen, so daß Verbräuche über mehrere Jahre hinweg dokumentiert werden können. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf die zukünftig stärkere Finanzautonomie und damit Eigenverantwortlichkeit im Hochschulbereich.

³⁵ In der Regel sind diese in den Oberfinanzdirektionen angesiedelt, in Baden-Württemberg bei der Zentralstelle für Bedarfsbemessung und Wirtschaftliches Bauen – Technik im Bau in Stuttgart und in Nordrhein-Westfalen beim Landesinstitut für Bauwesen (LB) in Aachen, in Hamburg bei der Umweltbehörde.

4.3 Prioritätenlisten

Das Vorhandensein von Kennwerten erleichtert die Auswahl der Objekte, für die sich Investitionen in energiesparende Technik oder die Durchführung organisatorischer Maßnahmen zur Reduzierung des Energiebedarfs am ehesten lohnen. Beispielsweise können die Gebäude (bzw. Institute oder Anlagen) mit den höchsten Verbrauchskennwerten herausgefiltert werden. Im nächsten Schritt werden daraus die Gebäude ausgewählt, die absolut die höchsten Einsparungen erwarten lassen. Die Umsetzungspriorität kann sich nach der dynamischen Amortisationszeit der einzelnen Maßnahmen richten [Katten99]. Um mehrere Maßnahmen in sinnvoller Abstimmung aufeinander umsetzen zu können, kann ein „Maßnahmen-Ranking“ (Prioritätenliste) erstellt werden (vgl. [Kruhl99]). Hierin können neben der wirtschaftlichen Betrachtung (Amortisation) auch vorgesehene Sanierungsmaßnahmen einfließen.

In den meisten Fällen können die Daten mit Hilfe einfacher DV-Mittel (Tabellenkalkulation oder Datenbank) bearbeitet werden und dabei Sortierungen und weitere Auswertungen so durchgeführt werden, daß eine Prioritätenliste erstellt werden kann. Eine Rangfolge von Maßnahmen zur Energieeinsparung könnte sich z. B. an der Amortisationszeit orientieren [Katten99]:

1. Organisatorische Maßnahmen (Amortisationszeit = 0 Jahre),
2. Rotationswärmetauscher-Einbau (Amortisationszeit = 2 Jahre),
3. ...

Die Beurteilung der Gebäude darf sich nicht nur an den Kennwerten orientieren. Randbedingungen sind in jedem Fall mit zu berücksichtigen. Beispielsweise liegt ein angenommenes Gebäude A mit einem jährlichen Heizenergieverbrauch von ca. 350 kWh/m² HNF im oberen Bereich. Ein anderes Gebäude B hat dagegen mit 200 kWh/m² HNF pro Jahr im Vergleich zu Gebäude A einen wesentlich niedrigeren Verbrauch. Sanierungsmaßnahmen wären – sofern nur der spezifische Verbrauch betrachtet wird – vorrangig im Gebäude A durchzuführen. Ist die Gesamtfläche in Gebäude A aber wesentlich kleiner als in Gebäude B, z. B. 1.000 m² HNF (Gebäude A) gegenüber 10.000 m² HNF (Gebäude B) dann bedeutet eine 10 %ige Reduzierung des Verbrauchs von Gebäude B eine Einsparung von 200 MWh pro Jahr entsprechend, bei einem angenommenen Wärmepreis von 80 DM/MWh also 16.000 DM. Im Gebäude A wäre eine Energieeinsparung von fast 60 % notwendig, um das gleiche absolute Ergebnis zu erhalten wie in Gebäude B. Im Beispiel sind die Investitionen für Einsparmaßnahmen unberücksichtigt geblieben. Ist beispielsweise im Gebäude B nur eine Änderung der Abschaltzeiten in der Gebäudeleittechnik erforderlich, während im Gebäude A aufwendige Wärmedämmmaßnahmen erforderlich wären, so müßte die Entscheidung zwangsläufig zugunsten der Maßnahme in Gebäude A ausfallen.

4.4 Bedarfsermittlung

Zur Beurteilung der Energieeffizienz von Gebäuden sowie zur Schaffung von Anreizsystemen und Budgetierungsverfahren ist es notwendig, den Energiebedarf zu kennen. Er läßt sich aus den vorhandenen Energiekennwerten (Vergleichswerte) oder mit Hilfe spezieller Berechnungs- und Simulationsverfahren ermitteln. Ein Verfahren, das häufig Verwendung findet, ist die Wärmebedarfsberechnung nach der Wärmeschutzverordnung, die bei Neubau- und Sanierungsmaßnahmen gesetzlich vorgeschrieben ist.

Im Gegensatz zum Energieverbrauch, der sich immer auf den Ist-Zustand bezieht, stellt der Energiebedarf eine Soll-Größe dar, die sich aus den baulichen und technischen Gegebenheiten sowie Nutzungsart und -zeit ergibt. Wird beispielsweise in einem Hörsaalgebäude eine Lüftungsanlage betrieben, die ohne Unterbrechung (24 h) läuft, obwohl der Hörsaal lediglich acht Stunden am Tag genutzt wird, so beträgt der Energiebedarf (für Lüftung, ggf. auch für Wärme und Licht) vereinfacht lediglich ein Drittel des tatsächlichen Verbrauchs (ohne Berücksichtigung der Zeiten, die für die Raumkonditionierung zu Beginn der Nutzung erforderlich sind).

Bei der Ermittlung gebäudespezifischer Bedarfskennwerte sind unterschiedliche Ansätze möglich:

- Die Bedarfsermittlung kann mit Hilfe von vorhandenen Energiekennwerten erfolgen. Für die Festlegung des Bedarfs kann z. B. der Mittelwert des Jahresverbrauchs eines bzw. mehrerer Gebäude als Maßstab dienen. Aus den Verbräuchen über mehrere Jahre hinweg kann ein Bedarf festgelegt werden. Aus größeren Abweichungen der jeweiligen Verbräuche vom Durchschnittswert können sich Hinweise auf Schwachstellen ergeben. Allerdings findet damit keine echte Bedarfsermittlung statt, da sich der Soll-Wert jeweils aus dem Ist-Verbrauch ergibt und die tatsächliche Nutzung bzw. mögliche organisatorische und technische Verbesserungen keine oder nur indirekte Berücksichtigung finden. In vielen Fällen, insbesondere wenn es sich dabei um eine komplexere Versorgungsstruktur handelt, wird dieses Verfahren lediglich Anhaltspunkte für grobe Veränderungen liefern können.
- Alternativ kann es sich anbieten, einen Vergleich mehrerer geeigneter Gebäude mit jeweils gleicher oder ähnlicher Nutzung durchzuführen (z. B. Gebäude mit büroartiger Nutzung, Physiklabore, Chemielabore, Hörsäle usw.) und daraus z. B. durch Mittelwertbildung einen Bedarfswert festzulegen. Die Daten können aus der eigenen Liegenschaft, oder auch von anderen Einrichtungen stammen. Letzteres ist insbesondere dann von Interesse, wenn es darum geht, die eigene Situation (Ist-Zustand, Erfolge und Defizite) unabhängig von besonderen Einflüssen der eigenen Liegenschaft zu überprüfen und ggf. Ziele festzulegen. Hier taucht allerdings oft das Problem auf, daß für die Vergleichsgebäude meist nicht die benötigten Randbedingungen der Nutzung zur Verfügung stehen, so daß die Interpretation der Vergleichswerte mit Unsicherheiten behaftet ist.
- Die Auswahl geeigneter Gebäude, kann durch bestimmte Kriterien ergänzt werden, beispielsweise durch vergleichbare Bausubstanz (Alter und Bauweise).
- Die Ermittlung bzw. Abschätzung des Energiebedarfs aus der Nutzung und Bauphysik des Gebäudes mit Berücksichtigung größerer Einzelverbraucher liefert die besten Ergebnisse. Dabei kann mit Hilfe von Simulationsverfahren (z. B. im Bereich der Raumluftechnik) eine sehr detaillierte Bedarfsermittlung durchgeführt werden. Diese Lösung kann aber – in Abhängigkeit vom Genauigkeitsgrad – sehr aufwendig werden. Außerdem stellen Eingangsgrößen, die vom Nutzerverhalten abhängen, immer eine Unsicherheit dar.

Die Ermittlung des Energiebedarfs sollte getrennt nach Wärme und Strom erfolgen. Eine weitere Aufschlüsselung z. B. nach Raumluftechnik (Wärme, Strom), Prozeßwärme, Dampf, Beleuchtung (Strom), Druckluft (Strom) etc. ist bei höheren Anforderungen an die Genauigkeit in Betracht zu ziehen.

4.4.1 Wärmebedarf

Verfahren zur Ermittlung des Wärmebedarfs werden in der Praxis bereits häufig angewendet und können daher als Standard gelten. Der Wärmebedarf resultiert bei den meisten Gebäuden nur aus dem Bedarf für Raumheizung und kann somit (ggf. unter Berücksichtigung von inneren Wärmelasten sowie solaren Wärmegegewinnen) aus der Bauphysik des Gebäudes abgeleitet werden. Vor allem durch die Wärmeschutzverordnung [WSVO1994] sowie entsprechende Normen [EN832] ist die Wärmebedarfsberechnung für Neubauten obligatorisch geworden. Ein anderer Weg ist die Ermittlung von Wärmebedarfskennwerten aus den Verbräuchen zurückliegender Jahre (s. o.). Beispielsweise kann für Gebäudegruppen (z. B. büroartige Nutzung) ein Mittelwert über mehrere Jahre gebildet werden, der als Bedarfskennwert verwendet wird. Um bei der Wärme oder Klimakälte Verfälschungen durch jahresbedingte Temperaturschwankungen zu eliminieren, ist eine Korrektur über die Gradtagzahl (s. a. unter 4.2.1.1) erforderlich.

4.4.2 Strombedarf

Im Vergleich zum Wärmebedarf gestaltet sich die Ermittlung des Strombedarfs schwieriger. Hier ist zu unterscheiden zwischen den betriebstechnischen Anlagen und solchen Anlagen und Geräten, die ausschließlich der Forschung und Lehre dienen. Zwar sind Sparmaßnahmen grundsätzlich in allen Bereichen anzustreben, der Strombedarf für Forschung und Lehre läßt sich jedoch nicht immer hinreichend genau abschätzen. Dies gilt insbesondere für die Forschung, in der z. T. aufwendige Versuchsreihen mit hohem Energiebedarf durchgeführt werden. Erschwerend kommt hinzu,

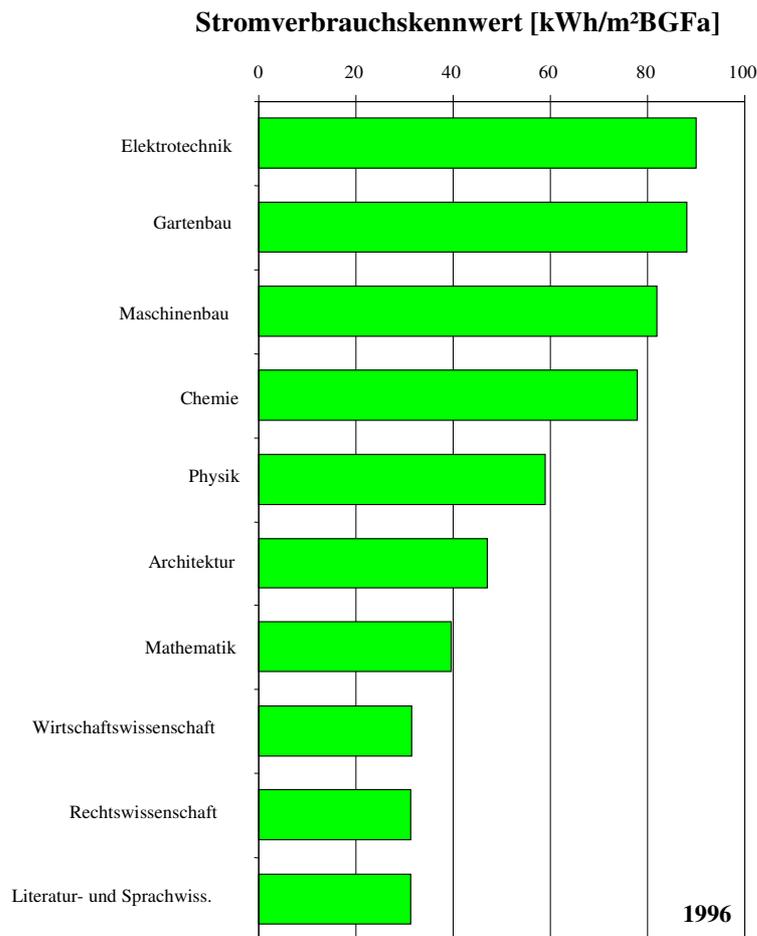


Abb. 17: Stromverbrauchskennwerte für ausgewählte Fachbereiche [Kruhl99].

daß der Energiebedarf sich in den Fachbereichen nutzungsbedingt erheblich unterscheiden kann. Dies lassen zumindest die ermittelten Stromverbräuche (s. **Abb. 17**) vermuten.

Ein pragmatischer Weg zur Ermittlung des Strombedarfs besteht darin, zunächst von bekannten bzw. relativ leicht zu ermittelnden Größen wie dem Energieverbrauch für Beleuchtung auszugehen und ergänzend, zumindest für Anlagen, die Forschungszwecken dienen und sich durch hohe Anschlußwerte bzw. hohe Nutzungszeiten auszeichnen, Energiezähler vorzusehen und die Messungen in Verbindung mit den Nutzungszeiten auszuwerten. Bei der Vielzahl unterschiedlicher elektrischer Verbraucher, deren jeweilige Betriebszeit in der Regel nicht bekannt ist, ist eine Prognose des Strombedarfs allerdings nahezu unmöglich.

Allgemeine Ansätze zur Ermittlung des Strombedarfs finden sich in der VDI-Richtlinie 3807 (Teil 2) Für eine genauere Betrachtung bzw. Optimierung sind sie aber nicht geeignet. Im Rahmen des IMPULS-Programms Hessen ist vom Ingenieurbüro Amstein + Walthert ein Kurz-Berechnungsverfahren entwickelt worden. Das unter der Bezeichnung „Stromsparmcheck für Gebäude“ bekannt gewordene Verfahren soll „zur Analyse und Optimierung des Stromverbrauchs von bestehenden Gebäuden und zur planungsbegleitenden Optimierung von Neubauten geeignet sein“ [Hörner98], [Hörner99]. Das Verfahren ist vorwiegend zum Einsatz in Büro- und Verwaltungsgebäuden, Ladengeschäften, Warenhäusern, Supermärkten, Schulen, Kindergärten und Krankenhäusern geeignet. Es orientiert sich an der Empfehlung SIA 380/4 des schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins.

Der Stromverbrauch des Gebäudes wird in einer Matrix erhoben, wobei die Daten nach Nutzungszonen und Verwendungszwecken standardisiert erfaßt werden. Für die Bereiche Beleuchtung, Lüftung und Kälte sind Vergleichskennwerte für typische Nutzungsarten in Dienstleistungsgebäuden verfügbar.

Das Verfahren berücksichtigt, daß der Stromverbrauch in der Regel in bestimmten Bereichen (Gebäude, Nutzungsbereiche) nicht durch Messungen ermittelt worden ist. Er wird daher mit Hilfe der in den meisten Fällen bekannten installierten Leistung berechnet:

$$W_{el} = P_{inst.} \cdot h_{voll}$$

Mit h_{voll} ist die Vollbetriebszeit, die sich aus speziellen Betriebsfaktoren f_B und der Nutzungszeit h_N ergibt: $h_{voll} = f_B \cdot h_N$.

Die Betriebsfaktoren sind exemplarisch für verschiedene Nutzungsarten verfügbar. Sie berücksichtigen unterschiedliche Betriebsweisen der Anlagen sowie weitere Randbedingungen wie die eingesetzte Steuer- und Regelungstechnik [Hörner98].

An der Universität Hannover wurden Wärmeverbrauchs-Sollwerte für den Gebäudebestand ermittelt und den tatsächlichen Verbrauchswerten (Ist-Werten) gegenübergestellt. Aus der Differenz in Verbindung mit der Gebäudedimension wurde das Einsparpotential ermittelt und diente als Kriterium bei der Erstellung einer „Prioritätenliste Wärme“.

Darüber hinaus wurde auf der Basis einer Standard-Datenbank ein System entwickelt, mit dem der Strombedarfskennwert eines Gebäudes unter Angabe nutzungsspezifischer Daten ermittelt werden kann. Die Berücksichtigung technischer Randbedingungen in unterschiedlichen Eingabedatenblättern bietet außerdem die Möglichkeit, individuelle Kennwerte für einzelne Gebäude zu generieren. Mit Hilfe von geeigneten grafischen Auswertungen vereinfacht sich die Identifizierung der wesentlichen Verbraucher innerhalb eines Gebäudes. Durch Variation von Eingabeparametern kann zudem die wirtschaftliche und ökologische Zweckmäßigkeit unterschiedlicher Maßnahmen gegeneinander abgewogen werden. [Kruhl99]

4.5 Anreizsysteme

4.5.1 Energiekostenbudgetierung

In [Kruhl99] wird davon ausgegangen, daß die Zielsetzung der stetigen Verbrauchskontrolle und die Entwicklung konkreter Maßnahmen (Prioritätenlisten) sowie die Budgetierung von Energie und Medien eine Kennwertbildung einerseits auf Gebäudeebene und andererseits für Nutzergruppen wie Institute und Fachbereiche nahelegt. Nutzungsspezifische Untersuchungen sind für eine zukünftig leistungsbezogene Finanzmittelvergabe an Hochschulen eine wesentliche Grundlage.

Die Ermittlung tatsächlicher Einsparpotentiale wird jedoch nur unter Einbeziehung der gebäude-spezifischen Nutzung möglich. Dies liegt darin begründet, daß die in einem Gebäude ausgeübten Tätigkeiten einen unterschiedlichen Bedarf an Energie- und Stoffströmen zur Folge haben, der bei der Auswertung als Kriterium zu berücksichtigen ist. Dies führt auf die Bildung von „Bedarfskennwerten“ als Sollwerte. Sollwerte werden als Bewertungskriterium dem tatsächlichen Verbrauch gegenübergestellt; aus der Abweichung kann die Priorität zur Durchführung von Maßnahmen bestimmt werden.

In [Erdbor99] wird davon ausgegangen, daß der Stromverbrauch und damit auch die Stromkosten aufgrund fehlender Zähler nicht für jede Kostenstelle ermittelt werden kann. Eine genaue Abrechnung wird außerdem oft dadurch erschwert, daß in einem Gebäude mehrere Institute untergebracht sind.

Das für die TU Berlin entwickelte Verfahren (s. [Erdbor99]) bedient sich neben dem gemessenen Gesamtstromverbrauch der einzelnen Gebäude noch weiterer Größen zur Bedarfs- und Verbrauchsermittlung der einzelnen Kostenstellen:

- Genutzte Fläche,
- genutzte Flächenarten (Büro, Labor etc.),
- flächenabhängiger Stromverbrauchsvergleich der Kostenstellen mit dem universitären Durchschnitt,
- aus Leistungs- und Laufzeitdaten errechnete Verbrauchswerte stromintensiver Geräte (Raumluftechnik, Geräte für Forschung und Lehre etc.).

Entsprechende Daten müssen vorhanden sein bzw. erhoben werden. Eigene Zähler je Kostenstelle sind nicht erforderlich, erhöhen aber die Genauigkeit.

Weitere Voraussetzungen ergeben sich aus dem Haushaltsrecht. So muß eine Deckungsfähigkeit des Titels Energiekosten mit anderen Titeln innerhalb der Hochschule gegeben sein. Außerdem ist die Übertragbarkeit der Mittel auf das nächste Haushaltsjahr erforderlich.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, daß die Budgetzuweisungen dynamisch an sich ändernde Verhältnisse angepaßt werden. Dies kann beispielsweise durch die Bildung des Budgets aus dem Mittel der Verbrauchswerte der letzten drei Jahre erreicht werden. Durch Einsparungen einzelner Nutzer (Kostenstellen) vermindert sich auch der Gesamtstromverbrauch. Von diesen Reduzierungen profitiert zunächst der Nutzer direkt, da die Abrechnung der Stromkosten geringer als das Budget ausfällt. Zeitverzögert fallen die Budgetzuweisungen dann in den Folgejahren aber geringer aus, da sich durch die Einsparungen auch eine Verringerung des Durchschnittsverbrauchs ergibt. Dies hat wiederum eine Entlastung des Gesamthaushaltes der Universität zur Folge (s. **Abb. 18**).

Zur Erhöhung der Einsparmotivation sollten die betreffenden Einrichtungen regelmäßig über ihren aktuellen Verbrauchsstand und das aktuelle Budget (Restbestand) informiert werden.

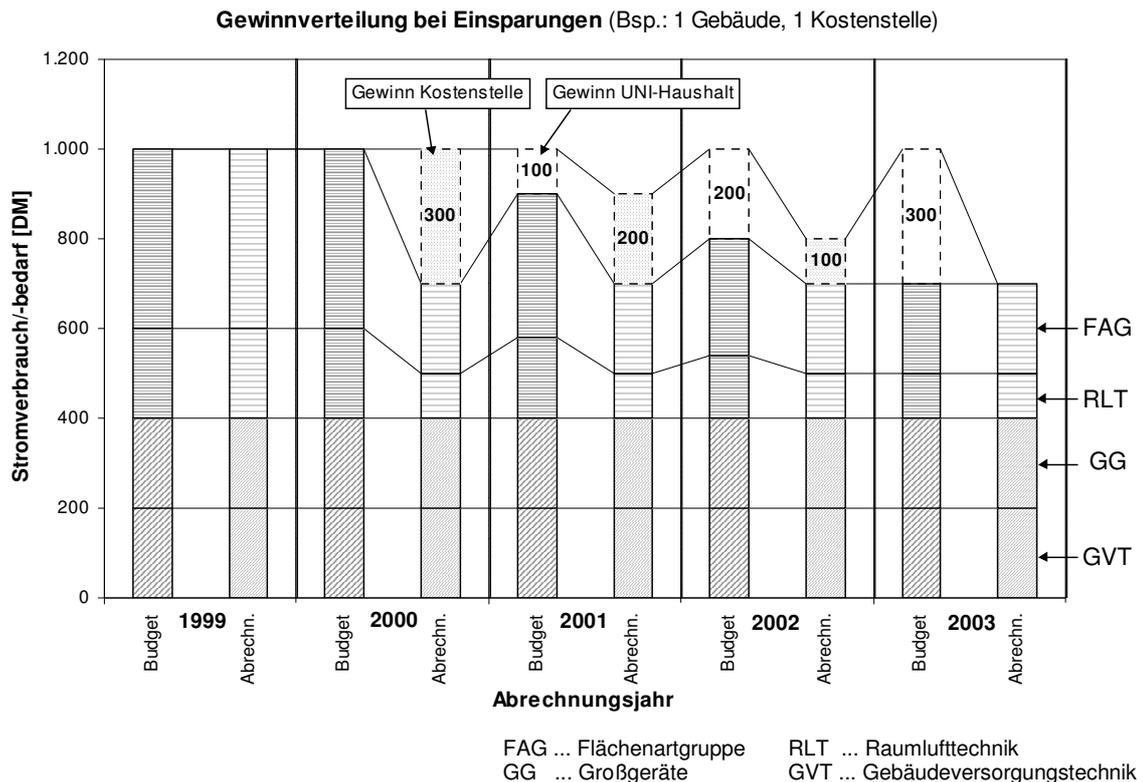


Abb. 18: Stromkosten-Budgetierungsmodell der TU Berlin [Erdbor99]

An der Universität Hannover wird seit dem Frühjahr 1996 an der Erfassung und Dokumentation des Energie- und Wasserverbrauchs sowie des Abfallaufkommens gearbeitet. Auf der Grundlage von Kennwertsystemen wird ein Konzept entwickelt, dessen Zielsetzung die Verringerung der Energie- und Stoffströme beinhaltet. Wesentliche Ergebnisse der bisherigen Arbeit sind im „Umweltbericht der Universität Hannover 1998“ zusammengefaßt, der über die Pressestelle der Universität bezogen werden kann [GiKrMu99].

An der TU Berlin wurde ein Projekt zur Stromkostenbudgetierung begonnen. Darin wird den einzelnen Kostenstellen (z. B. Institute, Verwaltungseinheiten) pro Haushaltsjahr ein eigenes Budget zugewiesen, das nach ihrem Bedarf bemessen wird. Fällt dabei der Stromverbrauch geringer aus als der ermittelte Bedarf, so wird der eingesparte Restbetrag den jeweiligen Kostenstellen gutgeschrieben. Liegt der Verbrauch höher als vorgegeben, so sind die Mehrkosten aus anderen Titeln zu decken. Ziel der Stromkostenbudgetierung (und allgemein der Energiekostenbudgetierung) ist es, Einsparpotentiale durch Motivation der Nutzer zu erschließen. Das Projekt wurde, basierend auf Diplomarbeiten, 1996 begonnen. Das entwickelte Verfahren ist auch auf andere Hochschulen übertragbar. Eine Erweiterung auf den Bereich Wärme ist vorgesehen.

Ausgegangen wurde von möglichen Einsparpotentialen durch den Nutzereinfluß von bis zu 20 %. Bei einer jährlich steigenden Einsparquote im Bereich von 4 % (im ersten Jahr) bis zu 11 % (in den Folgejahren) ist mit einer Amortisation der Maßnahmen (bezogen auf die vermiedenen Stromkosten beim EVU) von ca. drei Jahren zu rechnen. Die Investitionen wurden mit 0,50 bis 1,00 DM/m² NGF und die jährlichen Betriebskosten mit 0,05 bis 0,07 DM/m² NGF – je nach Komplexität der Institution – angegeben. [Erdbor99]

4.5.2 Nutzermotivation

An den Hochschulen steht Energie normalerweise allen Nutzern nahezu ohne Einschränkungen zur Verfügung. Solange sich der Energiebezug im üblichen Rahmen hält, d. h. nicht zu Auffälligkeiten bei den Kosten (z. B. durch sehr hohe Verbräuche oder sichtbare Überschreitungen des Lei-

stungsbezugs) führt, sind auch bei einem wenig sparsamen Umgang mit Energie für die Nutzerseite keine Beschränkungen seitens der Hochschulleitung zu befürchten.

Eine Motivation zum sparsamen Umgang mit Energie ist unter diesen Bedingungen allenfalls aus ideellen Gründen (Umweltschutz, Ressourcenschonung) vorhanden. Diese Beweggründe können jedoch – auch unter dem Aspekt der Vorbildfunktion der Hochschulen – durch Mitarbeiter mit speziellen Aufgaben, wie Energie- und Umweltbeauftragte verstärkt werden. Diese dienen den Nutzern als Ansprechpartner und können durch Publikationen (z. B. in der Hauszeitschrift der Hochschule) und Aushänge o. ä. (Schwarze Bretter, Intranet etc.) sowie in Einzelgesprächen mit Fachbereichen und anderen Organisationseinheiten das Anliegen deutlich machen.

Erfahrungen an der ETH Zürich haben gezeigt, daß eine Abstimmung von Maßnahmen mit den jeweils Betroffenen sehr wichtig ist. „Es sind nur wenige Fälle denkbar, in denen Aktionen gegen den Willen der Betroffenen erfolgreich durchgeführt werden können“ [Jenni98].

Zur Motivation können außerdem Fortbildungs- und Informationsveranstaltungen beitragen, wie sie beispielsweise an der TU Berlin durchgeführt werden [Albrec98].

Wesentlich effektiver für eine Motivation sind Modelle, bei denen die Nutzer an den eingesparten Energiekosten finanziell beteiligt werden. Bekannt sind hier die Erfolge im kommunalen Bereich (z. B. an Schulen) erreichten Erfolge. In Hamburg wurde entsprechendes auch für die Universität realisiert [Zeise98]. An der TU Berlin sind die Vorbereitungen für ein solches Modell im Rahmen der Energiekostenbudgetierung bereits weit fortgeschritten [Erdbor99].

Auf diese Weise sind in einigen Hamburger Schulen unter dem Stichwort „fifty-fifty“ erhebliche Einsparungen erzielt worden, so daß dieses Modell auf kommunaler Ebene in vielen Einrichtungen übernommen wurde. In Hamburg wurde das Modell in ähnlicher Form auch an den Universitäten eingeführt. Das bedeutet, daß die durch Energieverbrauchsreduzierungen eingesparten Haushaltsmittel zu einem Teil dem Fachbereich zur weiteren Verwendung zufließen, ein weiterer Teil entlastet den Gesamtetat der Universität.

Die Beteiligung interessierter Kreise an der Entwicklung von Strategien und Maßnahmen zur Energieeinsparung ist ebenfalls geeignet, Anreize für einen bewußteren Umgang mit Energie zu schaffen. Die Möglichkeit hier gestaltend mitzuwirken, führt insbesondere auf der Nutzer- bzw. Anwenderseite zu einer höheren Motivation. Realisiert wurde in diesem Zusammenhang an der Universität Hamburg der „Runde Tisch Energie“, der bereits eine Reihe von Maßnahmen angeregt hat [Zeise98].

4.6 Wirtschaftliche Bewertung der Maßnahmen

Die Durchführung energiesparender Maßnahmen wird sich, sofern es sich dabei um investive Maßnahmen handelt, in der Regel einer Überprüfung der Wirtschaftlichkeit stellen müssen. Der Nachweis kurzer bzw. akzeptabler Amortisationszeiten kann dazu dienen, die Umsetzung von Maßnahmen zu beschleunigen. Da die verfügbaren Mittel an den Hochschulen beschränkt sind, ist davon auszugehen, daß – abgesehen von speziell geförderten Maßnahmen – die Kosteneinsparung im Vordergrund steht.

Im folgenden sind Beispiele für die Wirtschaftlichkeitsberechnung aufgeführt. Die unterschiedlichen Rechenverfahren basieren auf einheitlichen finanzmathematischen Grundlagen, berücksichtigen zum Teil aber unterschiedliche Faktoren, außer dem Zins beispielsweise auch die Steigerung von Energiepreisen. Für die Praxis empfiehlt es sich, ggf. mehrere Berechnungen mit unterschiedlichen Annahmen durchzuführen, um so die Auswirkungen veränderter Randbedingungen (z. B. zeitweilig sinkende Energiepreise) berücksichtigen zu können.

Eine betriebswirtschaftliche Betrachtung von Investitionsmaßnahmen wird sich im einfachsten Fall an der Amortisationszeit orientieren. Für eine überschlägige Berechnung bzw. bei zu erwartenden kurzen Amortisationszeiten (max. 1–2 Jahre) kann eine statische Berechnung durchgeführt werden. Sie führt aber zu ungenauen oder falschen Bewertungen bzw. Ergebnissen bei längeren Amortisationszeiten, weil dann zusätzliche Faktoren wie Kapitaldienst, Energiepreissteigerungen etc. eine größere Rolle spielen:

$$n = \frac{K}{E}$$

mit: n ... Amortisationszeit, K ... Investitionskosten, E ... jährliche Einsparung.

Beispiel: Bei einer Investition von $K = 100.000$ DM und einer angenommenen jährlichen Einsparung $E = 15.000$ DM wird $n = 6,7$ Jahre.

Bereits für vereinfachte Betrachtungen über einen längeren Zeitraum ist die o. g. Methode nicht geeignet. Sie berücksichtigt nicht die Verzinsung des eingesetzten Kapitals.

Bei der Annuitätenmethode wird von einem investierten Kapital K ausgegangen, das während der Nutzungsdauer der Anlage von n Jahren amortisiert wird. Die Annuität (auch Tilgung) A errechnet sich aus der Multiplikation des Kapitals mit dem Annuitäts- oder auch Kapitalwertfaktor a . Dieser Faktor läßt mit Hilfe des Zinssatzes p berechnen, oder einschlägigen Tabellen entnehmen (z. B. [VDI2067]).

$$A = K \cdot a = K \cdot \frac{p \cdot (1 + p)^n}{(1 + p)^n - 1}$$

Sofern die (bekannte bzw. angenommene) jährliche Einsparung E größer ist als die Annuität A , d. h. $E > A$, ist eine Investition lohnend.

Beispiel: Bei einer angenommenen Lebensdauer n der Anlage von 12 Jahren, einem Zinssatz von 5 % und einer Investitionssumme von 100.000 DM, ergibt sich die Annuität a zu 11.283 DM. Da mit einer Einsparung von $E = 15.000$ DM $E > A$ gilt, lohnt sich die Investition.

Aus der obigen Gleichung läßt sich auch die Amortisationszeit bestimmen, wenn die Gleichung nach n aufgelöst wird:

$$n = \frac{\lg \frac{E}{E - K \cdot p}}{\lg(1 + p)}$$

Beispiel: Bei einer angenommenen Investitionssumme von 100.000 DM, bei einem Zinssatz von 5 % und einer jährlichen Einsparung von $E = 15.000$ DM, ergibt sich eine Amortisationszeit n von ca. 8,3 Jahren.

Häufig findet die sog. Barwertmethode Anwendung. Der Barwert B bezeichnet die Summe aller Einsparungen E , die während der Nutzungsdauer n erreicht werden, jedoch diskontiert (abgezinst) auf den Investitionszeitpunkt. Er errechnet sich aus:

$$B = \frac{E}{a} = E \cdot \frac{(1 + p)^n - 1}{p \cdot (1 + p)^n}$$

Die Investition ist dann wirtschaftlich, wenn die Differenz aus Barwert und Investition positiv ist, d. h. $B - K > 0$.

Beispiel: Unter den obigen Bedingungen ($n = 12$ Jahre, $p = 5$ %) errechnet sich der Barwert B zu 132.949 DM. Es gilt damit $B - K > 0$, d. h. die Investition ist wirtschaftlich.

Die beschriebenen Berechnungsverfahren berücksichtigen die Kosten der Kapitalzinsen, die bei Investitionen anfallen. Veränderungen von Preisen, Lohn- und anderen Kosten bleiben unberücksichtigt. Die sog. dynamische Berechnung berücksichtigt auch diese Faktoren. Die Amortisationszeit berechnet sich unter Berücksichtigung der Preissteigerungsrate q , die sich z. B. bei Energiepreisen verkürzend auf die Amortisationszeit auswirkt zu:

$$n = \frac{\lg \left[1 + \frac{K}{E} \cdot (q - p) \right]}{\lg \frac{1+q}{1+p}}$$

Beispiel: Unter den vorab genannten Bedingungen, jedoch mit Berücksichtigung einer jährlichen Energiepreissteigerung q von 2 % ergibt sich eine Amortisationszeit n von 7,7 Jahren.

Im obigen Beispiel wurden bereits die Energiepreissteigerungen berücksichtigt. Genauere Betrachtungen erfordern die Einbeziehung der Kosten für die Wartung sowie des Restwertes von Anlagen, soweit diese durch neue energiesparendere Anlagen ersetzt und nicht mehr wiederverwertet werden können. Außerdem kann ein Bonus (Umweltbonus) für energiesparende Investitionen berücksichtigt werden.

Die betriebswirtschaftlich maximal zulässige Investition ergibt sich aus (Darstellung in Anlehnung an [Glasne93]):

$$K = E \cdot f \cdot (1 + U) - R$$

mit: K ... Maximale Investitionskosten, E ... jährliche Energiekosteneinsparung (Bezug: erstes Jahr), f ... Berechnungsfaktor, U ... Bonus (sofern vorhanden), R ... Restwert der Anlage abzüglich ggf. erreichter Erlöse aus Verkauf oder Weiterverwertung

Der Faktor f berechnet sich aus:

$$f = \frac{\left(\frac{1+q}{1+p} \right)^n - 1}{(1+p) \cdot \left(\frac{1+q}{1+p} - 1 \right)} \cdot \frac{1}{1 + \frac{(w+r) \cdot \left[\left(\frac{1+q_a}{1+p} \right)^n - 1 \right]}{(q_a - p)}}$$

r, w ... Instandhaltung (Instandsetzung, Wartung) bezogen auf die Investitionssumme),
 q_a ... allgemeine Preissteigerung (für Instandhaltung), q ... Energiepreissteigerung, p ... Kapitalzins

Beispiel: Unter den Bedingungen wie vor ($E = 15.000$ DM, $p = 5$ %, $q = 2$ %, $n = 12$ Jahre) ergeben sich unter zusätzlicher Berücksichtigung einer jährlichen allgemeinen Preissteigerung q_a von 1,5 % bei einem Anteil für Wartung w von 3% und Instandsetzung r von 2 % maximal wirtschaftliche Investitionskosten K von 99.425 DM. Bei einem angenommenen Restwert der Altanlage (nicht mehr verwertbar) R von 10.000 DM, reduzieren sich diese auf 89.425 DM. Wird noch ein Umweltbonus von 15 % berücksichtigt, so erhöhen sie sich wieder auf 104.338 DM.

In [Glasne93] werden auch Ersatzinvestitionen berücksichtigt. Für Vergleiche verschiedener Investitionsmaßnahmen mit unterschiedlichen Anlagenlebensdauern untereinander empfiehlt sich die Festlegung eines Vergleichszeitraums (z. B. 25 Jahre).

Die Gesamtinvestition K_0 errechnet sich bei mehrfacher (m -facher) Erneuerung der Anlage aus der Anfangsinvestition K_A multipliziert mit einem Faktor I zur Berücksichtigung der Ersatzinvestitionen

(unter Berücksichtigung der Preissteigerung und Verzinsung) und des Restwertes (Faktor R_L) der Anlage (s. **Abb. 19**):

$$K_0 = K_A \cdot l \quad \text{mit} \quad l = 1 + b^n + b^{2n} + \dots + b^{(m-1)n} \cdot (1 - R_L)$$

$$\text{und} \quad b = \frac{1 + q_a}{1 + p}.$$

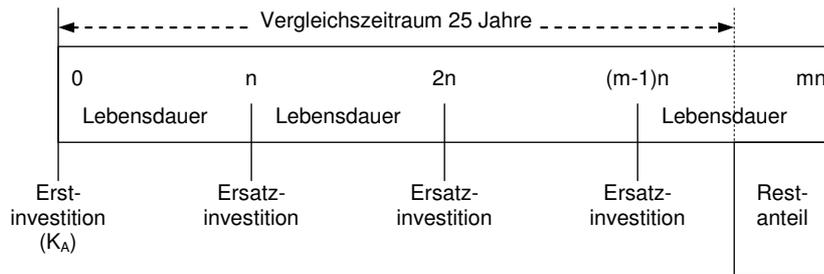


Abb. 19: Durchführung mehrerer Investitionen innerhalb eines Vergleichszeitraumes [Glasne93]

Beispiel: Bei einer Investitionssumme K_A von 30.000 DM, die alle 10 Jahre durchzuführen ist, fallen bei einem betrachteten Zeitraum von 25 Jahren im Anfangsjahr sowie nach 10 und 20 Jahren Investitionen an. Der Restwert für die verbleibenden 5 Jahre bis zur nächsten Investition (nach 30 Jahren) sei mit 30 % ($R_L = 0,3$) angenommen. K_0 errechnet sich demnach zu ca. 62.000 DM (abgezinst auf den heutigen Wert, Zins $p = 5$ %, allgemeine Preissteigerung $q_a = 1,5$ %).

Wird der Vergleich mit einer Einzelinvestition durchgeführt, so gilt hier bei einer beispielhaft angenommenen Lebensdauer von 25 Jahren (mit auf den Investitionszeitpunkt abgezinstem Restwert):

$$l = 1 - \frac{R_L}{(1 + p)^{25}}$$

5 Ausblick

In der jüngsten Zeit haben Energiefragen in den Hochschulen zunehmend an Wichtigkeit gewonnen. Für die Zukunft zeichnen sich eine Reihe von Veränderungen aus unterschiedlichen Richtungen ab, welche die Auseinandersetzung mit dem Thema Energie weiterhin bedeutsam erscheinen lassen:

- Die Liberalisierung der Energiemärkte führt dazu, daß eine weitgehende Freiheit bei der Wahl von Energieversorgern und bei der Vertragsgestaltung besteht. Viele Parameter, die über Jahrzehnte hinweg als nahezu unveränderlich galten, sind mittlerweile frei aushandelbar. Die damit einhergehenden finanziellen Entlastungen sind bereits jetzt beachtlich.
- Durch die Liberalisierung der Energiemärkte, deren Auswirkungen sich aller Voraussicht nach in den nächsten Jahren über den Strom- und Gasmarkt hinaus auch auf die übrigen Märkte für Energie, Wasser etc. zeigen dürften, ist zu erwarten, daß die Ausnutzung monopolistischer Strukturen auf der Lieferantenseite erschwert wird.
- Bonus-Regelungen im Bereich der öffentlichen Hand wären unter diesem Hintergrund möglicherweise besser als bisher geeignet, gesamtwirtschaftlich sinnvolle Investitionen anzuregen. Für die Hochschulen könnte dies bedeuten, daß sie im Rahmen solcher Bonus-Programme Investitionen mit langen Amortisationszeiten tätigen könnten, die andernfalls aus betriebswirtschaftlichen Gründen unterblieben.
- Die weitere technische Entwicklung im Bereich Energieverbrauchserfassung, MSR-Technik und Kommunikationstechnik, bei gleichzeitig sinkenden Kosten der Komponenten schaffen Voraussetzungen für ein wirkungsvolles Energiemanagement. Die Investitionskosten sinken dadurch, zum Teil verringert sich auch der erforderliche Personalaufwand.
- Die langfristige Entwicklung der Energiepreise wird entscheidend zur weiteren Verbreitung von umweltfreundlichen bzw. energiesparenden Technologien beitragen. Da in den bisherigen wissenschaftlichen Veröffentlichungen überwiegend von einer Verknappung der Ressourcen (zumindest mittelfristig) ausgegangen wird und zudem verstärkt Umweltaspekte z. B. in die Steuerpolitik mit einfließen, ist in den nächsten Jahren wieder mit einem Anstieg der Energiepreise zu rechnen. In diesem Fall ist die Wirtschaftlichkeit von Investitionen in energiesparende Maßnahmen eher gegeben. Sollte dagegen der Trend zu billigen Energiepreisen anhalten, kann gerade eine stärkere Finanzautonomie der Hochschulen dazu führen, daß infolge des fehlenden Bezugs zu den Landes- und Bundesinteressen die Durchführung innovativer Maßnahmen aus Kostengründen unterbleibt.
- Neue Anbieter bzw. bekannte Anbieter mit neuen Strategien drängen verstärkt auf den Markt und sind dabei sowohl beratend als auch als Komplettanbieter mit vollständigen Finanzierungsmodellen – in Form von Contracting – präsent. Im Zuge der derzeit zu beobachtenden Tendenz zur Auslagerung von Kompetenzen, die nicht dem Kernbereich der selbstdefinierten Aufgabenstellung der Hochschulen zuzuordnen sind, werden externe Dienstleister verstärkt im Hochschulbereich tätig werden. Inwieweit dies dem Ziel einer rationellen Energienutzung dient, hängt nicht zuletzt von der Kompetenz der Anbieter und derjenigen, die sie beauftragen, ab.
- Die Ermittlung von Kennzahlen und deren Gegenüberstellung zum direkten Vergleich und damit zur Beurteilung des erreichten Standards wird ein wichtiger Bestandteil des Gebäudemanagements. Wie die damit verbundenen Aufgaben künftig organisatorisch wahrgenommen werden, durch externe Dienstleister, Umwelt- oder Energiebeauftragte oder die für die Technik zuständige (vorhandene) Organisation, ist zur Zeit offen. Denkbar (und sinnvoll) ist, daß in den Hochschulen individuell geeignete Lösungen gefunden werden.

- ❑ Regenerative Energiequellen werden an den Hochschulen, mit Ausnahme von Forschungsobjekten, bisher kaum genutzt. Möglich wäre hier eine stärkere Verzahnung von Forschung und Betrieb. Eine moderne KWK-Anlage, eine Photovoltaikanlage, oder der Aufbau eines Energiemanagement-Systems bieten sich auch als Forschungs- und Demonstrationsobjekte in der Hochschule an.
- ❑ Die bereits vielfach zu beobachtende und weiter forcierte Stärkung der Eigenverantwortlichkeit der Hochschulen durch Einführung globaler Haushaltsstrukturen wird die Sensibilität für Möglichkeiten zur Kosteneinsparung weiter erhöhen. Die Motivation ergibt sich aus der direkten Beteiligung an den eingesparten, aber – im Rahmen von Budgetierungsmodellen – auch an den tatsächlich entstehenden Kosten.
- ❑ Die Einführung von Budgetierungsmodellen auf der Fachbereichsebene wird in den Ländern zunehmend verfolgt. Auch wenn sich hier zunächst Vorteile für die Nutzer erschließen, indem sie an den Betriebskosten und damit auch an den Einsparungen direkt beteiligt werden sollen, erfordert doch die Schaffung der Voraussetzungen (Ermittlung des Bedarfs sowie die „gerechte“ Zuweisung der Mittel) gemeinsame Anstrengungen und Kompromißbereitschaft aller Beteiligten.
- ❑ Umweltschutz als Leitlinie für Hochschulen kann als Teil einer Profilbildung verstanden werden, die in einem künftig zumindest teilweise möglichen Wettbewerb der Hochschulen untereinander eine Rolle für die Wahl des Studienplatzes spielen kann. Die möglichen Auswirkungen können allerdings nicht genau abgeschätzt werden. Denkbar ist die Investition in Prestigeobjekte (z. B. eine Photovoltaikanlage mit rein repräsentativem Charakter), während die weniger augenfälligen Möglichkeiten zur Reduzierung des Energieverbrauchs unberücksichtigt bleiben, wenn die Energiepreise niedrig sind und die Außenwirkung einer effizienten Heizungs- oder Lüftungstechnik eher gering ist.

Literaturverzeichnis

- [AIG95] Arbeitsgemeinschaft Instandhaltung Gebäudetechnik (AIG) der Fachgemeinschaft Allgemeine Lufttechnik im VDMA: Energiemanagement im Bereich der Technischen Gebäudeausrüstung. – Instandhaltungs-Information Nr. 15. Frankfurt am Main, Mai 1995.
- [Albrec98] Albrecht, Thomas: TU Berlin: Organisatorische Hilfen zur Energieeinsparung und Schulung der Nutzer. – In: HIS Kurzinformation Bau und Technik, Nr. B5/98, S. 1-6. HIS Hochschul-Informationssystem GmbH, Oktober 1998.
- [Allnoc99] Allnoch, Norbert: Zur Entwicklung der europäischen Windenergienutzung 1998. – In: Windkraft Journal 19 (1999), Nr. 2, S. 24–28.
- [AMEV92] Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV): Hinweise für die Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht in öffentlichen Gebäuden (Beleuchtung 92) – Bonn 1992.
- [AMEV93] Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV): Hinweise zur Planung und Ausführung von Raumluftechnischen Anlagen für öffentliche Gebäude (RLT-Anlagen-Bau-93) – Bonn 1993.
- [AMEV97] Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV): Hinweise für die Planung von Aufzugsanlagen in öffentlichen Gebäuden (Neufassung 1997 – Aufzug 97 –) – Bonn 1997.
- [AMEV97a] Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV): Stromeinsparung durch Spannungsabsenkung in Beleuchtungsanlagen. – In: Protokoll der Sitzung 97.1 des Arbeitskreises Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV) am 24. und 25. April 1997.
- [AMEV99] Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV): Hinweise zur wirtschaftlichen, umweltverträglichen und sparsamen Verwendung von Energie und Wasser in öffentlichen Gebäuden (Energie 2000) – Bonn 1999.
- [ARBSTV75] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV). Vom 20. März 1975. Geändert durch Artikel 4 der Verordnung zur Umsetzung von EG-Einzelrichtlinien zur EG-Rahmenrichtlinie Arbeitsschutz vom 4. Dezember 1996. – Veröffentlicht in: Bundesgesetzblatt I, S. 729, Bonn, März 1975 bzw. Bundesgesetzblatt I, S. 1841, Bonn, Dezember 1996.
- [ASUE95] ASUE: Gas-Wärmepumpen. Ein Beitrag zur CO₂-Minderung. – Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V., Hamburg 1995.
- [ASUE97] ASUE: BHKW-Kenndaten. – Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V., Hamburg 1997.
- [Bach92] Prof. Bach, Institut für Kernenergetik und Energiesysteme (IEK): Information zur Studie CO₂-Reduzierung durch Pumpensanierung. – Universität Stuttgart 1992.
- [BarWie96] Bartholomäi, Gunther u. Wiechmann, Joachim: Gebäudemanagement senkt Energiekosten im Warenhaus. – In: HLH (47) 1996, Nr. 10, Oktober, S. 69–71.
- [BauMat97] Baur, Jürgen F. u. Matthey, Philip: Rechtliche Anforderungen an Ausschreibung und Vergabe von Energiespar-Contracting-Maßnahmen im Bereich kommunaler und

- landeseigener Liegenschaften. – Ministerium für Bauen und Wohnen des Landes Nordrhein-Westfalen [Hrsg.], Düsseldorf 1997.
- [Beck96] Beck, E.: Wärmerückgewinnung aus schadstoffbelasteter Fortluft. – In: HLH 47 (1996), Nr. 10, Oktober, S. 32–44.
- [BMVBW98] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen [Hrsg.]: Leitfaden Energiespar-Contracting. – Oberfinanzdirektion Stuttgart, Dezember 1998.
- [BTD9911] Dritter Bericht der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“. – In: Bundestagsdrucksache 11/8030, Bonn 1990.
- [CHEPRO99] O. V.: Fast jeder zahlt drauf. – In: Chemie Produktion (28) 1999, Nr. 3, März, S. 71–73.
- [Crusiu99] Crusius, Reinhard: Der neue Energiemarkt – Probleme und Chancen aus der Sicht eines Wissenschaftsministeriums. – Hamburg, Juli 1999 (zu beziehen bei HIS).
- [DIN4702] DIN 4702-1, Ausgabe:1990-03, Heizkessel; Begriffe, Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung. Beuth Verlag, Berlin 1990.
- [DIN4710] DIN 4710, Ausgabe:1982-11, Meteorologische Daten zur Berechnung des Energieverbrauches von heiz- und raumluftechnischen Anlagen. Beuth Verlag, Berlin 1982.
- [DIN5499] DIN 5499, Ausgabe:1972-01, Brennwert und Heizwert; Begriffe. Beuth Verlag, Berlin 1972.
- [DiRiZi98] Diekmann, Jochen; Rieke, Heilwig u. Ziesing, Hans-Joachim: Indikatoren des Energieverbrauchs in Deutschland. – In: DIW-Wochenbericht 50/98. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin 1998.
- [EN832] DIN EN 832, Ausgabe:1998-12, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heizenergiebedarfs; Wohngebäude (Deutsche Fassung EN 832).
- [ENWG98] Gesetz zur Neuregelung des Energiewirtschaftsrechts. Vom 24. April 1998. – Veröffentlicht in: Bundesgesetzblatt I, Nr. 23, S. 730–736, Bonn, April 1998.
- [Einhau99] Einhaus, Günter: TWD – Die Sonne ins Büro holen. – In: HLH 50 (1999), Nr. 1, S. 36–37.
- [Erdbor99] Erdbores, Martin: Die Energiekostenbudgetierung – Konzept zur nutzerorientierten Energieeinsparung an der TU Berlin. Dokumentation der HIS-Veranstaltung „Energieeinsatz an Hochschulen“ am 29. April 1999 an der FH Hannover.
- [EU93] Verordnung (EWG) Nr. 1836/93 des Rates vom 29. Juni 1993 über die freiwillige Beteiligung gewerblicher Unternehmen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung. In: ABl. Nr. L 168 vom 10.7.1993, S. 1.
- [Farago99] Faragó, Zoltán: Brennwerttechnik mit Abgasentschwefelung für Hausheizungen. – In: HLH 50 (1999), Nr. 3, März, S. 62–69.
- [Fisch99] Fisch, M. N.: Solare Nahwärme. Stand der Projekte in Deutschland. – In: TAB (30) 1999, Nr. 5, Mai, S. 57–63.
- [FisRoz99] Fisch, M. N. u. Rozynski, M.: Energie- und komfortgerechte Sanierung eines Bürohochhauses. – In: TAB (30) 1999, Nr. 10, Oktober, S. 73–75.

- [FKGB90] Fachkommission Gebäude- und Betriebstechnik (FKGB) des Hochbauausschusses der Länder der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder – ARGEBAU: Verminderung eines Legionella-Infektionsrisikos durch technische Maßnahmen. HIS Hochschul-Informationssystem Hannover, Juli 1990 (sowie ergänzende Hinweise, Juni 1995).
- [FKGB93] Fachkommission Gebäude- und Betriebstechnik (FKGB) des Hochbauausschusses der Länder der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder – ARGEBAU: Geräteausstattung zur Energie- und Medieneffizienz. HIS Hochschul-Informationssystem Hannover, September 1993.
- [FKGB95] Fachkommission Gebäude- und Betriebstechnik (FKGB) des Hochbauausschusses der Länder der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder – ARGEBAU: Gebäudedatei – Betriebstechnische Gebäudedaten. Teil 2: Merkmalkatalog. HIS Hochschul-Informationssystem Hannover, September 1995.
- [FKGB97] Fachkommission Gebäude- und Betriebstechnik (FKGB) des Hochbauausschusses der Länder der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder – ARGEBAU: Kriterien für die Technische Gebäudeausrüstung bei Wettbewerben und Vorentwurfsplanungen. HIS Hochschul-Informationssystem Hannover, März 1997.
- [FKGB98] Fachkommission Gebäude- und Betriebstechnik (FKGB) des Hochbauausschusses der Länder der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder – ARGEBAU: Planungshilfe Energiesparendes Bauen – Anlagentechnische Maßnahmen. HIS Hochschul-Informationssystem Hannover, Oktober 1998.
- [FKGB98a] Fachkommission Gebäude- und Betriebstechnik (FKGB) des Hochbauausschusses der Länder der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder – ARGEBAU: Contracting. 1998 (unveröffentlicht).
- [Förste99] Förster, H.: Freie Kühlung von Kaltsole in der Übergangszeit. – In: KKA Sonderausgabe 1999 „Die industrielle Großkälte“, S. 16–22.
- [GaBuFü94] Gasser, St.; Bush, E. u. Füglistner, E.: Erfolgswertung energetischer Gebäudesanierung. – In: HLH 45 (1994), Nr. 2, Februar, S. 60–63.
- [Germey99] Germey, Renate: TWD – Transparente Wärmedämmung. Energiegewinnung durch passive Solarenergienutzung. – In: DAB (31) 1999, Nr. 5, S. 699–705.
- [GiKrMu99] Gietzelt, M.; Kruhl, J.; Mull, R. u. Boochs, P.-W.: Umweltbericht der Universität Hannover 1998. – Der Präsident der Universität Hannover [Hrsg.], Dezember 1998.
- [Glasne93] Glasneck, Hans: Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen im Gebäudebereich unter Einschluß ökologischer Aspekte. – In: Gesundheits-Ingenieur 114 (1993) Nr. 4, S. 187–198.
- [GWB90] Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen. Vom 20. Februar 1990. – Veröffentlicht in: Bundesgesetzblatt I, Nr. 7, S. 236–265, Bonn, Februar 1990.
- [GWB98] Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen. Vom 26. August 1998. – Veröffentlicht in: Bundesgesetzblatt I, Nr. 59, S. 730–736, Bonn, September 1998.
- [Heide99] Heide, Hans-Hermann: Aufzugstechnik. Neue Anforderungen und Entwicklungen. – In: Bundesbaublatt (48) 1999, Nr. 4, S. 52–53.

- [HeizAn94] Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Brauchwasseranlagen (Heizungsanlagen-Verordnung – HeizAnIV). Vom 22. März 1994. – Veröffentlicht in: Bundesgesetzblatt I, S. 613–617, Bonn 1994.
- [Herbst99] Herbst, Felix: Kühlende Sonnenstrahlen. Kühlsysteme mit solarem Energiekonzept. – In: Deutsche Bauzeitung 133 (1999), Nr. 4, S. 140–150.
- [HMU98] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit [Hrsg.]: Contracting-Leitfaden für öffentliche Liegenschaften. – Wiesbaden, Juli 1998.
- [Hocker99] Hocker, Thomas: Hausenergiesysteme mit Brennstoffzellen. – Vortrag anlässlich der Fachveranstaltung „Einsatz von Brennstoffzellen in Blockheizkraftwerken“. Haus der Technik, Essen 30. März 1999.
- [Hörner98] Hörner, Michael: Stromsparcheck für Gebäude – Ein Arbeitsinstrument für Planer und Investoren. – Seminar-Dokumentation, IMPULS-Programm Hessen [Hrsg.], Darmstadt 1998.
- [Hörner99] Hörner, Michael: Energiekennwerte und Benchmarking für Elektrizität in Bürogebäuden. Der Stromsparcheck für Gebäude – Ein Kennwertverfahren zur Optimierung von Verbrauch und Kosten. – Dokumentation der HIS-Veranstaltung „Energieeinsatz an Hochschulen“ am 29. April 1999 an der FH Hannover.
- [IKE99] Institut für Kernenergetik und Energiesysteme (IKE): Zentrales Datenerfassungssystem ZDS – Dokumentation. – Universität Stuttgart, März 1999 (Internet: <http://reuse.ike.uni-stuttgart.de/ZDS20/>).
- [Jenni98] Jenni, Felix: Effiziente Energienutzung an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich. – In: HIS Kurzinformation Bau und Technik, Nr. B 5/98, S. 35–40. HIS Hochschul-Informationen-System Hannover, Oktober 1998.
- [Jungbl96] Jungbluth, Christian Rolf: Wärmetechnische Analyse des Energieerzeugungssystems „Blockheizkraftwerk/Solarkollektor“ unter Berücksichtigung von Wärme- und Kälteverbräuchern. – Dissertation am Institut für Kältetechnik und Angewandte Wärmetechnik der Universität Hannover. Hannover 1996.
- [Kany99] Kany, Achim: Privatisierung der Wärmeversorgung der TU Darmstadt. – Vortrag anlässlich der Sitzung 2/1999 des Arbeitskreises Nutzung und Bedarf am 14./15. Oktober 1999 in der FH Stralsund. HIS Hochschul-Informationen-System Hannover 1999.
- [Katten99] Kattenstein, Thomas: Energieversorgung der Ruhr-Universität Bochum. – Dokumentation der HIS-Veranstaltung „Energieeinsatz an Hochschulen“ am 29. April 1999 an der FH Hannover.
- [Köster99] Köster, Helmut: Bauphysikalische Grundlagen der Tageslichttechnik (Teil 1) – In: DAB (31) 1999, Nr. 7, S. 952–956.
- [KrNaMe98] Kristof, Kora; Nanning, Sabine u. Merten, Frank: Kommunales Intracting. – Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie Wuppertal, Februar 1998.
- [Kronau99] Kronauer, Dieter: Abwärmenutzung mit mobiler Sorptionstechnik. – In: TAB (30) 1999, Nr. 10, Oktober, S. 59–64.

- [Kruhl99] Kruhl, Jörg: Universität Hannover: Kennwertbildung als Grundlage für Verbrauchsreduzierungen. – Dokumentation der HIS-Veranstaltung „Energieeinsatz an Hochschulen“ am 29. April 1999 an der FH Hannover.
- [Meier94] Meier, Simon: Bedarfslüftung – ein großes Energie-Sparpotential liegt brach. – In: HLH 45 (1994), Nr. 9, September, S. 459–465.
- [Meier99] Meier, Claus: Gut gespeichert ist auch gedämmt. – In: Deutsche Bauzeitung 133 (1999), Nr. 5, S. 138–146.
- [Menged97] Mengede, Klaus: Ersetzen Doppelfassaden RLT-Anlagen? – In: Die Bauverwaltung + Bauamt & Gemeindebau 70 (1997), Nr. 12, S. 603–604.
- [Metasc97] Metasch, Uli: Stromverbrauch und Sparpotentiale bei EDV-Geräten an ausgewählten Teilbereichen der Universität Kiel. – Arbeitsgruppe Energie Rationell Anwenden (AERA) an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. AERA-Text Nr. 13, September 1997.
- [Niebis99] Niebisch, Werner: Strategisches Energiemanagement – Contracting. – In: UTA 10 (1999), Nr. 2, April, S. 146–151. GIT Verlag, Darmstadt.
- [Nordma99] Nordmann, Dieter: Energieeinsparung mit Einzelraumregelung an der FH Hannover. – Dokumentation der HIS-Veranstaltung „Energieeinsatz an Hochschulen“ am 29. April 1999 an der FH Hannover.
- [Person96] Person, Ralf-Dieter: Betriebskosten von Hochschulkliniken. Fortschreibung der Erhebung für 1993/94. Teil 1 (Allgemeine Beschreibung). – HIS Hochschul-Informationen-System Hannover, Dezember 1996.
- [PerTeg98] Person, Ralf-Dieter u. Tegtmeyer, Ralf: Gebäudeautomation an Hochschulen. Planung, Organisation und Betrieb. – HIS Hochschulplanung 129. HIS Hochschul-Informationen-System, Hannover 1998.
- [RBBAU95] Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes im Zuständigkeitsbereich der Finanzbauverwaltungen (16. Aust.-Lieferung vom Februar 1995). Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft Köln
- [ReSpSc95] Recknagel, Hermann; Sprenger, Eberhard u. Schramek, Ernst-Rudolf: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 94/95. R. Oldenbourg Verlag München 1995.
- [ReWiMe98] Reeder, Lennart; Wibberenz, Gerd u. Metasch, Uli: Lüftungswärmeverluste in einem Verwaltungsgebäude. Effektivität der Fenster-Thermostat-Steuerung zur Wärmeeinsparung am Beispiel des Ministeriums für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Schleswig-Holstein. – Arbeitsgruppe Energie Rationell Anwenden (AERA) an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. AERA-Text Nr. 21, Mai 1998.
- [Roth93] Roth, Heinrich: Energieeinsparung in Krankenhäusern. – Unveröffentlichter Bericht. Neustadt a. Rbge. 1993.
- [Schlott99] Schlott, Siegfried: Kälteerzeugung für die Klimatechnik. – In: HLH, Sonderheft: Beratende Ingenieure, März 1999, S. S49–S57.
- [StrMül95] Stratmann, Friedrich u. Müller, Joachim: Organisation des Arbeits- und Umweltschutzes in Hochschulen. – HIS-Hochschulplanung 110. HIS Hochschul-Informationen-System, Hannover 1995.

- [SWH95] Stadtwerke Hannover AG (Hrsg.): Integrierte Ressourcenplanung. Die LCP-Fallstudie der Stadtwerke Hannover. Dokumentation Band 1–9. Stadtwerke Hannover AG, 1995.
- [Trauer99] Trauer, Michael.: Der Dreh mit der Drehzahl. – In: KKA Sonderausgabe 1999 „Die industrielle Großkälte“, S. 39–42.
- [VDI2067] VDI-Richtlinie 2067 – Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen. Blatt 1: Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen. – Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 1983.
- [VDI3807] VDI-Richtlinie 3807 – Energieverbrauchskennwerte für Gebäude. Blatt 1: Grundlagen. – Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 1994.
- [VDI3807a] VDI-Richtlinie 3807 – Energieverbrauchskennwerte für Gebäude. Blatt 2: Heizenergie- und Stromverbrauchskennwerte. – Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 1998.
- [VDIB98] VDI-Bericht 1383: Energieversorgung mit Brennstoffzellenanlagen '98 - Stand und Perspektiven. – Verein Deutscher Ingenieure, Gesellschaft für Energietechnik, Essen 1998.
- [Viebah98] Viebahn, Peter: Energieflußanalyse als Teil eines Umweltmanagementsystems für die Universität Osnabrück. – In: HIS Kurzinformation Bau und Technik, Nr. B5/98, S. 25-33. HIS Hochschul-Informationen-System GmbH, Oktober 1998
- [VieMat99] Viebahn, Peter u. Matthies, Michael: Stoff- und Energieflußanalyse einer Universität – Erstellung eines Umweltmanagementkonzeptes für Hochschulen am Beispiel der Universität Osnabrück. – Abschlußbericht. Institut für Umweltsystemforschung der Universität Osnabrück. April 1999.
- [WSVO94] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden. Vom 16. August 1994. – Veröffentlicht in: Bundesgesetzblatt I, S. 2121–2132, Bonn 1994.
- [Zeine97] Zeine, Carl: Stromsparpotentiale in Landesbauten. Grobanalyse und Maßnahmen in Verwaltungsbauten. – Landesinstitut für Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen (LB) [Hrsg.], Nr. 2.27, Aachen 1997.
- [Zeise98] Zeise, Hans-Peter: Energieeinsparung als Aufgabe in der Hochschule. Beispiel: Universität Hamburg. – In: HIS Kurzinformation Bau und Technik, Nr. B5/98, S. 15–18. HIS Hochschul-Informationen-System GmbH, Oktober 1998.
- [ZVEI99] Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e. V. (ZVEI): Einsparung mit elektrischen Antrieben – Einsparpotential in Milliardenhöhe. Pressemitteilung Pr – 76/99, September 1999.

Sachregister

Abgastemperatur.....	19
Abrechnung.....	14
EVU.....	14
verursacherbezogen.....	55
Abschreibung.....	57
Absenkbetrieb.....	18
Absorption.....	23
Absorptionskältemaschine.....	15, 23, 39, 41, 47
Rücklauftemperatur.....	41
Absorptionskältemaschinen.....	23
Absorptionswärmepumpe.....	37
Abwärme.....	19, 37, 39
Kälteanlagen.....	39
Kompressionskältemaschine.....	39
Abwärmenutzung.....	33
Abwasser.....	33
Abwärmenutzung.....	39
adiabate Befeuchtung.....	23
Adsorption.....	23
Adsorptionskältemaschine.....	23, 47
Altbau.....	7
Wärmedämmung.....	44
AMEV.....	28
Ammoniak.....	23, 24
Amortisation.....	55, 62, 66, 71, 73, 77
anaerobe Gärung.....	50
Anergie.....	3
Anlagenlebensdauer.....	74
Anlagenüberwachung.....	59
Anlaufstrom.....	30
Annuitätenmethode.....	73
Annuitätsfaktor.....	73
Anreizsysteme.....	67, 70
Antriebe.....	31
Antriebstechnik.....	30, 31
Aquiferspeicher.....	46
Arbeit.....	3, 15
Arbeits- und Umweltschutz.....	10
Arbeitsfähigkeit	
eines Systems.....	3, 4
arbeitsplatzorientierte Beleuchtung.....	28
arbeitsschutzrechtliche Anforderungen.....	28
Architekten.....	60
Architektur und Technik.....	60
Asbestproblematik.....	44
Aufzugsanlagen.....	30
Außentemperatur.....	63
Ausstattungsgrad.....	7
Austauschsätze für Leuchten.....	28
Auswertung.....	2
Baden-Württemberg.....	10, 56
Bäder.....	39
Barwert.....	73
Barwertmethode.....	73
Baseline.....	57
Batterien.....	51
Baukonstruktion.....	43
Bauphysik.....	68
Bauverwaltung.....	10
Bauwerkszuordnungskatalog.....	65
Bayern.....	56
Bedarfskennwerte.....	70
Behaglichkeitsfeld.....	20
Belegungsplan.....	21
Beleuchtung.....	27
Beleuchtungssteuerung.....	28
Benchmarking.....	64
Betreiben.....	59
Betrieb	
technische Anlagen.....	55
Betriebsabläufe.....	52
Betriebsfaktoren.....	69
Betriebskosten.....	20, 43
Hochschulkliniken.....	2
Betriebsüberwachung.....	10
Betriebsüberwachungsstellen.....	65
Betriebswassererwärmung.....	46
betriebswirtschaftliche Betrachtung.....	73
BHKW.....	39, 41
motorisch.....	41
Bildschirm.....	29
Biogas.....	50
Biogaserzeugung.....	50
Biogasproduktion.....	50
Biomasse.....	50
Biomasseproduktion.....	50
Biomassevergasung.....	50
bivalentes System.....	38
Blindleistung.....	15, 16, 32
induktiv.....	16
kapazitiv.....	16
Blindleistungsanteil.....	16
Blindstrom.....	16
Blindstromkompensation.....	26
Blockheizkraftwerk.....	3, 51
BMBF.....	47
Bonus-Regelung.....	6
Brandschutz.....	43
Brauchwasserbereitung.....	19
Brauchwassererwärmung	
solarthermisch.....	46
Braunkohlenbriketts.....	14
Bremen.....	6
Brennertechnik.....	19
Brennstoffzelle.....	51
alkalische.....	51
Karbonatschmelze-.....	51
Membran-.....	51
Oxidkeramik-.....	51
Phosphorsäure-.....	51
Brennwert.....	14, 19
Brennwertgerät.....	19
Brennwertkessel.....	19
Brennwertnutzung.....	19, 20
Brennwerttechnik.....	14, 19
Budgetierung.....	55, 67

- Büroarbeitsplatz 29
 Bürogebäude 25, 62
 busfähige Zähler 63
 Bus-Systeme 12
 Bypass 34
 Bypass-Regelung 35, 37
 Carnot-Wirkungsgrad 4
 CO₂ 15
 Ausstoß 41
 Emission 1, 6, 31
 Fühler 21
 Reduktion 55
 Contracting 55, 56
 Anlagen- 56
 Einspar- 56
 Leitfaden 58
 Performance- 56
 verwaltungsintern 56
 Wirtschaftlichkeitsnachweis 57
 Contractor 55
 Controlling 62
 Copernicus-Charta 7
 Dämmaterial 43
 Dampfheizkraftwerk 58
 Dampfheizung 16
 Dampfmenge 16
 Dampfturbine 39
 Datenlogger 17, 58
 DEC 23
 Deckungsfähigkeit 70
 Dessicant Evaporative Cooling 23
 Deutsche Bundesstiftung Umwelt 62
 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt 20
 Dichte 14
 Dimensionierung
 Antrieb 32
 DIN 277 64
 DIN 4702 18
 DIN 4710 64
 DIN 5499 14, 19
 Diplomarbeiten 2
 Direktgewinnsystem 44
 Dokumentation 10
 Doppelfassade 43, 44
 Drehstrom-Asynchronmotor 32
 drehzahlgeregelte Antriebe 32
 Drehzahlregelung 31, 32
 Dreieck-Stern-Umschaltung 32
 Druckluft 33
 Druckluftherzeugung 33
 Druckverlust
 Wärmerückgewinnung 34, 35
 Wärmetauscher 34
 Durchfluß 14
 Durchflußmengenmessung 16
 DV-Systeme 28
 dynamische Berechnung 74
 EIB 11, 12, 27
 Eigentumsfrage 57
 Eigentumsübergang 57
 Einsparpotential
 analysieren 62
 Contracting 55
 durch Nutzermotivation 71
 ermitteln 61, 70
 Einzelraumregelung 32
 Eisspeicher 24
 Elektrische Energie 3
 Elektrische Pumpen 32
 elektrochemische Stromerzeugung 51
 Elektroheizung 46
 Elektromotor 4
 Elektronikpumpen 32
 Elektrotechnische Anlagen 24
 Emission
 Schadstoffe 1
 Emmissionsbilanzen 62
 Endenergie 1, 3, 15
 Energie 15
 Definition 3
 Kosten 52
 Umwandlung 3
 Energieagentur Nordrhein-Westfalen 33
 Energieanteil 18
 Energieaufwand 15
 Energiebeauftragte 10, 54, 72
 Energiebedarf 67
 Energiebezugsfläche 64
 Energieeffizienz 67
 Energieeinsparung 5, 6
 Anreize 54
 elementare Maßnahmen 54
 Organisation 9
 Energiegehalt 14, 15
 von Brennstoffen 14
 Energiekonzept 59
 Energiekosten 8, 11, 15
 Anteil an Gesamtkosten 8
 Energiekostenbudgetierung 70, 71
 Energiekostenkontrolle 59
 Energiemanagement 11, 59
 Energiemarkt
 Liberalisierung 16
 Energieniveau 3, 17
 Energiepreissteigerung 74
 Energierückgewinnung 33
 Energiesparpotential 11, 59
 Energieträger 14, 15
 Energieverbrauch 60
 Beleuchtung 27
 Ermittlung 12, 63
 Gebäude 20
 Hochschule 7, 8
 in Deutschland 1
 Lüftung 21
 Struktur 1
 verursacherbezogen 60
 Energieverbrauchsoptimierung 60
 Energieverbrauchsprofil 17
 Energiewandlung 3
 Energiewandlungsprozeß 3, 4
 energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen 5
 Energiewirtschaftsgesetz 1, 5, 6
 Energy-University-Environment 7

Enthalpieoptimierung	34	Grundlast	41
Entropie	4	Gruppensteuerung	30
Erdgas	19	Gülle	50
Erdsondenspeicher	46	<i>h,x</i> -geführte Regelung	20
Erfolgskontrolle	2, 62	Haftungsfrage	57
Ersatzinvestition	74	Hamburg	46, 72
Ersatzstromanlage	42	Hauptnutzfläche (HNF)	64
ETH Zürich	53, 72	Haushaltsmittel	55, 72
EU-Richtlinie für den Elektrizitätsbinnenmarkt.....	1	Haushaltsrecht	56, 70
EVG	27	Hausmeister	53, 54
Umrüstung	28	HBFG-Mittel	57
Exergie	3, 4	<i>heat pipe</i>	35
Fachbereich	54, 70	Heizenergieverbrauch	20, 64
fachfremdes Personal	54	reduzieren	18
Fachhochschule Hannover	12	Heizgradtage	64
Facility Management	59	Heizgrenztemperatur	63, 64
Feinanalyse	56	Heizkessel	18
Fensterkontakte	20	Verluste	14
Fernwärme	20, 37	Heizkörperthermostat	19
feste Brennstoffe	14	Heizkreise	18
fifty-fifty (Modell)	54, 72	Heizöl	14, 19
Finanzautonomie		EL	14
der Hochschulen	65	Emissionen	38
Finanzierung	56	-Feuerungsanlage	19
Energiesparmaßnahmen	55	M.	14
FKGB-Empfehlung	18	S.	14
Flachbildschirme	29	-zähler	14
Flachkollektor	47	Heizregister	35
Folgekosten	48	Heizungsanlage	18, 31
Folgeschaltung	18	Brennwertnutzung	20
Fördermöglichkeiten	49	GLT-Ausaltung	12
Förderprogramme	5, 45	Heizungsanlagenverordnung	5
Wärmepumpe	38	Heizungspumpe	32
Forschungsaufträge	2	Heizwert	14, 19
Forstwirtschaft	50	Hessen	58
Frequenzumrichter	24	Hilfsenergie	32
Friedrichshafen	46	HIS-Untersuchungen	2
Gas	14, 15	HOAI	56, 60
Gaszähler	14	Hochhaus	
Gebäude		Sanierung	62
Speicherfähigkeit	18	Hochschule Zittau/Görlitz (FH)	6
Gebäudeautomation	2, 11, 12, 18, 57, 62	Hochschulkliniken	18
Gebäudebestand	69	Hochschulleitung	54
Gebäudefassade	43	Hochtarif	15
Gebäudehülle	44	Holz	50
Gebäudekonstruktion	44	holzgefeuertes Kraftwerk	50
Gebäudeleittechnik (s. a. GLT)	11	hydraulischer Abgleich	18
Gebäudemanagement	77	IKE	32, 58
Gebäudesimulation	60, 62	Impulsausgang	14, 63
gebäudespezifische Nutzung	70	IMPULS-Programm Hessen	69
Gebäudestruktur	7	Impulszählung	14
Gebäudesystemtechnik	11, 62	Information	53
Gegenstrom	34	Infrastruktur	
Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen	5	technische	7
Gewerke		innere Energie	17
Koordination	60	Instandhaltung	48, 57, 60
Gewerkeplaner	60	Instandhaltungsinformationen	12
Gleichzeitigkeitsfaktor	26	Instandhaltungskosten	27, 30, 38
Globalhaushalt	2, 6, 54	Institut für Umweltsystemforschung	10
GLT	11, 12, 21, 28	Integrale Planung	60
Gradtagzahl	63, 64, 68	integrierter Planungsprozeß	48
Grobanalyse	56	Interbus-S	12

Internet	2	Kraft-Wärme-Kopplung.....	39, 41
Internet-Technologie	12	Kreislaufverbundsystem	35
Intracting	56	Kreuzstrom	34
Investitionskosten		Küchen	39
Amortisation	73	Kühlbedarf	45
Doppelfassade	43	Kühlgradstunden	64
Kältemaschinen.....	42	Kühllast.....	43
Luftqualitätsfühler.....	21	Kühlleistung.....	47
Solaranlagen	45	Kühlregister	35
TWD	45	Kühlung	33
Vermeidung.....	55	passive	47
Investitionsmittel.....	55	solare.....	47
Isolierung.....	19	sorpative.....	22
Ist-Erfassung	63	KVG	27
Ist-Zustand	61, 62	k-Wert.....	43
Jahresabrechnung	16	Laborkühlsystem	33
Jahreshöchstleistung	26	Länderbauverwaltungen.....	65
Jahresnutzungsgrad.....	18, 19	Landesinstitut für Bauwesen (LB)	10
Kälteanlagen	24, 33	Landwirtschaft	50, 51
Kälteenergie	17	landwirtschaftliche Betriebe	50
Kälteerzeugung.....	22, 24, 25	Laserdrucker	29
Kältemaschine.....	15	Laserfax.....	29
Kältemittel.....	22, 23, 35	Lasersysteme (Physik)	33
Kälte-Wärme-Kälte-Kopplung	39	Lastabwurf.....	52
Kälte-Wärme-Kopplung.....	39	Lastverhältnisse	32
Kapitalwertfaktor	73	Latente Wärme.....	19
Kennwertbildung	64, 70	Lebensdauer	75
Kennwerte	64	Lampen	27
Kippregelung	35	Lebenszyklus	
Kläranlage	50, 51	eines Gebäudes	59
Kleinantriebe	31	Leerlaufverluste.....	25
Kleinmotore	32	Transformatoren.....	26
Klimaanlagen.....	20, 21	Legionellen	46
Klimakälte.....	39	Lehr- und Forschungsbetrieb	53
Kohle	14	Leistung.....	15
Kollektorfeld	47	Leistungsaufnahme	
Kompakt-BHKW	39	PC.....	29, 30
Kompaktheit		leistungsbezogene Finanzmittelvergabe.....	70
Gebäude	45	Leistungsmessung	16
Kompensation	27	Leistungsprofil	16
Kompensationsanlage.....	16, 26	Leistungszahl	17, 22, 23, 41
Kompressionsantrieb	15	Leiterquerschnitt.....	26
Kompressionskälteanlage.....	22	Leitungslänge	26
Kompressionskältemaschine	15, 22, 39, 41	Leitungsnetz	26
Leistungszahl	41	Leuchtaustausch	28
Kompressor.....	33	Leuchtstofflampen.....	26, 27
Kondensat	19, 20	Liberalisierung	
Kondensatbildung	43	Energiemärkte	52, 77, 108
Kondensationskraftwerk.....	41	Strommarkt.....	1, 58
Kondensatmenge	16	Lieferverträge	60
Kondensatmessung	16	Lithiumbromid.....	23
Konzeption	61	LON	11, 12, 27
Korrosion.....	19	Luftqualitätsfühler	21
Heizkessel.....	20	Luftqualitätsregelung.....	21
Kostenbewußtsein.....	2	Lufttechnischen Anlagen.....	31
Kosteneinsparungen		Lufttransportkosten.....	21
Kälteerzeugung	39	Lüftungsanlagen.....	21, 32, 33, 34
Kostenreduzierung.....	8	Lüftungsgradstunden.....	64
Kostenstelle.....	60, 70, 71	Lüftungsgradtage	64
Kostenzuordnung		Lüftungswärmeverluste	43
verursachergerecht	2	Maschinenraum	30
Kräfte-Wärme-Kälte-Kopplung.....	42	Maßnahmen-Ranking.....	66

Maximumwächter	53	Anlagenkosten.....	48
M-Bus	12	Dachkonstruktion.....	48
Messen.....	12	Fassade.....	48
Methan	50, 51	Stromkosten	48
Ministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen.....	57	Photovoltaikanlage	48, 49
Mischgasfühler	21	Planung	24, 40, 45, 46, 48, 56, 60, 62
Mischventil	35	Planungsdefizite	60
Mittelspannungsnetz	26	Plattenwärmetauscher.....	34
Mittelspannungsversorgung.....	26	Powermanagement	29
Mobiles Sorptionssystem	51	Primärenergie	3, 15
Modernisierung		Primärenergiebilanz	15
von technischen Anlagen.....	56	Primärenergieeinsatz	38, 39, 41
Momentanleistung.....	16	Primärenergieeinsparung.....	38
Monitor	29, 30	Primärenergieträger	15
monovalentes System.....	38	Primärenergieverbrauch.....	50
Motivation.....	72	Prioritätenliste.....	61, 66, 69, 70
Nutzer.....	53	Profibus	12
MSR-Technik	11, 12, 57	Prozeßabwärmenutzung	38
Mülldeponie.....	50, 51	Pumpenregelung	32
Nachtabenkung	18	Rahmenbedingungen	
Nachtkühlung	43	energiewirtschaftlich.....	5
Nahwärme.....	20, 46	rechtlich u. politisch.....	5
Netzwerk für eine umweltgerechte Entwicklung der Hochschulen	7	Raumbelegung	21
Netzwerk-Server	29	Raumlufttechnik.....	43
Neubau.....	7	Raumlufttechnische Anlagen	20, 21, 61
Niederspannungshauptverteilung	26	Raumtemperatur	63
Niedertarif.....	15	RBBau	10
Nordrhein-Westfalen	10, 56	Referenzort.....	64
Normkubikmeter.....	14	Referenzverbrauch.....	57
Normmotor	32	Reinigung	54
Normnutzungsgrad.....	18	Reinigungskräfte	53
Notbeleuchtung	28	Restwert	75
Notstromaggregat	42	von Anlagen	74
Notstromversorgung.....	42	REUSE	58
Nutzenergie	3, 4, 15	Ringkolbenzähler.....	14
Nutzereinbindung.....	53	RLT-Anlagen	32, 61
Nutzereinfluß.....	71	Rohbraunkohle	14
Nutzergruppen	70	Röhrenkollektor	47
Nutzerinteressen	62	Rohrleitungen	
Nutzermotivation	71	Wärmetransport.....	41
Nutzungsänderungen	57	Rotationswärmetauscher	34
Nutzungsplanung	53	Rücklauftemperatur.....	19, 41, 46
Nutzungszeit	52, 62, 69	Rückwärmezahl.....	34, 35, 36
optimieren	59	<i>Ruhr-Universität Bochum</i>	42
oberer Heizwert.....	19	Runder Tisch Energie.....	72
Öko-Audit-Verordnung	6	Sanierung	
Öko-Bilanz.....	7	Fassade.....	62
Ölheizung	20	Fenster	43
Öl-Hydrierung.....	50	Gebäudefassade	43
Optimierung		Pumpen	32
durch Simulation	60	Sanierungskonzept.....	44
Organisation		Sanierungsmaßnahmen.....	28, 43, 57, 59, 61, 62, 66, 67
Energieeinsparung.....	9, 10	Sanitäre Anlagen.....	39
Organisatorische Maßnahmen.....	24, 52, 61, 66	Sauerstoff	51
Ozon-Schädigungspotential.....	22	Schadstoffbehaftete Fortluft.....	37
Passive Solarsysteme.....	44	Schadstoffbelastete Fortluft	34
PC-Arbeitsplatz	30	Schallschutz	43
Personal	54	Scheinleistung	16
Phasenwinkel	16	Schulen	72
Photovoltaik.....	45, 47, 48	Schulung	53
		Sekundärenergie	3, 14

Sekundärenergieträger	15	Wirkungsgrad	37
selbstadaptierender Regelungsalgorithmus.....	19	Stromgestehungskosten	
sensible Wärme	37	Solaranlage	49
SIA 380/4	69	Stromkostenbudgetierung	71
Sicherungen	27	Stromsparcheck für Gebäude	69
Simulation	48, 60	Stromverbrauch	
Solaranlage	45	berechnen	69
bivalent	46	flächenabhängig	70
Kosten/Nutzen-Verhältnis	46	in Deutschland.....	1
monovalent.....	46	Pumpen	32
Planung	46	von Hochschulen.....	65
thermisch.....	46	Stromwärmeverluste	32
Wirkungsgrad	46	Studenten	53
Solararchitektur	48	Synthesegas.....	50
Solare Kühlung.....	47	Tageslichtsystem.....	45
Solare Nahwärme	46	Taupunkttemperatur.....	19
Solare Wärmegewinne.....	44	Technische Abteilung.....	2, 9, 10
Solarenergie	45	Technische Universität Berlin.....	7
Solarenergienutzung	49	Technisches Gebäudemanagement	59
Solarfassade	48	Temperaturabsenkung	21
Solarthermie 2000.....	47	Temperaturdifferenz	17
Solarthermische Anlage	45, 46	Temperaturfühler	16
Solarwandsystem.....	44	Temperaturniveau	4
Solarzellen		Temperaturspreizung	41
Einsatz.....	48	Themodynamik.....	4
Wirkungsgrad	48	thermisch abgekoppeltes System	44
Soll-Zustand	61	Thermodynamik.....	3, 4, 17
Sonnenschutz	45	1. Hauptsatz	3
Sonnenschutzeinrichtungen.....	43	2. Hauptsatz	3
Sorptionsmittel	23	thermodynamischen Behandlungsfunktionen	20
Sorptionsprozeß.....	23	Thermostatventile.....	20
Sorptive Kälteanlagen	23	Tilgung.....	73
Sorptive Kühlung.....	22, 47	Tintenstrahldrucker.....	29
Spannungsabsenkung		Transformatoren.....	26
Beleuchtung	28	Transmissionswärmeverluste.....	43, 44
Speichermasse	34	Transparente Wärmedämmung	44
Speicherwirkung		Transport	
massive Konstruktion	44	Energie	15
massive Wände.....	44	Treibhauseffekt.....	50
Spiegelrasterleuchte	27	Trendanalysen.....	60
Spitzenlast.....	18	Trommelzähler	16
Spitzenlastbegrenzung.....	52	TU Berlin	53, 54, 71, 72
Standby-Modus	29	TU Braunschweig	62
Standortfrage	8	TU Darmstadt	58
Statische Heizflächen.....	21	Turbinenauslastung.....	41
Stecker-Netzteil.....	29	TWD	44
Steinkohle	14	Überdimensionierungen	60
Steuerrecht.....	57	Übertragbarkeit	
Stillstandszeit	18	Haushaltsmittel.....	70
Stoffstromanalyse	7	UKE Hamburg	12
Stoffströme		Umbaumaßnahmen.....	57
Bilanzierung	15	Umgebungswärme	3
Strohverwertung	50	Umluftbetrieb	34
Strom	15	Umnutzungen	57
Anteil am Energieverbrauch.....	8	Umsetzungspriorität	66
Erzeugung	39	Umwälzpumpe.....	31, 36
Strombedarf		Umweltbeauftragte.....	10, 54, 72
Forschung und Lehre	68	Umweltbehörde	10
Strombedarfskennwert	69	Umweltbonus.....	6, 74
<i>Strombedarfsspitzen</i>	42	Umweltkosten.....	6
Stromeinspeisungsgesetz.....	49	Umweltleitlinien	6
Stromerzeugung		Umweltmanagement	2, 10

Koordinationsstelle	10	Wärmedämmung	7, 20, 43, 44
Umweltmanagementsystem	6, 7	Wärmedurchgangskoeffizient	43
Umweltpolitische Aspekte	55	Wärmeenergie	3
Umweltschutz	1, 6, 9, 56, 78	Wärmegewinne	19
Umweltschutzbeauftragte	10	Wärmelast	37, 43, 63
Umweltschutzingenieur	54	innere	64
Umweltverträglichkeit	15	Wärmeleistung	17
Umweltwärme	37	Wärmeleitfähigkeit	43
Universität	10	Wärmelieferung	56
Bochum	64, 65	Wärmemenge	14, 16
Bremen	45, 58	Wärmemengenzähler	16, 17
Hamburg	6, 45, 48, 53, 54, 72	Wärmepass	5
Hannover	7, 44, 46, 69, 71	Wärmepumpe	22, 33, 34, 37, 38
Münster	9	Wärmequellen	44
Osnabrück	7, 10, 45, 49, 53	Wärmerohr	35
Regensburg	21	Wärmerückgewinnung	23, 33, 34, 35, 37, 39, 43
Stuttgart	58	regenerativ	34
Universitäts-Krankenhaus		rekuperativ	34
Hamburg-Eppendorf	42	schadstoffhaltige Fortluft	37
unterer Heizwert	19	Wärmeschutzverordnung	5, 47, 67, 68
variabler Volumenstrom	32	Wärmespeicher	46
Variables-Volumenstrom-System	21	Baukosten	46
VDI 2067	63	Wärmeverluste	46
VDI 3807	64, 65, 69	Wärmespeichernde Elemente	44
Ventilatoren	33	Wärmespeicherung	44
Ventilatorleistung	34	Wärmetauscher	33, 34
Verbundsteuerung	33	Druckverlust	34
Verdampfungstemperatur	39	Wärmetransport	43
Verdampfungswärme	14, 19	Wärmeübertragung	
verdeckte Kreditaufnahme	56	Wärmetauscher	35
Verdichter	22	Wärmeverbrauch	7, 16
Verdichterabwärme	39	Bezugsgröße	65
Verdunstungskühlung	23	<i>von Hochschulen</i>	65
Vergaberecht	56	Wärmeverhältnis	15, 41
Vergleichsdaten	11	Wärmeverluste	43, 44
Vergleichskennwerte	69	Wärmeverteilstrom	18
Vergleichskennzahlen	65	Wartung	8
Verluste	4	Wärmerückgewinnung	37
Verteilverluste	20	Wartungsaufwand	21
VOB	56	Abwärmenutzung	39
Vollbetriebszeit	69	Wartungskosten	36, 40, 74
Volumen-Flächen-Verhältnis	7	Wärmetauscher	34
Volumenstrom	16	Wartungsvertrag	38
Vorlauftemperatur	38	Wäscherei	39
Vorrangschaltung	53	Wasserdampf	14
Vorschaltgerät		Wasserstoff	49, 50, 51
elektronisch	26, 27	Wasserstoffherzeugung	51
verlustarm	27	Wasserstoffrohrnetz	49
Vorwärmung		Web-Server	12
Rücklaufwasser	19	Weltklimakonferenz	
Verbrennungsluft	19	in Toronto	6
VVG	27	Windkraftanlagen	
Wannenleuchten	27	in Deutschland	49
Wärme	4, 17, 33	Kosten	49
Anteil am Energieverbrauch	8	Windschutz	43
Wärmebedarf	7, 39, 67	Wirkleistung	15, 16
Wärmebedarfsberechnung	68	Wirkungsgrad	4, 20, 22, 23, 25, 32
Wärmebedarfsermittlung	68	Antriebstechnik	32
Wärmebedarfskennwert	68	Aufzug	30
Wärmebrücken	43	BHKW	39
Wärmedämmmaßnahmen		Biomasse-Nutzung	50
Sanierungen	43	Brennstoffzelle	51

Druckluftherzeugung	33	WRG	34
Elektromotor	32	Würzburg	64
Heizanlage	20	Zählen	12
Kälteerzeugung	15, 17, 22, 41, 42	Zähler	12, 13
Kältemaschine.....	41	busfähig	12
Kraftwerk	41	Strom	15
Leuchte	27	Zähler mit Impulsausgang	63
Solaranlage	46	Zählerablesung	63
Stromerzeugung.....	41	Zähler-Infrastruktur.....	62
Transformator.....	26	Zentralkompensation.....	26
Wirtschaftlichkeit	72	Zentralstelle für Bedarfsbemessung und wirtschaftliches Bauen (ZBWB).....	10
Kraft-Wärme-Kopplung	40	Zufälliger Untergang.....	57
Leuchtaustausch	28	ZVEI.....	31
Wärmerückgewinnung	34, 36, 37		

Anhang

Anhang

Rahmenbedingungen des Bundes und der Länder (Übersicht)

Die folgenden Informationen zu den Rahmenbedingungen beim Energieeinsatz der Länder und des Bundes sind freundlicherweise von den Mitgliedern der Fachkommission Gebäude- und Betriebstechnik (seit Juni 1999 Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau) zur Verfügung gestellt worden (für Brandenburg und Sachsen-Anhalt von den Mitgliedern des AMEV).

a) Rahmenbedingungen der Länder

Baden-Württemberg

- Energieeinsparung bei Bauvorhaben des Landes (Erlaß des Finanzministeriums Baden-Württemberg vom 20. Dezember 1979, Az.: B 1013/9 - 10/79). „Planungshilfe Energiesparendes Bauen – Hinweise zur Energieeinsparung bei Bauvorhaben des Landes“ vom November 1979. *Baukonstruktion, Haus- und Betriebstechnische Anlagen.*
 1. Fortschreibung und Ergänzung der „Planungshilfe Energiesparendes Bauen“ (Eingeführt über Erlaß des Finanzministeriums Baden-Württemberg vom 5. August 1986, Az.: B 1013/9 – 35).
 2. Fortschreibung und Ergänzung der „Planungshilfe Energiesparendes Bauen“ (Eingeführt über Erlaß des Finanzministeriums Baden-Württemberg vom 20. März 1998, Az.: 4-3111.6-1/1).
- Konzeption zur Ausschöpfung der wirtschaftlichen Potentiale auf dem Gebiet der rationellen Energieverwendung und zur verstärkten Nutzung der erneuerbaren Energien (1. Energiesparerlaß: Erlaß des Finanzministeriums Baden-Württemberg vom 14. November 1989, Az.: L 7210 – 186/88). *Enthält u. a. Simulationsrechnungen, Erstellung von Energiekonzepten, Verbesserung der Betriebssteuerungseinrichtungen.*
- Wärmeisolierung von Gebäuden zur Energieeinsparung und Verringerung schädlicher Emissionen (Erlaß des Finanzministeriums Baden-Württemberg vom 29. Mai 1992, Az.: B 1013/9 - 37).
- „Energieverbrauchende Einrichtungen – Betriebsanweisung in staatlichen Gebäuden“ (Verwaltungsvorschrift des Finanzministeriums Baden-Württemberg vom 7. Juli 1992, Az.: B 1013/2 – 65, veröffentlicht in: *Gemeinsames Amtsblatt 40 (1992), Nr. 24, Seite 637*). *Als Broschüre zu beziehen beim ZBWB Stuttgart.*
- Ausstattung technischer Anlagen mit Meßgeräten – Planungshilfe (Erlaß des Finanzministeriums Baden-Württemberg vom 24. März 1993, Az.: B 1013 - 36). *Als Broschüre zu beziehen beim ZBWB Stuttgart.*
- Berücksichtigung des Energieverbrauchs bei der Ausschreibung und Beurteilung von Architekten-Wettbewerben für Baumaßnahmen des Landes (Verwaltungsvorschrift vom 1. April 1993).
- Wirtschaftlichkeit energiesparender Baumaßnahmen unter Berücksichtigung des Umweltschutzes (Erlaß des Finanzministeriums Baden-Württemberg vom 13. April 1993, Az.: B 1013/9 - 54). *Als Broschüre zu beziehen beim ZBWB Stuttgart.*
- Energiesparen im Gebäudebestand und beim Betrieb landeseigener Gebäude durch Drittfinanzierung und verstärktes Energiemanagement (Erlaß des Finanzministeriums Baden-Württemberg vom 2. Juni und 27. September 1993, Az.: B 1013/9 - 64).

- Allgemeine Angelegenheiten, Energieeinsparung – Gebäude- und Liegenschaftsbezogenes Energiekonzept für energiesparende, umweltschonende und wirtschaftliche Gesamtversorgungssysteme in Gebäuden und Liegenschaften – GLE (Erlaß des Finanzministeriums Baden-Württemberg vom 30. September 1993, Az.: B 1013/9 - 59). *Als Broschüre zu beziehen beim ZBWB Stuttgart.*
- Wärmeschutzverordnung (WSchV 1995). Hinweise und Ergänzungen über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden vom 16. August 1994 (BGBl. I, S. 2121) und Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 12 der Wärmeschutzverordnung (AVV Wärmebedarfsausweis) vom 20. Dezember 1994 (Bundesanzeiger vom 28. Dezember 1994), (Erlaß des Finanzministeriums Baden-Württemberg vom 8. Dezember 1995, Az.: B 1013 – 09/54).
- „Umwelt schonen – Strom sparen“ (Erlaß des Finanzministeriums Baden-Württemberg vom 14. Dezember 1995, Az.: B 1014 – 01/10). *Als Broschüre zu beziehen beim ZBWB Stuttgart..*

Bayern

- Beschluß des Bayerischen Landtags vom 05.04.1984 (Drucksache 10/3504) „Begleitmaßnahmen zum Fünften Gesetz zur Änderung der Verfassung des Freistaates Bayern zur Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen“. *Verpflichtung zur ständigen Energieverbrauchskontrolle. Ziel: Senkung der Verbräuche.*
- Bekanntmachung der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern vom 20. Juli 1989 Nr. IIA10-40351-0.9 (ALLMBl. S. 719) „Reinhaltung der Luft; Energiesparende und umweltfreundliche Heizungsanlagen“. *Förderung des Einsatzes neuer Energietechnologien. Mehraufwand bei den Investitionskosten bei Heizungsanlagen 30 %, in Ausnahmefällen 50 %.*
- Beschluß des Bayerischen Landtags vom 11. Oktober 1995 (Drucksache 13/2835) „Umsetzung der energiepolitischen Ziele“. *Einsatz regenerativer Energie in staatlichen Gebäuden, auch wenn Konkurrenzfähigkeit (Wirtschaftlichkeit) nicht vorhanden ist.*
- Beschluß des Bayerischen Landtags vom 24. April 1998 (Drucksache 13/10947) „Entlastung der Staatsregierung aufgrund der Haushaltsrechnung des Freistaates Bayern für das Haushaltsjahr 1995“. *Verwirklichung von Maßnahmen zur Energieeinsparung bei staatlichen Gebäuden, die neben ökologischen Vorteilen auch ein wirtschaftliches Ergebnis erwarten lassen, aus allgemeinen Bauunterhaltungsmitteln.*
- Beschluß des Bayerischen Landtags vom 24. Juni 1998 (Drucksache 13/11519) „Energiesparen in öffentlichen Gebäuden“.
- Haushaltvollzugsrichtlinien HvR 1997/1998. *Mit Bekanntmachung vom 24. Oktober 1980 (StAnz. Nr. 44, FMBl. S. 433) schreibt das Bayerische Staatsministerium der Finanzen den bevorzugten Einsatz von Bauunterhaltungsmitteln für energiesparende Maßnahmen vor. In den Haushaltvollzugsrichtlinien (z. B. HvR 1997/1998 Punkt 6.10) wird seither darauf hingewiesen, daß bei staatlichen Gebäuden, die einen überdurchschnittlich hohen Energieverbrauch aufweisen, unverzüglich eine Senkung des Energieverbrauchs mit wirtschaftlich sinnvollen Maßnahmen anzustreben ist.*
- Haushaltsgesetz 1999/2000 vom 26. September 1999. *Nach Art. 8 Abs. 6 wird das Bayerische Staatsministerium der Finanzen ermächtigt, für Pilotvorhaben zur Durchführung von Energiesparmaßnahmen in bestehenden staatlichen Gebäuden dem Abschluß von Performance-Contracting-Verträgen zuzustimmen.*

Hinweis: Die Beschlüsse des Bayerischen Landtags haben in Bayern als Rahmenbedingungen eine unmittelbare Bedeutung, da jede Vorentwurfsplanung (Haushaltsunterlage-Bau) im Haushaltsausschuß des Bayerischen Landtags vorgestellt und verabschiedet werden muß. Energiesparmaßnahmen und Einsatz alternativer und regenerativer Energien werden hierbei projektbezogen diskutiert und beschlossen.

Berlin

- Gesetz zur Förderung der sparsamen sowie umwelt- und sozialverträglichen Energieversorgung und Energienutzung im Land Berlin vom 2. Oktober 1990, geändert am 12. Oktober 1995. *Pflicht zur sparsamen Verwendung von Energie, Maßnahmen des Landes Berlin zur Einsparung von Energie (z. B. Umrüstung von elektrischer auf nicht-elektrische Raumheizung und Warmwasserbereitung, vorrangiger Fernwärmeanschluß, Kraft-Wärme-Kopplung, Solaranlagen-Einsatz in Schwimmbädern, Energiekonzepte, Energiepaß), Förderungsmaßnahmen (regenerative Energien und Kraft-Wärme-Kopplung, Forschung und Entwicklung, Pilot- und Demonstrationsanlagen, Energieberatung), Energiebeauftragte, Energiebeirat, Sonstige Maßnahmen (Verbot des Neuanschlusses elektrischer Heizungen, RLT-Anlagen), Anforderungen an die Errichtung und an den Betrieb. Änderung (1995) mit Ermächtigung für Gesetz zum Einsatz thermischer Solaranlagen (Deckung von 60 % des Heizwärmebedarfs bei Neubauten).*
- Allgemeine Anweisung über den Betrieb von Heizungs-, Warmwasser- und raumlufttechnischen (RLT-) Anlagen in Gebäuden und Einrichtungen der Berliner Verwaltung (Heiz-Anweisung) vom 3. Dezember 1991. *Beinhaltet Zuständigkeiten, Dokumentation der Verbräuche, energiesparende Fahrweise der Anlagen und vorrangiger Einsatz regenerativer Energie, soweit Anlagen vorhanden sind.*
- Modellprojekt „Energiesparpartnerschaft“ (seit 1. April 1996). *Ziel ist die Reduzierung der Kosten für die Energieversorgung in öffentlichen Gebäuden. Im Rahmen des Projektes wurden Gebäude zu Pools zusammengefaßt und europaweit ausgeschrieben.*

Brandenburg

- Energiekonzept für das Land Brandenburg vom 31. Juni 1996. *Inhalt: 1. Ziele und Aufgaben der brandenburgischen Energiepolitik. 2. Entwicklungsperspektiven für die Energieversorgung im Land Brandenburg. 3. Handlungsschwerpunkte und Handlungsoptionen für die Energieversorgung im Land Brandenburg. Das Konzept wird fortgeschrieben. Gegenwärtig wird durch das Wirtschaftsministerium ein Sachstandsgutachten erarbeitet.*
- Überprüfung der Energiebilanz in den Ministerien und den ihnen nachgeordneten Häusern und Einführung eines dezentralen Energiemanagements gemäß Landtagsbeschuß vom 13. Dezember 1996 (DS 2/3493-B). *Folgen: Intensivierung der Betriebsüberwachung durch die Landesbauverwaltung. Einführung des Energie- und Medieninformationssystems „EMIS“ und Erfassung der Grund- und Bewegungsdaten aller Landesliegenschaften. Benennung von Energiebeauftragten. Schulungsmaßnahmen für das Bedienungspersonal und die Energiebeauftragten. Prüfung der Anlagen mit unplausiblen Verbrauchswerten. Festlegung und Umsetzung von kurz- und mittelfristig wirtschaftlichen Maßnahmen in einem Sonderprogramm „Energieeinsparung“. Prüfung von Energie- und Medienlieferverträgen im Hinblick auf die Angemessenheit der preisbildenden Vertragsbestandteile (Anteile aus Grundpreis und verbrauchsabhängigen Größen). Überprüfung der vertraglich vereinbarten Anschlußleistungen. Bildung eines Landes-pools (ressortübergreifend für alle Landesliegenschaften), die auf die jeweiligen EVU's bezogen sind und Verhandlung von Großabnehmerbedingungen.*
- AMEV-Empfehlungen. *Die AMEV-Empfehlungen sind im Land Brandenburg im Bundes- und Landesbereich alle (bis auf FND) eingeführt.*

Die Einführung weitergehender Richtlinien, mit ausdrücklichen Bezügen auf umweltschonende und energiesparende Belange, oder des ökologischen Bauens, sollen bedarfsgerecht erst auf Grund von Datenanalysen (EMIS) erfolgen.

Bei der zukünftigen Einführung von Konzepten, Richtlinien und Verwaltungsvorschriften sollen bedarfsgerechte, qualitative Anforderungen im Vordergrund stehen.

Die o. g. Belange werden im Rahmen der Planungsbegleitung von Landesbaumaßnahmen bei Hochschulbaumaßnahmen berücksichtigt (z. B. Bibliothek der TU Cottbus: rationelle Energieverwendung – Erdwärme/-kälte, BHKW, Brennwerttechnik – Förderung der Maßnahme durch das BMFT).

Als Erweiterung des dezentralen Energiemanagements ist auch die Einführung einer Facility-Management-Struktur auf der Grundlage eines CAFM-Systems zu sehen (zur Zeit wird das Konzept erarbeitet).

Bremen

- Anweisung zur Überwachung des Energieverbrauches (Energieverbrauchsanweisung vom 10. Dezember 1980).
- Einbau von Meßgeräten zum Erfassen des Energie- und Medienverbrauches in Gebäuden (Verwaltungsvorschrift vom 20. März 1986).
- Hinweise zur Planung und Ausführung von Raumluftechnischen Anlagen für öffentliche Gebäude (Verwaltungsvorschrift vom 18. September 1986).
- Planung und Ausführung von Heiz- und Wassererwärmungsanlagen in öffentlichen Gebäuden (Heizungsbau-Richtlinie vom 23. Januar 1987).
- Investives Energiesparprogramm (von 1984, Fortsetzung – Senatsbeschluß Nov. 1989). *Anweisung für den Nachweis der Wirtschaftlichkeit investiver Energiesparmaßnahmen in öffentlichen Gebäuden.*
- Berücksichtigung des Umweltschutzes bei der Durchführung öffentlicher Baumaßnahmen des Landes und der Stadt Bremen (Verwaltungsvorschrift vom 29. Juni 1990).
- Hinweise für die Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht in öffentlichen Gebäuden (Einführung der AMEV-Empfehlung Beleuchtung 92).
- Bremer Energiegesetz (vom 17. September 1991). *Allgemeine Festlegungen (Förderung der sparsamen und umweltverträglichen Energieversorgung und Energienutzung im Lande Bremen), Förderungsmaßnahmen (Energiesparen, Endenergieerzeugung u. Abwärmenutzung, Forschung und Entwicklung, Pilot- und Demonstrationsanlagen), Energieberatung), Rahmenbedingungen (Nah-, Fernwärme-Vorranggebiete, Einspeisevergütung für Strom aus Kraft-Wärme-Kopplung, etc.), Vorschriften (Keine Elektroheizungen über 2 kW-Anschlußleistung). Förderrichtlinie „Photovoltaik“.*
- Erhöhte Wärmedämmmaßnahmen an Gebäuden zur Energieeinsparung und zur Verminderung der Emissionen an CO₂ (Verwaltungsvorschrift vom 15. Januar 1991 sowie Ergänzung vom 13. Juli 1994).

Hamburg

- Hamburgisches Programm zur Einsparung von Energie vom 30. Oktober 1979, Drucksache. *Investitionsprogramm zur Beschleunigung energiesparender Maßnahmen im öffentlichen Bereich.*
- Mitteilung des Senats an die Bürgerschaft „Förderung der Fernwärme und Ölsubstitution in öffentlichen Gebäuden“ vom 27. Oktober 1981.
- Nutzung regenerativer Energien, Drucksache vom 16. Januar 1990.
- Mitteilung des Senats an die Bürgerschaft „Stromsparende Investitionen in öffentlichen Gebäuden der Freien und Hansestadt Hamburg. Investitionsfinanzierung durch die HEW“ vom 21. August 1990.
- Hamburgs Beitrag zur Verminderung der Klimagefahren. 24-Punkte-Programm des Senats vom Oktober 1990.
- Leitfaden für die Anwendung der Solarenergie in öffentlichen Einrichtungen vom 2. Februar 1993.
- Handlungsanweisung des Senats zum sparsamen Einsatz von Elektroenergie (Beschluss des Senats vom 13. Juli 1993).
- Einsatz der Brennwertechnik im öffentlichen Bereich der Freien und Hansestadt Hamburg. Technische Anweisung Nr. 8; Umweltbehörde – A45 –; vom Januar 1994.
- Richtwerte für Kesselanlagen der öffentlichen Gebäude. Technische Anweisung Nr. 9; Umweltbehörde – A45 –; vom Februar 1995.
- Maßnahmen zur Reduzierung des Heizenergie-, Strom- und Wasserverbrauchs in öffentlichen Gebäuden der Freien und Hansestadt Hamburg. *Erweiterung der Verpflichtungsermächtigung gemäß Artikel 6 des Haushaltsbeschlusses 1996 (Kaufratenfinanzierung durch HEW) für weitere Maßnahmen zur Senkung des Energie- und Wasserverbrauchs: Investitionsprogramm, Rahmenvertrag. Die Maßnahmen unterliegen dem Grundsatz der Zwei-Drittel-Wirtschaftlichkeit. Diese ist gegeben, wenn Kapitalkosten (Verzinsung und Abschreibung) und die sonstigen Betriebskosten (z. B. Wartung) zu mehr als zwei Dritteln durch die zu erwartenden Energiekosteneinsparungen nach den jeweils aktuellen Energiepreisen gedeckt werden (wird kontinuierlich fortgeführt).*
- „Gesetz über klimaschutzrechtliche Vorschriften“ vom 25. Juni 1997 (Hamburgisches Klimaschutzgesetz). *Allgemeine Vorschriften (Ziel, Begriffsbestimmungen), Maßnahmen (Beschränkung des Neuanschlusses elektrischer Heizungen, Mechanische Raumkühlung, Wärmeschutzanforderungen an zu errichtende Gebäude, Anforderungen an RLT-, Heizungs- und Brauchwasseranlagen), Besondere Energiesparmaßnahmen der Freien und Hansestadt Hamburg (Energieeinsparung in öffentlichen Gebäuden, Beschaffungsanforderungen, Wirtschaftlichkeit - zusätzliche Kosten werden zu mehr als zwei Dritteln durch Einsparungen gedeckt, evtl. für regenerative Energien auch weitere Erleichterungen).*
- Elektro für den Betrieb. Technische Anweisung Nr. 11; Veröffentlichung der Umweltbehörde zum sparsamen Umgang mit Energie; vom Juli 1997.
- Richtlinie für die Umsetzung von Heizenergie-, Elektroenergie- und Wassersparmaßnahmen in öffentlichen Gebäuden und Einrichtungen. Umweltbehörde, Amt für Verwaltung, Grundsatzfragen und Energiepolitik – Energieabteilung 9/96.

Hessen

- Bautechnische Richtlinien zur Einsparung von Energie bei Bauten des Landes. Erlaß des Hessischen Ministeriums der Finanzen vom 16. Oktober 1992 (St. Anz. 48/1992, S. 2982). *Enthält Hinweise zur Planung und Durchführung von Maßnahmen bei Neubauten, größeren Umbauten und Gebäudesanierungen.*
- Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs in staatlichen Gebäuden. Erlaß des Hessischen Ministeriums der Finanzen vom 15. April 1994 (St. Anz. 20/1994, S. 1263). *Der Erlaß regelt die Betriebsführung durch den Nutzer (und das Bauamt) sowie die Erfassung von Heizwärme-, Strom- und Wasserverbrauch. Ergänzende Hinweise für den Bereich der Bedienung von Heizanlagen sind in der Broschüre „Bedienen von Heiztechnischen Anlagen – BedienHeiz 95“ (basierend auf der gleichnamigen AMEV-Empfehlung) veröffentlicht.*
- Contracting-Leitfaden für öffentliche Liegenschaften in Hessen. Kabinettsbeschuß vom 25. Februar 1999. *Eingeführt für Liegenschaften des Landes Hessen (5. August 1999) vom Hessischen Ministerium der Finanzen. Die Federführung für die Umsetzung in den Liegenschaften des Landes liegt bei der Staatlichen Hochbauverwaltung (Ausgenommen sind Universitäten und Hochschulkliniken).*
- Heizenergie im Hochbau. Leitfaden für energiebewußte Gebäudeplanung. Hessisches Umweltministerium, Februar 1999. *Fortschreibung der Bautechnischen Richtlinien zur Einsparung von Energie bei Bauten des Landes (s. o.).*
- Haushaltsgesetz, Änderung von §5 (3) (GVBl. I S. 344 vom 5. Juli 1999). *„Das Ministerium der Finanzen wird ermächtigt, für Maßnahmen der Energie- und Wassereinsparungen in landeseigenen Liegenschaften Vorfinanzierungen in Anspruch zu nehmen, wenn die entstehenden Kosten (Einschließlich Zins- und Tilgungsaufwand) aus den erwarteten Energie- und Wassereinsparungen innerhalb von 75 vom Hundert der technischen Lebensdauer der Installation refinanziert werden können. Die Rückzahlung der vorfinanzierten Beträge erfolgt aus den bei Gruppe 517 veranschlagten Haushaltsansätzen.“*

Mecklenburg-Vorpommern

- Einführung des Programmpaketes „EMIS“ für die Betriebsüberwachung (Erlaß vom 7. März 1995).
- Maßnahmen zur Energieeinsparung und Modernisierung bei landeseigenen Liegenschaften (Erlaß vom 8. August 1995, 22. April 1997 u. 22. Dezember 1998). *Realisierung der Maßnahmen im Rahmen der Bauunterhaltung.*
- Einführung der „Planungshilfe Energiesparendes Bauen Teil C – Anlagentechnische Maßnahmen –“ (Erlaß vom 22. Februar 1999).
- Einführung der AMEV-Ausarbeitung „Hinweise zur wirtschaftlichen, umweltverträglichen und sparsamen Verwendung von Energie und Wasser in öffentlichen Gebäuden (Energie 2000)“ (Erlaß vom 4. November 1999).

Niedersachsen

- Empfehlung zur Sicherstellung sparsamer Energieverwendung beim Betrieb technischer Anlagen. Ausgabe 1979.

- Dienstanweisung für die Betriebsüberwachung durch die Niedersächsische Staatshochbauverwaltung – DABÜ – (Nds. MBl. 1989, S. 822).
- Öffentliches Auftragswesen; Berücksichtigung des Umweltschutzes (Nds. MBl. 1992, S. 1286).
- Energieeinsparung und rationelle Energieverwendung des Landes. Vom 20. Dezember 1994.
- Leitfaden zum energiesparenden Bauen. Vom Juni 1997.

Nordrhein-Westfalen

Veröffentlichte Runderlasse (RdErl.) im Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen (SMBl. NRW.)

- Richtlinien für die Betriebsüberwachung durch die Staatliche Bauverwaltung Nordrhein-Westfalen – BÜG-Richtlinien RdErl. vom 20. April 1993. *Hinweise zu Zuständigkeit, Befugnissen, Arbeitsplanung, Berichtswesen etc.*
- Prüflisten für die Betriebsüberwachung durch die Staatliche Bauverwaltung Nordrhein-Westfalen – BÜG-Prüflisten RdErl. vom 21. Juli 1993. *Zur Überprüfung von Verträgen und Verbrauchern vor Ort.*
- Überprüfung der vom Land Nordrhein-Westfalen abgeschlossenen Energielieferverträge RdErl. 7. September 1993). *Hinweise auf Zuständigkeiten (z. B. Hochschulen).*
- Technische Gebäudeausrüstung – Wirtschaftlichkeitsnachweise für Maßnahmen zur Emissionsminderung und Energieeinsparung in Liegenschaften des Landes NRW (RdErl. vom 26. September 1994). *Wirtschaftlichkeitsnachweise für Maßnahmen (unterschiedlich, abhängig von der Art der Maßnahme). Pilotprojekte.*
- Technische Gebäudeausrüstung – Planung von raumluftechnischen Anlagen bei Bauten des Landes Nordrhein-Westfalen – „Lüftungsrichtlinie NRW“ RdErl. vom 30. September 1994. *Berücksichtigt der AMEV-Empfehlungen, u. a. Wärmerückgewinnung.*
- Technische Gebäudeausrüstung – Instandhaltung von technischen Anlagen und Einrichtungen in Liegenschaften des Landes – Instandhaltung TGA. RdErl. vom 16. Mai 1995 und Ergänzung vom 8. August 1996.
- Beleuchtungsanlagen in Dienstgebäuden des Landes Nordrhein-Westfalen (RdErl. vom 26. Juni 1995). *Lampen, Leuchten, Schaltungen, Installationsvoraussetzungen, Steuerungen.*
- Energiesparende Beleuchtungssteuerung in Dienstgebäuden des Landes Nordrhein-Westfalen (RdErl. vom 29. Juni 1996). *Schalteinrichtungen, Installationsvoraussetzungen, Bewegungsmelder.*
- Nutzung regenerativer Energiequellen in Liegenschaften des Landes RdErl. vom 3. Juli 1996 und Ergänzung vom 27. Januar 1999. *Thermische Solarenergie (aktive und passive), Wärmepumpen, Photovoltaik, Tageslicht, Windkraft, Wasserkraft, Biomasse/Biogas. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen („Bonusfaktoren“).*
- Prüfen und Überwachen von Heizanlagen in Gebäuden des Landes Nordrhein-Westfalen (Verwaltungsvorschrift RdErl. vom 29. November 1990, geändert am 11. Juli 1996). *Hinweis auch auf bauliche Maßnahmen. Spezielle Hinweise zu Hochschulen.*

- Technische Gebäudeausrüstung – Umweltverträgliche Kälteerzeugung und Kühlung in Liegenschaften des Landes Nordrhein-Westfalen RdErl. vom 14. November 1997. *Berücksichtigung der AMEV Empfehlung „Kälte 96“.*
- Umweltschonendes Bauen des Landes (RdErl. vom 21. Dezember 1998). *Zusammenfassung der Anforderungen bei Bauaufgaben.*
- Hinweise für die Planung von Aufzugsanlagen in Gebäuden des Landes Nordrhein-Westfalen (RdErl. vom 22. Dezember 1997). *Antriebe, Steuerungen, Schutzeinrichtungen.*
- Technische Gebäudeausrüstung – Anweisung von Heizanlagen in Liegenschaften des Landes. Heizungsbauanweisung NRW – RdErl. vom 18. März 1998. *Berücksichtigung der AMEV Empfehlung „Heizanlagenbau 95“.*

Nicht veröffentlichte Runderlasse (n. v. RdErl.)

- Planung und Bau von Elektroanlagen in öffentlichen Gebäuden (n. v. RdErl. vom 20. Dezember 1981). *Berücksichtigung der AMEV Empfehlung „Elt. Anlagen 88“.*
- FCKW-Halon-Reduzierung in der Technischen Gebäudeausrüstung (n. v. RdErl. vom 31. Januar 1995).
- Leitfaden für die Betriebsberatung und -überwachung elektrotechnischer Anlagen durch die Betriebsüberwachungsgruppen der Staatlichen Bauverwaltung NRW – Leitfaden Elektro-Betriebsüberwachung (n. v. RdErl. vom 26. September 1995). *Bezieht sich nicht direkt auf Hochschulen.*
- FCKW-Halon-Reduzierung in der Technischen Gebäudeausrüstung. Ersatzkältemittel für R 12-haltige Kälteanlagen (n. v. RdErl. vom 18. März 1996).
- Informationen zum Thema: Doppelfassaden – Auswirkungen auf die Technische Gebäudeausrüstung (n. v. RdErl. vom 18. August 1997).
- Planung und Bau von Fernmelderäumen in Liegenschaften des Landes Nordrhein-Westfalen (Anforderungen). N. v. RdErl. vom 18. August 1997.
- Anweisung für die Planung und Ausführung von Heiz- und Wassererwärmungsanlagen in Liegenschaften des Landes Nordrhein-Westfalen im Zuständigkeitsbereich der Staatshochbauverwaltung; hier: Kosten-Nutzen-Analyse (Wärmepreise für Energie 1990-1996). N. v. RdErl. vom 3. Februar 1998. *Hinweis: Eine Aktualisierung erfolgt im Nov. 1999.*
- Contracting und Intracting für landeseigene Liegenschaften (Verfahrensablauf). N. v. RdErl. vom 17. März 1998.
- Umweltschonendes Bauen des Landes - Planungshilfe zur Technischen Ausrüstung (n. v. RdErl. vom 31. August 1998). *Mit Bewertungsmodulen, Anforderungsparameter und Möglichkeiten zur Eingabe von Ziel- und Projektwerten (Umweltmanagement/Controlling).*
- Arbeitshilfen für Photovoltaikanlagen (Hinweise, Checkliste zur Planung und Ausschreibung, Leistungsverzeichnis). N. v. RdErl. vom 19. April 1999.
- Elektrische Leistungsbilanzen für das Normalnetz und Ersatznetz (EXCEL-Datei mit Beispielrechnungen, Nutzungsspezifische Leistungen). N. v. RdErl. vom 29. Juni 1999.

- Energiespar-Intracting (landeseigenes Contracting) Muster-Vereinbarung (n. v. RdErl. vom 12. März 1999).
- Technische Gebäudeausrüstung – Planungshilfe „DV-gestütztes Energiemanagement im Liegenschaftsmanagement für Bauten des Landes“ (n. v. RdErl. vom 31. August 1999).

Rheinland-Pfalz

- Einsparung von Energie. Rundschreiben der Staatskanzlei und der Ministerien vom 7. Dezember 1979.
- Energieeinsparung durch Schulung von Heizern im Landesdienst. Vom 5. Dezember 1980.
- Einführung der Planungshilfe „Energiesparendes Bauen“ vom 29. Februar 1980; Neufassung mit Stand Januar 1998.
- Einführung der AMEV-Broschüre „Bedienen von Heizanlagen“ (Bedien Heiz) am 30. Dezember 1983.
- Prüfung der durchgeführten Energiesparprogramme in landeseigenen Liegenschaften vom 23. Juli 1987.
- Einführung der AMEV-Broschüre „Bedienen von Raumluftechnischen Anlagen in öffentlichen Gebäuden“ (Bedien RLT 88) am 29. September 1988.
- Einführung der Planungshilfe „Umweltschutz im Bauwesen“ der Länderarbeitsgemeinschaft (LAG) der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder (ARGEBAU) am 3. Juni 1992; Neufassung in 1999.
- Allgemeine Anweisung für die Betreuung Betriebstechnischer Anlagen (ABA) durch Rundschreiben der Staatskanzlei und der Ministerien vom 22. August 1995.
- Stromverbrauch und Sparpotentiale von EDV-Geräten in Verwaltungsgebäuden des Landes Rheinland-Pfalz. Vom 2. Februar 1999.
- Einsatz von Präsenzmeldetechnik zur bedarfsorientierten Regelung und Steuerung des Energieverbrauchs. Vom 20. April 1999.

Saarland

- Einführung der Heizungsbetriebsanweisung des AMEV (HbeA/EVA). – Ministerratsbeschuß vom 11. März 1980.
- AMEV-Empfehlung „Einbau von Meßgeräten zum Erfassen des Energie- und Medienverbrauchs (EnMeß79)“ – Erlaß vom 24. März 1980.
- AMEV-Empfehlung „Zentrale Leittechnik einschließlich Messen, Steuern, Regeln in Digitaltechnik (DDC) für öffentliche Gebäude (ZLT/DDC-86)“ – Erlaß vom 8. März 1989.
- AMEV-Empfehlung „Bedienen von Sanitäranlagen in öffentlichen Gebäuden (Bedien Sanitär 90)“ – Erlaß vom 6. August 1991.
- AMEV-Empfehlungen „Hinweise zur Planung und Ausführung von Raumluftechnischen Anlagen für öffentliche Gebäude (RLT-Anlagen-Bau-93)“ sowie „Hinweise für die Innenraumbe-

leuchtung mit künstlichem Licht in öffentlichen Gebäuden (Beleuchtung 92)“ – Erlaß vom 14. April 1993.

- AMEV-Empfehlung „Bedienen von heiztechnischen Anlagen in öffentlichen Gebäuden (Bedien Heiz 95)“ – Erlaß vom 24. Juli 1995.
- Markteinführung erneuerbarer Energien. – Förderprogramm vom 19. August 1996 ersetzt durch Richtlinie vom 3. Juli 1997. *Förderung regenerativer Energieerzeugung (Solarenergie, Wasserkraft, Windenergie etc.)*
- Zukunftsenergieprogramm. – Ministerratsbeschluß vom 7. Juli 1999. *Enthält Aussagen u. a. zu Wärmeschutz, regenerativen Energiequellen, Beleuchtung etc., auch unter dem Aspekt der Finanzierung (Energiecontracting), β -Wirtschaftlichkeit. Die Konkretisierung bzw. Umsetzung steht derzeit noch aus. Das Programm versteht sich auch als Weiterführung der „Markteinführung erneuerbarer Energien“ (s. o.).*
- RL-Hochbau. Entwurf 1999, unter spezieller Berücksichtigung des rationellen Energieeinsatzes.

Sachsen

- Einbeziehung technischer, energetischer und ökonomischer Kriterien in Wettbewerbe. Erlaß des Staatsministeriums der Finanzen vom 21. Mai 1997.
- Aufgabenerledigung Betriebsüberwachung an der OFD Chemnitz. Erlaß des Staatsministeriums der Finanzen vom 22. September 1997.
- Finanzierung von Maßnahmen zur Energieeinsparung. Erlaß des Staatsministeriums der Finanzen vom 16. Februar 1998.
- Energiewirtschaftsrecht; Stromlieferverträge. Erlasse des Staatsministeriums der Finanzen vom 24. Juli, 19. Oktober u. 11. Dezember 1998.
- Energiewirtschaftsrecht; Stromlieferverträge, Rahmenverträge. Erlaß des Staatsministeriums der Finanzen vom 21. Dezember 1998.
- Energiewirtschaftsrecht; Stromlieferverträge, Datenbankdateien. Erlaß des Staatsministeriums der Finanzen vom 5. Januar 1999.
- Einführung Leitfaden Energiesparcontracting. Erlaß des Staatsministeriums der Finanzen vom 10. Februar 1999.

Sachsen-Anhalt

- Contracting-Leitfaden für landeseigene Liegenschaften des Landes Sachsen-Anhalt von 1996.
- Planungshilfe Umweltschutz im Bauwesen (Erlaß vom 19. Juni 1998).
- Haushaltsgesetz 1999 vom 30. März 1999. *Nach § 16 ist das zuständige Ministerium ermächtigt, mit Einwilligung des Ministeriums der Finanzen für Maßnahmen zur Energieeinsparung in Landesliegenschaften Vorfinanzierungen durch Dritte in Anspruch zu nehmen, wenn unter Berücksichtigung des Grundsatzes der Wirtschaftlichkeit die entstehenden Kosten (einschl. Zins und Tilgungsaufwand) aus den Einsparungen an Betriebskosten innerhalb eines Zeitraumes von maximal zehn Jahren getragen werden können, die Verzinsung sich im Rahmen ver-*

gleichbarer Kreditmarktdarlehen bewegt und die Deckung im laufenden Haushaltsjahr gesichert ist. Das Ministerium für Finanzen ist ermächtigt, in Abhängigkeit vom jeweiligen Einzelfall entsprechende Regelungen zu treffen.

- Energieeinsparpotentiale in Sachsen-Anhalt (Beschluß des Landtages von Sachsen-Anhalt vom 7. Mai 1999).
- Lokale Agenda 21 des Landes Sachsen-Anhalt. Hier: Nachhaltiges Wirtschaften in der Landesverwaltung (Entwurfssfassung).

Außerdem wurden diverse AMEV-Veröffentlichungen per Erlaß eingeführt.

Schleswig-Holstein

- Erlaß des Finanzministers vom 15. Februar 1980 „Empfehlungen zum energiesparenden Bauen – Bereich Technik“.
- Erlaß des Finanzministeriums: Planungsleitlinie „Ökologisches Bauen“ – Zusammenhang zwischen Natur, Energie und Architektur bei der Planung von Landesbauten. Vom 19. September 1989. *Enthält Hinweise zur Ausführung von Bauten, speziell unter Umweltschutzaspekten. Aussagen über Energieverbrauch von Heizungsanlagen, elektrische Energie etc.*
- Bauliche Maßnahmen zur Energieeinsparung – Verbesserung des Wärmeschutzes über die Anforderungen der Wärmeschutz-Verordnung vom Februar 1982 hinaus. (18. September 1991). *Festgelegt wurden Mindestanforderungen für die Landesbauten (k-Werte von Außenwänden, Fenstern, Kellerdecken sowie Wärmedämmschichten).*
- Energiesparende Techniken in grundfinanzierten Forschungseinrichtungen (Erlaß BMBau B I 6 A - B 1009 vom 7. Februar 1991). *Der Erlaß wurde am 22. März 1991 in Schleswig-Holstein eingeführt.*
- Energiepolitisches Konzept der Landesregierung (u. a. Plenarprotokoll 12/96 der 96. Sitzung des Schleswig-Holsteinischen Landtages vom 23. Januar 1992). *Danach sind die „energiepolitischen Zielsetzungen des Landes im besonderen Maße bei den Liegenschaften zu berücksichtigen. Das bedeutet, daß alle baulichen, betriebstechnischen und betrieblichen Möglichkeiten zur Umsetzung dieser Ziele unter Berücksichtigung der Folgekosten ausgeschöpft werden müssen.“*
- Erlaß des Ministeriums für Finanzen und Energie vom 18. Dezember 1997. Einführung der „Planungshilfe energiesparendes Bauen“.
- Erlaß des Ministeriums für Finanzen und Energie vom 19. Mai 1999. AMEV-Empfehlung „Hinweise zur wirtschaftlichen, umweltverträglichen und sparsamen Verwendung von Energie und Wasser in öffentlichen Gebäuden (Energie 2000)“. *Einführung als technische Arbeitshilfe.*

Thüringen

Spezielle Regelungen in Form von Richtlinien oder Verordnungen bestehen zum Thema Energie für den Hochschulbau nicht, auch die verschiedenen Förderprogramme des Thüringer Wirtschaftsministeriums, z. B. für Energieberatung, Nutzung erneuerbarer Energien, BHKW-Lösungen und CO₂-Minderungsprojekten, können von der Hochbauverwaltung Thüringen nicht in Anspruch genommen werden.

Unabhängig davon werden jedoch für alle größeren Bauvorhaben ganzheitliche Energiekonzeptionen erstellt und die Ausarbeitungen des AMEV und von HIS bei der Planung herangezogen (beispielhaft sei hier auf die AMEV-Empfehlung „RLT-Anlagen-Bau“ verwiesen, die geeignet ist, die Energieverbräuche durch Optimierung der Luftmengen bereits in der Planungsphase positiv zu beeinflussen).

Bei der Beauftragung der Energiekonzepte werden Auflagen zur Unterschreitung des zulässigen Jahres-Heizwärmebedarfs, der sich derzeit noch über die Vorgaben der Wärmeschutzverordnung 1995 ergibt, um bis zu 25 % erteilt. Damit wird bereits jetzt den über die Energiesparverordnung 2000 zu erwartenden und gegenüber der Wärmeschutzverordnung 1995 verschärften Anforderungen zum energiesparenden Wärmeschutz entsprochen.

Über die Energiekonzeption werden auch die zum Einsatz kommenden Primärenergieträger und gegebenenfalls einsetzbare alternative Energietechniken sowie die für das Vorhaben anzuwendenden energiesparenden Anlagentechniken festgelegt.

Energiesparende Bau- und Anlagentechniken im Hochschulbau werden somit von der Hochbauverwaltung Thüringen über zahlreiche Einzelmaßnahmen, die konkret auf die jeweilige Baumaßnahme bezogen erarbeitet werden, umgesetzt.

b) Rahmenbedingungen des Bundes

- Vorläufige Richtlinien (Grundsätze) für die Auswahl von baulichen Maßnahmen zur Einsparung von Energie im Gebäudebestand des Bundes vom 29. Februar 1980 (Erlaß BM-Bau – B I 6 – B 1407-51 vom 29. September 1983).
- Gesetz über die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien in das öffentliche Netz (Stromeinspeisungsgesetz) vom 7. Dezember 1990 (BGBl. I Nr. 67, S. 2633 ff.). *Die Mindestvergütungen je kWh für die jeweilige Erzeugungsart werden jährlich nach den Durchschnittserlösen der EVU neu festgelegt.*
- Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnischen Anlagen und Brauchwasseranlagen (Heizungsanlagen-Verordnung – HeizAnIV) vom 22. März 1994 (BGBl. I Nr. 19, S. 613 ff.). *Die Verordnung ist am 1. Juni 1994 in Kraft getreten.*
- Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 12 Wärmeschutzverordnung (AVV Wärmebedarfsausweis) vom 20. Dezember 1994 (Bundesanzeiger Nr. 243, S. 12543).
- Beschluß der Bundesregierung zur Reduzierung der energiebedingten CO₂-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland auf der Grundlage des zweiten Zwischenberichts der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO₂-Reduktion“ (IMA CO₂-Reduktion). (Deutscher Bundestag – Drucksache 12/2081 vom 12. Februar 1992; Publikation des Bundesumweltministeriums, Januar 1992).
- Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV) vom 16. August 1994 (BGBl. I Nr. 55, S. 2121 ff.). *Die Wärmeschutzverordnung ist am 1. Januar 1995 in Kraft getreten. Ziel ist die Verminderung des Heizwärmebedarfs.*
- Verordnung zur Umsetzung der Heizkesselwirkungsgradrichtlinie vom 28. April 1998 (BGBl. I Nr. 24, S. 796 ff.). *Die Verordnung regelt im Hinblick auf die Anforderungen an den Wirkungsgrad das Inverkehrbringen von Geräten und Heizkesseln, die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickt werden und deren Nennleistung gleich oder größer 4 kW oder kleiner als 400 kW ist.*

- Gesetz zur Neuregelung des Energiewirtschaftsrechts vom 24. April 1998 (BGBl. I Nr. 23, S. 730 ff.). *Zielsetzung ist die Liberalisierung der Strom- und Gasmärkte, um Kostensenkungen zu erreichen. Durch das generelle Kartellverbot wird der brancheninterne Wettbewerb ermöglicht. Die Stromaufsicht zugunsten der Tarifabnehmer sowie die kartellrechtliche Mißbrauchsaufsicht bei marktbeherrschender Stellung werden fortgesetzt.*
- Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform vom 24. März 1999. (BGBl. I Nr. 14, S. 378 ff.).
- Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energiesparverordnung – EnEV). *Die Verordnung soll die Wärmeschutzverordnung und die Heizungsanlagen-Verordnung zusammenfassen und fortschreiben (Verabschiedung voraussichtlich im Jahr 2000).*

Ergänzend wird auf Berichte und Programme, die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie herausgegeben werden, verwiesen: Energieberichte der Bundesregierung, Energiedaten der Bundesregierung, Energieprogramm der Bundesregierung mit dessen Fortschreibungen.

Forschungsprojekte und Hochschuladressen

Die im folgenden aufgeführten Projekte und Adressen stellen eine Auswahl dar, die entweder im Text erwähnt wurden oder für die Beschaffung ergänzender Informationen besonders geeignet sind.

Arbeitsgruppe Energie Rationell Anwenden (AERA)

Im Rahmen von Diplomarbeiten und weiteren Studien wurden folgende Projekte durchgeführt:

- Stromverbrauch am Institut für Kernphysik
- Wärmebedarf am Institut für Kernphysik
- Bedarfsgerechte Lüftung von Hörsälen
- Stromverbrauch von EDV-Geräten und Sparpotentiale
- Experimentelle Bestimmung von Lüftungswärmeverlusten
- Stromverbrauch eines Gymnasiums mit Turnhalle
- Stromverbrauch eines Verwaltungsgebäudes
- Stromverbrauch einer Klinik
- Lüftungswärmeverluste im Sozialministerium
- Stromverbrauch in einem ständig besetzten Verwaltungsgebäude
- Stromverbrauch eines Wohnheims
- Stromverbrauch einer Sporthalle ohne Tageslichteinfall
- Stromverbrauch eines Gemeindezentrums
- Erschließung von Einsparpotentialen im EDV-Bereich
- Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von investiven Maßnahmen im Bereich der Hörsaallüftung
- Kontrollierte Lüftung in einem Verwaltungsgebäude

Informationen:

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Institut für Experimentelle und Angewandte Physik

Leibnitzstraße 11-19

24098 Kiel

Telefon: 0431/880 – 2490

Fax: 0431/880 – 1647

Internet: <http://ifkki.kernphysik.uni-kiel.de/aera/aera.html>

Cooperation Programme in Europe on Nature and Industry through Coordinated University Studies (Copernicus)

Programm der Konferenz der europäischen Hochschulrektoren (Conference of European Rectors – CRE) mit dem Ziel, eine Zusammenarbeit in Umweltfragen von Hochschuleinrichtungen und anderen gesellschaftlichen Einrichtungen in Europa zu fördern.

Informationen:

Prof. Walter Leal Filho

Technische Universität Hamburg-Harburg

Arbeitsbereich Umweltschutztechnik

Eissendorfer Straße 40

21073 Hamburg

Telefon: 040/766180 – 0

Fax: 040/766180 – 58

Internet: http://www.tu-harburg.de/UMWELT98/papers/sekto_r_b/leal/text.html#top

Energiekostenbudgetierung an der TU Berlin

Ingenieurbüro Erdbories und Landwehr

Dipl.-Ing. Martin Erdbories

TU Berlin

Sekretariat FZ (E & L)

Straße des 17. Juni 135

10623 Berlin

Telefon: 030/314 – 23899

Fax: 030/314 – 23899

Energiesparpotentiale mit Einzelraumregelung

Fachhochschule Hannover
Fachbereich Maschinenbau, Bereich Energiesystemtechnik
Prof. Dr.-Ing. D. Nordmann
Ricklinger Stadtweg 118
30459 Hannover
Telefon: 0511/9296 – 341
Fax: 0511/9296 – 111
Internet: <http://www.fh-hannover.de>

Energie- und komfortgerechte Sanierung eines Bürohochhauses

Technische Universität Braunschweig
Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS)
Prof. Dr.-Ing. M. N. Fisch, Dipl.-Ing. M. Rozynski
Mühlenpfordtstr. 23
38106 Braunschweig
Telefon: 0531/391 – 3555
Fax: 0511/391 – 8125
Internet: <http://www.igs.bau.tu-bs.de>

Energieversorgung der Ruhr-Universität Bochum

Lehrstuhl für Nukleare und Neue Energiesysteme
Ruhr-Universität Bochum
Prof. Dr.-Ing. H. Unger
Sekretariat: IB 4/125
Telefon : 0234/700 – 6374
Telefax : 0234/709 – 4158
Internet: http://www.nes.ruhr-uni-bochum.de/for/forschung_de.html

Energieversorgung der TU Darmstadt

(Erneuerung und Privatisierung der Wärmeversorgung, Contracting)
Informationen: RD'in I. Bauernfeind-Roßmann
TU Darmstadt
Karolinenplatz 5
64289 Darmstadt
Telefon: 06151/16-2731
Fax: 06151/16-4499

GLT-Ausbau, Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

Universitäts-Krankenhaus Eppendorf
Dipl.-Ing. Heinz Staffeldt (Technischer Leiter)
Martinistr. 52
20251 Hamburg
Telefon: 040/4717 – 2060
Fax: 040/4717 – 6252
Internet: <http://www.uke.uni-hamburg.de/>

Netzwerk für eine umweltgerechte Entwicklung der Hochschulen (eco-campus.net)

Büro Osnabrück
Peter Viebahn
c/o Universität Osnabrück
Institut für Umweltsystemforschung
D-49069 Osnabrück
Telefon: 0541/969 – 2589
Fax : 0541/969 – 2599
e-mail: info@eco-campus.net
Internet: <http://www.eco-campus.net/>

Rational Use of Energy at the University of Stuttgart Building Environment (REUSE)

Im Rahmen des Projektes REUSE wurde die Liegenschaft Hochschulbereich Pfaffenwald auf ihre Möglichkeiten einer energetischen Optimierung hin untersucht. Durchgeführt wurden Energiesparmaßnahmen, die sich in einem Zeitraum von ca. 5 Jahren refinanzieren konnten. Alle Maßnahmen mußten vorfinanziert werden. Die Realisierung erfolgte z. T. im Rahmen eines Drittmittelfinanzierungskonzeptes.

Privatdozent Dr.-Ing. habil Fritz Schmidt
Forschungsinstitut für Kerntechnik und Energiewandlung e.V.
Abteilung Wissensverarbeitung und Numerik
Pfaffenwaldring 31
70550 Stuttgart
Telefon: 0711/685 – 2116
Fax: 0711/685 – 2010
e-mail: fritz.schmidt@ike.uni-stuttgart.de
Internet: <http://reuse.ike.uni-stuttgart.de/>

Raumlufttechnische Anlagen

Schaltung der Lüftungsanlagen nach Belegungsplänen, Einbau von Luftqualitätsfühlern, Vermeidung der Nutzung von Lüftungsanlagen zur Raumheizung

Dipl.-Ing. Georg Kitzmüller (Leiter der Betriebstechnik)
Universität Regensburg
Technische Zentrale
Universitätsstr. 31
93053 Regensburg
Telefon: 0941/943 – 2586
Fax: 0941/943 – 2178
e-mail: georg.kitzmueller@tz.uni-regensburg.de
Internet: <http://www.uni-regensburg.de/>

Sanierungskonzept für ein 70er-Jahre Hochhausgebäude

Institut für Kältetechnik und Angewandte Wärmetechnik
(s. u. Umweltbericht der Universität Hannover)

Solarthermische Anlage zur Betriebswassererzeugung in einem Laborgebäude (Chemie)

Universität Hannover
Dezernat Gebäudemanagement/Betriebstechnik
SG 34 B
Welfengarten 1
30167 Hannover
Telefon: 0511/762 – 2207 (Sachgebietsleiter Herr Müller)

Stoff- und Energieflußanalyse einer Universität – Erstellung eines Umweltmanagementkonzepts für Hochschulen am Beispiel der Universität Osnabrück.

Institut für Umweltsystemforschung (P. Viebahn, Prof. Dr. M. Matthies)
Universität Osnabrück
49069 Osnabrück
Telefon: 0541/969 – 2589
Internet: <http://www.usf.uni-osnabrueck.de/projects/sue>

Umweltbericht der Universität Hannover: Dokumentation des Energie- und Wasserverbrauchs sowie des Abfallaufkommens an der Universität Hannover.

Institut für Kältetechnik und Angewandte Wärmetechnik, Institut für Wasserwirtschaft
Prof. Dr.-Ing. M. Gietzelt
Universität Hannover
Callinstr. 30 a
30167 Hannover
Telefon: 0511/762 – 2441 oder – 2278
Fax: 0511/762 – 2167
Internet: www.unics.uni-hannover.de/ikw

Validierung nach der Öko-Audit-Verordnung

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Sozialwesen Zittau/Görlitz (FH)

Der Kanzler

AG Umweltmanagement

Th.-Körner-Allee 16

02763 Zittau

Telefon: 03583/61 – 1407

Fax: 03583/61 – 1402

Internet: <http://www.htw-zittau.de>

Bezugsquellen und Adressen von Organisationen und Verbänden

Eine Liste weiterer Vereine, Organisationen und Verbände ist im Internet unter <http://www.energie-aktuell.de/content/elinks/vereine.html> verfügbar.

AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen Ansprechpartner beim Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW): Königin-Louise-Str. 5 14195 Berlin	Telefon: 030 – 89789 – 696 Fax: 030 – 89789 – 200 Internet: http://www.ag-energiebilanzen.de
AGFW	Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e. V. bei der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) e. V. Stresemannallee 28 60596 Frankfurt	Telefon: 069 – 6304 – 1 Fax: 069 – 6304 – 455 Internet: http://www.agfw.de
AIG	Arbeitsgemeinschaft Instandhaltung Gebäudetechnik der Fachgemeinschaft Allgemeine Lufttechnik im VDMA Lyoner Straße 18 60528 Frankfurt am Main	Telefon: 069 – 6603 – 1489 Fax: 069 – 6603 – 2489
AMEV	Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen Geschäftsstelle: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, Ref. BS 32 Deichmanns Aue 31-37 53179 Bonn	Telefon: 0228 – 337 – (1) 5133 Fax: 0228 – 337 – 3060 Internet: http://www.amev.belwue.de
	Vertrieb der AMEV-Schriften: Druckerei Bernhard GmbH Weyersbusch 8 42929 Wermelskirchen	Telefon: 02196 – 6011 Fax: 02196 – 81515
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers 1791 Tullie Circle, N.E. USA-Atlanta, GA 30329	Telefon: 001 – 404 – 636 – 8400 Fax: 001 – 404 – 321 – 5478 Internet: http://www.ashrae.org
ASUE	Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V. Bismarckstr. 16 67655 Kaiserslautern	Telefon: 0631 – 3609070 Fax: 0631 – 3609071 Internet: http://www.asue.de
Berliner Energieagentur GmbH	Rudolfstr. 9 10245 Berlin	Telefon: 030 – 293330 – 36 Fax: 030 – 293339 – 99 Internet: http://www.berliner-e-agentur.de/
Beuth Verlag	Beuth Verlag GmbH Postfach 1145 10772 Berlin	Telefon: 030 – 2601 – 2260 bis 2263 Fax: 030 – 2601 – 1231 Internet: http://www.beuth.de
BGW	Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e. V. Josef-Wirmer-Str. 1 53123 Bonn	Telefon: 0228 – 2598 – 0 Fax: 0228 – 2598 – 120 Internet: http://www.bgw.de
CEN	Comité Européen de Normalisation Central Secretariat 36, rue de Stassart B-1050 Brussels	Telefon: 0032 – 2 – 550 – 0811 Fax: 0032 – 2 – 550 – 0819 Internet: http://www.ict.etsi.fr/cen.htm
CiA	CAN in Automation e. V. Am Weichselgarten 26 91058 Erlangen	Telefon: 0931 – 69086 – 0 Fax: 0931 – 69086 – 79 Internet: http://www.can-cia.de

Deutsche Bundesstiftung Umwelt	An der Bornau 2 40090 Osnabrück	Telefon: Fax: Internet:	0541 – 9633 – 0 0541 – 9633 – 190 http://www.umweltstiftung.de/
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V. 10772 Berlin Vertrieb der DIN-Normen: Beuth Verlag GmbH	Internet:	http://www.din.de
EIB	EIBA Deutschland Sekretariat c/o ZVEI e. V. Stresemannallee 19 60596 Frankfurt am Main	Telefon: Fax: Internet:	069 – 6302 – 296 069 – 6302 – 383 http://www.eiba.com
Energieagentur Nordrhein-Westfalen	REN Impuls-Programm RAVEL NRW Morianstr. 32 42103 Wuppertal	Telefon: Fax: Internet:	0202 – 2455 – 27 0202 – 2455 – 28 http://www.ea-nrw.de
E.V.A.	Energieverwertungsagentur Linke Wienzeile 18 A-1060 Wien	Telefon: Fax: Internet:	0043 – (0)1 – 586 – 1524 0043 – (0)1 – 586 – 9488 http://www.eva.wsr.ac.at
EWI	Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln Albertus-Magnus-Platz 50923 Köln	Telefon: Fax: Internet:	0221 – 470 – 2258 0221 – 446537 http://www.uni-koeln.de/wiso-fak/energie/
FKGB	Fachkommission Gebäude- und Betriebstechnik Seit 1999 überführt in Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau Geschäftsstelle: HIS Hochschul-Informations-System GmbH Goseriede 9 30159 Hannover	Telefon: Fax: Internet:	0511 – 1220 – 248 0511 – 1220 – 250 http://www.his.de
GAEB	Gemeinsamer Ausschuß für Elektronik im Bauwesen Geschäftsstelle im Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen Deichmanns Aue 31-37 53179 Bonn	Telefon: Internet:	0228 – 337 – 5142 http://www.gaeb.de
HEA	Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung -HEA- e.V. Am Hauptbahnhof 12 60329 Frankfurt am Main	Telefon: Fax: Internet:	069 – 25619 – 0 069 – 23 27 21 http://www.hea.de
IEC	International Electrotechnical Commission Kontaktadresse für Deutschland: VDE	Internet:	http://www.iec.ch
IKE	Institut für Kernenergetik und Energiesysteme Universität Stuttgart Pfaffenwaldring 31 70550 Stuttgart	Telefon: Fax: Internet:	0711 – 685 – 2116 0711 – 685 – 2010 http://www.ike.uni-stuttgart.de
Impulsprogramm Hessen	Schleiermacherstr. 8 64283 Darmstadt	Telefon: Fax: Internet:	06151 – 1385 – 10 06151 – 1385 – 20 http://www.impulsprogramm.de/
INFU	Institut für Umweltforschung Universität Dortmund 44421 Dortmund	Telefon: Fax: Internet:	0711 – 685 – 2116 0711 – 685 – 2010 http://www.infu.uni-dortmund.de

INTERBUS-S	INTERBUS Club e. V. Deutschland Geschäftsstelle Postfach 1108 32817 Blomberg	Telefon: Fax: Internet:	05235 – 3421 – 00 05235 – 3412 – 34 http://www.interbusclub.com
IWP	Initiativkreis WärmePumpe (IWP) e.V.	Internet:	http://www.waermepumpe-iwp.de
IWR	Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien Robert-Koch-Str. 26–28 48149 Münster	Telefon: Fax: Internet:	0251 – 83 – 33995 0251 – 83 – 33995 http://www.iwr.de
IZE	Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft e. V. Stresemannallee 23 60555 Frankfurt am Main	Telefon: Fax:	069 – 63043 – 72/ –74 069 – 63043 – 87
Landesenergieagentur hessenEnergie GmbH	Mainzer Str. 98 – 102 65189 Wiesbaden	Telefon: Fax: Internet:	0611 – 74623 – 0 0611-718 224 http://www.hessenenergie.de
LB	Landesinstitut für Bauwesen Theaterplatz 14 52062 Aachen	Telefon: Fax: Internet:	0241 – 455 – 329 0241 – 455 – 390 http://www.lb.nrw.de
LNO	LON Nutzer Organisation e. V. Junkerstr. 77 52064 Aachen	Telefon: Fax: Internet:	0241 – 88970 – 0 0241 – 88970 – 42 http://www.lno.de
M-Bus	M-Bus Usergroup Fachbereich Physik Universität-GH Paderborn Warburger Str. 100 33098 Paderborn	Telefon: Fax: Internet:	05251 – 60 – 2750 05251 – 60 – 3420 http://www.m-bus.com
PNO	PROFIBUS Nutzerorganisation e. V. Haid-und-Neu-Str. 7 76131 Karlsruhe	Telefon: Fax: Internet:	0721 – 9658 – 590 0721 – 9658 – 589 http://www.profibus.com/
SIA	Schweizer Ingenieur- und Architekten-Verein Selnaustrasse 16 CH-8039 Zürich	Telefon: Fax: Internet:	0041 – (0)1 – 283 – 1515 0041 – (0)1 – 201 – 6335 http://www.sia.ch
USF	Institut für Umweltsystemforschung Universität Osnabrück 49069 Osnabrück	Telefon: Fax: Internet:	0541 – 969 – 2589 0541 – 969 – 2599 http://www.usf.uni-osnabrueck.de
VDE	Verband Deutscher Elektrotechniker VDE-VERLAG GmbH Bismarckstraße 33 10625 Berlin Vertrieb der Schriften: Beuth Verlag GmbH	Telefon: Fax:	030 – 34 – 800116 030 – 34 – 17093
VDEW	Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e. V. Stresemannallee 23 60596 Frankfurt am Main	Telefon: Fax: Internet:	069 – 6304 – 1 069 – 6304 – 289 http://www.strom.de

VDI	Verein Deutscher Ingenieure Postfach 101139 40002 Düsseldorf	Telefon: Fax: Internet:	0211 – 6214 – 0 0211 – 6214 – 575 http://www.vdi.de
	Vertrieb der Schriften: Beuth Verlag GmbH		
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. Normenausschuß Maschinenbau im DIN Lyoner Straße 18 60528 Frankfurt	Telefon: Fax: Internet:	069 – 6603 – 1342 069 – 6603 – 1557 http://www.vdma.de
	Vertrieb der Schriften: Beuth Verlag GmbH		
VEA	Bundesverband der Energie-Abnehmer e. V. Zeißstraße 72 30519 Hannover	Telefon: Fax: Internet:	0511 – 9848 0511 – 8379052 http://www.vea.de
VIK	Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e. V. Richard-Wagner-Str. 41 45128 Essen	Telefon: Fax: Internet:	0201 – 81084 – 0 0201 – 81084 – 30 http://www.vik-online.de
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH	Döppersberg 19 42103 Wuppertal	Telefon: Fax: Internet:	0202 – 2492 – 183 0202 – 2492 – 198 http://www.wuppertal-institut.de
ZBWB	Zentralstelle für Bedarfsbemessung und Wirtschaftliches Bauen Werastr. 4 70182 Stuttgart	Telefon: Fax: Internet:	0711 – 212 – 3346 0711 – 2360 – 274 http://www.01019freenet.de/Kuhl-ZBWB/
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) e.V. ZVEI-Services GmbH (ZSG) Stresemannallee 19 60596 Frankfurt am Main	Telefon: Fax: Internet:	069 – 6302 – 242 069 – 6302 – 322 http://www.zvei.de

Anbieteradressen Energiedatenerfassung etc.

Die folgende Anbieterübersicht basiert auf HIS vorliegenden Informationen. Aufgeführt sind Anbieter von Meß-, Steuer- und Regelungstechnik, die Komponenten und/oder Dienstleistungen zur Energiedatenerfassung anbieten. Aufgeführt sind außerdem Firmen, die im Text erwähnt wurden.

Dem Anwender wird empfohlen, aktuelle Informationen bzw. Angebote direkt bei den jeweiligen Anbietern abzufragen. Nahezu alle Anbieter sind mittlerweile im Internet präsent. Eine Anbieterübersicht zur Gebäudeautomation befindet sich in der Hochschulplanung Nr. 129 bzw. ist bei HIS erhältlich.

ABB Fläkt Produkte GmbH

Gebäudeausrüstung
Schorbachstraße 9
35510 Butzbach
Produkte:

Telefon: 06033 – 80 – 262
Fax: 06033 – 80 – 586
Internet: <http://www.abb.de/fpr>
Lüftungs- u. Klimazentralgeräte, Wärmetauscher und
Wärmerückgewinnungs-Systeme, Ventilatoren, Luftdurchlässe für
die Zu- und Abluft, Ventilator-Konvektoren, Industrieventilatoren

Besonderheiten:

ABB Kent Messtechnik GmbH

Otto-Hahn-Straße 25
68623 Lampertheim
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 06206 – 933 – 0
Fax: 06206 – 933 – 100
Internet: <http://www.abb.de/ket>
Meßtechnik (Wärmemenge, Wasser)
Fernübertragung und Fernauswertung

AdCoNet GmbH

Vorhelmer Straße 81
59243 Beckum
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 02521 – 8738 – 0
Fax: 02521 – 8738 – 20
Internet: <http://www.adconetde>
Meßtechnik (Elektrizität, Wärmemenge, Wasser)
LON

Allmess Schlumberger GmbH

Am Voßberg 11
23758 Oldenburg / Holstein
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 04361 – 625 – 0
Fax: 04361 – 625 – 250
Internet: <http://www.allmess.de>
Meßtechnik (Wärmemenge, Wasser)
M-Bus

Amstein + Walthert Beratende Ingenieure GmbH

Westendstr. 19
60325 Frankfurt am Main
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 069 – 97546 – 249
Fax: 069 – 97546 – 110
Internet: <http://www.amstein-walthert.de/>
Dienstleistungen (Ingenieurbüro)
„Stromsparcheck für Gebäude“

BERG Energiekontrollsysteme GmbH

Breslauer Str. 40
82194 Gröbenzell
Produkte:

Telefon: 08142 – 5944 – 0
Fax: 08142 – 5533
Internet: <http://www.berg-energie.de>
Meßtechnik (Elektrizitätszähler, Energieanalyse),
Komponenten für Lastmanagement und Energiemanagement

Besonderheiten:

Danfoss Antriebs- und Regeltechnik GmbH

Geschäftsbereich Messen und Regeln
Carl-Legien-Straße 8
63073 Offenbach/Main
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 069 – 8902 – 0
Fax: 069 – 8902 – 396
Internet: <http://www.danfoss-sc.de>
Meßtechnik (Durchfluß, Wärmemenge), Regelungstechnik
LON, M-Bus

Delphin Systeme GmbH

Offermannsheidter Str. 184
51515 Kürten
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 02207 – 9645 – 0
Fax: 02207 – 9645 – 38
Internet: <http://www.delphinsys.de>
Meßtechnik (Datenlogger)
CAN, Ethernet

Döbelt Datenkommunikation

Ackerstraße 71–76
13355 Berlin
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 030 – 46307616
Fax: 030 – 46404507
Internet: <http://www.doebelt.de>
Meßtechnik (Zählerfernauslesung)

Dress Energieoptimierung GmbH

Marktredwitzer Str. 25a
95679 Waldershof
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 09231 – 977 – 90
Fax: 09231 – 977 – 99
Internet: <http://www.dress.de>
Energiemanagement (Software)

EAD Energieabrechnungssysteme GmbH

Nachfeldstr. 4
82490 Farchant
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 08821 – 9623 – 0
Fax: 08821 – 9623 – 20
Internet: <http://www.ead-systeme.de>
Meßtechnik (Durchfluß, Wärmemenge)
M-Bus, Funk-Fernabfrage

EBE Gesellschaft für Energieberatung mbH

Kopernikusstraße 4
50126 Bergheim
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 02271 – 45 – 613
Fax: 02271 – 45 – 912
Internet: <http://www.ebe-energie.de>
Dienstleistungen, Energiedatenerfassung (Software)

electronic Patzig

Niedersedlitzer Platz 6b-7
01259 Dresden
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 0351 – 21839 – 11
Fax: 0351 – 21839 – 10
Internet: <http://www.electronicpatzig.de>
Meßtechnik (Elektrizitätszähler)

Elster Handel GmbH

Steinernstr. 19-21
55252 Mainz-Kastel
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 06134 – 605 – 0
Fax: 06134 – 605 – 390
Internet:
Meßtechnik (Gas), Energiedatenerfassung

Arthur Grillo GmbH

Am Sandbach 7
40878 Ratingen
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 02102 – 471022
Fax: 02102 – 475882
Internet:
Meßtechnik (Durchfluß, Wärmemenge)

Gossen-Metrawatt GmbH/Camille Bauer AG

GMC Instruments Deutschland GmbH
Thomas-Mann-Str. 16–20
90471 Nürnberg
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 0911 – 8602 – 111
Fax: 0911 – 8602 – 777
Internet: : <http://www.gossen-metrawatt.de/>
Meßtechnik (Elektrizitätszähler)
LON

ICS Schneider Messtechnik

Briesestr. 59
16562 Bergfelde
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 03303 – 5040 – 66
Fax: 03303 – 5040 – 68
Internet: <http://www.ics-schneider.de/>
Meßtechnik (Elektrizitätszähler), Datenlogger
M-Bus

IME Messgeräte GmbH

Dorfäckerstr. 27
90427 Nürnberg
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 0911 – 3150 – 150
Fax: 0911 – 3150 – 154
Internet: <http://www.ics-schneider.de/seiten/edit/listew1.htm>
Meßtechnik (Elektrizitätszähler)
M-Bus

KONE Aufzug GmbH

Am Bahndamm 20-22
30453 Hannover
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 0511 – 2148 – 0
Fax: 0511 – 2148 – 250
Internet: <http://www.kone.com>
Aufzüge
Aufzüge ohne Maschinenraum

Kundo System Technik GmbH

Postfach 1332
78105 St. Georgen
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 07724 – 9389 – 0
Fax: 07724 – 9389 – 10
Internet:
Meßtechnik (Wärmemenge)
Funk-Fernabfrage

NZR Nordwestdeutsche Zählerrevision

Aug. Knemeyer Ing. GmbH & Co.
Heideweg 11
49196 Bad Laer
Produkte:

Telefon: 05424 – 2928 – 0
Fax: 05424 – 2928 – 77
Internet: <http://www.nzr.de>
Meßtechnik (Elektrizitätszähler, Wärmemenge, Wasser),
Energie-Management-Systeme, Datenlogger, Maximumwächter,
Lichtregelsysteme
Datenfernübertragung

Besonderheiten:

Pfisterer Kontaktsysteme GmbH & Co. KG

Hubertusstr. 30
61250 Usingen
Produkte:

Telefon: 07181 – 7005 – 803
Fax: 07181 – 7005 – 820
Internet: <http://www.pfisterer.de>
Datenlogger

Besonderheiten:

P + E Technik

Hubertusstr. 30
61250 Usingen
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 06081 – 9137 – 0
Fax: 06081 – 9137 – 37
Internet: <http://www.pe-technik.com>
Meßtechnik (Infrarot-Ausleseköpfe für Elektrizitätszähler)
M-Bus

Pilz GmbH & Co.

Felix-Wankel-Str. 2
73760 Ostfildern
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 0711 – 3409 – 0
Fax: 0711 – 3409 – 133
Internet: <http://www.pilz.de>
Meßtechnik (Elektrizitätszähler)
Interbus

Raab Karcher Energieservice GmbH

Nervinghoff 5
48147 Münster
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 0251 – 9289 – 0
Fax: 0251 – 9189 – 630
Internet: <http://www.rkes.de>
Dienstleistungen, Meßtechnik (Durchfluß, Wärmemenge, Wasser)
M-Bus, Funkübertragung

Saarberg-Fernwärme GmbH

Sulzbachstr. 39-41
66111 Saarbrücken
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 0681 – 405 – 9600
Fax: 0681 – 405 – 9340
Internet: <http://www.sfw.de>
Dienstleistungen (Fernwärme, Energiemanagement)
Contracting

SAE Elektronik GmbH

Im Gewerbegebiet Pesch 14
50767 Köln
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 0221 – 59808 – 0
Fax: 0221 – 59808 – 60
Internet: <http://www.sae-elektronik.de>
Meßtechnik (Zählerfernauslesung)
M-Bus

SAIA-Burgess Electronics GmbH & Co. KG

Daimlerstr. 1 K
63303 Dreieich
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 06103 – 890 – 60
Fax: 06103 – 890 – 666
Internet: <http://www.saia-burgess.de>
Meßtechnik (Elektrizitätszähler), Gebäudeautomation
EIB, LON, M-Bus, PROFIBUS

Schuehle GmbH

Franz-Bayer-Str. 14
88213 Ravensburg
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 0751 – 66114
Fax: 0751 – 61299
Internet: <http://www.schuehle.com>
Meßtechnik (Datenlogger)
Datenfernübertragung (ISDN, Funk etc.)

Siemens Metering AG

Humboldtstraße 59
90459 Nürnberg
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 0911 – 433 – 8267
Fax: 0911 – 433 – 5493
Internet: http://www.siemet.com/default_d.asp
Dienstleistungen, Meßtechnik (Gas, Wärme, Elektrizitätszähler)
M-Bus, Datenfernübertragung (ISDN, Funk)

SVEA Building Control Systems GmbH & Co.

Gertigstraße 48
22303 Hamburg
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 040 – 278566 – 50
Fax: 040 – 278566 – 99
Internet: <http://www.svea.de>
Meßtechnik (Elektrizitätszähler)
LON

Techem Aktiengesellschaft & Co.

Saonestraße 1
60528 Frankfurt
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 069 – 6639 – 328
Fax: 069 – 6639 – 525
Internet: <http://www.techem.de>
Dienstleistungen, Meßtechnik (Wärme)
M-Bus

Thermokon Sensortechnik GmbH

Aarstraße 6
35756 Mittenaar-Bicken
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 02772 – 6501 – 0
Fax: 02772 – 6501 – 70
Internet: <http://www.thermokon.de>
Sensortechnik (Temperatur, Feuchte, Luftqualität, Helligkeit)
LON

Top Control Gesellschaft für Fernwirktechnik und Telematiksysteme mbH

Sauerwiesen 2
67661 Kaiserslautern
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 06301 – 7136 – 0
Fax: 06301 – 7136 – 99
Internet: <http://www.top-control.de>
Lastmanagement, Lichtregelsystem, Präsenzmelder, selbstlernende Zeitautomatik für Geräte (Kopierer, Drucker etc.) „memo-switch“

Walcher

Industriepark Rhön
36124 Eichenzell
Produkte:

Telefon: 06659 – 1877
Fax: 06659 – 4372
Internet: <http://www.walcher.com>
Meßtechnik (Datenlogger), Energiemanagement (Elektro), Beleuchtungsregelung (Spannungsreduzierung)

Besonderheiten:

WIKON Kommunikationstechnik GmbH

Sauerwiesen 2
67661 Kaiserslautern
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 06301 – 7111 – 0
Fax: 06301 – 7111 – 99
Internet: <http://www.wikon.de>
Meßtechnik (Zählerfernauslesung)

WSE Waldsee Electronic GmbH

Industriepark Rhön
36124 Eichenzell
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 07524 – 9775 – 0
Fax: 07524 – 9775 – 29
Internet: <http://www.waldsee-electronic.de>
Meßtechnik (Strom)

ZES Zimmer Electronic Systems GmbH

Sauerwiesen 2
67661 Kaiserslautern
Produkte:
Besonderheiten:

Telefon: 06171 – 6287 – 50
Fax: 06171 – 52086
Internet: <http://www.zes.com>
Meßtechnik (Strom)

2W Software

Systemhaus für Energiemanagement
79256 Buchenbach

Produkte:

Telefon: 07661 – 9121 – 31
Fax: 06171 – 9121 – 32
Internet: <http://www.2wsoftware.com>
Energiemanagement (Software), Zählerdatenerfassung, Lastspitzenmanagement

Besonderheiten:

