

**Untersuchung von Praxisdaten zum Primärenergiebedarf
und den Treibhausgasemissionen von
modernen Wärmepumpen**

Endbericht

erstellt im Auftrag des

Fachinformationszentrums Karlsruhe

R. Heidelck; H. J. Laue

Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik – IZW e.V.

Hannover / Karlsruhe

April 1999

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Prozesse zur Wärmeerzeugung im Programm GEMIS 3.08.....	4
3	Gemessene Jahresarbeitszahlen ausgeführter Wärmepumpenanlagen.....	7
4	Rechenverfahren zur Ermittlung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen	14
4.1	Berechnungskurzverfahren	14
4.2	Simulationsprogramm	17
4.3	Vergleich des Kurzverfahrens und des Simulationsprogramms	19
5	Festlegung von Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpenanlagen für den IZW-Datensatz	20
6	Festlegung von Jahresnutzungsgraden von Gasbrennwertkesseln für den IZW-Datensatz	22
7	Vergleich von Wärmepumpen- mit Gasbrennwert-Heizungsanlagen	23
8	Zusammenfassung.....	30
9	Referenzen	31
10	Anhang.....	33
10.1	Wärmeerzeugungssysteme im GEMIS-Datensatz.....	33
10.2	Wärmeerzeugungssysteme im VDEW-Datensatz.....	34
10.3	Wärmeerzeugungssysteme im IKARUS-Datensatz.....	35
10.4	Datenerhebung von Wärmepumpenanlagen	37
10.5	Wärmeerzeugungssysteme im IZW-Datensatz	42

1 Einleitung

Ziel der Studie ist es, moderne Heizungssysteme im Hinblick auf den Primärenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen zu untersuchen. Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen dabei Wärmepumpen-Heizungsanlagen. Es wurden dazu Meßdaten der energetischen Eigenschaften von Wärmepumpenanlagen gesammelt und ausgewertet. Zusätzlich werden Ergebnisse von Simulationsrechnungen aus der Literatur hinzugezogen.

Als Vergleichssystem zu Wärmepumpenheizungsanlagen eignet sich am besten eine Gasbrennwert-Heizungsanlage, da sie aus Sicht niedriger CO₂-Emissionen und Brennstoffverbrauch den höchsten Stand der Entwicklung der konventionellen, auf fossilen Energieträgern basierender Heiztechnik darstellt.

In einer parallel erstellten Studie „Aktualisierung der Basisdaten für den Primärenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor zur ganzheitlichen Bewertung verschiedener Heizungssysteme“ [1] wurden aktualisierte Basisdaten für Endenergien der Heizungssysteme bestimmt, die in einem sogenannten IZW-Datensatz zusammengefaßt wurden.

Die in dieser Studie bestimmten Jahresarbeitszahlen bzw. Jahresheizzahlen von Wärmepumpenanlagen und Jahresnutzungsgrade Brennwertsystemen werden ebenfalls in den neu erstellten IZW-Datensatz aufgenommen. Auf Basis dieses Datensatzes werden mit dem Programm GEMIS 3.08 [2] Variantenrechnungen zum Primärenergiebedarf und den Treibhausgasemissionen durchgeführt, die den Stand der modernen Wärmepumpentechnik im Vergleich zur Brennwerttechnik wiedergeben.

2 Prozesse zur Wärmeerzeugung im Programm GEMIS 3.08

Das Computermodell GEMIS (**G**esamt-**E**missions-**M**odell integrierter **S**ysteme) wurde als Instrument zur vergleichenden Untersuchung von Umwelteffekten der Energiebereitstellung und -nutzung vom Öko-Institut e.V. und der Gesamthochschule Kassel (GhK) in den Jahren 1987-1989 entwickelt und seitdem kontinuierlich aktualisiert.

Dieses Computerprogramm liefert Ergebnisse, wie z. B. CO₂-, SO₂- und NO_x-Emissionen, die als Bewertungshilfen für verschiedenste Prozesse und Prozeßketten herangezogen werden können. Dabei berücksichtigt GEMIS von der Primärenergie- bzw. Rohstoffgewinnung bis zur Nutzenergie- bzw. Stoffbereitstellung alle Schritte und bezieht Hilfsenergie- und Materialaufwand zur Herstellung von Energieanlagen und Transportsystemen mit ein.

GEMIS ist modular aufgebaut. Es bildet die komplexen Prozeßketten im Bereich Energie, Stoffe und Transport durch einen modularen Aufbau ab, d. h. es gibt einzelne Module, die unabhängig voneinander betrachtet und bearbeitet werden können. Diese Einzelmodule können dann beliebig kombiniert und miteinander verknüpft werden.

Bisher sind vor allem zwei Datensätze, GEMIS (Öko-Institut) 3.08 [2] und VDEW-GEMIS 3.0 [3], verfügbar, die umfangreiche Daten zur Energiewandlung und –nutzung bereitstellen. Die Datensätze werden als sogenannte Quellen, Gruppe von Dateien, dem Programm GEMIS 3.08 [2] zur Verfügung gestellt. Mit Datensatz und Programm können dann Berechnungen zur Energiebereitstellung durchgeführt werden.

Eine detailliertere Darstellung der Möglichkeiten des Programms GEMIS 3.08 und den beiden Datensätzen GEMIS und VDEW sind in der Studie „Aktualisierung der Basisdaten für den Primärenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor zur ganzheitlichen Bewertung verschiedener Heizungssysteme“ [1] angegeben.

Der GEMIS-Datensatz wird im Programm GEMIS 3.08 als „Öko-Institut“ bezeichnet und ist der ursprüngliche Kern der Datenbank vom Programm GEMIS. Der VDEW-Datensatz wurde von der Fichtner Development Engineering (FDE) im Auftrage der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e.V. entwickelt. Neben diesen Daten wurden für die Wärmeerzeugungssysteme auch Ergebnisse des IKARUS-Projektes berücksichtigt.

In Tabelle 2.1 sind die wichtigsten Daten für Wärmeerzeugungssysteme der oben beschriebenen Quellen zusammengestellt.

Die angegebenen Nutzungsgrade der atmosphärischen Gasheizungsanlagen unterscheiden sich von Quelle zu Quelle kaum. Bei den Primärenergiefaktoren fällt der höhere Wert im VDEW-Datensatz auf, der durch die Einbeziehung höherer Verluste in der Erdgas-Vorkette für Haushalte und Kleinverbraucher begründet ist. Als Konsequenz liegen auch die CO₂-Emissionen und das CO₂-Äquivalent entsprechend hoch. Diese Aussagen gelten auch für die Gasbrennwert-Heizungsanlagen.

Tabelle 2.1: Vergleich der wichtigsten Kenndaten für Wärmeerzeugungssysteme der Datensätze GEMIS, VDEW und IKARUS

Wärmeerzeugungssystem	Nutzungsgrad*	PE-Faktor	CO ₂ -Emis. kg/MWh	CO ₂ -Äq. kg/MWh
Gasheizungsanlage – atmosphärisch				
VDEW	85,0 %	1,39	269,0	298,6
IKARUS	88,0 %	1,25	242,7	269,2
GEMIS	85,0 %	1,29	251,0	279,5
Gasheizungsanlage – Brennwert				
VDEW	100,0 %	1,21	233,2	258,6
IKARUS	96,7 %	1,14	221,6	245,7
GEMIS	100,0 %	1,13	221,0	245,7
Ölheizungsanlage				
VDEW	85,0 %	1,35	354,1	358,3
IKARUS	91,2 %	1,23	328,4	331,1
GEMIS	85,0 %	1,32	351,7	356,0
EI-Speicher-Heizungsanlage				
VDEW	99,0 %	3,07	666,9	724,3
GEMIS	99,0 %	3,00	836,4	938,3
EI-Wärmepumpen-Heizungsanlage				
VDEW-Luft	330,0 %	0,97	195,8	207,6
VDEW-Erdsonde	400,0 %	0,82	165,7	175,7
VDEW-Erdkollektor	400,0 %	0,82	165,7	175,7
VDEW-Wasser	450,0 %	0,74	149,0	157,9
VDEW-JAZ 3,2	320,0 %	1,01	203,5	215,7
VDEW-JAZ 4,0	400,0 %	0,82	165,7	175,7
GEMIS-bivalent	235,0 %	1,24	403,7	452,4
GEMIS-monovalent	300,0 %	1,00	322,5	361,1
GEMIS-mix JAZ 3,2	320,0 %	1,00	220,4	234,2
GEMIS-mix JAZ 4,0	400,0 %	0,82	179,8	191,1
Gas-Absorption-Wärmepumpen-Heizungsanlage				
VDEW	130,0 %	0,94	181,9	201,7
GEMIS	120,0 %	0,98	191,4	212,4
Gasmotor-Wärmepumpen-Heizungsanlage				
VDEW	160,0 %	0,73	144,4	160,9
GEMIS	160,0 %	0,67	132,4	148,1

* bzw. Jahresarbeitszahl, Jahresheizzahl

Im IKARUS-Projekt wird für den Nutzungsgrad von Ölheizungsanlagen ein deutlich höherer Wert von 91,2 % im Vergleich zu 85,0 % bei den beiden anderen Quellen angenommen. Daraus ergeben sich entsprechend günstigere Werte für den Primärenergiefaktor, die CO₂-Emissionen und das CO₂-Äquivalent. Die Ergebnisse der Quellen GEMIS und VDEW sind hingegen sehr ähnlich.

Bei den Werten für die Elektro-Speicher-Heizungsanlagen fallen sofort die unterschiedlichen Werte für die CO₂-Emissionen und das CO₂-Äquivalent auf. Diese sind auf die unterschied-

lichen Anteile an fossilen Energieträgern zur Erzeugung des Heizstrom in beiden Datensätzen zurückzuführen.

In beiden Datensätzen sind insgesamt 14 Wärmepumpenprozesse moduliert. 6 entfallen dabei auf GEMIS und 8 auf VDEW. Als Referenz gibt GEMIS den Endbericht zur Version 2.1 an [4], die Werte dort sind aus der Version 1.0 übernommen, und einen internen Bericht aus dem Jahr 1998 [5]. Die Werte von VDEW stammen aus dem VDEW-Stammdatensatz 1.0 [6] und sind dort ohne Referenz aufgelistet. Für die elektrischen Wärmepumpen unterscheidet VDEW sinnvoller Weise nach Art der Wärmequelle, während bei GEMIS zwischen mono- und bivalenten Systemen unterschieden wird.

Während die Jahresarbeitszahlen beim GEMIS-Datensatz aufgrund sehr alter Daten eindeutig zu niedrig sind, dürften die VDEW-Werte ungefähr den Stand der Technik widerspiegeln, wenn auch sie schon etwas den zukünftigen Trend höherer Jahresarbeitszahlen vorwegnehmen. Auch sollten die Angaben über die Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen durch die Vorlauftemperaturen des Wärmeverteilsystems ergänzt werden. Mit den starken Differenzen in der Bewertung der Jahresarbeitszahlen und der Verwendung unterschiedlicher Erzeugungssysteme zur Strombereitstellung – GEMIS verwendet Strom aus Steinkohle, VDEW den Strommix der öffentlichen Versorgung - sind die eklatanten Abweichungen bei den Primärenergiefaktoren und den CO₂-Äquivalenten erklärlich.

Außerdem wird von beiden Datensätzen eine Wärmepumpenanlage mit einer Jahresarbeitszahl von 3,2 und von 4,0 definiert, die mit Strom aus der öffentlichen Versorgung angetrieben werden. Die Werte der Primärenergiefaktoren sind sehr ähnlich, aber aufgrund der höheren CO₂-Emissionen pro Kilowattstunde in der Vorkette von GEMIS sind die CO₂-Emissionen und die CO₂-Äquivalente beim GEMIS-Datensatz um 8 % bis 9 % höher als beim VDEW-Datensatz.

Bei den Absorptions- und den Gasmotor-Wärmepumpenanlagen sind die Übereinstimmungen der Kennwerte höher, wobei grundsätzlich im VDEW-Datensatz höhere Verluste in der Erdgas-Vorkette für Haushalte und Kleinverbraucher angenommen werden. Die Jahresheizzahlen der Gasmotor-Wärmepumpen sind identisch und weichen bei den Absorptions-Wärmepumpen nur um 10%-Punkte ab. Entsprechend ergeben sich auch für die Primärenergiefaktor und CO₂-Äquivalente ähnliche Werte, wobei der GEMIS-Datensatz die Gasmotor-Wärmepumpe besser bewertet, der VDEW-Datensatz die Absorptionswärmepumpe.

3 Gemessene Jahresarbeitszahlen ausgeführter Wärmepumpenanlagen

Die Jahresarbeitszahl (JAZ) – Quotient aus Heizwärme und Antriebsenergie einer elektrischen Wärmepumpenanlage (inklusive der Hilfsenergien für die Wärmequelle) bezogen auf ein Jahr – ist die entscheidende Größe um die Energieeinsparung von Wärmepumpenanlagen gegenüber anderen Heizungssystemen zu dokumentieren.

$$\beta_a = \text{JAZ} = \text{Heizwärme pro Jahr} / \text{Antriebsenergie pro Jahr}$$

Für gasbetriebene Wärmepumpenanlagen wird analog der Begriff Jahresheizzahl (JHZ) – Quotient aus Heizwärme und Brennstoffenergie einer thermischbetriebenen Wärmepumpenanlage bezogen auf ein Jahr – verwendet. Die Brennstoffenergie bezieht sich auf den unteren Heizwert.

$$\zeta_a = \text{JHZ} = \text{Heizwärme pro Jahr} / \text{Brennstoffenergie pro Jahr}$$

Als Vergleichssystem soll eine Brennwertheizungsanlage dienen. Für solche Systeme wird ein sogenannter Jahresnutzungsgrad – Quotient aus Heizwärme und Brennstoffenergie bezogen auf ein Jahr – definiert. Die Brennstoffenergie bezieht sich auf den unteren Heizwert.

$$n_a = \text{NG} = \text{Heizwärme pro Jahr} / \text{Brennstoffenergie pro Jahr}$$

Jahresheizzahl und Jahresnutzungsgrad können direkt miteinander verglichen werden, sofern der Energieeinsatz für Hilfsantriebe gleichermaßen berücksichtigt wurde.

Der Vergleich von Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpenanlagen und Jahresnutzungsgraden von konventionellen Heizsystemen ist direkt nicht möglich, da die eingesetzten Endenergieträger Strom und Erdgas eine unterschiedliche thermodynamische Wertigkeit besitzen. Strom kann mit bis zu 100% in jede andere Energieform wie Wärme und mechanische Arbeit umgewandelt werden. Erdgas hingegen kann nach dem heutigen Stand der Technik zu maximal 58% in Strom umgewandelt werden.

Ein besserer Weg ist die Einführung des Primärenergiefaktors bzw. der CO₂-Emission pro erzeugte thermische Kilowattstunde, die in dieser Studie und auch von GEMIS und VDEW, siehe Abschnitt 2, benutzt werden. Unabdingbare Voraussetzung für diese Bewertungsgrößen ist aber auch hier die Kenntnis der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen.

Es wurde daher eine umfangreiche Sammlung von Meßdaten zum energetischen Verhalten von Wärmepumpenanlagen durchgeführt. Es konnten die Daten von 125 Anlagen aufgenommen werden.

In Tabelle 3.1 sind die Mittelwerte der gemessenen Jahresarbeitszahlen ausgeführter Wärmepumpenanlagen für verschiedene Wärmequellen und Wärmeverteilsysteme dargestellt. Dabei wurden alle Systeme mit Vorlauftemperaturen bis 40°C als Niedertemperaturheizung und Systeme mit höheren Vorlauftemperaturen als Mitteltemperaturheizung definiert.

Tabelle 3.1: Gemessene Jahresarbeitszahlen ausgeführter Wärmepumpenanlagen – 1990 bis 1998

	Wärmevert. -System	Anzahl	Jahresarbeitszahl		
			Minimum	Mittel	Maximum
Wasser/Wasser	NTH	13	3,5	4,17	4,7
	MTH	-	-	-	-
Erdreich/Wasser	NTH	49	3,0	3,72	4,8
	MTH	6	2,6	3,07	3,5
Luft/Wasser[#]	NTH	7	2,8	3,15	3,5
	MTH	4	2,5	2,67	3,0

NTH = Niedertemperaturheizung; MTH = Mitteltemperaturheizung; # auch Luft/Luft

Wie die Tabelle 3.1 zeigt, sind von den 125 Anlagen nur 79 in die Tabelle aufgenommen worden. 42 weitere Anlagen sind einem speziellen Wärmepumpenprojekt entnommen, bei dem industrielle Abwärme als Wärmequelle genutzt wird. Da die erreichbaren Wärmequellentemperaturen weit über den für natürliche Quellen üblichen Temperaturen liegen, ist eine gesonderte Auswertung notwendig. Außerdem sind die Meßdaten von vier Sonderanlagen erfaßt worden.

Die Meßdaten der Jahresarbeitszahlen sind im allgemeinen auf die Wärmepumpenanlagen bezogen, also ohne Berücksichtigung der Antriebsenergie für die Heizungspumpe, wie bei Kesselanlagen. Für vereinzelte Anlagen ist die Jahresarbeitszahl inklusive dieser Antriebsenergie angegeben worden. Für die Auswertung wurden die Meßdaten entsprechend korrigiert.

Außerdem hat die Warmwasserbereitung (WWB) einen Einfluß auf die Jahresarbeitszahl. Auch dieser Einfluß wurde korrigiert, wobei angenommen wurde, daß die Warmwasserbereitung auf Systeme mit einer Niedertemperatur-Wärmeverteilung zu einem Absinken der Jahresarbeitszahl von 0,15 führt. Der Zahlenwert der Korrektur wird im weiteren Kapitel noch genauer erläutert.

Insgesamt beziehen sich alle dargestellten Jahresarbeitszahlen, wenn es nicht gesondert beschrieben ist, auf die Wärmepumpenanlage, d.h. inklusive Verdichter, Sole- bzw. Wasserpumpe und Lüfter, aber ohne Berücksichtigung der Wärmeverteilung und der Warmwasserbereitung.

Alle in der Tabelle 3.1 und der nachfolgenden Auswertung verwendeten Wärmepumpenanlagen werden monovalent oder monoenergetisch betrieben bis auf 4 bivalente Luft/Wasser-Anlagen, 3 mit einer Mitteltemperatur- und 1 mit einer Niedertemperatur-Wärmeverteilung.

Auswertung

Die Anzahl der Anlagen zeigt, daß überwiegend Systeme mit einer Niedertemperaturverteilung untersucht wurden. Im Normalfall ist dies eine Fußbodenheizung mit einer Vorlauf-temperatur von 35°C und einer Rücklauf-temperatur von 30°C im Auslegungspunkt. Systeme mit höheren Vorlauf-temperaturen von mehr als 40°C sind nur selten vertreten (6 für Erd-

reich/Wasser, 4 für Luft/Wasser bzw. Luft/Luft), weshalb die Werte für Mitteltemperatur-Wärmeverteilsysteme in Tabelle 3.1 entsprechend eingestuft werden müssen.

Die Werte für die Jahresarbeitszahlen entsprechen im allgemeinen den Erwartungen: Wasser/Wasser-Systeme haben die höchsten Jahresarbeitszahlen, Luft/Wasser-Systeme die niedrigsten, Erdreich/Wasser-Systeme liegen in der Mitte. Die Vorlauftemperaturen haben deutliche Auswirkungen auf die erreichbare Jahresarbeitszahl. Im Durchschnitt muß damit gerechnet werden, daß eine Erhöhung der Vor- und Rücklauftemperaturen des Wärmeverteilsystem von 35°C/30°C auf 55°C/45°C zu einer Verringerung der Jahresarbeitszahl von 0,5 führt.

Im weiteren soll nun der Einfluß der Inbetriebnahme der Wärmepumpenanlagen und damit des Entwicklungsstandes untersucht werden. Dazu werden die Daten in Tabelle 3.1 für die Jahre 1990 bis 1994 in Tabelle 3.2 und die Daten für die Jahre 1995 bis 1998 in Tabelle 3.3 eingetragen. Ein Vergleich zeigt, daß die gemessenen Jahresarbeitszahlen deutlich ansteigen. Gleichzeitig wird aber auch deutlich, daß die Anzahl von gemessenen Wärmepumpenanlagen in den einzelnen Bereichen außer für Erdreich/Wasser mit Niedertemperatur-Wärmeverteilung sehr gering ist und sich nicht für weitere detailliertere Analysen eignet. Daher wurden die weiteren Analysen für Erdreich/Wasser-Systemen mit einer Niedertemperatur-Wärmeverteilung fortgesetzt.

Tabelle 3.2: Gemessene Jahresarbeitszahlen ausgeführter Wärmepumpenanlagen – 1990 bis 1994

	Wärmevert.-System	Anzahl	Jahresarbeitszahl		
			Minimum	Mittel	Maximum
Wasser/Wasser	NTH	4	3,5	3,84	4,3
	MTH	-	-	-	-
Erdreich/Wasser	NTH	25	3,0	3,62	4,3
	MTH	4	2,6	2,94	3,4
Luft/Wasser	NTH	4	2,8	3,03	3,2
	MTH	4	2,5	2,67	3,0

NTH = Niedertemperaturheizung, MTH = Mitteltemperaturheizung

Tabelle 3.3: Gemessene Jahresarbeitszahlen ausgeführter Wärmepumpenanlagen – 1995 bis 1998

	Wärmevert.-System	Anzahl	Jahresarbeitszahl		
			Minimum	Mittel	Maximum
Wasser/Wasser	NTH	9	4,1	4,32	4,7
	MTH	-	-	-	-
Erdreich/Wasser	NTH	25	3,1	3,82	4,8
	MTH	2	3,2	3,33	3,5
Luft/Wasser	NTH	4	3,2	3,32	3,5
	MTH	-	-	-	-

NTH = Niedertemperaturheizung, MTH = Mitteltemperaturheizung

Für Erdreich/Wasser-Systeme mit Niedertemperatur-Wärmeverteilung ist nun in Abbildung 3.1 die gemessenen Jahresarbeitszahlen in Abhängigkeit von der Datum der Inbetriebnahme dargestellt. Neben dem Mittelwert ist auch die Anzahl der Wärmepumpenanlagen pro Jahr angegeben. Stehen nur wenige Anlagen zur Auswertung zur Verfügung, ist deren statistische Aussagekraft gering. Speziell für 1990, 1991 und 1993 müssen die Ergebnisse daher mit entsprechenden Einschränkungen eingestuft werden. Aus diesem Grunde wurde für 1997, wo die Daten von nur einer Wärmepumpenanlage vorliegen, auf eine Eintragung in Abbildung 3.1 verzichtet.

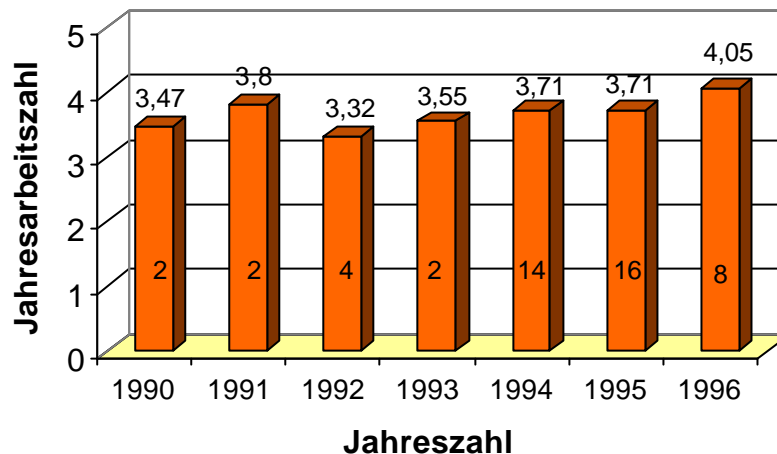


Abbildung 3.1: Gemessene Jahresarbeitszahlen ausgeführter Erdreich/Wasser-Wärmepumpenanlagen mit Niedertemperatur-Wärmeverteilung

Insgesamt kann festgehalten werden, daß seit 1992 die Jahresarbeitszahlen, entsprechend den Meßdaten, signifikant zugenommen haben und für das letzte noch auswertbare Jahr 1996 einen Wert von 4,05 erreicht haben.

Aufgrund des Ozonschädigungspotential von R22 kamen in den letzten Jahren neben R22 verschiedene Ersatzkältemittel wie Propan (R290), Propen (R1270), R134a und R407C zum Einsatz. In Abbildung 3.2 ist die Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl vom verwendeten Kältemittel dargestellt. Außerdem ist auch das durchschnittliche Datum der Inbetriebnahme angegeben.

Es ist zu erkennen, daß die R22-Anlagen die niedrigsten Jahresarbeitszahlen aufweisen, aber gleichzeitig auch am ältesten sind, so daß die Ursache der niedrigen Jahresarbeitszahlen nicht unbedingt im verwendeten Kältemittel, sondern auch in der technischen Weiterentwicklung begründet sein können.

Die Propan- und Propen-Anlagen sind im Durchschnitt gleich alt, mit Propan werden, wie die Abbildung 3.2 zeigt, etwas bessere Jahresarbeitszahlen erreicht. Da aber nur 5 Propan-Anlagen zur Verfügung standen, ist die statistische Sicherheit dieser Aussage nicht besonders hoch.

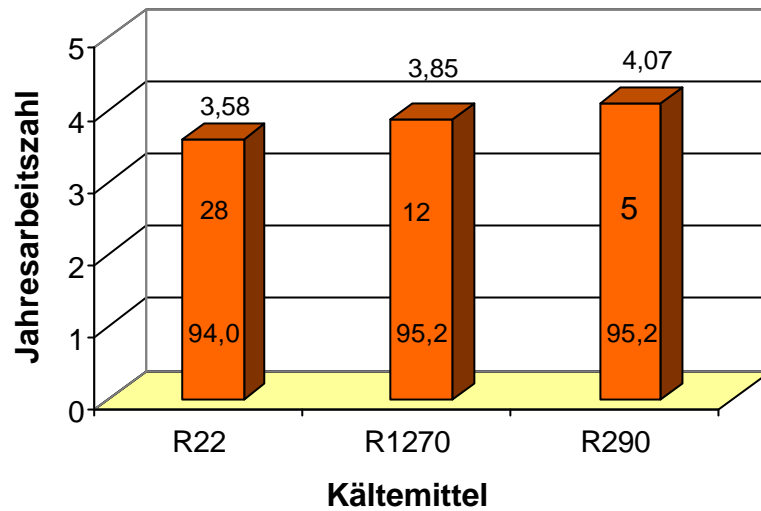


Abbildung 3.2: Gemessene Jahresarbeitszahlen ausgeführter Erdreich/Wasser-Wärmepumpenanlagen mit Niedertemperatur-Wärmeverteilung

Wie schon am Anfang des Kapitels erwähnt, wurde der Einfluß der Warmwasserbereitung auf die Jahresarbeitszahl korrigiert. Dazu ist in Abbildung 3.3 die Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl von der Warmwasserbereitung dargestellt.

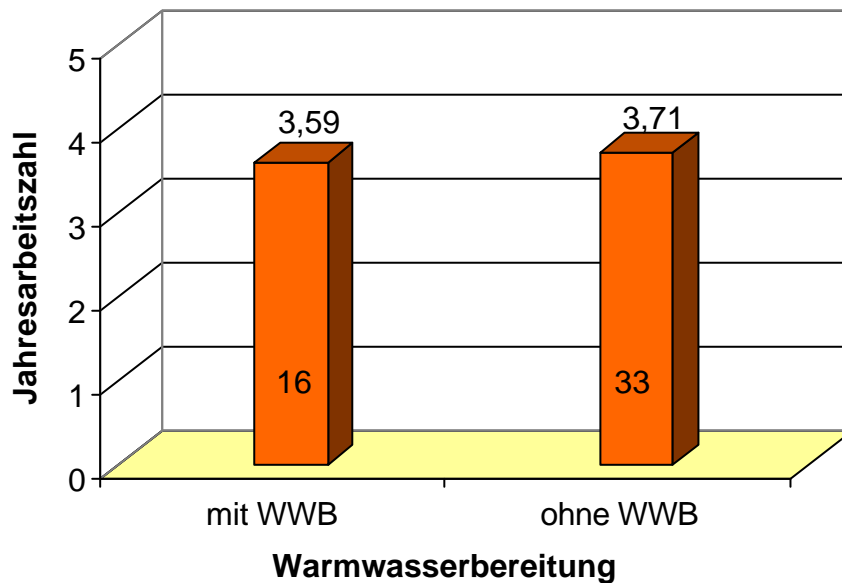


Abbildung 3.3: Gemessene Jahresarbeitszahlen ausgeführter Erdreich/Wasser-Wärmepumpenanlagen mit Niedertemperatur-Wärmeverteilung

Der Vergleich Abbildung 3.3 zeigt, daß die Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpenanlagen bei einer gleichzeitigen Warmwasserbereitung etwas geringer sind, hier ergibt sich eine Abweichung von 0,12. Um eine Korrektur dieses Einflusses durchzuführen, wurde der Wert

auf 0,15 aufgerundet. Dieser Wert gilt nur für Systeme mit einer Niedertemperatur-Wärmeverteilung, für Systeme mit höheren Vorlauftemperaturen wird keine Korrektur durchgeführt. Entsprechende Werte wurden auch in einer theoretischen Untersuchung bestimmt, bei der allerdings die Warmwasserbereitung in einer separaten Wärmepumpe erfolgte [7]. Obwohl die Systeme nicht identisch sind, kann der Einfluß der im Vergleich zur Heizungs-vorlauftemperatur höheren Speichertemperatur der Warmwasserbereitung übertragen werden.

Außerdem wurde mit dem vorhandenen Datenmaterial der Einfluß der Betriebsweise untersucht. Es liegen Meßdaten zu monovalenten und monoenergetischen Systemen vor. Die Zusatzheizung von monoenergetischen Systemen wird vorwiegend zum Trockenheizen von Neubauten und zum gelegentlichen Anheizen eingesetzt. In Abbildung 3.4 sind die gemessenen Jahresarbeitszahlen dieser Systeme dargestellt. Die Mittelwerte sind nahezu gleich groß, ein Einfluß ist daher nicht signifikant, zumal wenn zusätzlich berücksichtigt wird, daß es sich bei den die monoenergetischen Systeme um modernere Anlagen handelt.

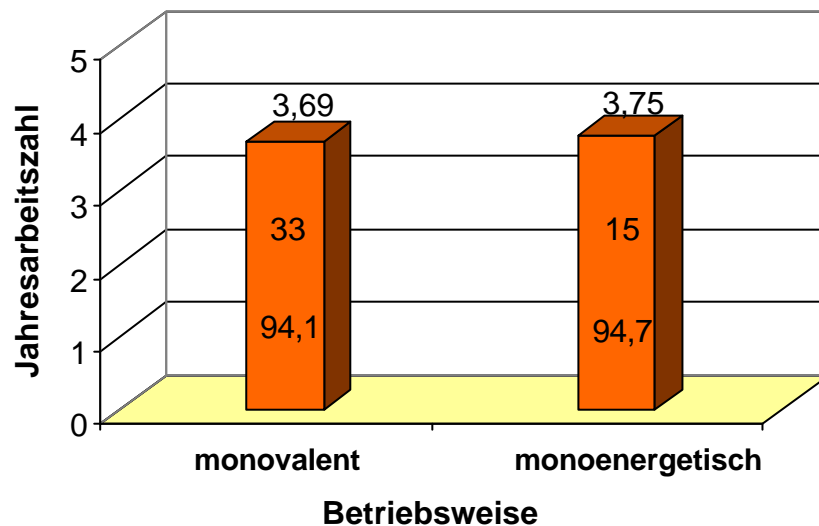


Abbildung 3.4: Gemessene Jahresarbeitszahlen ausgeführter Erdreich/Wasser-Wärmepumpenanlagen mit Niedertemperatur-Wärmeverteilung

Wärmepumpenprojekt mit Nutzung industrieller Abwärme

In einer Neubausiedlung wurde ein Kaltwasser-Nahwärmesystem installiert. Als Wärmequelle wird die Abwärme eines nahegelegenen Industriebetriebes genutzt, die bei 15°C bis 20°C anfällt. Bei Unterbrechung der Abwärmeverversorgung übernimmt ein Gaskessel diese Aufgabe. Das Kaltwassernetz dient als Wärmequelle für dezentrale Wärmepumpenanlagen, die in Häusern der Neubausiedlung installiert sind. Die gemessenen Jahresarbeitszahlen sind in Tabelle 3.4 dargestellt.

Die Jahresarbeitszahlen sind für Niedertemperatursysteme sehr hoch, da Abwärme mit 15°C bis 20°C als Wärmequelle genutzt werden kann. Dieses Beispiel zeigt das Potential

der Wärmetechnik zur weiteren Energieeinsparung jenseits der Nutzung natürlicher Quellen durch effiziente Nutzung anfallender Abwärme. Auffällig ist allerdings der sehr starke Abfall der Jahresarbeitszahl bei Übergang auf eine höhere Heizungsvorlauftemperatur bzw. bei gleichzeitiger Bereitung von Warmwasser.

Tabelle 3.4: Gemessene Jahresarbeitszahlen ausgeführter Wärmepumpenanlagen – Abwärmenutzung mit Kaltwassernetz 15 °C

Wärmevert. -System	Anzahl	Jahresarbeitszahl		
		Minimum	Mittel	Maximum
NTH	27	4,1	5,07	6,5
MTH	4	3,8	3,89	4,1
NTH mit WWB	11	4,1	4,38	5,5

WWB = Warmwasserbereitung, NTH = Niedertemperaturheizung, MTH = Mitteltemperaturheizung

Sonderanlagen

Es konnten Meßdaten von einer Gasabsorptions- und einer Gasmotor-Wärmepumpenanlage aufgenommen werden, die beide bivalent betrieben werden. Die Jahresheizzahlen liegen bei 1,37 bzw. 1,56, wobei keine Niedertemperaturheizung eingesetzt wurde. So gibt der Hersteller der Gasmotor-Wärmepumpenanlage an, daß die Jahresheizzahl auf 2,15 ansteigt, wenn die Vorlauftemperatur auf 45°C gesenkt würde. Außerdem ist eine Luft/Luft-Anlage mit einer Jahresarbeitszahl von 4,23 bei einer mittleren Vorlauftemperatur von 34°C und eine Luft/Wasser-Anlage mit einer Jahresarbeitszahl von 3,86 bei einer maximalen Vorlauftemperatur von 50°C als Sonderanlagen aufgenommen, da diese Anlage als speziell optimierte Prototypen-Anlagen einzustufen sind.

Schlußbemerkung

Im Anhang, Anschnitt 0, ist in Tabelle bis Tabelle eine Übersicht über alle untersuchten Anlagen angegeben. Außerdem ist ein Beispiel für die aufgenommenen Daten von gemessenen Wärmepumpenanlagen beigefügt.

Jenseits dieser ausgewerteten Anlagen wurden noch die Meßdaten einiger weiterer Anlagen aufgenommen. Diese Anlagen entsprechen aber nicht dem Stand der Technik, da sich durch Auslegungsfehler, schlechte Bauausführung, speziell der Wärmequelleninstallation, und zum Teil durch falsches Nutzungsverhalten die Randbedingungen für die Wärmepumpe, maximale Heizleistung und Temperaturdifferenz zwischen Wärmesenke und -quelle, gegenüber der Auslegung drastisch verschlechtert haben.

4 Rechenverfahren zur Ermittlung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen

4.1 Berechnungskurzverfahren

Das von Frehn entwickelte Berechnungskurzverfahren [8], im folgenden Kurzverfahren genannt, ermöglicht es, die Jahresarbeitszahl überschlägig für eine bestimmte Wärmepumpenanlage aus der gemessenen Leistungszahl zu berechnen. Es ist leicht nachvollziehbar, so daß es von einem Handwerker auch mit einem Taschenrechner ausgeführt werden kann.

Es wird unterschieden zwischen Erdreich/Wasser-Wärmepumpen, Wasser/Wasser-Wärmepumpen und Luft/Wasser-Wärmepumpen. Aus den Vorgaben der VDI 2067 Blatt 6 [9] wurde zunächst ein Kurzverfahren zur Berechnung von Jahresarbeitszahlen von Erdreich/Wasser-Wärmepumpenanlagen und Wasser/Wasser-Wärmepumpenanlagen entwickelt, welches danach um ein Verfahren für Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen erweitert wurde. Im folgenden sollen die Berechnungsschritte und die jeweiligen Randbedingungen erläutert werden.

Erdreich/Wasser-Wärmepumpe

Zur Berechnung der Jahresarbeitszahl muß die Leistungszahl der Wärmepumpe nach Euronorm EN 255 [10] bei einer Soleeintrittstemperatur von 0 °C und einer Heizungsvorlauftemperatur von 35 °C bekannt sein.

Die Jahresarbeitszahl wird dann mit Hilfe zweier Korrekturfaktoren und unter Berücksichtigung der Leistungsaufnahme für die Solepumpe berechnet. Der erste Korrekturfaktor F_{ϑ} berücksichtigt unterschiedliche Betriebsbedingungen der Soleeintrittstemperaturen und der Heizungsvorlauftemperaturen. Der zweite Korrekturfaktor $F_{\Delta\vartheta}$ berücksichtigt abweichende Temperaturdifferenzen am Verflüssiger zwischen Messung und Betrieb.

Um eine möglichst hohe Genauigkeit zu erreichen, wurde zunächst aus sechs gängigen Wärmepumpentypen eine „Normwärmepumpe“ ermittelt, wobei die Einflüsse der Wärmequellentemperatur und der Vorlauftemperatur auf die Leistungszahl der Wärmepumpe gemittelt wurden.

Als nächster Schritt wurden die Verläufe der Soletemperatur und Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der Außentemperatur ermittelt. Über die Vorlauftemperatur existieren bereits Erfahrungen aus der konventionellen Heiztechnik. Für die Soletemperaturen wurden die Erfahrungen aus einigen gemessenen Anlagen ausgewertet. Da die Soletemperaturen im Herbst zu Beginn der Heizperiode wegen hoher Erdreichtemperaturen höher sind als bei gleichen Außentemperaturen im Frühjahr, wurde ein Mittelwert gebildet.

Mit den gemittelten Werten für die Soletemperatur und die Vorlauftemperatur wurden dann nach dem ausführlichen Verfahren der VDI 2067 Blatt 6 die Jahresarbeitszahlen für die verschiedenen Vorlauftemperaturen und Soletemperaturen berechnet. Diese Werte wurden

dann durch die Leistungszahl bei B0/W35 dividiert, so daß sich der Korrekturfaktor $F\vartheta$ ergab.

Da in der europäischen Norm EN 255 maximale und minimale Temperaturdifferenzen an den Wärmetauschern für die Messung der Leistungsdaten nicht festgelegt sind, wurden bei Prüfstandsmessungen Wärmepumpen oft mit relativ großen Temperaturdifferenzen am Verflüssiger betrieben, die gegenüber kleineren Temperaturdifferenzen zu höheren Leistungszahlen führten. In der praktischen Anwendung werden Wärmepumpen aber in Abhängigkeit des Heizungssystems mit zumeist niedrigeren Spreizungen zwischen Vor- und Rücklauftemperaturen betrieben. Deshalb wurde ein entsprechender Korrekturfaktor $F\Delta\vartheta$ eingeführt, der aus Messungen mit verschiedenen Wärmepumpen bestimmt wurde.

Zur Berechnung der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage muß die von der Solepumpe geleistete Arbeit mit berücksichtigt werden. Diese wird pauschal mit 7,5 % der Verdichterleistung angenommen.

Damit ergibt sich für die Berechnung der Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpenanlage folgende Gleichung (ohne wärmequellenseitige Hilfsantriebe):

$$\beta_a = \frac{\varepsilon_{N(B0/W35)} \cdot F\vartheta \cdot F\Delta\vartheta}{1,075}.$$

Wasser/Wasser-Wärmepumpen

Zur Berechnung der Jahresarbeitszahl muß die Leistungszahl der Wärmepumpe nach Euronorm EN 255 bei einer Wassereintrittstemperatur von 10 °C und einer Heizungsvorlauftemperatur von 35 °C bekannt sein.

Die Korrekturfaktoren wurden nach dem gleichen Verfahren wie bei der Erdreich/Wasser-Wärmepumpe ermittelt. Die Grundwassertemperatur wurde als konstant angenommen, da eine Beeinflussung der Grundwassertemperatur durch Witterungseinflüsse in der Regel nicht gegeben ist. Zur Berechnung der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage muß die von der Wärmequellenpumpe geleistete Arbeit berücksichtigt werden. Diese wird pauschal mit 14 % der Verdichterleistung angenommen. Damit ergibt sich für die Berechnung der Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpenanlage folgende Gleichung (ohne wärmequellenseitige Hilfsantriebe):

$$\beta_a = \frac{\varepsilon_{N(W10/W35)} \cdot F\vartheta \cdot F\Delta\vartheta}{1,14}.$$

Luft/Wasser-Wärmepumpen

Die Berechnung der Jahresarbeitszahl von Luft/Wasser-Wärmepumpen erfordert eine etwas andere Vorgehensweise, da die Wärmequellentemperaturen, ihr jahreszeitlicher Verlauf und die angesetzten Extremwerte regional sehr unterschiedlich sind. Ähnlich wie bei Erdreich/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen wurde auch für die Luft/Wasser-

Wärmepumpe eine "Normwärmepumpe" ermittelt. Dieser Vorgang wurde jedoch in drei Schritten entsprechend den Normmeßpunkten für die Wärmepumpe durchgeführt (A-7, A2 und A10). Entsprechend dem Langverfahren der VDI 2067 Blatt 6 wurden für die drei Normmeßpunkte Teilarbeitszahlen ermittelt. Die jeweilige Teilarbeitszahl dividiert durch die entsprechende Leistungszahl der Normwärmepumpe ergibt den Korrekturfaktor F_{ϑ} für abweichende Betriebsbedingungen. Da aber die Wärmepumpe unterschiedlich oft bei diesen drei Temperaturen betrieben wird, werden über Stundenhäufigkeitswerte die gewichteten Korrekturfaktoren $F_{\vartheta g}$ ermittelt. Diese Korrekturfaktoren werden für sechs verschiedene Standorte in Deutschland ermittelt. Die Jahresarbeitszahl berechnet sich dann zu (ohne wärmequelleseitige Hilfsantriebe):

$$\beta_a = \left[\varepsilon_{N(A-7/W35)} \cdot F_{\vartheta g_{-7}} + \varepsilon_{N(A2/W35)} \cdot F_{\vartheta g_2} + \varepsilon_{N(A10/W35)} \cdot F_{\vartheta g_{10}} \right] \cdot F_{\Delta\vartheta}.$$

Berechnung von Jahresarbeitszahlen mit dem Kurzverfahren

Mit Hilfe der oben erläuterten Formeln werden für Erdreich/Wasser-, Wasser/Wasser- und Luft/Wasser-Wärmepumpen jeweils die Jahresarbeitszahlen für verschiedene Heizungsauslegungstemperaturen (55 °C/45 °C und 35 °C/30 °C) berechnet. Die Berechnung der Jahresarbeitszahlen erfolgt für Wärmepumpen, die im WPZ Töss geprüft wurden und als Serienprodukt gekennzeichnet sind [11]. Für die Wärmequelle Luft wurde der Standort Frankfurt festgelegt.

In Tabelle 4.1 sind die Leistungszahlen bei den Normmeßtemperaturen aufgelistet. Der Mittelwert gibt nur in etwa die mittlere Leistungszahl an, da, wie oben erläutert, die Messungen bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen am Verflüssiger durchgeführt wurden. Aus diesem Grund wird für jede einzelne Wärmepumpe die Jahresarbeitszahl bestimmt. Aus den einzelnen Jahresarbeitszahlen wird dann der Mittelwert gebildet.

Tabelle 4.1: Gemessene Leistungszahlen für Wärmepumpen

		Minimum	Mittelwert	Maximum
Erdreich/Wasser	B0/W35	3,9	4,4	5,1
Wasser/Wasser	W10/W35	5,0	5,4	6,3
Luft/Wasser	A-7/W50	1,9	2,1	2,4
	A2/W35	2,7	3,1	3,7
	A10/W35	3,5	4,3	5,2

Bei der Berechnung der Jahresarbeitszahlen für Luft/Wasser-Wärmepumpen ergibt sich die Schwierigkeit, daß nach dem Kurzverfahren die Leistungszahl für den Punkt A-7/W35 bekannt sein muß. Das WPZ Töss lieferte bis zur Ausgabe Nr. 18 des WPZ-Bulletin aber nur, wie in Tabelle 1 zu sehen ist, Meßwerte für den Punkt A-7/W50. Aus diesem Grund wird analog zum Korrekturfaktor für unterschiedliche Betriebsbedingungen zunächst der gemessene Wert für A-7/W50 auf A-7/W35 umgerechnet, der dann in die oben genannte Formel zur Berechnung der Jahresarbeitszahl von Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen eingesetzt

werden kann. In der neusten Ausgabe (Nr. 19) des WPZ-Bulletin [12] ist diesem Umstand Rechnung getragen, die Leistungszahl für den Punkt A-7/W35 kann direkt der Veröffentlichung entnommen werden. In Tabelle 4.2 sind die berechneten Jahresarbeitszahlen (Minimum, Maximum und Mittelwert) für zwei verschiedene Vorlauftemperaturen aufgelistet.

Tabelle 4.2: Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpenanlagen – Kurzverfahren

		Minimum	Mittelwert	Maximum
Erdreich/Wasser (16 Anlagen)	35°C/30°C	3,73	4,20	4,85
	55°C/45°C	3,22	3,62	4,18
Wasser/Wasser (10 Anlagen)	35°C/30°C	4,46	4,77	5,56
	55°C/45°C	3,75	4,02	4,68
Luft/Wasser (11 Anlagen)	35°C/30°C	2,60	3,10	3,60
	55°C/45°C	2,30	2,80	3,20

Beurteilung

Das Kurzverfahren erlaubt es auf einfache und schnelle Weise die Jahresarbeitszahl einer standardisierten Wärmepumpenanlage zu bestimmen. Dabei kann aber nicht der Einfluß bestimmter Parameter und damit die einzelne Wärmepumpenanlage berücksichtigt werden. Es erfolgt keine Festlegung auf ein Wärmeverteilsystem wie Radiatoren, Fußbodenheizung etc. Statt dessen kann nur die Auslegungstemperatur berücksichtigt werden. Der Einfluß eines Speichers auf die Jahresarbeitszahl wird nicht berücksichtigt. Zudem wird die spezifische Verteilung des Heizwärmebedarfs des Gebäudes vernachlässigt. Bei der Berechnung der Jahresarbeitszahl für eine Luft/Wasser-Wärmepumpe wird eine Heizgrenze von 15 °C angenommen. Diese verschiebt sich aber mit zunehmenden Wärmeschutz und einer Wärmerückgewinnung. So sollen Niedrigenergiehäuser nach geplanter Energiesparverordnung 2000 statt ehemals ca. 240 nur noch etwa 160 bis 200 Heiztage bei einer Heizgrenztemperatur von 9 bis 12 °C aufweisen [13].

4.2 Simulationsprogramm

Das von Schrapf entwickelte module Simulationsprogramm [14], [7] ermöglicht es, die Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpenanlage zu berechnen. Dieses Programm ist aus mehreren Modulen aufgebaut, die beliebig kombiniert werden können. Als Schnittstellen können Temperaturen und Massenströme eingegeben werden. Dieses Programm dient vor allem dazu, neue Schaltungsvarianten von Wärmeerzeugungssystemen bewerten zu können und den Einfluß bestimmter Randparameter wie Speicher, Wärmeverteilsystem etc. untersuchen zu können. Es wurden deshalb Berechnungsmodule entwickelt [14], [15] (Wärmepumpe, Solaranlage, Heizkessel, Speicher, u.a.), die auf ähnlich komplexe Weise modelliert wurden.

Die Verteilung des Heizwärmebedarfs hat einen entscheidenden Einfluß auf die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage. Das Simulationsprogramm erlaubt es, den vorausbe-

rechneten bzw. gemessenen Heizwärmebedarf eines Gebäudes einzulesen. Das Programm rechnet mit stündlichen Werten, so daß die Genauigkeit sehr hoch ist. Die Rechenzeit wird dadurch jedoch erhöht, zudem kann das Programm nicht einfach wie das Kurzverfahren von jedem angewendet werden, da es notwendig ist, die einzelnen Randbedingungen direkt im Programm anzugeben. Aufgrund der Randbedingungen, die in Tabelle 4.3 angegeben sind, wurden bestimmte Wärmepumpen ausgewählt.

Tabelle 4.3: Randbedingungen für die Simulationsrechnungen

AV-Verhältnis	0,8 m ⁻¹
Norm-Heizlast	5,9 kW
Heizwärmebedarf	68 kWh/(m ² a)

Im Programm ist es möglich, das Betriebsverhalten der Module Verdampfer, Verdichter, Verflüssiger, Expansionsventil und Zwischenwärmeübertrager anzugeben. Für die Berechnung der Jahresarbeitszahlen wurden eine Erdreich/Wasser-Wärmepumpe mit einer Leistungszahl im Punkt B0/W35 von 3,9 und eine Wasser/Wasser-Wärmepumpe mit einer Leistungszahl im Punkt W10/W35 von 4,8 ausgewählt. Für eine Luft/Wasser-Wärmepumpe kann die Leistungszahl explizit nur im Punkt A10/W35 mit 4,1 berechnet werden. Da bei der Luft/Wasser-Wärmepumpe der Verdampfer bei Temperaturen von 2 bis 7 °C vereist, ist es problematisch, unterhalb dieser Temperaturen Leistungszahlen anzugeben. Im Programm ist die Vereisung und damit zum einen der höhere Leistungsaufwand für die Abtauung und zum anderen das schlechtere Wärmeübertragerverhalten des Verdampfers berücksichtigt. In Tabelle 4 sind die berechneten Jahresarbeitszahlen aufgelistet.

Tabelle 4.4: Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpenanlagen - Simulationsprogramm

	Leistungszahl	Jahresarbeitszahl	
		35 °C/30 °C	55 °C/45 °C
Erdreich/Wasser	3,9 (B0/W35)	3,99	3,25
Wasser/Wasser	4,8 (W10/W35)	4,09	3,64
Luft/Wasser	4,1 (A10/W35)	3,4	2,9

Beurteilung

Das Simulationsprogramm erlaubt es, unter Berücksichtigung aller Randbedingungen (Verteilung des Heizwärmebedarfs, Speicher, Wärmeverteilsystem, u.a.) die Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpenanlage zu berechnen. Da das Programm mit stündlichen Werten rechnet, kann die Jahresarbeitszahl bei exakter Angabe der Randbedingungen sehr genau berechnet werden. Das Programm dient somit zur wissenschaftlichen Untersuchung von neuen Schaltungsvarianten bzw. zur genauen Analyse des Einflusses einzelner Komponenten auf die Jahresarbeitszahl. Es kann jedoch nicht, wie das Kurzverfahren, von einem Handwerker zur einfachen überschlägigen Berechnung der Jahresarbeitszahl benutzt werden.

4.3 Vergleich des Kurzverfahrens und des Simulationsprogramms

Ein Vergleich der Jahresarbeitszahlen ist nur unter Berücksichtigung der Leistungszahlen möglich, da diese, wie in Tabelle 4.1 und Tabelle 4.4 sehen ist, teilweise erheblich voneinander abweichen. In Tabelle 4.5 sind deshalb jeweils für das Kurzverfahren und das Simulationsprogramm die einzelnen Leistungszahlen bei gleichen Bedingungen und die berechneten Jahresarbeitszahlen für die Wärmeverteilssysteme 35°C/30°C und 55°C/45°C im Auslegungspunkt aufgelistet. Für das Kurzverfahren wurden die Mittelwerte gemäß Tabelle 4.1 verwendet.

Tabelle 4.5: Vergleich der Jahresarbeitszahlen

		Leistungszahl	Jahresarbeitszahl	
			35°C/30°C	55°C/45°C
Erdreich/Wasser	KV	4,4 ¹	4,20	3,62
	SP	3,9 ¹	3,99	3,25
Wasser/Wasser	KV	5,4 ²	4,77	4,02
	SP	4,8 ²	4,09	3,64
Luft/Wasser	KV	4,3 ³	3,10	2,80
	SP	4,1 ³	3,40	2,90

KV = Kurzverfahren; SP = Simulationsprogramm; ¹B0/W35; ²W10/W35; ³A10/W35

Bei beiden Programmen weichen die Jahresarbeitszahlen für Wasser/Wasser- und Erdreich/Wasser-Systeme in etwa um den gleichen Wert von der jeweiligen Leistungszahl ab, nur für Erdreich/Wasser-Systeme mit einer 35°C/30°C Wärmeverteilung werden mit dem Simulationsprogramm im Verhältnis günstigere Werte bestimmt. Allgemein werden im Simulationsprogramm für die Wärmequellen Erdreich und Wasser Wärmepumpen mit niedrigeren Leistungszahlen zugrunde gelegt, die dann auch zu entsprechend niedrigeren Jahresarbeitszahlen führen. Die Werte der Leistungszahlen im Simulationsprogramm liegen an der unteren Grenze der gemessenen Wärmepumpen, wie in Tabelle 4.1 dargestellt.

Für Luft werden mit dem Simulationsprogramm günstigere Werte ermittelt. Dies liegt zum einen an der Auswahl einer Wärmepumpe, deren Leistungszahl im Bereich des Mittelwertes liegt, und zum anderen daran, daß das Simulationsprogramm auch für gleiche Leistungszahlen etwas höhere Jahresarbeitszahlen berechnet.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß mit dem Kurzverfahren praxisnah und überschlägig eine Jahresarbeitszahl bestimmt werden kann. Mit dem Simulationsprogramm können darüber hinaus zusätzlich einzelne Parameter genauer berücksichtigt werden. Bei dem Simulationsprogramm besteht dabei die Möglichkeit, die Auswirkungen verschiedener Komponenten auf die Jahresarbeitszahl genauer zu untersuchen.

5 Festlegung von Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpenanlagen für den IZW-Datensatz

Elektrisch angetriebene Wärmepumpen

Die Werte von gemessenen Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpenanlagen in Abschnitt 3 dienen als Grundlage für den IZW-Datensatz. Die sich ergebenden Werte sind in Tabelle 5.1 dargestellt. Dabei wurden insbesondere die Werte aus Tabelle 3.3 für die Jahre 1995 bis 1998 berücksichtigt. Die dargestellten Jahresarbeitszahlen berücksichtigen die gesamte Wärmepumpenanlage ohne Wärmeverteilung und Warmwasserbereitung.

Tabelle 5.1: Festgelegte Jahresarbeitszahlen von elektrisch angetriebenen Wärmepumpenanlagen für den IZW-Datensatz

	Wärmevert. -System	Jahres- arbeitszahl	Hilfsener- gie
Wasser/Wasser	35°C/30°C	4,3	1,75 %
	55°C/45°C	3,8	1,75 %
Erdreich/Wasser	35°C/30°C	3,8	1,75 %
	55°C/45°C	3,3	1,75 %
Luft/Wasser	35°C/30°C	3,3	1,75 %
	55°C/45°C	2,8	1,75 %

Es wird entsprechend der Auswertung in Abschnitt 3 und den untersuchten Rechenverfahren in Abschnitt 4 davon ausgegangen, daß der Übergang von einem Wärmeverteilsystem 35°C/30°C auf 55°C/45°C zu einer Absenkung der Jahresarbeitszahl von ca. 0,5 führt.

Vergleicht man die Werte des IZW-Datensatzes für die Jahresarbeitszahlen mit denen, die mit den Rechenverfahren bestimmt und in Tabelle 4.5 zusammengefaßt sind, so liegen die Werte für Wasser/Wasser und Luft/Wasser zwischen den beiden Rechenverfahren. Für Erdreich/Wasser liegen die IZW-Werte unter denen der Rechenverfahren. Dieser Bereich ist allerdings durch zahlreiche Meßdaten am besten abgestützt.

Zusätzlich wird gemäß dem GEMIS-Programm ein Hilfsenergieanteil bestimmt. Er enthält alle notwendigen Hilfsenergien für Heizungspumpe und Regelung. Der Anteil wurde als Mittelwert der Angaben von GEMIS und VDEW angesetzt (siehe Anhang, Abschnitt 10.1 und 10.2).

Insgesamt muß angemerkt werden, daß die Werte in Tabelle 5.1 den Stand der Technik ausgeführter Wärmepumpenanlagen ab dem Jahre 1995 wiedergibt. Die Ergebnisse des Kurzverfahrens in Abschnitt 4.1 zeigen hingegen auf, welche Potentiale an ausgeführten Anlagen in den nächsten Jahren noch zu erwarten sind.

Gasbetriebene Wärmepumpen

Für gasbetriebene Wärmepumpenanlagen stehen jeweils nur Meßdaten zu einer Anlage zur Verfügung. Für eine Gasmotor-Wärmepumpenanlage konnte ein Jahresheizzahl von 1,56, Abschnitt 3, bestimmt werden. Im GEMIS- und VDEW-Datensatz, Abschnitt 2, ist ein Wert von 1,60 angegeben. Dieser Wert wird auch in den IZW-Datensatz übernommen. Für eine Gas-Absorptions-Wärmepumpenanlage konnte eine Heizzahl von 1,37 bestimmt werden. Im GEMIS- und VDEW-Datensatz wurde ein Wert von 1,20 bzw. 1,30 angegeben. Auf Basis des Meßwertes erscheint der höhere Wert realistischer zu sein, so daß dieser in den IZW-Datensatz übernommen wird. Alle Daten sind in Tabelle 5.2 dargestellt. Die Angaben für die Hilfsenergien sind aus dem GEMIS- und VDEW-Datensatz gemittelt. Eine Unterscheidung nach verschiedenen Wärmeverteilsystemen muß aus Mangel an Daten entfallen, im allgemeinen werden solche Anlage aber mit höheren Vorlauftemperaturen betrieben.

Tabelle 5.2: Festgelegte Jahresarbeitszahlen von gasbetriebenen Wärmepumpenanlagen für den IZW-Datensatz

	Wärmevert.	Jahres-	Hilfsener-
	-System	heizzahl	gie
Gas-Absorption	-	1,30	2,0 %
Gas-Motor	-	1,60	0,0 %

6 Festlegung von Jahresnutzungsgraden von Gasbrennwertkesseln für den IZW-Datensatz

Meßdaten zu ausgeführten Gasbrennwertanlagen, entsprechend den in Kapitel 5 erläuterten Wärmepumpenanlagen, standen nicht zur Verfügung.

In verschiedenen theoretischen Studien wurden Nutzungsgrade von bis zu 108% angegeben, wie eine Zusammenstellung in Tabelle 6.1 zeigt. Die Jahresnutzungsgrade beinhalten weder Warmwasserbereitung noch Hilfsenergien für Regelung und Heizungspumpe. Das theoretische Maximum ist durch den Brennwert von Erdgas bestimmt, der bei 111 % des Heizwertes liegt, der im allgemeinen in Deutschland allen Untersuchungen zugrunde gelegt wird.

Tabelle 6.1: Jahresnutzungsgrade von Gasbrennwertkesseln aus der Literatur

Quelle	Jahresnutzungsgrad			
	35°C/30°C	40°C/30°C	60°C/40°C	55°C/45°C
Schraps [7]	108 %	108 %	-	106 %
Bruns [16]	105 %	105 %	102 %	101 %
Schrode [17]	-	104 %	102,8 %	-
Initiativkreis Erdgas & Umwelt [18]		104 % (opt. 108 %)		
Viessmann [19]		opt. 108 %		
Fischedick [20]	105 %			
GEMIS	100 %			
VDEW	100 %			

opt. = optimale Bedingungen

Im GEMIS- und VDEW-Datensatz ist jeweils ein Nutzungsgrad von 100 % angegeben, ohne Angabe der Vorlauftemperatur oder von einer eventuellen Warmwasserbereitung.

In einer theoretischen Untersuchung von Schraps sind Angaben zum Einfluß der Warmwasserbereitung gemacht worden, die mit einer Absenkung des Jahresnutzungsgrades von 6%-Punkten angegeben wird [7].

Faßt man die Untersuchungsergebnisse aus der Literatur zusammen, ohne Einzug sogenannter optimaler Bedingungen, so kann für den IZW-Datensatz die in Tabelle 6.2 dargestellten Werte verwendet werden. Für die Hilfsantriebe wurden erneut die Mittelwerte der Angaben aus dem GEMIS- und VDEW-Datensatz gewählt, siehe auch Abschnitt 2.

Tabelle 6.2: Festgelegte Jahresnutzungsgrade von Gasbrennwertkesseln für den IZW-Datensatz

Wärmeverteilsystem	Jahresnutzungsgrad		Hilfsenergie
	mit WWB	ohne WWB	
55°C/45°C	96 %	102 %	2,0 %
35°C/30°C	98 %	104 %	2,0 %

7 Vergleich von Wärmepumpen- mit Gasbrennwert-Heizungsanlagen

Es werden Variantenrechnungen mit den in den Kapiteln 5 und 6 definierten Parametern, die in den IZW-Datensatz aufgenommen sind, durchgeführt. Dabei werden zwei verschiedene Vorketten für den Wärmepumpenstrom, Strom der öffentlichen Versorgung und Strom aus einem GuD-Kraftwerk, betrachtet. Für die Vorkette Erdgas werden ebenfalls die Werte des IZW-Datensatzes verwendet. Die wichtigsten Kennwerte der verwendeten Vorketten sind in der Tabelle 7.1 dargestellt. Detaillierte Erläuterungen zu den Vorketten können der Studie „Aktualisierung der Basisdaten für den Primärenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor zur ganzheitlichen Bewertung verschiedener Heizungssysteme“ [1] entnommen werden.

Tabelle 7.1: Kennwerte von Vorketten von Endenergien für Haushalte und Kleinverbrauchern nach dem IZW-Datensatz [1]

	Einheit	IZW Strom WP allg.	IZW Strom WP GuD	IZW Erdgas
PE-Faktor	-	3,07	2,02	1,10
Emissionen				
CO₂	kg/MWh	625,7	392,3	14,7
CO₂-Äq.	kg/MWh	661,9	420,9	37,5

Für die im folgenden dargestellten Ergebnisse der Variantenrechnungen werden für die einzelnen betrachteten Heizungsanlagen Abkürzungen verwendet, die in Tabelle 7.2 erläutert werden. Für die Gas-Absorptions- (Gas-WP-A) und Gasmotor-Wärmepumpen-Heizungsanlagen (Gas-WP-M) sind keine expliziten Vorlauftemperaturen und Wärmequellen für die Variantenrechnungen festgesetzt.

Tabelle 7.2: Erklärung der Abkürzungen zu der Abbildung 7.1 bis Abbildung 7.8

Heizungsanlage	Abkürzung
Gasbrennwert-Heizungsanlage	Gas-BW
Elektro-Luft/Wasser-Wärmepumpen-Heizungsanlage	EI-WP-L
Elektro-Erdreich/Wasser-Wärmepumpen-Heizungsanlage	EI-WP-E
Elektro-Wasser/Wasser-Wärmepumpen-Heizungsanlage	EI-WP-W
Gas-Absorptions-Wärmepumpen-Heizungsanlage	Gas-WP-A
Gasmotor-Wärmepumpen-Heizungsanlage	Gas-WP-M

Vorkette öffentliche Stromversorgung

In Abbildung 7.1 sind die Ergebnisse von Berechnungen des Primärenergiefaktors für verschiedene Heizsysteme dargestellt. Die Werte gelten für ein 35°C/30°C Wärmeverteilungssystem und Strom der öffentlichen Versorgung. Wie oben erläutert, sind für Gas-Absorptions- (Gas-WP-A) und Gasmotor-Wärmepumpen-Heizungsanlagen (Gas-WP-M) keine expliziten Vorlauftemperaturen festgesetzt worden und gelten daher auch für 55°C/35°C-Systeme. Die Werte beinhalten alle notwendigen Primärenergien auch für Heizungspumpe und Regelung.

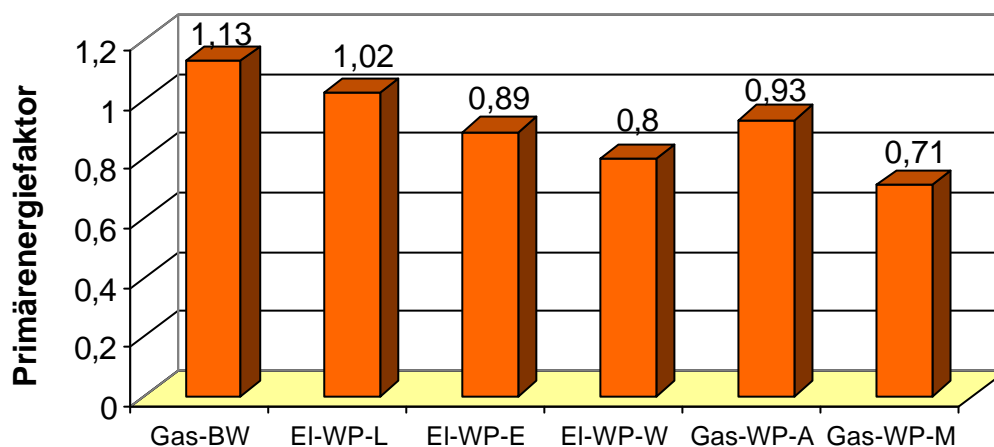


Abbildung 7.1: Primärenergiefaktor von untersuchten Heizungsanlagen mit einem 35°C/30°C Wärmeverteilungssystem und Strom der öffentlichen Versorgung

Das Referenzsystem ist eine Gasbrennwert-Heizungsanlage, das den höchsten technischen Stand konventioneller, mit fossilen Brennstoffen angetriebener Heizungsanlagen darstellt. Alle Wärmepumpensysteme bieten deutliche Einsparungen von Primärenergie gegenüber dem Referenzsystem. Zur Zeit sind Erdreich/Wasser-Wärmepumpenanlagen im Neubaubereich am verbreitetsten, sie führen zu einer Absenkung von benötigter Primärenergie von 21 %. Im privaten Hausbereich sind Wasser/Wasser-Wärmepumpenanlagen energetisch am besten mit einer Absenkung von 29 %. Noch besser schneidet die Gasmotor-Wärmepumpen-Heizungsanlage mit einer Einsparung von 37 % ab, diese Systeme werden allerdings bisher nur für Mehrfamilienhäuser angeboten.

In Abbildung 7.2 ist nun das CO₂-Äquivalent, Emissionen von CO₂ und weiteren klimawirksamen Gasen, die auf entsprechende, bewertete CO₂-Emissionen umgerechnet sind, dargestellt. Die Verminderungen des CO₂-Äquivalentes entsprechen den Einsparungen von Primärenergie. Es werden bei Erdreich/Wasser-Wärmepumpen-Heizungsanlagen 22% bewertete CO₂-Emissionen gegenüber dem Referenzsystem vermieden, bei Wasser/Wasser-

Wärmepumpen-Heizungsanlagen 30 % und bei Gasmotor-Wärmepumpen-Heizungsanlagen 36 %.

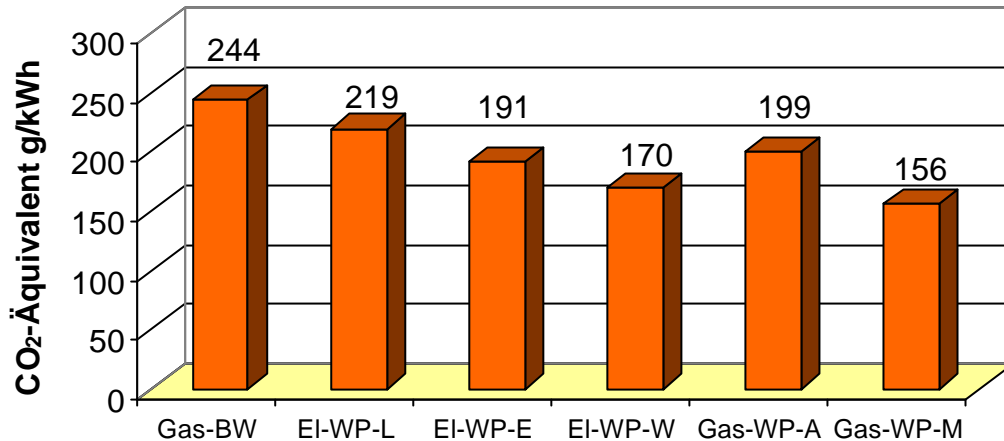


Abbildung 7.2: CO₂-Äquivalent von untersuchten Heizungsanlagen mit einem 35°C/30°C Wärmeverteilungssystem und Strom der öffentlichen Versorgung

In der Abbildung 7.3 und Abbildung 7.4 folgen die entsprechenden Ergebnisse der Berechnungen mit einem 55°C/45°C-Wärmeverteilungssystem. Für diese Systeme mit höheren Vorlauftemperaturen sind die erzielbaren Einsparungen an Primärenergie und die Vermeidung von bewerteten CO₂-Emissionen geringer. Für Erdeich/Wasser-Wärmepumpen-Heizungsanlagen wird noch eine Senkung benötigter Primärenergie von 12 % erreicht, für Wasser/Wasser-Wärmepumpen-Heizungsanlagen von 22 %. Für Luft/Wasser-Heizungsanlagen wurde eine Steigerung von 2,6 % berechnet, so daß im Rahmen der Rechengenauigkeit festgestellt werden kann, daß selbst unter diesen für die Wärmepumpentechnik ungünstigsten Rahmenbedingungen, Wärmepumpen-Heizungsanlagen noch gleichwertig zu den besten konventionellen Heizungsanlagen sind. Gas-Absorptions-Wärmepumpen-Heizungsanlagen und Gasmotor-Wärmepumpen-Heizungsanlagen bieten nahezu die gleichen, hohen Einsparungen, wie es schon für 35°C/30°C Wärmeverteilungssysteme dokumentiert wurde. Entsprechend den Einsparungen an Primärenergie ergeben sich auch die Minderungen des CO₂-Äquivalentes.

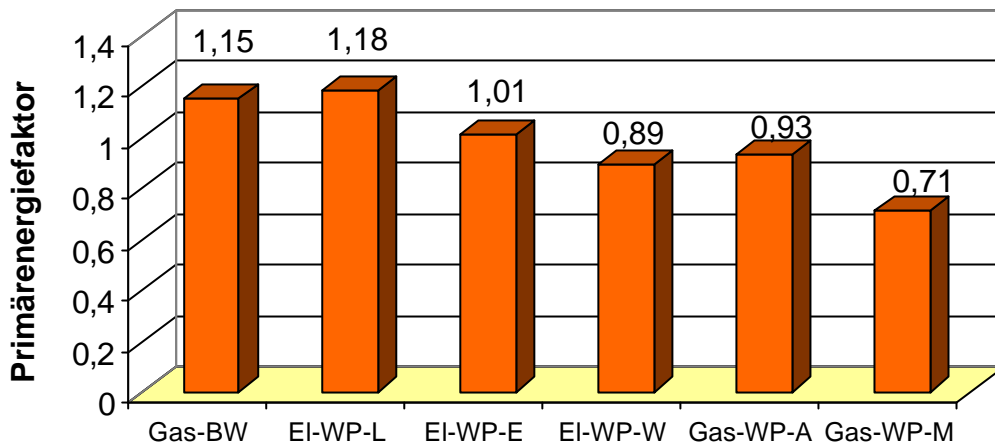


Abbildung 7.3: Primärenergiefaktor von untersuchten Heizungsanlagen mit einem 55°C/45°C Wärmeverteilungssystem und Strom der öffentlichen Versorgung

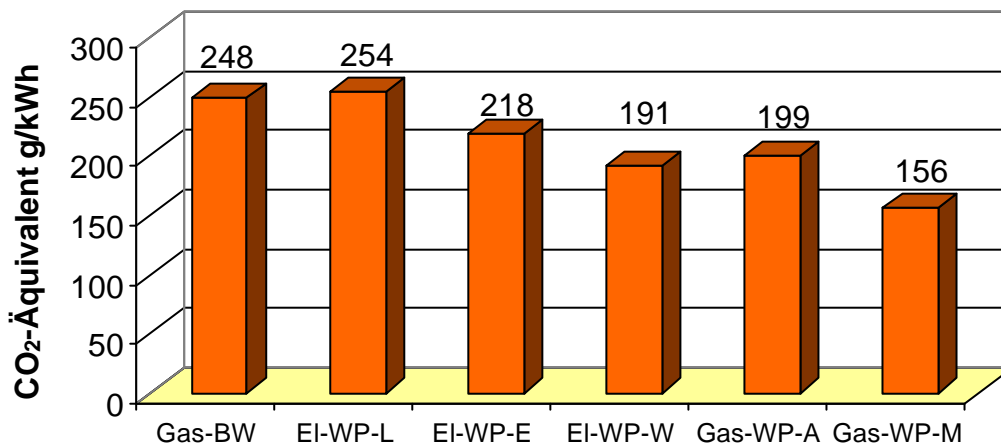


Abbildung 7.4: CO₂-Äquivalent von untersuchten Heizungsanlagen mit einem 55°C/45°C Wärmeverteilungssystem und Strom der öffentlichen Versorgung

Vorkette Strom aus einem GuD-Kraftwerk

In der Abbildung 7.5 bis Abbildung 7.8 sind nun die entsprechenden Ergebnisse der Berechnungen mit Strom aus einem GuD-Kraftwerk als Antriebsenergie für Wärmepumpen dargestellt. Bei diesem Vergleich kann die Frage beantwortet werden, mit welchem System Erdgas am besten zur Gebäudebeheizung eingesetzt werden kann. Selbst mit den Annahmen einer 55°C/45°C Wärmeverteilung und Luft als Wärmequelle kann eine Wärmepumpen-Heizungsanlage gegenüber einer Gasbrennwert-Heizungsanlage noch 30 % an Primärenergie einsparen - Abbildung 7.7. Im günstigsten Fall, Wasser/Wasser-Wärmepumpen-

Heizungsanlage mit 35°C/30°C Wärmeverteilung, werden 51 % an Primärenergie eingespart - Abbildung 7.5. Gasangetriebene Wärmepumpen-Heizungsanlagen erweisen sich bei diesem Szenario gegenüber Elektro-Wärmepumpen-Heizungsanlagen als nicht so effizient, da der hohe Stromwirkungsgrad von 58 % bei einem GuD-Kraftwerk nicht annähernd von einem Gasmotor erreicht wird.

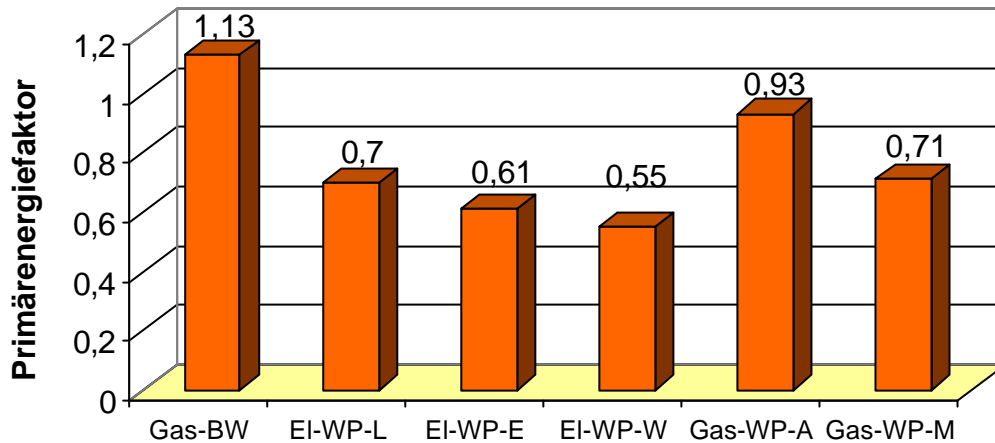


Abbildung 7.5: Primärenergiefaktor von untersuchten Heizungsanlagen mit einem 35°C/30°C Wärmeverteilungssystem und Strom aus einem GuD-Kraftwerk

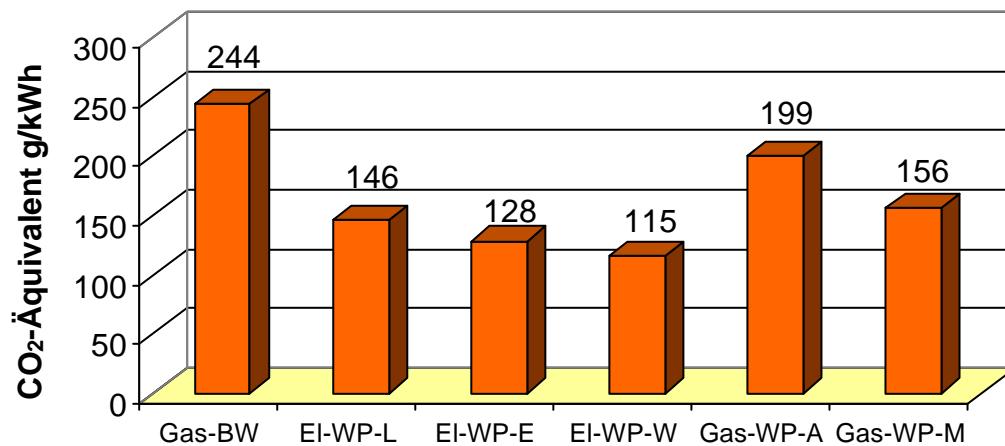


Abbildung 7.6: CO₂-Äquivalent von untersuchten Heizungsanlagen mit einem 35°C/30°C Wärmeverteilungssystem und Strom aus einem GuD-Kraftwerk

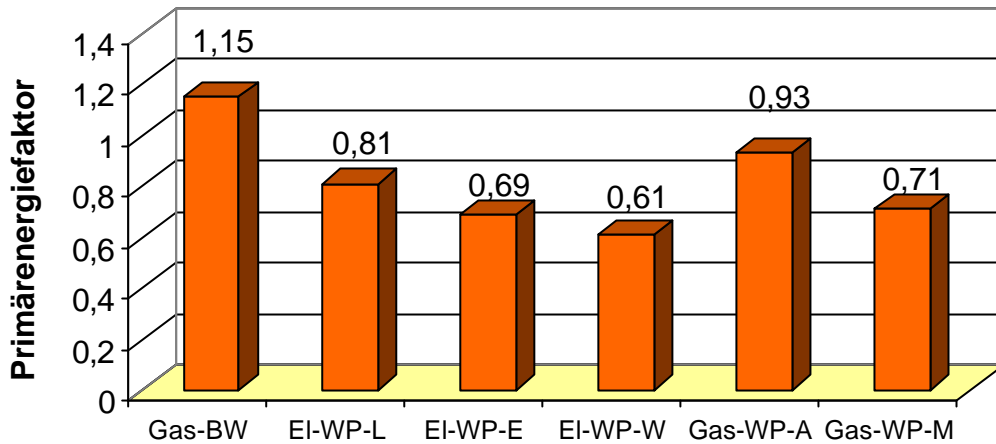


Abbildung 7.7: Primärenergiefaktor von untersuchten Heizungsanlagen mit einem 55°C/45°C Wärmeverteilungssystem und Strom aus einem GuD-Kraftwerk

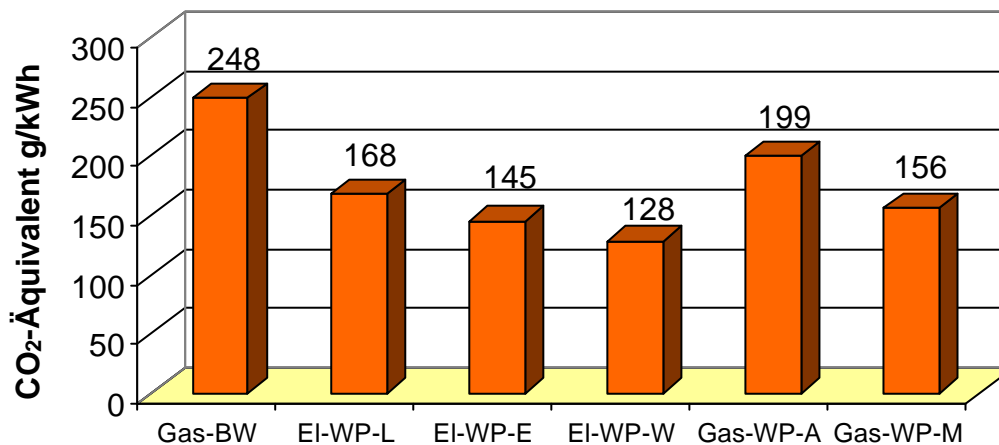


Abbildung 7.8: CO₂-Äquivalent von untersuchten Heizungsanlagen mit einem 55°C/45°C Wärmeverteilungssystem und Strom aus einem GuD-Kraftwerk

Fazit

Selbst im ungünstigsten Fall einer Luft/Wasser-Wärmepumpen-Heizungsanlage mit einer 55°C/45°C Wärmeverteilung und Strom der öffentlichen Versorgung als Antriebsenergie ist die Wärmepumpentechnik und die Gasbrennwerttechnik gleichwertig.

Im häufigen Fall einer Erdreich/Wasser-Wärmepumpen-Heizungsanlage mit einer 35°C/30°C Wärmeverteilung und Strom der öffentlichen Versorgung als Antriebsenergie kann 21 % an Primärenergie eingespart werden.

Maximal können unter Zugrundelegen einer Wasser/Wasser-Wärmepumpen-Heizungsanlage mit einer 35°C/30°C Wärmeverteilung und Strom aus einem GuD-Kraftwerk als Antriebsenergie 51 % an Primärenergie eingespart werden. Dieses Szenario geht von der Grundannahme aus, daß für den Systemvergleich der gleiche Primärenergieträger Erdgas eingesetzt wird und damit nur noch die Unterschiede in der Effizienz der Systeme berücksichtigt wird.

Gasangetriebene Wärmepumpen-Heizungsanlagen weisen beachtliche Einsparpotentiale auf, die für Gasmotor-Wärmepumpen-Heizungsanlagen über denen von Elektro-Wärmepumpen-Heizungsanlagen liegen, wenn als Antriebsenergie Strom der öffentlichen Versorgung zugrundegelegt wird. Wird allerdings Strom aus einem GuD-Kraftwerk als Antriebsenergie für die Elektro-Wärmepumpen-Heizungsanlagen angenommen, sind die gasantriebenen Wärmepumpensysteme nicht so effizient wie die Elektro-Wärmepumpensysteme, da der hohe Stromwirkungsgrad von 58 % bei einem GuD-Kraftwerk nicht annähernd von einem Gasmotor erreicht wird.

Diese Ausführungen zum Primärenergiebedarf lassen sich entsprechend auch auf die Reduzierung des CO₂-Äquivalentes übertragen.

8 Zusammenfassung

Aufbauend auf einer Analyse der Kennwerte der Datensätze GEMIS und VDEW im Programm GEMIS [2], wurden Jahresnutzungsgrade von Gasbrennwertanlagen und Jahresarbeitszahlen bzw. Jahresheizzahlen für Wärmepumpenanlagen bestimmt.

Für Gasbrennwertanlagen wurden dazu Angaben aus der Literatur benutzt. Für Wärmepumpenanlagen wurden Meßdaten von insgesamt 125 Anlagen gesammelt und ausgewertet. Besonderer Wert wurde darauf gelegt, den Einfluß der Auslegungstemperaturen der Wärmeverteilung angemessen zu berücksichtigen.

Zusammen mit Daten für die Vorkette Strom und Erdgas wurden Szenariorechnungen zum Primärenergiebedarf und den Emissionen von CO₂ und anderen klimawirksamen Gasen, dem CO₂-Äquivalent, durchgeführt.

Selbst im ungünstigsten Fall einer Luft/Wasser-Wärmepumpen-Heizungsanlage mit einer 55°C/45°C Wärmeverteilung und Strom der öffentlichen Versorgung als Antriebsenergie ist die Wärmepumpentechnik und die Gasbrennwerttechnik gleichwertig.

Mit den am häufigsten untersuchten Erdreich/Wasser-Wärmepumpen-Heizungsanlagen mit einer 35°C/30°C Wärmeverteilung und Strom der öffentlichen Versorgung als Antriebsenergie kann im Vergleich zum Gasbrennwertkessel 21 % an Primärenergie eingespart und die CO₂-Emissionen um 22 % reduziert werden.

Maximal können mit einer Wasser/Wasser-Wärmepumpen-Heizungsanlage mit einer 35°C/30°C Wärmeverteilung und Strom aus einem GuD-Kraftwerk als Antriebsenergie 51 % an Primärenergie eingespart und die CO₂-Emissionen um 53 % reduziert werden. Dieses Szenario geht von der Grundannahme aus, daß für den Systemvergleich der gleiche Primärenergieträger Erdgas eingesetzt wird und damit nur noch die Unterschiede in der Effizienz der Systeme berücksichtigt werden.

Gasangetriebene Wärmepumpen-Heizungsanlagen, weisen ebenfalls beachtliche Einsparpotentiale auf, die für Gasmotor-Wärmepumpen-Heizungsanlagen über denen von Elektro-Wärmepumpen-Heizungsanlagen liegen, wenn als Antriebsenergie Strom der öffentlichen Versorgung zugrundegelegt wird. Wird allerdings Strom aus einem GuD-Kraftwerk als Antriebsenergie für die Elektro-Wärmepumpen-Heizungsanlagen angenommen, sind die gasantriebenen Wärmepumpensysteme nicht so effizient wie die Elektro-Wärmepumpensysteme, da der hohe Stromwirkungsgrad von 58 % bei einem GuD-Kraftwerk nicht annähernd von einem Gasmotor erreicht wird. Es muß jedoch erwähnt werden, das Gas-Motor-Wärmepumpen kleiner Leistung nicht im Markt angeboten werden und Gas-Absorptions-Wärmepumpen nur mit Wärmeleistungen von 22 bzw. 40 kW erhältlich sind.

9 Referenzen

- [1] Heidelck, R.; Laue, H. J.: Aktualisierung der Basisdaten für den Primärenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor zur ganzheitlichen Bewertung verschiedener Heizungssysteme. IZW e.V. - Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik, Hannover/Karlsruhe, erstellt im Auftrage des Fachinformationszentrums Karlsruhe, April 1999.
- [2] Öko-Institut; Gesamthochschule Kassel: Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme v3.08. Erstellt im Auftrage des Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit, 1998.
- [3] Fichtner Development Engineering: VDEW-GEMIS Stammdatensatz 3.0. Erstellt im Auftrag der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke - VDEW e.V., Frankfurt am Main, 1998.
- [4] U. Fritsche u.a.: Umweltanalyse von Energie-, Transport- und Stoffsystemen: Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS) Version 2.1 - erweiterter und aktualisierter Endbericht. Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e.V.), i. A. des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten (HMUEB), veröffentlicht durch HMUEB, Wiesbaden, 1994.
- [5] Öko-Institut: Aktualisierung der Datenbasis für GEMIS 3.x. Interne Dokumentation, i. A. des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten Berlin/Darmstadt/Freiburg, 1998.
- [6] Fichtner Development Engineering: VDEW-GEMIS-Datensatz, Energiebedarf und Emissionen von Kraftwerken und Prozessen. Erstellt im Auftrag der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke - VDEW - e.V., Frankfurt am Main, Mai 1996.
- [7] Schraps, S.: Zukünftige Wärmeversorgungs-konzepte im Wohnhausbereich. KI Luft- und Kältetechnik, 35(1999)3.
- [8] Frehn, B.: Berechnungskurzverfahren zur Ermittlung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen. Persönliche Mitteilung, 1998.
- [9] VDI 2067, Blatt 6: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen; Wärmepumpen. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, zu beziehen durch den Beuth Verlag, Berlin, September 1989.
- [10] DIN EN 255: Luftkonditioner, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern. Deutsche Ausgabe der Euronorm EN 255, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, beziehen durch den Beuth Verlag, Berlin, 1997.
- [11] N.N.: WPZ-Bulletin, Mitteilungsblatt des Wärmepumpentest- und Ausbildungszentrums Winterthur-Töss, Liste der geprüften Wärmepumpen, Nr. 18, Stand 02.11.1998.
- [12] N.N.: WPZ-Bulletin, Mitteilungsblatt des Wärmepumpentest- und Ausbildungszentrums Winterthur-Töss, Liste der geprüften Wärmepumpen, Nr. 19, Stand 12.02.1999.

- [13] Wolff, D.: Heizungstechnik für das Niedrigenergiehaus. HLH, Bd. 48, Nr. 11, 1997, S. 12-16.
- [14] Schraps, S.: Solarthermie und Wärmepumpe - Widerspruch oder Ergänzung? 2. Wissenschaftliches Symposium "Solarenergieforschung in Niedersachsen", Hameln, September 1998.
- [15] Schraps, S.: Wärmetechnische Optimierung additionaler-solarthermischer Systeme. Diplomarbeit, Institut für Kältetechnik und Angewandte Wärmetechnik, Universität Hannover, 1996.
- [16] Bruns, P.: Ein Brennwert-Wandheizkessel hat viele Vorteile. Sonderdruck.
- [17] Schrode, A.: Heizsystem im Niedrigenergiehaus; Vor der Energieeinsparung steht die Planung. Sonderdruck.
- [18] N.N.: Gas-Brennwertheizung; Wärmegewinn aus den Abgasen spart Energie und entlastet die Umwelt. Initiativkreis Erdgas & Umwelt, Essen, 1998.
- [19] N.N.: Produktinformation Gasbrennwertkessel. Viessmann Werke GmbH & Co., Allendorf 1995.
- [20] Fishedick, M.; Schmutzler, T.; Wolters, D.: Elektrische Wärmepumpen – Eine Analyse aus ökologischer Sicht. Wuppertal Papers, Nr. 77, August 1997.

10 Anhang

10.1 Wärmeerzeugungssysteme im GEMIS-Datensatz

In Tabelle 10.1 sind ausgewählte Wärmeerzeugungssysteme des GEMIS-Datensatzes aufgelistet. Für alle Wärmeerzeugungssysteme sind der Primärenergiefaktor, der Nutzungsgrad und der Prozentsatz an benötigter Hilfsenergie angegeben. In Tabelle 10.2 sind die entsprechenden Vorkettenprozesse dokumentiert. In Tabelle 10.3 folgen schließlich Angaben zu den Emissionen dieser Wärmeerzeugungssysteme.

Tabelle 10.1: Ausgewählte Wärmeerzeugungssysteme - GEMIS

Nr.	Wärmeerzeugungssystem	Nutzungsgrad	PE-Faktor	Hilfsenergie
1	Gas-Heizung-atmosphärisch	85,0 %	1,29	1,0 %
2	Gas-Heizung-Gebälse	85,0 %	1,32	2,0 %
3	Gas-Heizung-Brennwert	100,0 %	1,13	2,0 %
4	Öl-Heizung-atmosphärisch	85,0 %	1,32	1,0 %
5	Öl-Heizung-Raketenbrenner	85,0 %	1,35	2,0 %
6	El-Wärmepumpe-bi	235,0 %	1,24	2,0 %
7	El-Wärmepumpe-mono	300,0 %	1,00	2,5 %
8	El-WP-mono (mix 3,2)	320,0 %	1,00	2,0 %
9	El-WP-mono (mix 4,0)	400,0 %	0,82	2,0 %
10	Gas-Wärmepumpe-Absorption	120,0 %	0,98	2,5 %
11	Gas-Wärmepumpe-Motor	160,0 %	0,67	0,0 %
12	El-Speicher-Hzg-mix	99,0 %	3,00	1,0 %

Tabelle 10.2: Vorketten zu den Wärmeerzeugungssystemen in Tabelle 10.1 - GEMIS

Nr.	Wärmeerzeugungssystem	Vorkette
1	Gas-Heizung-atmosphärisch	Pipeline\Gas-D-lokal
2	Gas-Heizung-Gebälse	Pipeline\Gas-D-lokal
3	Gas-Heizung-Brennwert	Pipeline\Gas-D-lokal
4	Öl-Heizung-atmosphärisch	Lkw-Nah\Öl-leicht-D
5	Öl-Heizung-Raketenbrenner	Lkw-Nah\Öl-leicht-D
6	El-Wärmepumpe-bi	Netz-el-Heizstrom-Stk-lokal
7	El-Wärmepumpe-mono	Netz-el-Heizstrom-Stk-lokal
8	El-WP-mono (mix 3,2)	Netz-el-lokal-HHKV
9	El-WP-mono (mix 4,0)	Netz-el-lokal-HHKV
10	Gas-Wärmepumpe-Absorption	Pipeline\Gas-D-lokal
11	Gas-Wärmepumpe-Motor	Pipeline\Gas-D-lokal
12	El-Speicher-Hzg-mix	Netz-el-Heizstrom-mix-lokal

Tabelle 10.3: Emissionen der Wärmeerzeugungssysteme nach Tabelle 10.1 - GEMIS

Nr.	CO ₂	CO ₂ -Äq.	SO ₂	NO _x	HCl	HF	SO ₂ -Äq.	Staub	CO	NMVOC	H ₂ S	NH ₃	CH ₄	N ₂ O
1	251,03	279,54	0,02	0,22	0,00	0,00	0,17	0,01	0,23	0,02	0,00	0,00	1,29	0,00
2	258,79	287,86	0,02	0,19	0,00	0,00	0,16	0,01	0,21	0,03	0,00	0,00	1,31	0,01
3	221,01	245,74	0,02	0,16	0,00	0,00	0,13	0,01	0,17	0,02	0,00	0,00	1,11	0,00
4	351,70	355,95	0,47	0,30	0,00	0,00	0,68	0,02	0,25	0,10	0,00	0,00	0,13	0,01
5	358,18	362,84	0,48	0,27	0,00	0,00	0,67	0,02	0,21	0,10	0,00	0,00	0,14	0,01
6	403,66	452,36	0,31	0,27	0,02	0,00	0,52	0,02	0,15	0,02	0,00	0,00	2,02	0,02
7	322,54	361,05	0,25	0,22	0,01	0,00	0,42	0,02	0,11	0,02	0,00	0,00	1,59	0,02
8	220,35	234,15	0,15	0,32	0,01	0,00	0,38	0,02	0,14	0,03	0,00	0,00	0,53	0,01
9	179,82	191,10	0,12	0,26	0,01	0,00	0,31	0,02	0,12	0,03	0,00	0,00	0,43	0,01
10	191,39	212,35	0,02	0,15	0,00	0,00	0,13	0,01	0,16	0,04	0,00	0,00	0,93	0,00
11	132,37	148,06	0,01	0,17	0,00	0,00	0,13	0,01	0,51	0,04	0,00	0,00	0,69	0,00
12	836,41	938,28	0,66	0,55	0,03	0,00	1,08	0,04	0,25	0,04	0,00	0,00	4,22	0,04

10.2 Wärmeerzeugungssysteme im VDEW-Datensatz

In Tabelle 10.4 sind ausgewählte Wärmeerzeugungssysteme des GEMIS-Datensatzes aufgelistet. Für alle Wärmeerzeugungssysteme sind der Primärenergiefaktor, der Nutzungsgrad und der Prozentsatz an benötigter Hilfsenergie angegeben. In Tabelle 10.5 sind die entsprechenden Vorkettenprozesse dokumentiert. In Tabelle 10.6 folgen schließlich Angaben zu den Emissionen dieser Wärmeerzeugungssysteme.

Tabelle 10.4: Ausgewählte Wärmeerzeugungssysteme – VDEW

Nr.	Wärmeerzeugungssystem	Nutzungsgrad	PE-Faktor	Hilfsantrieb
1	Gas-Hzg.-atmosph.-EFH*	85,0 %	1,39	1,5 %
2	Gas-Hzg.-Gebläse-EFH*	85,0 %	1,41	2,0 %
3	Gas-Hzg.-Brennw.-EFH*	100,0 %	1,21	2,0 %
4	Öl-Hzg.-atmosph.-EFH*	85,0 %	1,35	1,5 %
5	Öl-Hzg.-Gebläse-EFH*	85,0 %	1,36	2,0 %
6	Öl-Hzg.-Raketenbr.-EFH*	85,0 %	1,36	2,0 %
7	EI-WP-Luft-EFH*	330,0 %	0,97	1,0 %
8	EI-WP-Erdkollektor-EFH*	400,0 %	0,82	1,5 %
9	EI-WP-Erdsonde-EFH*	400,0 %	0,82	1,5 %
10	EI-WP-Wasser-EFH*	450,0 %	0,74	1,5 %
11	EI-WP-VdEW (mix 3,2)	320,0 %	1,01	1,5 %
12	EI-WP-VdEW (mix 4,0)	400,0 %	0,82	1,5 %
13	Gas-WP-Absorpt.-6FH*	130,0 %	0,94	1,5 %
14	Gas-WP-Motor-6FH*	160,0 %	0,73	0,0 %
15	EI-Speicher-Hzg*	99,0 %	3,07	1,0 %

Im Datensatz werden zum Teil unterschiedliche Prozesse für Ein-, Sechs- und Zwölffamilienhäuser definiert. Auswirkungen haben solche unterschiedlichen Anlagenleistungen nur auf die Kosten, die in dieser Studie nicht behandelt werden. Ebenso werden Erdsonden- und Erdkollektorsysteme energetisch als gleichwertig eingeschätzt, und unterscheiden sich daher auch nur durch die Kosten. Eine Berücksichtigung der Vorlauftemperaturen, die für die Bewertung von Wärmepumpen und auch von Brennwertheizungen wichtig sind, erfolgt nicht.

Tabelle 10.5: Vorketten zu den Wärmeerzeugungssystemen in Tabelle 10.4 - VDEW

Nr.	Wärmeerzeugungssystem	Vorkette
1	Gas-Hzg.-atmosph.-EFH*	Erdgas HH&KV*
2	Gas-Hzg.-Gebläse-EFH*	Erdgas HH&KV*
3	Gas-Hzg.-Brennw.-EFH*	Erdgas HH&KV*
4	Öl-Hzg-atmosph.-EFH*	Öl-leicht-HH&KV*
5	Öl-Hzg-Gebläse-EFH*	Öl-leicht-HH&KV*
6	Öl-Hzg.-Raketenbr.-EFH*	Öl-leicht-HH&KV*
7	EI-WP-Luft-EFH*	Strom für Wärmepumpe*
8	EI-WP-Erdkollektor-EFH*	Strom für Wärmepumpe*
9	EI-WP-Erdsonde-EFH*	Strom für Wärmepumpe*
10	EI-WP-Wasser-EFH*	Strom für Wärmepumpe*
11	EI-WP-VdEW (mix 3,2)	Strom für Wärmepumpe*
12	EI-WP-VdEW (mix 4,0)	Strom für Wärmepumpe*
13	Gas-WP-Absorpt.-6FH*	Erdgas HH&KV*
14	Gas-WP-Motor-6FH*	Erdgas HH&KV*
15	EI-Speicher-Hzg*	Strom-Heizen-D*

Tabelle 10.6: Emissionen der Wärmeerzeugungssysteme nach Tabelle 10.4 - VDEW

Nr.	CO ₂	CO ₂ -Äq.	SO ₂	NO _x	HCl	HF	SO ₂ -Äq.	Staub	CO	NMV OC	H ₂ S	NH ₃	CH ₄	N ₂ O
1	268,95	298,55	0,01	0,31	0,00	0,00	0,23	0,01	0,28	0,04	0,00	0,00	1,33	0,01
2	271,97	301,74	0,02	0,23	0,00	0,00	0,17	0,01	0,20	0,04	0,00	0,00	1,33	0,01
3	233,19	258,63	0,01	0,19	0,00	0,00	0,15	0,01	0,17	0,03	0,00	0,00	1,14	0,00
4	354,12	358,32	0,47	0,29	0,00	0,00	0,67	0,03	0,25	0,10	0,00	0,00	0,12	0,01
5	357,14	361,52	0,47	0,25	0,00	0,00	0,64	0,03	0,20	0,11	0,00	0,00	0,13	0,01
6	357,14	361,52	0,47	0,25	0,00	0,00	0,64	0,03	0,20	0,10	0,00	0,00	0,13	0,01
7	195,80	207,58	0,11	0,18	0,00	0,00	0,23	0,03	0,13	0,01	0,00	0,00	0,46	0,01
8	165,74	175,67	0,09	0,15	0,00	0,00	0,20	0,02	0,10	0,01	0,00	0,00	0,38	0,01
9	165,74	175,67	0,09	0,15	0,00	0,00	0,20	0,02	0,10	0,01	0,00	0,00	0,38	0,01
10	148,96	157,89	0,08	0,14	0,00	0,00	0,18	0,02	0,10	0,01	0,00	0,00	0,35	0,01
11	203,49	215,65	0,11	0,19	0,00	0,00	0,24	0,03	0,11	0,01	0,00	0,00	0,47	0,01
12	165,74	175,67	0,09	0,15	0,00	0,00	0,20	0,02	0,10	0,01	0,00	0,00	0,38	0,01
13	181,94	201,74	0,02	0,18	0,00	0,00	0,14	0,01	0,19	0,05	0,00	0,00	0,88	0,00
14	144,36	160,93	0,01	0,23	0,00	0,00	0,17	0,01	0,57	0,05	0,00	0,00	0,73	0,00
15	666,88	724,28	0,38	0,53	0,01	0,00	0,77	0,09	0,15	0,03	0,00	0,00	2,30	0,03

10.3 Wärmeerzeugungssysteme im IKARUS-Datensatz

In Tabelle 10.7 sind ausgewählte Wärmeerzeugungssysteme des IKARUS-Datensatzes aufgelistet. Für alle Wärmeerzeugungssysteme sind der Primärenergiefaktor, der Nutzungsgrad und der Prozentsatz an benötigter Hilfsenergie angegeben. In Tabelle 10.8 sind die entsprechenden Vorkettenprozesse dokumentiert. In Tabelle 10.9 folgen schließlich Angaben zu den Emissionen dieser Wärmeerzeugungssysteme.

Tabelle 10.7: Ausgewählte Wärmeerzeugungssysteme - IKARUS

Nr.	Wärmeerzeugungssystem	Nutzungsgrad	PE-Faktor	Hilfsantriebe
1	Gas-Heizung-IKARUS-atmosphärisch	88,0 %	1,25	1,0 %
2	Gas-Heizung-IKARUS-Gebläse	92,7 %	1,18	1,0 %
3	Gas-Heizung-IKARUS-Brennwert	96,7 %	1,14	1,0 %
4	Öl-Heizung-IKARUS-atmosphärisch	91,2 %	1,23	1,0 %

Tabelle 10.8: Vorketten zu den Wärmeerzeugungssystemen in Tabelle 10.7- IKARUS

Nr.	Wärmeerzeugungs-System	Vorkette
1	Gas-Heizung-IKARUS-atmosphärisch	Pipeline\Gas-D-lokal
2	Gas-Heizung-IKARUS-Gebläse	Pipeline\Gas-D-lokal
3	Gas-Heizung-IKARUS-Brennwert	Pipeline\Gas-D-lokal
4	Öl-Heizung-IKARUS-atmosphärisch	Lkw-Nah\Öl-leicht-D

Tabelle 10.9: Emissionen der Wärmeerzeugungssysteme nach Tabelle 10.7- IKARUS

Nr.	CO ₂	CO ₂ -Äq.	SO ₂	NO _x	HCl	HF	SO ₂ - Äq.	Stau b	CO	NMV OC	H ₂ S	NH ₃	CH ₄	N ₂ O
1	242,74	269,21	0,02	0,25	0,00	0,00	0,19	0,01	0,16	0,01	0,00	0,00	1,23	0,00
2	230,82	255,91	0,02	0,15	0,00	0,00	0,12	0,01	0,09	0,00	0,00	0,00	1,17	0,00
3	221,60	245,67	0,02	0,14	0,00	0,00	0,11	0,01	0,09	0,00	0,00	0,00	1,12	0,00
4	328,40	331,07	0,44	0,20	0,00	0,00	0,58	0,02	0,09	0,08	0,00	0,00	0,09	0,00

10.4 Datenerhebung von Wärmepumpenanlagen

Tabelle 10.10 bis Tabelle 10.14 faßt die Erhebung von Meßdaten zusammen. Es wurden nur die wichtigsten Daten wiedergegeben. Eine Zeichenerklärung ist in Tabelle 10.15 zu finden. Die Wärmepumpenanlagen 1. bis 79. wurden zu der Auswertung in Tabelle 3.1 herangezogen. Die Anlagen 80. bis 121. sind einem speziellen Wärmepumpenprojekt entnommen, wo industrielle Abwärme als Wärmequelle genutzt wird. Da die erreichbaren Wärmequellen-temperaturen weit über den für natürliche Quellen üblichen Temperaturen liegen, ist eine gesonderte Auswertung durchgeführt worden. Die Anlagen 122. bis 125. sind Sonderanlagen, die Anlage 124. ist eine Gas–Absortionswärmepumpe, die Anlage 125. eine Gasmotor-Wärmepumpe.

Tabelle 10.10: Übersicht der Datenerhebung von Wärmepumpenanlagen – Wasser/Wasser

Nr.	Ort	IN	JAZ	WQ	WS	WWB	KM
1.	Mehrfamilienhaus in Paderborn	1991	3,5	GW	F35/25	Nein	R22
2.	Bürogebäude in Feldgeding	1991	3,79	GW 6-7	F35/30	Nein	-
3.	Einfamilienhaus in Hallein/Österreich	1994	3,75	GW	F35	Ja, 47	R22
4.	Einfamilienhaus in Abersee	1994	4,30	GW	F35	Ja	R22
5.	Zweifamilienhaus in Duisburg	1995	4,36	GW	F35/30	Nein	R1270
6.	Werkhalle in Thalgau	1995	4,70	GW	F35	Nein	R290
7.	Volksschule und Kindergarten Fuschl am See	1996	4,15	GW	R55 + F35	Nein	-
8.	Einfamilienhaus in Kissing	1996	4,11	GW	F35/30	Ja	R1270
9.	Einfamilienhaus in Bad-Hofgastein	1996	4,39	GW	F35	Ja	R22
10.	Einfamilienhaus I in Thalgau	1997	4,08	GW	F35	Ja	R407C
11.	Einfamilienhaus II in Thalgau	1997	4,27	GW	F35	Ja	R407C
12.	Einfamilienhaus in Plainfeld	1997	4,14	GW	R35	Ja	R407C
13.	Büro- und Werkstattneubau in Güstrow	1998	4,65	AW	F35/30 + K50/45	Ja, 45	R 290

**Tabelle 10.11: Übersicht der Datenerhebung von Wärmepumpenanlagen –
Erdreich/Wasser**

Nr.	Ort	IN	JAZ	WQ	WS	WWB	KM
14.	Kindergarten Kranzberg	1990	3,65	EK	F35/30	Nein	-
15.	Einfamilienhaus in Wörleschwang	1990	3,28	EK + RL	F + K	Ja	-
16.	Einfamilienhaus in Diedorf	1991	3,57	EK	F35/30	Nein	R22
17.	Einfamilienhaus in Kutzenhausen	1991	4,02	EK	F35/30	Ja	R22
18.	Einfamilienhaus in Luckenwalde	1992	3,2	EK	F	Nein	R22
19.	Einfamilienhaus in Wormlage	1992	3,35	EK	F	Ja	R22
20.	Einfamilienhaus in Anhofen	1992	3,54	EK	F35/30	Nein	R22
21.	Einfamilienhaus in Niedersmill	1992	3,19	EK	F35	Ja	R22
22.	EFH in Puchheim	1993	3,96	EK	F30/27	Nein	-
23.	Kindergarten Schutterwald	1993	3,15	EK	F	Ja	R22
24.	MFH in Bachhausen	1994	3,85	EK	F30/26	Ja, 48	-
25.	Einfamilienhaus in Essen	1994	3,69	ES	F35/30	Nein	R22
26.	Einfamilienhaus in Essen	1994	3,93	ES	F35/30	Nein	R1270
27.	Grundschule in Zangberg	1994	4,27	EK	F35/30	Nein	-
28.	Einfamilienhaus in Essen	1994	3,96	ES + EK	F35	Nein	R1270
29.	Einfamilienhaus in Gablingen	1994	3,81	EK	F35/30	Nein	R22
30.	Einfamilienhaus in Rottenbuch	1994	4,15	EK	F35/30	Ja	R22
31.	Einfamilienhaus III in Thalgau	1994	3,68	EK	F35	Nein	R22
32.	Einfamilienhaus in Filzmoos	1994	3,21	EK	F35	Ja	R22
33.	EFH in Oberhausen-Rheinhausen (Haus 17)	1994	3,1	EK, MA	F40/30	Nein	R22
34.	EFH in Oberhausen-Rheinhausen (Haus 2)	1994	3,0	FBP, MA	F40/30	Nein	R22
35.	EFH in Oberhausen-Rheinhausen (Haus 4)	1994	4,21	EK, MA	F40/30	Nein	R290
36.	EFH in Oberhausen-Rheinhausen (Haus 6)	1994	3,2	EK, MA	F40/30	Nein	R22
37.	Einfamilienhaus in Krefeld	1994	3,83	ES	F40/35	Nein	R1270
38.	6-Familienhaus in Essen Haus A1	1995	3,77	EK	F35/30	Nein	R22
39.	6-Familienhaus in Essen Haus A3	1995	3,51	ES + EK	F35/30	Nein	R1270
40.	6-Familienhaus in Essen Haus A5	1995	3,64	EK	F35/30	Nein	R22
41.	6-Familienhaus in Essen Haus B2	1995	3,71	ES + EK	F35/30	Nein	R1270
42.	6-Familienhaus in Essen Haus B4	1995	3,69	EK	F35/30	Nein	R22
43.	6-Familienhaus in Essen Haus B6	1995	3,72	ES + EK	F35/30	Nein	R1270
44.	Mehrfamilienhaus in Faistenau	1995	3,36	EK	F35	Ja	R22
45.	Einfamilienhaus in Goldegg	1995	3,08	AL, EK	F35	Nein	R22
46.	Einfamilienhaus in Stuhlfelden	1995	4,24	EK	F35	Ja	R290
47.	Doppelhaus in Zell am See	1995	3,80	ES	F35	Ja	R22
48.	Einfamilienhaus in Zell am See	1995	3,68	ES	F35	Ja	R22
49.	Einfamilienhaus in St. Michael	1995	4,21	EK	F35	Ja	R1270
50.	EFH in Oberhausen-Rheinhausen (Haus 15)	1995	3,6	FBP, MA	F40/30	Nein	R290
51.	6FH in Essen-Gerschede Haus A1	1995	3,92	EK	F35	Nein	R22
52.	6FH in Essen-Gerschede Haus A5	1995	3,76	EK	F35	Nein	R22
53.	6FH in Essen-Gerschede Haus B4	1995	3,80	EK	F35	Nein	R22
54.	Einfamilienhaus in Bischdorf	1996	4,2	EK	F	Nein	R290
55.	Wohn- und Geschäftshaus in Herold	1996	4,84	EK + ES	F35	Ja, 50	R22
56.	Einfamilienhaus in Hallwang	1996	4,07	EK	F35	Nein	R290
57.	Einfamilienhaus in Henndorf	1996	3,21	EK	F35	Nein	R1270
58.	Einfamilienhaus in Eugendorf	1996	3,98	EK	F35	Ja	R1270
59.	6FH in Essen-Gerschede Haus A3	1996	4,04	EK + ES	F35	Nein	R1270
60.	6FH in Essen-Gerschede Haus B2	1996	4,08	EK + ES	F35	Nein	R1270
61.	6FH in Essen-Gerschede Haus B&	1996	4,00	EK + ES	F35	Nein	R1270
62.	Einfamilienhaus in St. Veit	1997	3,47	ES	F35	Ja	R22
63.	EFH in Augsburg	1990	2,79	EK + AL	F45	Ja	-
64.	EFH am Niederrhein	1990	2,6	EK	R55	Nein	-
65.	Einfamilienhaus in Schwarzheide	1991	3,0	EK	R50/45	Ja, 45	R290
66.	EFH in Zschopau	1994	3,38	ES	R55	Ja, 50	R22
67.	Einfamilienhaus in Oberalm	1995	3,48	EK	R55	Nein	R1270
68.	Einfamilienhaus in Muhr	1996	3,17	EK	R55	Ja	R1270

Tabelle 10.12: Übersicht der Datenerh. von Wärmepumpenanlagen – Luft/Wasser

Nr.	Ort	IN	JAZ	WQ	WS	WWB	KM
69.	Einfamilienhaus in Cottbus	1992	3,0	AL	F28/22	Nein	R22
70.	EFH in Limburg	1992	2,75	AL	F + R50	Nein	-
71.	EFH in Oberhausen-Rheinhausen (Haus 18)	1994	3,2	MA	F40/30	Nein	R22
72.	EFH in Oberhausen-Rheinhausen (Haus 19)	1994	3,15	MA	F40/30	Ja	R22
73.	Einfamilienhaus in Thurnau/Oberfranken	1995	3,3	AL	F35	Nein	R290
74.	WP-Anlage von KVS I	1997	3,5	AB	K26m	Nein	R290
75.	EFH im Gebiet der MKW	1997	3,17	AL	F38/30	Nein	R290
76.	ZFH in Frankfurt/Main	1992	2,71	AL	F45	Nein	R502
77.	EFH in Saalfeld I	1992	2,5	AL	R55	Ja	-
78.	EFH in Saalfeld II	1992	2,5	AL	R55	Ja	-
79.	MFH im Gebiet der MKW	1994	2,98	RL	F45	Nein	R22

Tabelle 10.13: Übersicht der Datenerhebung von Wärmepumpenanlagen – Abwärmenutzung

Nr.	Ort	IN	JAZ	WQ	WS	WWB	KM
80.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA1	1993	5,71	AW15/12	F35/30	Nein	R22
81.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA2	1993	4,97	AW15/12	F35/30	Nein	R22
82.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA3	1993	5,45	AW15/12	F35/30 + R55/45	Nein	R22
83.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA4	1993	4,14	AW15/12	F35/30	Nein	R22
84.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA5	1993	4,78	AW15/12	F35/30	Nein	R22
85.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA6	1993	4,75	AW15/12	F35/30	Nein	R22
86.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA7	1993	5,09	AW15/12	F35/30	Nein	R22
87.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA8	1993	6,18	AW15/12	F35/30	Nein	R22
88.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA9	1993	4,44	AW15/12	F35/30 + R55/45	Nein	R22
89.	ZFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA10	1993	4,94	AW15/12	F35/30	Nein	R22
90.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA11	1994	4,36	AW15/12	F35/30 + R55/45	Nein	R22
91.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA12	1994	5,15	AW15/12	F35/30 + R55/45	Nein	R22
92.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA13	1994	4,96	AW15/12	F35/30	Nein	R22
93.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA14	1994	5,18	AW15/12	F35/30	Nein	R22
94.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA15	1994	5,17	AW15/12	F35/30	Nein	R22
95.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA16	1994	4,98	AW15/12	F35/30	Nein	R22
96.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA17	1994	4,92	AW15/12	F35/30	Nein	R22
97.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA18	1994	6,46	AW15/12	F35/30	Nein	R22
98.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA19	1994	4,24	AW15/12	F35/30	Nein	R22
99.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA20	1994	4,73	AW15/12	F35/30	Nein	R134a
100.	ZFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA21	1994	5,23	AW15/12	F35/30 + R55/45	Nein	R22
101.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA22	1995	4,60	AW15/12	F35/30	Nein	R22
102.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA23	1995	4,59	AW15/12	F35/30	Nein	R22
103.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA24	1995	5,62	AW15/12	F35/30	Nein	R134a
104.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA25	1995	5,28	AW15/12	F35/30	Nein	R134a
105.	ZFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA26	1994	5,52	AW15/12	F35/30	Nein	R22
106.	ZFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA27	1995	5,48	AW15/12	F35/30	Nein	R22
107.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA28	1993	4,12	AW15/12	R55/45	Nein	R22
108.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA29	1993	3,80	AW15/12	R55/45	Nein	R22
109.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA30	1993	3,77	AW15/12	R55/45	Nein	R22
110.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA31	1994	3,85	AW15/12	R55/45	Nein	R22
111.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA32	1993	4,05	AW15/12	F35/30	Ja	R22
112.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA33	1994	4,16	AW15/12	F35/30	Ja	R22
113.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA34	1994	4,08	AW15/12	F35/30	Ja	R22
114.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA35	1994	4,47	AW15/12	F35/30	Ja	R22
115.	ZFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA36	1994	4,30	AW15/12	F35/30	Ja	R22
116.	MFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA37	1994	4,08	AW15/12	F35/30	Ja	R22
117.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA38	1995	4,39	AW15/12	F35/30	Ja	R134a
118.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA39	1995	5,50	AW15/12	F35/30	Ja	R134a
119.	ZFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA40	1995	4,69	AW15/12	F35/30	Ja	R22
120.	MFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA41	1995	4,15	AW15/12	F35/30	Ja	R22
121.	EFH in Spenge-Stiegelpotte – WPA42	1997	4,33	AW15/12	F35/30	Ja	R134a

**Tabelle 10.14: Übersicht der Datenerhebung von Wärmepumpenanlagen –
Sonderanlagen**

Nr.	Ort	IN	JAZ	WQ	WS	WWB	KM
122.	WP-Anlage von EAM	1997	3,86	AB	R50/40	Nein	R22
123.	WP-Anlage von KVS II	1997	4,23	AL	K34m	Nein	R290
124.	EFH in Schlieren	1992	1,37*	AL	R	Nein	R717
125.	Wohnanlage Essen – Bergmannsfeld	1994	1,56*	AB	R75	-	-

* Jahresheizzahl

Tabelle 10.15: Zeichenerklärung zur Tabelle 10.10 bis Tabelle 10.14

Wärmequelle		Wärmesenke	
AW	Abwasser	F	Fußbodenheizung
AB	Absorber	K	Konvektor
AL	Außenluft	R	Radiator
EK	Erdkollektor	RL	Rücklauf
ES	Erdsonde	VL	Vorlauf
ESP	Erdspeicher	Sonstiges	
FBP	Fundamentbodenplatte	WQ	Wärmequelle
GW	Grundwasser	WS	Wärmesenke
MA	Massivabsorber	JAZ	Jahresarbeitszahl
RL	Raumluft	JHZ	Jahresheizzahl
SK	Solarkollektor	IN	Inbetriebnahme
		ST	Speichertemperatur
		WWB	Warmwasserbereitung
		m	mittel
		KM	Kältemittel

In der Abbildung 10.1 ist ein Beispiel für die erhobenen Daten von gemessenen Wärmepumpenanlagen wiedergegeben.

Allgemeine Daten:

Laufende Nummer: 13
Ort: Büro- und Werkstattneubau in Güstrow
Datenquelle: IZW/Spartec

Wärmepumpen-Daten:

Wärmepumpen-Typ: EI-WP BW
Wärmepumpen-Anlage: Wasser/Wasser
Fabrikat: Dimplex SI 30P
Heizleistung (KW): 29,1 B0/W35
Kältemittel: R 290
Inbetriebnahme: 1998
Wärmequelle: AW
Wärmesenke (VL/RL): F35/30 + K50/45
Kom. Warmwasserb. (SP): Ja, 45
Zusatz-Information: monovalent

Gebäude:

Baujahr: 1998
Wärmebedarf (kW): 18,7
Beheizte Fläche (m²): 359
Normaußentemperatur (°C): -12

Messungen:

Jahresarbeitszahl: 4,5
Meßzeitraum: 98

Bemerkungen:

-

Abbildung 10.1: Datenerhebungsformular für Wärmepumpenanlagen

10.5 Wärmeerzeugungssysteme im IZW-Datensatz

Bei den Wärmeerzeugungssystemen mit dem IZW-Datensatz werden Variantenrechnungen mit zwei verschiedenen Vorketten für den Wärmepumpenstrom, Strom der öffentlichen Versorgung und Strom aus einem GuD-Kraftwerk, durchgeführt.

Vorkette öffentliche Stromversorgung des IZW-Datensatzes

In Tabelle 10.16 sind Wärmeerzeugungssysteme des IZW-Datensatzes aufgelistet. Für alle Wärmeerzeugungssysteme sind der Primärenergiefaktor, der Nutzungsgrad und der Prozentsatz an benötigter Hilfsenergie angegeben. In Tabelle 10.17 sind die entsprechenden Vorkettenprozesse dokumentiert. In Tabelle 10.18 folgen schließlich Angaben zu den Emissionen dieser Wärmeerzeugungssysteme.

Tabelle 10.16: Wärmeerzeugungssysteme - IZW

Nr.	Wärmeerzeugungssystem	Nutzungsgrad	PE-Faktor	Hilfsenergie
1	Gas-HZG-BW-35/30#	104,0 %	1,13	2,0 %
2	EI-WP-Wasser-35/30#	430,0 %	0,80	1,75 %
3	EI-WP-Erdreich35/30#	380,0 %	0,89	1,75 %
4	EI-WP-Luft-35/30#	330,0 %	1,02	1,75 %
5	Gas-HZG-BW-55/45#	102,0 %	1,15	2,0 %
6	EI-WP-Wasser-55/45#	380,0 %	0,89	1,75 %
7	EI-WP-Erdreich55/45#	330,0 %	1,01	1,75 %
8	EI-WP-Luft-55/45#	280,0 %	1,18	1,75 %
9	Gas-WP-Absorpt.#	130,0 %	0,93	2,0 %
10	Gas-WP-Motor#	160,0 %	0,71	0,0 %

Tabelle 10.17: Vorketten zu den Wärmeerzeugungssystemen in Tabelle 10.16 IZW

Nr.	Wärmeerzeugungssystem	Vorkette
1	Gas-HZG-BW-35/30#	Erdgas#
2	EI-WP-Wasser-35/30#	Strom-WP-OV#
3	EI-WP-Erdreich35/30#	Strom-WP-OV#
4	EI-WP-Luft-35/30#	Strom-WP-OV#
5	Gas-HZG-BW-55/45#	Erdgas#
6	EI-WP-Wasser-55/45#	Strom-WP-OV#
7	EI-WP-Erdreich55/45#	Strom-WP-OV#
8	EI-WP-Luft-55/45#	Strom-WP-OV#
9	Gas-WP-Absorpt.#	Erdgas#
10	Gas-WP-Motor#	Erdgas#

Tabelle10.18: Emissionen der Wärmeerzeugungssysteme nach Tabelle 10.16 - IZW

Nr.	CO ₂	CO ₂ -Äq.	SO ₂	NO _x	HCl	HF	SO ₂ -Äq.	Staub	CO	NMVOC	H ₂ S	NH ₃	CH ₄	N ₂ O
1	219,31	243,57	0,02	0,19	0,00	0,00	0,15	0,01	0,18	0,03	0,00	0,00	1,09	0,00
2	161,39	170,87	0,10	0,17	0,00	0,00	0,23	0,02	0,10	0,02	0,00	0,00	0,36	0,01
3	180,54	191,12	0,11	0,19	0,00	0,00	0,25	0,02	0,11	0,02	0,00	0,00	0,41	0,01
4	206,47	218,62	0,13	0,22	0,00	0,00	0,29	0,03	0,13	0,02	0,00	0,00	0,47	0,01
5	223,33	248,05	0,02	0,20	0,00	0,00	0,16	0,01	0,19	0,03	0,00	0,00	1,11	0,00
6	180,54	191,12	0,11	0,19	0,00	0,00	0,25	0,02	0,11	0,02	0,00	0,00	0,41	0,01
7	205,49	217,53	0,13	0,22	0,00	0,00	0,29	0,02	0,12	0,02	0,00	0,00	0,46	0,01
8	240,32	254,44	0,15	0,26	0,01	0,00	0,34	0,03	0,14	0,02	0,00	0,00	0,54	0,01
9	179,73	199,32	0,02	0,16	0,00	0,00	0,13	0,01	0,17	0,04	0,00	0,00	0,87	0,00
10	140,20	156,46	0,01	0,20	0,00	0,00	0,15	0,01	0,55	0,04	0,00	0,00	0,72	0,00

Vorkette Stromversorgung aus einem GuD-Kraftwerk des IZW-Datensatzes

In Tabelle 10.19 sind Wärmeerzeugungssysteme des IZW-Datensatzes aufgelistet. Für alle Wärmeerzeugungssysteme sind der Primärenergiefaktor, der Nutzungsgrad und der Prozentsatz an benötigter Hilfsenergie angegeben. In Tabelle10.20 sind die entsprechenden Vorkettenprozesse dokumentiert. In Tabelle 10.21 folgen schließlich Angaben zu den Emissionen dieser Wärmeerzeugungssysteme.

Tabelle10.19: Wärmeerzeugungssysteme - IZW

Nr.	Wärmeerzeugungssystem	Nutzungsgrad	PE-Faktor	Hilfsenergie
1	Gas-HZG-BW-35/30#	104,0 %	1,13	2,0 %
2	EI-WP-Wasser-35/30#	430,0 %	0,55	1,75 %
3	EI-WP-Erdreich35/30#	380,0 %	0,61	1,75 %
4	EI-WP-Luft-35/30#	330,0 %	0,70	1,75 %
5	Gas-HZG-BW-55/45#	102,0 %	1,15	2,0 %
6	EI-WP-Wasser-55/45#	380,0 %	0,61	1,75 %
7	EI-WP-Erdreich55/45#	330,0 %	0,69	1,75 %
8	EI-WP-Luft-55/45#	280,0 %	0,81	1,75 %
9	Gas-WP-Absorpt.#	130,0 %	0,93	2,0 %
10	Gas-WP-Motor#	160,0 %	0,71	0,0 %

Tabelle 10.20: Vorketten zu den Wärmeerzeugungssystemen in Tabelle 10.19 - IZW

Nr.	Wärmeerzeugungssystem	Vorkette
1	Gas-HZG-BW-35/30#	Erdgas#
2	EI-WP-Wasser-35/30#	Strom-WP-GuD#
3	EI-WP-Erdreich35/30#	Strom-WP-GuD#
4	EI-WP-Luft-35/30#	Strom-WP-GuD#
5	Gas-HZG-BW-55/45#	Erdgas#
6	EI-WP-Wasser-55/45#	Strom-WP-GuD#
7	EI-WP-Erdreich55/45#	Strom-WP-GuD#
8	EI-WP-Luft-55/45#	Strom-WP-GuD#
9	Gas-WP-Absorpt.#	Erdgas#
10	Gas-WP-Motor#	Erdgas#

Tabelle10.21: Emissionen der Wärmeerzeugungssysteme nach Tabelle 10.19 - IZW

Nr.	CO ₂	CO ₂ -Äq.	SO ₂	NO _x	HCl	HF	SO ₂ -Äq.	Staub	CO	NMVOC	H ₂ S	NH ₃	CH ₄	N ₂ O
1	219,31	243,57	0,02	0,19	0,00	0,00	0,15	0,01	0,18	0,03	0,00	0,00	1,09	0,00
2	107,14	114,82	0,02	0,18	0,00	0,00	0,14	0,01	0,14	0,01	0,00	0,00	0,30	0,00
3	119,14	127,69	0,02	0,20	0,00	0,00	0,16	0,01	0,15	0,01	0,00	0,00	0,33	0,01
4	135,78	145,59	0,02	0,23	0,00	0,00	0,18	0,01	0,18	0,02	0,00	0,00	0,38	0,01
5	223,33	248,05	0,02	0,20	0,00	0,00	0,16	0,01	0,19	0,03	0,00	0,00	1,11	0,00
6	119,14	127,69	0,02	0,20	0,00	0,00	0,16	0,01	0,15	0,01	0,00	0,00	0,33	0,01
7	134,79	144,48	0,02	0,23	0,00	0,00	0,18	0,01	0,16	0,02	0,00	0,00	0,37	0,01
8	157,01	168,36	0,02	0,27	0,00	0,00	0,21	0,01	0,20	0,02	0,00	0,00	0,44	0,01
9	179,73	199,32	0,02	0,16	0,00	0,00	0,13	0,01	0,17	0,04	0,00	0,00	0,87	0,00
10	140,20	156,46	0,01	0,20	0,00	0,00	0,15	0,01	0,55	0,04	0,00	0,00	0,72	0,00