

Tiator / Schenker

wärmepumpen wärmepumpenanlagen



Vogel Buchverlag

mit
InfoClick

Der Onlineservice InfoClick bietet unter www.vogel-buchverlag.de nach Codeeingabe eventuell zusätzliche Informationen und Aktualisierungen. Fordern Sie für Ihr E-Book den Code unter buch@vogel-buchverlag.de an!

Prof. Dipl.-Ing. Ingolf Tiator
Prof. Dipl.-Ing. Maik Schenker

Wärmepumpen

Wärmepumpenanlagen

2., überarbeitete Auflage

Vogel Buchverlag

Prof. Dipl.-Ing. MAIK SCHENKER

Jahrgang 1962,

studierte an der Ingenieurschule für Anlagenbau in Glauchau, Fachbereich Rohrleitungs- und Isoliertechnik, und war ausschließlich Fachschullehrer. Es folgte ein Hochschulstudium an der TH Zwickau, Fachbereich Wärmetechnik; ab 1991 Mitwirkung beim Aufbau der Staatlichen Studienakademie Glauchau. Er ist Gastdozent an der Fachschule für Technik der Steinbeis-Stiftung in Glauchau. Seit 1994 ist er Dozent an der staatlichen Studienakademie Glauchau, Studienrichtung Versorgungs- und Umwelttechnik.

Prof. Dipl.-Ing. INGOLF TIATOR

Jahrgang 1959,

absolvierte nach einer Lehre als Maschinen- und Anlagenmonteur ein Studium an der Ingenieurschule für Anlagenbau in Glauchau, Fachrichtung Rohrleitungen und Isolierungen, danach ein Hochschulstudium an der TU Dresden, Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung. Von 1984 bis 1993 war er als Fachdozent an der Ingenieurschule Glauchau tätig. Seit 1994 ist er Dozent an der Staatlichen Studienakademie Glauchau, Fachrichtung Versorgungs- und Umwelttechnik, und Gastdozent an der Fachschule für Technik der Steinbeis-Stiftung in Glauchau.

Weitere Informationen:

www.vogel-buchverlag.de



<http://twitter.com/>



www.facebook.com/vogel.buchverlag



www.vogel-buchverlag.de/rss/buch.rss

ISBN 978-3-8343-3315-5

2. Auflage, 2014

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Hiervon sind die in §§53, 54 UrhG ausdrücklich genannten Ausnahmefälle nicht berührt.

Printed in Germany

Copyright 2007 by

Vogel Business Media GmbH & Co. KG, Würzburg

Vorwort

Viele Bauherren bedenken leider bei ihrer Finanzplanung nicht, dass nach Fertigstellung und Bezug eines Gebäudes immer auch laufende Betriebskosten entstehen. Das sind monetäre und monetarisierbare Größen, deren Höhe als tragende Faktoren eines Bauvorhabens planbar sind und den Unterhalt von Gebäuden entscheidend mit beeinflussen. Den größten Anteil daran haben die Kosten für Energie.

In Europa ist die Bevölkerung – witterungsbedingt – gezwungen, zu heizen. In Deutschland z.B. dauert die Heizperiode im Schnitt von September bis Mai, d.h., i.d.R. muss an ca. 75% aller Tage im Jahr eine Heizungsanlage laufen. So eine Anlage kann mit ca. 6500 Nutzungsstunden im Jahr erhebliche Kosten verursachen. Im Vergleich dazu kommt ein Auto, das jeden Tag 2 Stunden benutzt wird, auf gerade mal 730 Nutzungsstunden im Jahr. Deshalb sollte man von vornherein, heiztechnisch gesehen, in eine Technologie mit dem besten Preis-Leistungs-Verhältnis investieren.

Wärmepumpen und Wärmepumpenanlagen senken Heizkosten pauschal um ca. 75% auf nur noch ca. 25% gegenüber konventionellen Heizungen, die rein öl- oder gasgetrieben arbeiten. Sie nutzen ca. 75% Umweltenergie, die kostenfrei zur Verfügung steht. Generell betrachtet heißt das, dass zz. keine bessere Möglichkeit zur Gebäudeheizung existiert, wenn man vor allem Betriebskosten und Umweltschutz in den Vordergrund stellt.

Die Technologie mit ihren korrelierenden Parametern wird grundlegend so beschrieben, dass sowohl Architekten, Bauherren, Ingenieure, Bachelors als auch Auszubildende oder Techniker die Einsatzmöglichkeiten beurteilen können. Die technischen Zusammenhänge sind für alle praxisnah ausführlich erklärt, Beispielrechnungen klar nachvollziehbar und angenommene Berechnungswerte mit entsprechenden Quellenangaben versehen.

Der Onlineservice «**InfoClick**» bietet über www.vogel-buchverlag.de nach Codeeingabe zusätzliche Informationen und Aktualisierungen zum Buch. Je nach Interesse und Wissensstand hat der Nutzer die Möglichkeit, mit der intelligenten Vernetzung von Thema und **InfoClick**, sich genau das Wissen anzueignen, das er benötigt bzw. das er anwenden will. Entsprechende Hinweise in der Marginalienspalte intensivieren Zusammenhänge, vertiefen Details und führen zu praktischen Tools oder weiterführenden Zusätzen.

Ein interaktiver Kontakt mit den Autoren ist per E-Mail jederzeit möglich: Tiator@ba-glauchau.de und sch@ba-glauchau.de.

Glauchau

Maik Schenker
Ingolf Tiator

Weitere Titel für das Installateur- und Heizungsbauerhandwerk sind im Vogel Buchverlag erschienen:

Anette Becker	Lüftungsanlagen
Hadamovsky/Jonas	Solaranlagen
Hadamovsky/Jonas	Solarstrom/Solarthermie
Roland Nestler	Kalkulation und Angebot
Nestler/Becker/ Schenker/Tiator/ Reinhold	Prüfungsfragen Sanitär- und Heizungshandwerk
Nestler/Becker/ Schenker/Tiator/ Reinhold	Prüfungstrainer Sanitär- und Heizungshandwerk
Christian Reinhold Schenker/Tiator/ Nestler	Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik Projektplanung
Maik Schenker	Sanitäreanlagen
Bernd Thomas	Mini-Blockheizkraftwerke
Ingolf Tiator	Heizungsanlagen
Schenker/Tiator	Wärmepumpen, Wärmepumpenanlagen

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Einleitung	11
1 Vorbetrachtungen zur Heizungstechnologie	13
1.1 EnEV als gemeinsame Planungsgrundlage für Architekten und Haustechnikplaner	13
1.2 Energiepreise als Bewertungskriterium	14
1.2.1 Übersicht der Ölpreisentwicklung	14
1.2.2 Ableitungen für den Endverbraucher	15
1.3 Energiebedarf für ein Gebäude	15
2 Energieeinsparverordnung (EnEV) und ihre Auswirkungen auf die Gebäudetechnik	19
2.1 Umwelt- und energetische Hintergründe	19
2.2 Allgemeine Anforderungen an die Gebäudetechnik aus der EnEV	22
2.3 Energiestandards als Konsequenz der EnEV	30
2.4 Wirtschaftliche Aspekte	37
3 Aktuelle Technologien für die Gebäudeheizung und Warmwasserbereitung sowie deren energetische Bewertung	41
3.1 Allgemeine Übersicht	41
3.2 Solarheizungen	41
3.3 Fossile Brennstoffsysteme	45
3.4 Brennstoffzelle	50
3.5 Wärmepumpen	53
4 Energiebedarf eines Gebäudes	59
4.1 Grundlagen zum Heizwärmebedarf	59
4.1.1 Wärmeverluste	60
4.1.2 Wärmegewinne	65
4.2 Grundlagen zum Primärenergiebedarf	66
4.3 Darstellung des Primärenergiebedarfs für unterschiedliche Anlagenkonfigurationen	69
4.4 Grundlagen zur Heizlastberechnung	73

4.4.1	Norm-Transmissionswärmeverluste	78
4.4.2	Norm-Lüftungswärmeverluste	80
4.4.3	Aufheizreserve	81
4.4.4	Norm-Heizlast	82
4.4.5	Formblätter	83
4.5	Grundlagen zur Berechnung des Warmwasserwärmebedarfs	84
4.5.1	Anforderungen aus der hygienischen Planung	84
4.5.2	Auslegung	85
5	Wärmepumpen	89
5.1	Grundlagen	89
5.2	Aufbau von Wärmepumpen	92
5.3	Arbeitsprinzipien von Wärmepumpen	95
5.3.1	Kompressionswärmepumpen	95
5.3.2	Sorptionswärmepumpen	95
5.4	Betriebsweise von Wärmepumpen	97
5.4.1	Vorbetrachtungen	97
5.4.2	Monovalente Betriebsweise	98
5.4.3	Monoenergetische Betriebsweise	99
5.4.4	Bivalente Betriebsweise	101
5.4.4.1	Allgemeines	101
5.4.4.2	Bivalent-parallele Betriebsweise	101
5.4.4.3	Bivalent-alternative Betriebsweise	102
6	Wärmequellen	105
6.1	Wärmequelle Grundwasser	105
6.1.1	Grundlagen	105
6.1.2	Anlagenkonfiguration	106
6.1.3	Systemtechnik	108
6.2	Wärmequelle Luft	111
6.2.1	Grundlagen	111
6.2.2	Anlagenkonfiguration	112
6.2.3	Systemtechnik	113
6.3	Wärmequelle Erdreich	120
6.3.1	Grundlagen	120
6.3.2	Anlagenkonfiguration	121
6.3.3	Systemtechnik	122
6.3.3.1	Flachkollektoren	122
6.3.3.2	Künettenkollektoren	125
6.3.3.3	Erdsonden	128
6.4	Technologien des Wärmetransportes	131
6.4.1	Technologie Erdreich/Sole	131

6.4.2	Technologie Erdreich/Direkterwärmung ...	132
6.4.3	Technologie Wasser/Wasser	133
6.4.4	Technologie Luft/Wasser	134
7	Planung von Wärmepumpenanlagen	137
7.1	Planungsgrundlagen	137
7.1.1	Wärmebedarf	138
7.1.2	Auslegung der Vorlauftemperatur	139
7.1.3	Auswahl der Wärmequelle	141
7.1.4	Wahl der Wärmepumpe	142
7.2	Auslegung der Wärmepumpenanlage	146
7.3	Besonderheiten bei der Aufstellung von Luft-Wasser-Wärmepumpen	148
7.4	Überschlägige Berechnung der Jahresarbeitszahl für die Wirtschaftlichkeitsberechnung	149
7.4.1	Grundlagen der Berechnung	149
7.4.2	Jahresarbeitszahl Raumheizung	151
7.4.2.1	Berechnung der Wärmequellen Erdreich und Grundwasser	151
7.4.2.2	Berechnung der Wärmequelle Luft ..	152
7.4.3	Jahresarbeitszahl Warmwasser	154
7.5	Einsatz eines Pufferspeichers	155
7.6	Auslegungsbeispiel	161
8	Planungsbeispiel	169
8.1	Aufgabenstellung für ein zu sanierendes 1-Familien-Haus	169
8.2	Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile	172
8.2.1	Außenbauteile	172
8.2.2	Innenbauteile	173
8.3	Heizlastberechnung nach DIN EN 12 831	174
8.3.1	Kennwerte	174
8.3.2	Norm-Heizlast der Räume	174
8.3.3	Norm-Heizlast des Gebäudes	178
8.4	Berechnung des energetischen Standards	179
8.5	Grundzüge der Auslegung der Fußbodenheizung ..	180
8.6	Auswahl der zusätzlichen Heizflächen	187
8.7	Auslegung der Sole-Wasser-Wärmepumpe	192
8.7.1	Sole-Wasser-Wärmepumpe mit einer Vorlauftemperatur von 35 °C	192
8.7.1.1	Erdkollektor	192
8.7.1.2	Erdsonde	195
8.7.2	Sole-Wasser-Wärmepumpe mit einer höheren Vorlauftemperatur	195

8.8 Auslegung der Luft-Wasser-Wärmepumpe	196
8.8.1 Luft-Wasser-Wärmepumpe mit einer Vorlauftemperatur von 35 °C – monoenergetische Betriebsweise	196
8.8.2 Luft-Wasser-Wärmepumpe mit einer Vorlauftemperatur von 35 °C – monovalente Betriebsweise	202
8.9 Berechnung des Pufferspeichers	206
8.10 Berechnung der Jahresarbeitszahl	206
8.10.1 Grundlagen	206
8.10.2 Jahresarbeitszahl der Sole-Wasser-Wärmepumpe WPS 90 I	208
8.10.3 Jahresarbeitszahl der Luft-Wasser-Wärmepumpe LA 6TU – monoenergetischer Betrieb	208
8.10.4 Jahresarbeitszahl der Luft-Wasser- Wärmepumpe WPL 120 IR/AR – monovalenter Betrieb	209
8.10.5 Jahresarbeitszahl der Luft-Wasser-Wärmepumpe LA 17TU – monovalenter Betrieb	210
8.11 Aussagen zur Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpenanlage	211
8.12 Auswahl einer Wärmepumpenanlage für die Warmwasserbereitung	216
8.13 Berechnung der Anlagenaufwandszahl	217
Quellenverzeichnis	219
Formelverzeichnis	221
Stichwortverzeichnis	243

Einleitung

In Deutschland (größtenteils im gesamten Europa) ist es notwendig, in den Wintermonaten Gebäude zu beheizen. Dabei erstreckt sich diese Heizperiode, je nach den Wetterbedingungen, von September bis Mai. Unter Umständen muss man sogar während des gesamten Jahres auf die Heiztechnik zurückgreifen.

Gleichzeitig kann man davon ausgehen, dass in modernen Gebäuden auch immer ein Bedarf an warmem Wasser besteht und dieser Bedarf ist i.d.R. jahreszeitlich unabhängig. Warmwasser wird wiederum i.Allg. durch die Heizanlage erzeugt, und im Normalfall muss deshalb die Heiztechnik ganzjährig in einem Gebäude einsatzfähig sein.

Egal welches Heizsystem man einsetzt, es werden immer Primärenergieträger benötigt. Primärenergieträger sind fossile Brennstoffe: Steinkohle, Braunkohle, Erdgas, Erdöl und Kernbrennstoffe. Diese Energieträger sind für den Durchschnittsverdiener nicht gerade billig.

Weitere Primärenergieträger sind Wasserkraft, Windkraft, Sonnenenergie sowie Erdwärme und werden unter dem Begriff «erneuerbare Energien» zusammengefasst. Sie werden zwar von der Natur kostenfrei zur Verfügung gestellt und stehen theoretisch in unbegrenztem Maße zur Verfügung, doch ist die Energiedichte nicht immer konstant, weil es nachts eben keine Sonnenenergie gibt. Das Gleiche gilt selbstredend für die Windenergie bei Windstille.

Bei den Energieträgern, die gekauft werden müssen, orientieren sich die Preise am aktuellen Rohölpreis auf dem Weltmarkt, d.h., steigt der Rohölpreis, steigen auch die Preise für Stein- oder Braunkohle und für Gas.

Vergleicht man die Entwicklung der Rohölpreise der letzten Jahre, muss man feststellen, dass sie, von ein paar kleinen Schwankungen abgesehen, ständig gestiegen sind. Allein 2 Zahlen belegen dies. Der Rohölpreis lag im Juli 2010 bei 84 \$/Barrel. Nach nur 18 Monaten, im März 2012, hatte sich der Preis bereits auf 120 \$/Barrel erhöht.

Vergleicht man mit diesen tatsächlichen Marktpreisen, die für Wirtschaftlichkeitsberechnungen unterstellte 5%ige Energiepreiserhöhung pro Jahr, wird verständlich, warum allgemein eine Minimierung bzw. Substitution von Primärenergieträgern anzustreben ist.

Entsprechende Möglichkeiten, wie Primärenergieträger im Bereich der Gebäudeheizung ersetzt oder minimiert werden können, werden hier vorgestellt. Mindestens eine zukunftsweisende Technologie sind diesbezüglich Wärmepumpenanlagen.

Wer immer mit der Planung oder Wartung von Heizungsanlagen betraut oder beruflich damit beschäftigt ist, sollte sich deshalb mit den technischen Möglichkeiten einer Wärmepumpenanlage vertraut

Primärenergieträger

Rohölpreise

machen. Das betrifft vor allem Architekten, Ingenieure, Bachelors, Bauherren, Heizungsanlagenbauer und Auszubildende oder Techniker in entsprechenden Berufszweigen.

Mit praxisrelevanten Beispielen und Berechnungen werden hier Heizanlagen und die Zusammenhänge beschrieben, die Heizenergie einsparen, ohne auf den heizungstechnischen Komfort, den die Branche mittlerweile erreicht hat, verzichten zu müssen.

1

Vorbetrachtungen zur Heizungstechnologie

- EnEV als gemeinsame Planungsgrundlage für Architekt und Haustechnikplaner
- Energiepreise als Bewertungskriterium
- Energiebedarf für ein Gebäude

1.1 EnEV als gemeinsame Planungsgrundlage für Architekten und Haustechnikplaner

Wer heutzutage den Plan hat, ein Wohngebäude zu errichten, muss sich immer auch die Frage stellen, wie das Gebäude beheizt werden soll. Dabei geht es nicht mehr nur um die Frage, ob es eine Heizung mit statischen Heizflächen (Heizkörper) oder eine Fußbodenheizung sein soll. Durch die Gesetzgebung wird diese Optimierung im Rahmen der EnEV zwingend für jeden Neubau vorgeschrieben. Bei der EnEV handelt es sich um die Verordnung zum energiesparenden Wärmeschutz und zur energiesparenden Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 16. November 2001. Die EnEV wurde in den vergangenen Jahren stetig weiterentwickelt und liegt zz. in der Version von 2009 vor. Dabei soll diese Verordnung vor allem zur Umsetzung des Artikels 5 der Richtlinie 93/76/EWG des Rates vom 13. September 1993 zur Begrenzung der CO₂-Emissionen durch eine effizientere Energienutzung dienen. Parallel wird durch die EnEV die Umsetzung der Richtlinie 92/42/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 über die Wirkungsgrade von mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickten neuen Warmwasserheizkesseln realisiert.

Allgemein dargestellt wird hier diese neue energetische Betrachtungsweise definiert. Im Gegensatz zu allen früheren Verordnungen (z.B. Wärmeschutzverordnung) wird in der EnEV die Gebäudehülle einschließlich der haustechnischen Anlagen energetisch *gemeinsam* betrachtet. Diese Betrachtungsweise bedingt, dass bei der Planung eines neuen Gebäudes Architekt und Gebäudetechnikplaner von Anfang an gemeinsam planen müssen. Die genauen Parameter dieser neuen Qualität der Gebäudeplanung werden in Kapitel 2 ausführlich beschrieben.

Energieeinsparverordnung – EnEV

1.2 Energiepreise als Bewertungskriterium

Bei der Betrachtung der Ölpreisentwicklung können bereits eine Reihe von Erkenntnissen abgeleitet werden. Die Ölpreise sind weltweit die Basis für alle anderen Primärenergiepreise wie Gaspreise, Kohlepreise usw. Durch Untersuchungen der Preisentwicklung für das Öl können Ableitungen zu Preistendenzen genauso gezogen werden wie die Einschätzung, welches System sich für die Beheizung eines Gebäudes am besten eignet.

OPEC Als Datenbasis für Preisvergleiche wurden dazu verschiedene Quellen betrachtet, vor allem aber veröffentlichtes Zahlenmaterial der IEA (International Energy Agency) und der OPEC.

Die OPEC ist ein Akronym für die «Organization of the Petroleum Exporting Countries (Organisation erdölexportierender Länder)». Gegründet wurde diese Organisation im Zeitraum vom 10. bis 14. September 1960 in Bagdad.

1.2.1 Übersicht der Ölpreisentwicklung

Aus den genannten Quellen lassen sich eine Reihe von Darstellungen entwickeln. Im Internet sind entsprechende Diagramme zusammengestellt, und Sie können unter <http://www.tecson.de/pheizoel.htm> und <http://www.tecson.de/prohoel.htm> die tagesaktuellen Preise abrufen. Dabei lassen sich sehr gut Preissteigerungen, aber auch Preisschwankungen erkennen.

Die wichtigste Ableitung ist jedoch, dass der Heizölpreis sich immer an den Rohölpreisen orientiert. Der Rohölpreis wiederum hängt vor allem von folgenden Faktoren ab:

- der politischen Situation in den erdölfördernden Regionen,
- dem Dollarkurs, denn dieser ist die einzige Handelswährung für Rohöl auf dem Markt,
- Lagerbeständen in den Raffinerien,
- der weltweiten Verknappung der Ressourcen,
- der Bevorratung beim Verbraucher,
- dem regionalen Wettbewerb der Händler.

Dieses Preisverhalten trifft auch auf alle anderen Primärenergieträger zu, so dass man davon ausgehen muss, dass Erdgas, aber auch Stein- und Braunkohle ein ähnliches Preisverhalten aufweisen. Die Preiskurven für diese Energieträger sind immer zeitlich etwas nach hinten verschoben, da die Preisanpassung einige Bearbeitungswochen benötigt.

Gleichzeitig muss festgestellt werden, dass die Preise für Erdgas mit den Ölpreisen nicht direkt vergleichbar sind, da hier durch die Anbieter andere Tarifsysteme genutzt werden. So muss der Endkunde

einen Grundpreis zahlen, der sich in der Regel auf den Anschlusswert seiner Heizungsanlage bezieht. Dazu kommen dann die realen Abnahmepreise/m³, die aber wiederum preislich von der Gesamtabnahmemenge abhängen.

Unabhängig von möglichen Preisvergleichen muss man jedoch eines ganz klar feststellen: Die Preise für Rohöl, und damit auch die Preise für die anderen Primärenergieträger werden auf keinen Fall in den nächsten Monaten und Jahren extrem fallen. Vielmehr muss man sich mit dem Gedanken vertraut machen, dass ausgehend vom aktuellen Rohölpreis mit ca. 113 \$/Barrel ^① ein weiterer Anstieg in absehbarer Zeit zu erwarten ist. Anzeichen dafür sind vor allem die politischen Entwicklungen im Nahen Osten, aber auch eine Reihe von Wetterprognosen. Die Experten gehen von einer großen Anzahl Hurrikans in der Karibik aus. Parallel dazu haben eine Reihe amerikanischer Raffinerien umfangreiche Wartungsarbeiten an ihren Anlagen angekündigt, was auf Investitionskosten, aber auch auf die Produktion Einfluss haben wird.

①

Das Barrel
(engl.: Fass) ist eine
Maßeinheit des
Volumens.

Für Rohöl und
petrochemische
Produkte gilt:

1 bbl. (Imp.)

= 35 Gallonen (Imp.)

1 bbl. ≈ 159,1131 l

1.2.2 Ableitungen für den Endverbraucher

Grundlage der Betrachtungen sind die Bewertungen in Abschnitt 1.2.1. Für den Endverbraucher kann der Heizöleinkauf mit glücklichen Umständen verbunden sein, wenn beim Kauf die Preise gerade fallen oder gar auf niedrigem Niveau angekommen sind. Wertet man die Zahlen der vergangen 2 Jahre aus, so sollte man sein Heizöl immer am Jahresanfang kaufen. Inwiefern diese Tendenz auch für die Zukunft gilt, ist im Vorhinein nicht abzusehen und hängt von der Kälteperiode von Januar bis März ab, die den Heizölbedarf bei vielen Endkunden oft bestimmt.

Aus diesen Vergleichen ergibt sich eigentlich eine logische Konsequenz, die nur ein Ziel haben kann: Der Endverbraucher muss versuchen, seinen Primärenergiebedarf zu reduzieren. Dieser Plan geht jedoch nur auf, wenn durch die Reduzierung des Primärenergiebedarfs der Komfort bei der Beheizung der Gebäude nicht sinkt. Aus diesem Grunde ist es notwendig, sich mit Alternativen der Energiebereitstellung für Heizung und Warmwasser vertraut zu machen.

1.3 Energiebedarf für ein Gebäude

Aufgrund der klimatischen Bedingungen in Deutschland und fast ganz Europa, ist es notwendig, Gebäude, die für die Nutzung durch den Menschen vorgesehen sind, im Winter zu beheizen. Parallel dazu besteht meistens auch Bedarf an Warmwasser, das i.d.R. mit Hilfe des Heizsystems bereitgestellt wird. Dabei spielen für die Art der

Tabelle 1.1 Gebäudearten und Energiebedarf

Gebäudeart	Energiebedarf für		Bemerkung
	Heizung	Warmwasser- bereitung	
Eigenheim	×		Individuelle Bedürfnisse an die Raumtemperatur
		×	Individuelle Bedürfnisse an Warmwassermengen und Warmwassertemperaturen
Mehrfamilienhaus	×		Vorgegebene Raumtemperaturen
		×	Ermittlung des Bedarfs nach vorgeschriebenen Verfahren DIN 4708 Teil 2 VDI 2067
Bürogebäude	×		Vorgegebene Raumtemperaturen nach DIN EN 12 831 oder Arbeitsstättenrichtlinien (ASR)
			I.d.R. kein Bedarf an Warmwasser
Industriegebäude	×		Arbeitsstättenrichtlinien (ASR)
Krankenhäuser	×		Vorgegebene Raumtemperaturen nach DIN EN 12 831 in Abhängigkeit der Raumnutzung
		×	Warmwasserbedarf in Abhängigkeit der Ausstattung und Behandlungsmöglichkeiten
Produktionsgebäude	×		Vorgegebene Raumtemperaturen nach Arbeitsstättenrichtlinien (ASR)
		×	Warmwasserbedarf in Abhängigkeit der Produktion und der sozialen Einrichtungen
Hotels	×		Vorgegebene Raumtemperaturen nach DIN EN 12 831 in Abhängigkeit der Raumnutzung. Abstimmung mit dem Hotelbetreiber empfohlen
		×	Warmwasserbedarf in Abhängigkeit der Ausstattung

Beheizung viele Faktoren eine Rolle. Diese Faktoren vermindern oder erhöhen den Bedarf an Heizleistung, die letztendlich durch Primärenergieträger zur Verfügung gestellt wird. In Tabelle 1.1 werden einige Gebäudearten und die notwendigen Randbedingungen für die Beheizung und die Erzeugung von Warmwasser vorgestellt.

Je nach Gebäudeart lässt sich erkennen, dass der Energiebedarf für die Beheizung und die Warmwasserbereitung stark schwanken kann, allgemein kann aber abgeleitet werden, dass er der Gebäudegröße proportional ist. Da die Gebäudegröße durch die Bauhülle definiert wird, kann an dieser Stelle wieder auf die EnEV verwiesen werden, welche Gebäudehülle und haustechnische Anlage energetisch gemeinsam betrachtet.

2 Energieeinsparverordnung (EnEV) und ihre Auswirkungen auf die Gebäudetechnik

- Umwelt- und energetische Hintergründe
- Allgemeine Anforderungen an die Gebäudetechnik aus der EnEV
- Energiestandards als Konsequenz der EnEV
- Fehlerrechnung
- wirtschaftliche Aspekte

2.1 Umwelt- und energetische Hintergründe

Die effiziente, sparsame Nutzung und Umwandlung von Energie in allen Lebensbereichen ist in den vergangenen Jahren vorangebracht worden.

Ausgangspunkt sind die Beschlüsse von Kyoto, auf der sich neben über 100 Staaten auch Deutschland für eine Reduzierung der Treibhausgase und zum erhöhten Einsatz von erneuerbaren Energien verpflichtet hat.

Die fossilen Energieträger Öl, Kohle und Gas haben 2 wesentliche Nachteile: Sie sind nicht unendlich verfügbar und ihre Verbrennung erzeugt klimaschädliche Emissionen. Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist darum nicht nur sinnvoll, sondern gesamtwirtschaftlich auch vorteilhaft. So wurde durch die Nutzung der erneuerbaren Energien bereits im Jahr 2004 in Deutschland eine Reduzierung von ca. 70 Mio. t des klimaschädlichen CO₂ erzielt.

Diese Reduzierung soll durch eine wesentliche Steigerung der Energieproduktivität in allen Bereichen der Energiewandlung und -nutzung, insbesondere durch eine deutliche Ausweitung der gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme sowie durch eine deutliche und lang anhaltende Steigerung des Beitrags erneuerbarer Energien erreicht werden.

Der derzeitige Anteil von 5% am Primärenergieverbrauch durch erneuerbare Energien soll bis 2010 verdoppelt werden und um 2050 einen Anteil von rund 50% erreichen.

**Anteil erneuerbarer
Energien**

Kernpunkte der Energieeinsparung

Kernpunkte der Energieeinsparung sind dabei:

- eine Verminderung des Nutzwärmebedarfs von Gebäuden durch einen verbesserten Wärmeschutz, weitgehende Reduzierung von Wärmebrücken und Sicherstellung der Gebäudedichtheit,
- eine Verminderung von Anlagenverlusten durch Optimierung oder Austausch von Anlagenkomponenten,
- eine Energieträgerumstellung – Einsatz alternativer Energiesysteme,
- eine Veränderung des Nutzerverhaltens durch verbesserte und gezielte Aufklärung.

Wärmepumpen gehören zu den Technologien, die einen wesentlichen Beitrag zur Verminderung des CO₂-Ausstoßes und somit zur Erfüllung der Vorgaben bezüglich der Begrenzung des Primärenergieeinsatzes leisten.

Die nachfolgenden Darstellungen in Bild 2.1 und 2.2 zeigen den Stellenwert der Heizwärme und der Warmwassererzeugung hinsichtlich des Anteils am Energieverbrauch. Die Werte basieren auf dem «Energiedaten-Bericht» des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Stand 2010 [2.1].

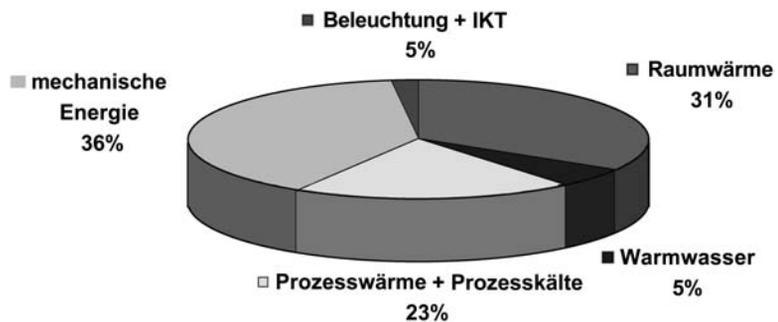
Aus den Darstellungen lässt sich ableiten, dass im privaten Haushalt der Großteil an Energie für die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser (87%) verbraucht werden. Betrachtet man noch die Art der Energieerzeugung (Bild 2.3), so kann man erkennen, dass rund 80% der Raumwärme und des Warmwassers vor Ort aus fossilen Brennstoffen kommen.

Hier zeigt sich einerseits das enorme Einsparpotential an Energie in privaten Haushalten und andererseits das Potential für die Anwendung von erneuerbaren Energien, d.h. natürlich auch für die Wärmepumpen.

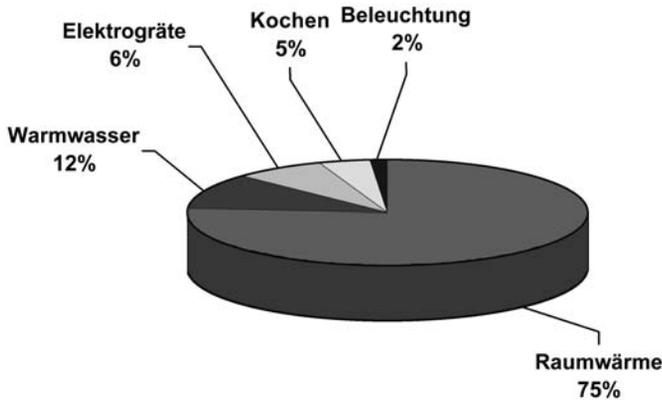
Die Wärmepumpe bietet dabei die Möglichkeit:

- den Energieverbrauch bzw. -bedarf für den Bereich Raumwärme und Warmwasserbereitung entscheidend zu vermindern,

Bild 2.1
Endenergieverbrauch in
Deutschland [2.1]



Gesamtendenergieverbrauch: $2,58 \cdot 10^{12}$ kWh



Anteil privater Haushalte am Gesamtendenergieverbrauch: 29,4 % ($7,59 \cdot 10^{11}$ kWh)

Bild 2.2
Endenergieverbrauch
privater Haushalte [2.1]

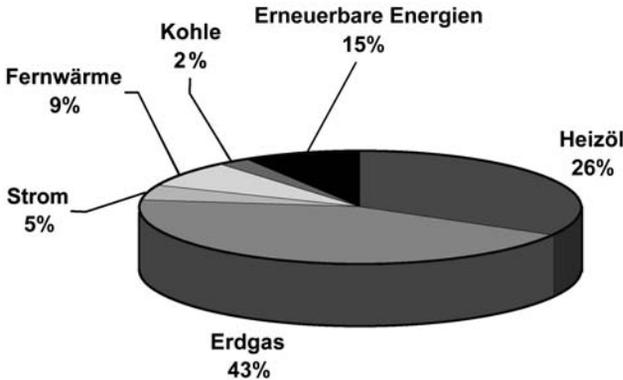


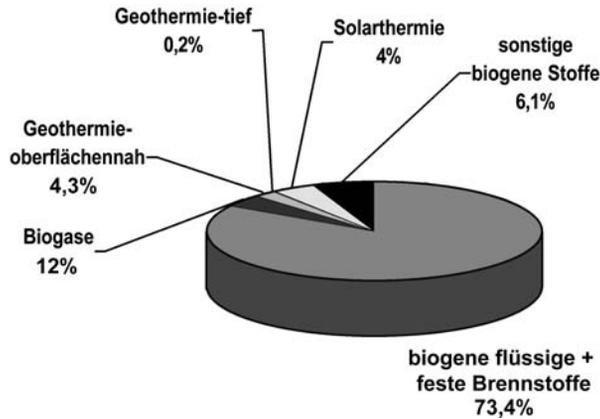
Bild 2.3
Anteil der einzelnen
Energiequellen an der
Erzeugung von
Raumwärme und
Warmwasser in privaten
Haushalten [2.1]

- die CO₂-Emissionen entscheidend zu vermindern,
- die Kosten für die Verminderung von CO₂-Emissionen gegenüber Technologien mit fossilen Brennstoffen niedrig zu halten.

Natürlich muss dies wiederum unter dem Aspekt einer effizienten Erzeugung von elektrischer Energie in Kraftwerken betrachtet werden, wobei eine Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) den höchsten energetischen und höchsten umwelttechnischen Effekt bringt.

Eine primärenergetische Bewertung der Stromerzeugung bis hin zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser mittels einer Wärmepumpe ist sehr schwierig. Eine Möglichkeit der Beurteilung ist der CO₂-Emissionsfaktor. Aber auch hier ist ein Vergleich von den Rahmenbedingungen abhängig. Nach [2.2] kann bei einer Stromerzeugung in einem Kohle-Kraftwerk ($\eta_{el} \approx 30\%$) allgemein von einem CO₂-Faktor von ca. 0,7 kg CO₂/kWh_{el} ausgegangen werden. Dieser reduziert sich aber z.B. durch:

Bild 2.4
Struktur der Wärmebe-
reitstellung [2.3]



- Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung ($\eta \approx 58\%$),
- Strom-Mix aus unterschiedlichen Erzeugungsarten,
- Energieerzeugung mit steigendem Anteil an erneuerbaren Energien.

Die Auswertung der Studie nach [2.2] zeigt, dass Wärmepumpenanlagen mit einer Jahresarbeitszahl über 4,0 eine CO₂-Reduzierung gegenüber der Wärmeerzeugung mittels Erdgas oder Heizöl aufweisen können (s. Kapitel 5).

Nach [2.3] wird durch den Einsatz von **erneuerbaren Energien bei der Wärmeerzeugung** von einer Einsparung von rund 37,2 Mio. t CO₂/Jahr ausgegangen. Darauf basierend ergibt sich ein CO₂-Emissionsfaktor von 0,23 kg/kWh_{th}.

Dieser Reduzierung liegt ein Anteil an erneuerbaren Energien bezüglich der Wärmebereitstellung von ca. 10,4% zugrunde. Die Anteile der einzelnen Energiearten sind in Bild 2.4 dargestellt.

Bezogen auf den gesamten Endenergieverbrauch beträgt der Anteil der oberflächennahen Geothermie (Wärmepumpen-Anlagen) nur ca. 0,1%.

Mit diesen kurz dargestellten Fakten wird nochmals das mögliche Einsparpotential für den Einsatz von Wärmepumpen in der Wärmeerzeugung unterstrichen.

2.2 Allgemeine Anforderungen an die Gebäudetechnik aus der EnEV

Mit der am 1. Februar 2002 in Kraft getretenen Energieeinsparverordnung (EnEV 2002) wurden erstmals bauliche und anlagentechnische Anforderungen in einer Verordnung zusammengefasst. Sie stellt somit gegenüber der bisherigen getrennten energetischen Betrachtungsweise

nach Heizungsanlagenverordnung bzw. Wärmeschutzverordnung im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtungsweise des energiesparenden Bauens eine Weiterentwicklung sowie eine neue Qualität dar, da Gebäude- und Anlagentechnik gemeinsam analysiert werden. Sie wurde jeweils 2004 bzw. 2007 novelliert.

Auf der Grundlage der EU-Gebäuderichtlinie 2006/32 über die Energieeffizienz und Energiedienstleistungen wurde am 1. Oktober 2009 die Verordnung über die Änderung der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) gültig.

EnEV 2009

Sie enthält u.a. die **Führungspflicht** eines **Energiebedarfsausweises/Energiepasses**, der die wichtigsten energetischen Eigenschaften eines Gebäudes zusammenfasst. Dieser beschreibt durch die Energiekennzahl (in Anlehnung an elektrische Geräte), der CO₂-Emissionen und des Endenergiebedarfs die Gesamtenergieeffizienz der Gebäudehülle, von Heizung/Warmwasserbereitung, Lüftung sowie der Kühlung.

Energiebedarfsausweis/Energiepass

Für die ganzheitliche Energiebetrachtung, d.h. alle Energieanwendungen im Gebäude, wird die **DIN V 18 599** – Energetische Bewertung von Gebäuden, Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarf für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – zukünftig angewandt

DIN V 18 599

Somit werden Energieverbrauchswerte für Neubauten und für bestehende Gebäude bzw. Anlagen in Wohn- und Nichtwohngebäuden vorgegeben. Für den Gebäudebestand sind entsprechende Nachrüstpflichten vorgeschrieben.

Ziel ist eine weiter Energieeinsparung:

- ❑ Verminderung des Nutzwärmebedarfs von Gebäuden durch einen verbesserten Wärmeschutz, weitgehende Reduzierung von Wärmebrücken und Sicherstellung der Gebäudedichtheit,
- ❑ Verminderung von Anlagenverlusten durch Optimierung oder Austausch von Anlagenkomponenten,
- ❑ Energieträgerumstellung – Einsatz alternativer Energiesysteme,
- ❑ Veränderung des Nutzerverhaltens durch verbesserte und gezielte Aufklärung.

Im Vergleich zur EnEV 2007 wird die Obergrenze für den zulässigen Primärenergiebedarf von Neubauten durchschnittlich um 30% gesenkt, wobei die Wärmedämmung der Gebäudehülle bei Neubauten um durchschnittlich 15% verbessert werden muss.

Die neue Qualität der EnEV liegt in der Umstellung der Anforderungen vom Jahres-Heizwärmebedarf, der bisher in der Wärmeschutzverordnung vorgegeben war, auf den **Jahres-Primärenergiebedarf** des Gebäudes. Dadurch wird nicht nur die Gebäude - und Anla-

Jahres-Primärenergiebedarf

gentechnik gemeinsam betrachtet, sondern auch der Aufwand in den vorgelagerten Prozessketten der Energieumwandlung in Rechnung gestellt, so dass eine primärenergetische Bewertung erfolgt.

Referenzgebäude

Nach EnEV 2009 wird für Wohn- und Nichtwohngebäude der Vergleich mit **einem Referenzgebäude** eingeführt, so dass für **alle neerbauten Gebäude die Referenzausführung** als Grenzwert gilt.

Ein Referenzgebäude ist ein Gebäude mit gleicher Geometrie, Gebäudenutzfläche und Ausrichtung wie das zu berechnende Gebäude. Die versorgungstechnischen Anlagen entsprechen der Referenzanlage nach EnEV.

Daraus lässt sich ableiten, dass es keinen generellen Grenzwert mehr gibt, sondern jedes Gebäude **einen individuellen Grenzwert** nach der Referenzausführung aufweist. D.h. das Gebäude wird zweimal gerechnet, einmal nach EnEV-Referenz und einmal wie geplant.

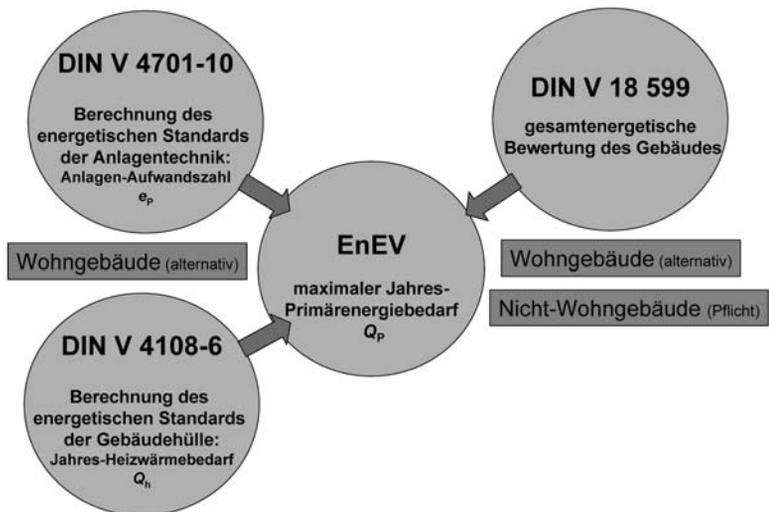
In der EnEV werden i.d.R. keine Berechnungsgleichungen vorgeben, sondern es wird nur noch auf entsprechende technische Regeln verwiesen, nach denen die entsprechenden Werte zu berechnen sind. Dabei sind folgende Normen hauptsächlich zu berücksichtigen:

- DIN V 4701, Teil 10 (12-2006)
- DIN V 4108, Teil 6 (06-2003)
- DIN V 18599 (12-2011)

Die Berechnungen erfolgen unter denselben Rahmenbedingungen (Bild 2.5)

Der grundlegende Berechnungsablauf für Wohngebäude ist in Bild 2.6 dargestellt.

Bild 2.5
Technische Vorschriften für die Berechnung



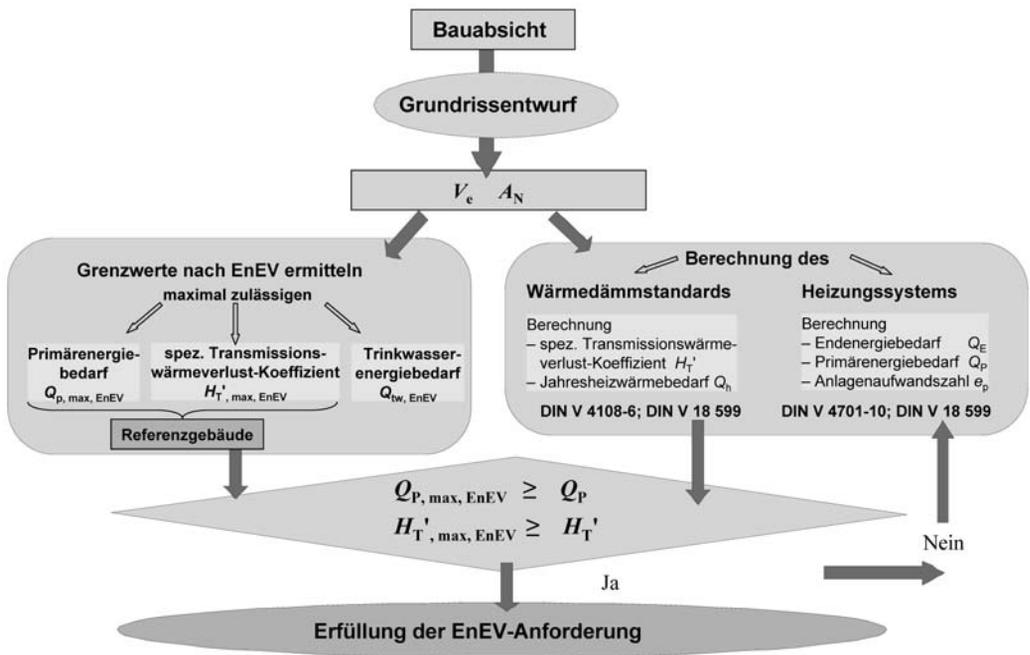


Bild 2.6 Darstellung des Berechnungsablaufes für Wohngebäude

Mit der Berechnung des spezifischen auf die wärmeabgebende Gebäudehülle bezogenen Transmissionswärmeverlust-Koeffizienten H_T' wird die wärmeschutztechnische Qualität der Gebäudehülle ermittelt.

Transmissionswärmeverlust-Koeffizient H_T'

Daraus ergibt sich der Jahres-Heizwärmebedarf Q_h eines Gebäudes. Der Jahres-Heizwärmebedarf Q_h stellt die Wärmemenge dar, die jährlich zur Aufrechterhaltung einer festgelegten Raumtemperatur von einem Heizungssystem dem Gebäude zur Verfügung gestellt werden muss.

Jahres-Heizwärmebedarf Q_h

Auf Grundlage des Jahres-Heizwärmebedarfs wird die energetische Qualität der gebäudetechnischen Anlage (Heizung, Lüftung, Kühlung und Warmwasser) durch Einbeziehung entsprechender Erzeuger-Aufwandszahlen, der Verluste für Transport, Speicherung und Übergabe für Heizung, Lüftung, Kühlung und Trinkwassererwärmung nach DIN V 4701-10 bzw. DIN V 18 599 berechnet. D.h. dass neben der Bereitstellung der notwendigen Wärmemengen auch die Wärmeverluste der Anlage berücksichtigt werden.

Unter Einbeziehung des Hilfsenergiebedarfs für den Betrieb der Anlage (Pumpen, Regelung u.dgl.) ergibt sich der Endenergiebedarf des Gebäudes. Er ist die Energiemenge, die dem Gebäude zugeführt werden muss, um den Heiz- und Trinkwasserenergiebedarf zu decken und stellt die Energieeffizienz des Gebäudes sowie der Anlagentechnik

Endenergiebedarf