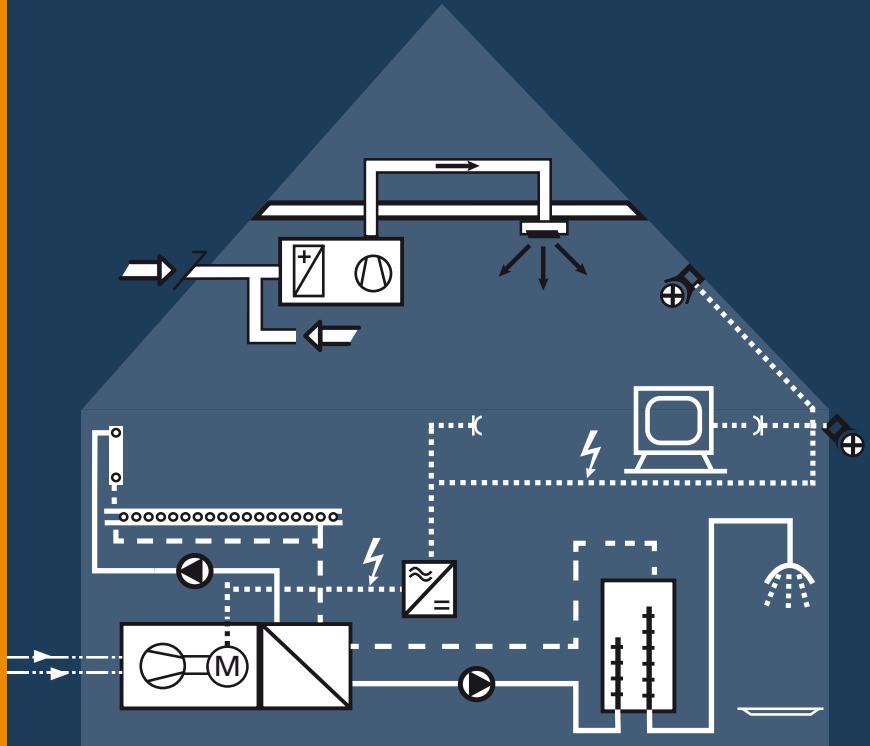


Eric Theiß

Rationelle Energieanwendungen in der Gebäudetechnik

Energieeffiziente Systemtechnologien
der Raumluft-, Klima-, Kälte- und
Beleuchtungstechnik

Anlagenkonzepte, Anwendungen und Praxistipps



Fraunhofer IRB ■ Verlag

Eric Theiß

Rationelle Energieanwendungen in der Gebäudetechnik

Eric Theiß

Rationelle Energieanwendungen in der Gebäudetechnik

Energieeffiziente Systemtechnologien
der Raumluft-, Klima-, Kälte- und Beleuchtungstechnik

Anlagenkonzepte, Anwendungen, Praxistipps

Fraunhofer IRB Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

ISBN (Print): 978-3-8167-8529-3

ISBN (E-Book): 978-3-8167-8696-2

Herstellung: Tim Oliver Pohl

Layout: Dietmar Zimmermann

Umschlagkonzeption: Elisabeth Theiß

Satz: Manuela Gantner – Punkt, STRICH.

Druck: Gulde Druck GmbH & Co. KG, Tübingen

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

Alle Rechte vorbehalten

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

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

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

© by Fraunhofer IRB Verlag, 2012

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart

Telefon (0711) 9 70-25 00

Telefax (0711) 9 70-25 08

E-Mail: irb@irb.fraunhofer.de

<http://www.baufachinformation.de>

Vorwort

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

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

Band 2 der Rationellen Energieanwendungen in der Gebäudetechnik befasst sich mit der Energieeinsparung und der Steigerung des Nutzerkomforts in der Raumluft-, Klima-, Kälte- und Beleuchtungstechnik.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

München, im September 2011

Der Autor

Inhaltsverzeichnis

1.0	Grundlagen	13
1.1	Allgemein	13
1.1.1	Baukörper und technische Systeme der Energieverwendung	13
1.1.2	Kosten und Nutzen von Maßnahmen zur Energieeinsparung	13
1.1.3	Energieeffizienz: Energieprofil von Gebäuden	14
1.1.4	Energieeinsparverordnung (EnEV)	15
1.1.4.1	Neuerungen in der EnEV 2007	16
1.1.4.2	Neuerungen in der EnEV 2009	16
1.1.5	Blower-Door-Luftdichtigkeit	17
1.1.5.1	Thermografie	22
1.1.5.2	Lüftungswärmebedarf (Q_L)	23
1.1.6	Lebenszykluskosten (Life-Cycle-Costs)	23
1.1.6.1	Nutzungskosten	25
1.1.6.2	Ver- und Entsorgungskosten	25
1.1.6.3	Reinigung, Wartung, Instandsetzung	25
1.1.6.4	Veränderte Randbedingungen	25
1.1.6.5	Objektbeispiel	26
1.2	Maßnahmen zur Energieeinsparung	26
1.2.1	Energieoptimierte Gebäudehülle	27
1.2.1.1	Energieoptimiertes Bauen (EnOB)	28
1.2.1.2	Solararchitektur	28
1.2.1.3	Green-Building-Gebäude	28
1.2.1.4	LowEx-Gebäude	29
1.2.2	Bauphysik	30
1.2.2.1	Wärmeschutz und Energieeinsparung nach DIN 4108	30
1.2.2.2	Innovative Wärmedämmungen	31
1.2.2.3	Thermochemische Speicherung durch Phase Change Material (PCM)	31
1.2.3	Passive Sonnenutzung	35
1.2.3.1	Nutzung der Sonnenenergie ohne technische Umwandlungsprozesse	36
1.2.4	Bauteilaktivierung	37
1.2.4.1	Aktivierbare Speichermasse	37
1.2.4.2	Hybridsysteme	40
1.2.4.3	LowEx-TGA-Systeme	40
1.2.4.4	Nachtlüftung (Gebäudenachtauskühlung)	40
1.2.4.5	Referenzprojekt	42
1.2.5	Energieeffiziente Gebäudeautomatisation	42
1.2.5.1	Vier Effizienzklassen der Gebäudeautomationssysteme	43
1.2.5.2	Die »Weltnorm« DIN EN ISO 16484	44
1.2.5.3	Gebäudeautomation und Feldbustechnologie	46
1.2.5.4	Normierte Standardbussysteme	49
1.3	Contracting	50

1.3.1	Contractinggesellschaftsform	51
1.3.2	Energiesparcontracting (Performancecontracting)	53
1.3.3	Wärmecontracting ohne Eigenkapital	53
1.3.4	Anlagencontracting	54
1.3.5	Betriebsführungs- und/oder Instandhaltungscontracting	54
1.3.6	Referenzprojekte	55
1.4	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	55
2.0	Regelwerke	59
2.1	Begriffsbestimmungen, Definitionen	59
2.1.1	Normen und Richtlinien in der Europäischen Gemeinschaft	59
2.1.2	Nationales Recht (Bundesrecht)	59
2.1.3	Landesrecht	59
2.2	Regelwerksystematik	60
2.2.1	Normenkenntnis als Notwendigkeit	60
2.2.2	Entstehung der Normen	60
2.2.3	Die Bedeutung des Farbdrucks bei der Normung	61
2.2.4	Gesetzeslage der Normung	61
2.2.4.1	Anerkannte Regel der Technik	62
2.2.4.2	Stand der Technik	62
2.2.4.3	Stand der Wissenschaft und Technik	63
2.2.4.4	Einhaltung der Normen und Vorschriften	63
2.3	Richtlinien und Verordnungen	64
2.3.1	VDI-Richtlinien (Technische Regeln)	64
2.3.2	VDE-Bestimmungen	64
2.3.3	VdS-Richtlinien	64
2.3.4	Sonstige Richtlinien und Merkblätter	65
2.4	Verzeichnis der Normen in Kapitel 1.0 bis 4.0	65
2.5	Verzeichnis der Richtlinien und Verordnungen in Kapitel 1.0 bis 4.0	70
3.0	Energetische Potenziale in der Raumluft, Klima- und Kältetechnik	75
3.1	Grundlagen	75
3.1.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen	76
3.1.1.1	Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen nach DIN V 18599-2	76
3.1.1.2	Energetische Bilanzierung von RLT-Klima-Kälteanlagen nach DIN V 18599-3	76
3.1.1.3	Variationen zur Berechnung des Energiebedarfs von RLT-Anlagen	77
3.1.1.4	Energieeinsparpotenzial durch die Anlagenkomponenten	80
3.2	Optimierungsproblematiken	89
3.2.1	RLT-Anlagenoptimierung	89
3.2.1.1	Lebenszykluskosten (Life-Cycle-Costs)	89
3.2.1.2	Ventilatorregelung	92
3.2.1.3	Variable-Volumen-System (VVS-System)	93
3.2.1.4	Objektbeispiel und Referenzprojekte	94

3.2.1.5 Energieeinsparpotenzial durch Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (MSR)	96
3.2.1.6 Gebäudeleittechnik (GLT)	99
3.3 Kontrollierte Wohnungslüftung (KWL)	100
3.3.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen	103
3.3.2 Systemlösungen	104
3.3.2.1 Ventilatorsteuerungen	104
3.3.3 Effizienz der kontrollierten Wohnraumlüftung	105
3.3.3.1 Erforderliche Luftwechselrate	106
3.3.3.2 Luftwechselrate nach der EnEV	109
3.3.3.3 Wohnungslüftung im Niedrigenergiehaus	110
3.3.3.4 Wohnungslüftung im Passivhaus	111
3.3.4 Förderungen	111
3.3.5 Wirtschaftlichkeit	112
3.4 Wärme- und Kälterückgewinnungssysteme	112
3.4.1 Grundlagen	112
3.4.1.1 Wärme- und Kälterückgewinnung durch Nutzung von thermischer Energie aus Abwärme	113
3.4.1.2 Wärme- und Kälterückgewinnung durch regenerative und rekuperative Wärmerückgewinnungssysteme	115
3.4.2 Systemvarianten	115
3.4.2.1 Direkte Umluftbeimischung	115
3.4.2.2 Regenerative Wärmerückgewinnungssysteme	116
3.4.2.3 Rekuperative Wärmerückgewinnungssysteme	117
3.4.2.4 Kreislaufverbund (KV-)Wärmerückgewinnungssysteme	121
3.4.2.5 Wechselspeicher-Umschaltregenerator	122
3.4.2.6 Doppel-Rekuperative-Wärmerückgewinnung mit adiabatischer Kühlung	125
3.4.2.7 Luftkanal-Erdwärmeübertrager (L-EWÜ)	125
3.4.2.8 Sonstige Wärmerückgewinnungssysteme	128
3.4.3 Förderungen	129
3.5 RLT-Innovationen	130
3.5.1 Fassadengeräte LTG Typ FVM oder TROX-FRL	130
3.5.2 VRV/VRF-Systeme	134
3.5.2.1 VRV: Variable Refrigerant Volume (variables Kältemittelvolumen)	134
3.5.2.2 VRV-Invertersystem mit Wärmerückgewinnung	135
3.5.2.3 Kältemittelbasierte Systeme (VRF-Technologie)	136
3.5.3 Hybride Raumlufttechnik	137
3.5.4 OxyCell-Technology	138
3.5.5 Kombinationssystem: 3 HX-Kälte-Wärmepumpenanlage	141
3.6 Solare Klimatisierung	143
3.6.1 Grundlagen	143
3.6.1.1 Solare Kälteerzeugung (Solar Cooling)	143
3.6.2 Solare Kühlung mit geschlossenen Systemen	147
3.6.2.1 Absorptionstechnologie	147

3.6.2.2 Adsorptionstechnologie	151
3.6.3 Solare Kühlung mit offenen Systemen	155
3.6.3.1 Sorptionsgestützte Klimatisierung (SGK) oder Desiccative and Evaporative Cooling (DEC)	155
3.6.3.2 Sorptions- und Solargestützte Klimaanlagen (SSGK)	160
3.6.3.3 Sorptionsgestützte Klimatisierung mit flüssigen Sorptionsmitteln	161
3.6.4 Referenzprojekte mit offenen Solarkühlsystemen	162
3.6.5 Innovationen in der Solar-KlimaKälte-Technologie	164
3.6.5.1 Kälteerzeugung mit thermomechanischen Systemen	166
3.6.5.2 Langzeitspeicher (thermochemischer Speicher)	166
3.6.5.3 Kleinst-Solarkälteerzeugungsaggregate	167
3.6.6 Förderung und normative Rahmenbedingungen	170
3.6.7 Wirtschaftlichkeit	171
3.7 Eisspeicheranlagen	172
3.7.1 Grundlagen	172
3.7.2 Eisspeichersystemvarianten	176
3.7.2.1 Direkte Systeme	176
3.7.2.2 Eisspeicher als Indirektkühlssysteme (wechselnder, äußerer Übergang)	178
3.7.2.3 Hybrideisspeicher	179
3.7.2.4 Binäreis-System	179
3.7.3 Referenzprojekte	180
3.7.4 Wirtschaftlichkeit	180
4.0 Beleuchtungstechnik	181
4.1 Grundlagen	181
4.1.1 Energetische Anforderungen an die Beleuchtung	183
4.2 Energieeinsparung in der Beleuchtungstechnik	186
4.2.1 Energetische Leuchten- und Lampentechnologie	186
4.2.1.1 Auswahlkriterien für Leuchten	187
4.2.1.2 Auswahlkriterien für Lampen	187
4.2.1.3 EnergyLabel	191
4.2.1.4 Stufenweiser Auslauf der Glühlampen	191
4.3 Innovationen und Systemlösungen	193
4.3.1 Intelligente Betriebsgeräte für zeitgemäße Beleuchtungslösungen	193
4.3.2 Dimmbare elektronische Transformatoren für Hoch- und Niedervoltglühlampen	193
4.3.3 Innovationen aufgrund optischer Beschichtungen	194
4.3.4 Ferroelektrische Kondensatoren (FEC) zur Zündung von Halogenmetalldampf- oder Natriumhochdrucklampen	194
4.4 Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR)	195
4.4.1 Beleuchtungssteuerung	195
4.4.1.1 Leistungselektronik	196
4.4.1.2 Modernes Lichtmanagement	196
4.4.1.3 Das DALI-Lichtmanagement	197

4.4.1.4	Innovationen zur Regelung von Leuchtstofflampen	199
4.5	Gebäudeleittechnik (GLT)	200
4.5.1	Objektbeispiele und Referenzprojekte	200
4.6	Tageslichtsysteme	203
4.6.1	PCM-Tageslichtsystem	205
4.6.2	Lichtregelnde Fenster	206
4.6.3	Lichttransport über größere Strecken	206
4.6.4	Sonnenschutz und Tageslichtlenkung	207
4.6.5	Tageslichtleitung durch Heliostaten	207
4.6.5.1	Lichttransport mittels Spiegelsystemen	207
4.6.5.2	Spiegelschacht zur Raumbelichtung im Untergeschoss	208
4.6.5.3	Lichttransport in fensterlose Räume	208
4.6.6	Intelligente Sonnenschutztechnologie	209
4.6.7	Objektbeispiel	209
4.7	Wirtschaftlichkeit	210
5.0	Glossar	211
6.0	Literaturverzeichnis	221
6.1	Online-Berichte	221
6.2	Fachbücher	221
6.3	Fachartikel	221
6.4	EnEV 2009	221
7.0	Kontaktadressen (Weiterführende Weblinks)	223
7.1	Architekten	223
7.2	Institute	224
7.3	Vereine/Verbände	225
7.4	Produkt- und Systemhersteller	226
7.5	Sonstige Informationsquellen und Weblinks	226
8.0	Stichwortverzeichnis	227

