

Neue Elektro-Wärmepumpenstatistik

Dokumentation

Ausgearbeitet durch

Basics AG

Im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

Überarbeitete Version vom Juni 2000

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie

Auftragnehmer:

Basics AG, Entscheidungsgrundlagen für Politik und Wirtschaft, Beckenhofstrasse 16, Postfach 176, 8035 Zürich

Autoren:

Walter Baumgartner, Christoph Muggli, Max Ehrbar

Begleitende Arbeitsgruppe:

R. Beck, W. Blum, E. Buchmann, A. Freymond, U. Kaufmann, I. Meyer, F. Rognon, G. Truniger, D. Wittwer

2000

Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Energie erarbeitet. Für den Inhalt der Studie ist allein der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch • www.admin.ch/bfe

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Modellansatz	2
3. Durchschnittliche Leistungen in einer Erhebungskategorie	4
3.1 Erkenntnisse aus einer Auswertung von EKZ-Daten	4
3.2 Erkenntnisse aus den Förderprogrammen des BFE	7
3.3 Erkenntnisse aus den neuen Absatzdaten von AWP und FWS	9
3.4. Annahmen für das Rechenmodell	10
3.5 Verbesserungsmöglichkeiten	13
4. Ausfallwahrscheinlichkeiten	14
4.1 Umfrage bei Experten	14
4.2 Annahmen für das Rechenmodell	16
4.3 Verbesserungsmöglichkeiten	18
5. Jahresarbeitszahlen	18
5.1 Erkenntnisse aus den FAWA-Daten	19
5.2 Annahmen für das Rechenmodell	25
5.3 Verbesserungsmöglichkeiten	27
6. Klimaabhängigkeit der Jahresarbeitszahl	27
6.1 Ausgangslage, Zielsetzungen	27
6.2 Einfluss des Jahresklimas auf den Wärmebedarf	27
6.3 Einfluss des Jahresklimas auf die Jahresarbeitszahl	29
6.4 Die Leistungszahl	31
6.5 Zur Temperaturverteilung	35
6.6 Überlegungen zu den Heizgradtagen	38
6.7 Annahmen für das Rechenmodell	40
6.8. Verbesserungsmöglichkeiten	41

7. Norm-Laufzeiten	42
7.1 Erkenntnisse aus den FAWA-Daten	42
7.2 Annahmen für das Rechenmodell	43
7.3 Verbesserungsmöglichkeiten	44
8. Leistungsziffern	44
8.1 Erkenntnisse aus den FAWA-Daten	44
8.2 Annahmen für das Rechenmodell	45
8.3 Verbesserungsmöglichkeiten	45
9.1 Erkenntnisse aus einer Befragung von Wärmepumpenbesitzern	46
9.2 Annahmen für das Rechenmodell	46
9.3 Verbesserungsmöglichkeiten	47
10. Absatzdaten von AWP und FWS	47
11. Bestandserhebung des VSE	49
12. Gross-Wärmepumpen	53
13. Resultate	53
Bibliografie	59
Anhang: Parameter-Annahmen	

1. Einleitung

Die bisherige Wärmepumpenstatistik beruhte auf einer einfachen Kombination von halbjährlich erhobenen Absatzdaten von AWP und FWS und einer im Prinzip zweijährlich durchgeführten Bestandserhebung des VSE. Da die beiden Erhebungen bezüglich der Anlagenzahl selbst nach Vornahme gewisser Korrekturen immer stärker auseinanderlagen, war es notwendig, die Grundlagen der Statistik neu zu durchdenken und, wo nötig, neue Wege zu beschreiten. Ziel war es, ein Erhebungssystem zu schaffen, das nach einer Einführungsphase auch ohne einen externen Berater vom BFE selbst "bedient" werden könnte.

Die neue Wärmepumpenstatistik beruht nach wie vor auf den Erhebungen von AWP und FWS sowie einer Bestandserhebung des VSE, die nun aber nur noch alle fünf Jahre durchgeführt wird. Ursprünglich war vorgesehen gewesen, mit der Bestandserhebung die Absatzerhebung zu kalibrieren (ungefähr im Sinne des bisherigen Verfahrens). Die effektiven Resultate der beiden Erhebungen liegen aber so nahe beieinander, dass dies überflüssig wurde. Damit können die beiden Erhebungen unabhängig voneinander bestehen bleiben: Die eine dient als Test/Bestätigung der anderen.

Im Zentrum steht aber die Absatzerhebung. Diese wurde gegenüber dem bisherigen Regime einerseits inhaltlich gestrafft, andererseits bezüglich der Leistungsangaben feiner gestaltet. Entgegen der bisherigen Praxis werden die Absatzzahlen nun nicht mehr einfach zusammengezählt und in pauschaler Weise über einen Abzug die Ersatzinstallationen berücksichtigt; die Absatzdaten werden vielmehr in ein eigentliches Kohortenmodell eingegeben, welches mit Überlebens- bzw. Ausfallraten arbeitet, die aus einer Expertenbefragung abgeleitet wurden.

Die folgenden Ausführungen verstehen sich als knappe Dokumentation der geleisteten Arbeiten und der daraus resultierenden neuen Statistik. Sämtliche Daten und Berechnungen – soweit sie für die neue Statistik unmittelbar von Bedeutung sind – finden sich auch auf der beigelegten Diskette als Excel-Arbeitsmappe. Die Arbeitsmappe enthält auch eine einfache Benutzeranleitung für das BFE.

In Abschnitt 2 wird der grundsätzliche Modellierungsansatz dargestellt. Abschnitte 3 bis 9 widmen sich verschiedenen speziellen Inputfragen (Durchschnittliche Leistungen in einer Erhebungskategorie, Ausfallwahrscheinlichkeiten, Jahresarbeitszahlen und ihre Klimaabhängigkeit, Norm-Laufzeiten, Leistungsziffern, frühe Wärmepumpen). In Abschnitt 10 geht es um die Absatzdaten von AWP und FWS, in Abschnitt 11 um die VSE-B Bestandserhebung. Grosse

Wärmepumpen werden in Abschnitt 12 besprochen und eine knappe Übersicht über die wichtigsten Resultate gibt Abschnitt 13.

2. Modellansatz

Die Grundidee besteht darin, dass aus den jährlichen Absatzdaten über einen Kohortenalgorithmus Bestandszahlen berechnet werden. Kohortenalgorithmus meint hier, dass eine auf ein Jahr bezogene "Kohorte" in ihrer zeitlichen Entwicklung verfolgt wird, bis alle Wärmepumpen dieser Kohorte schliesslich verschwunden sind (vgl. die Prinzipdarstellung in Figur 1 mit rein fiktiven Zahlen). Wärmepumpen "verschwinden", weil sie mit einer im Laufe der Zeit zunehmenden Wahrscheinlichkeit aus technischen oder auch andern Gründen ausfallen.

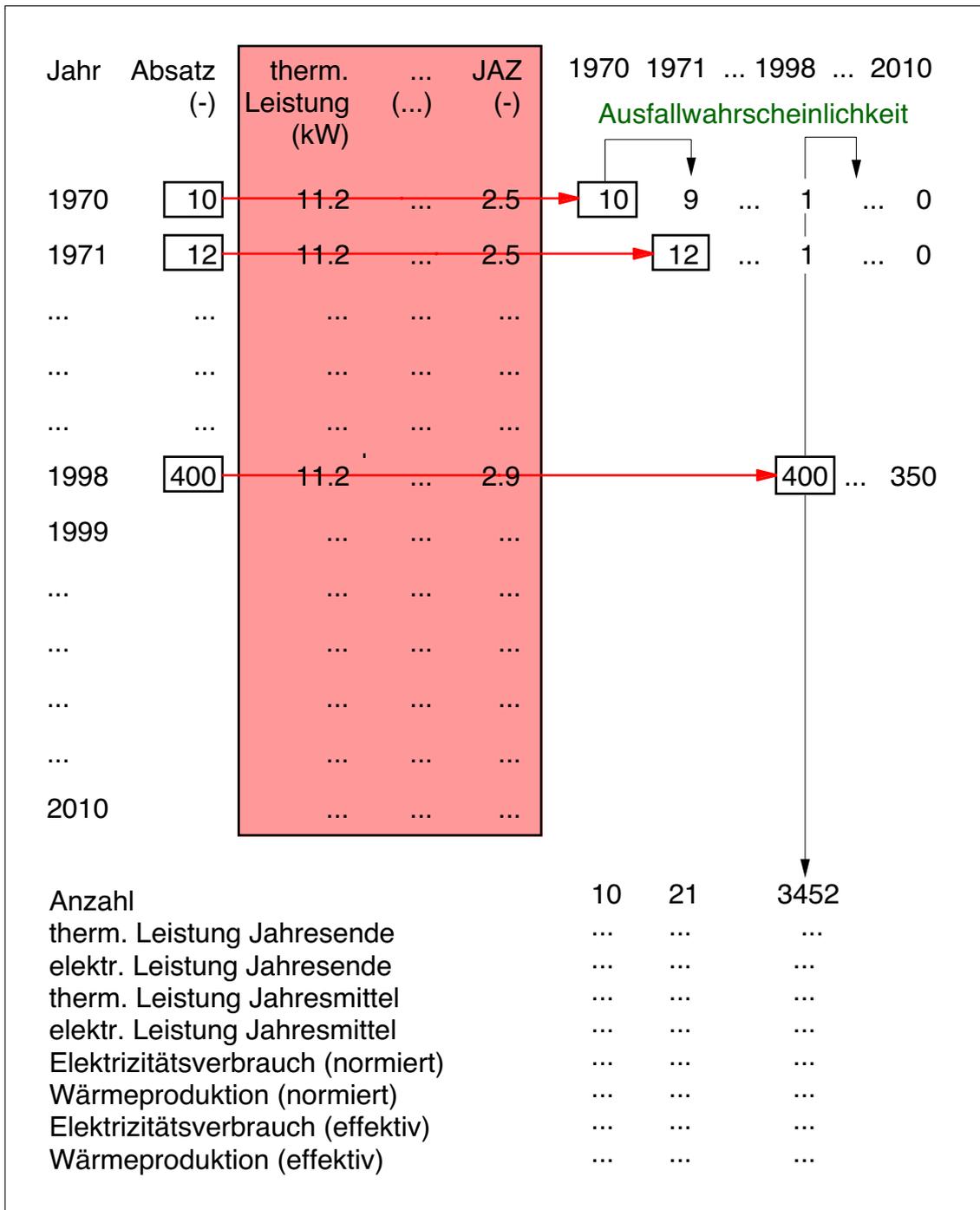
In unserem Modell unterschieden wir ursprünglich neun, heute 15 Typen von Wärmepumpen, die alle mit einem eigenen Kohortenmechanismus ausgestattet sind. Das Modell ist so aufgebaut, dass man leicht neue Typen hinzunehmen kann, wie dies bereits geschehen ist (s.u.). Für jeden Typ gibt es ein eigenes Excel-Sheet im Sinne von Figur 1. Die grau-unterlegten Inputs sind standardmässig vorgegeben; es sind jene Parameter, die den entsprechenden Wärmepumpentyp und die zugehörige Kohorte charakterisieren. Einige dieser Daten unterscheiden sich von Kohorte zu Kohorte (in Figur 1 die Jahresarbeitszahlen), andere bleiben fest (in Figur 1 die thermische Leistung). Die mit Rechtecken eingerahmten Zahlen sind Absatzzahlen von AWP/FWS. Diese geben die Mächtigkeit der jeweiligen Kohorte an.

Der Rechengang ist nun wie folgt: Über die Berücksichtigung von Ausfallwahrscheinlichkeiten wird die Grösse aller Kohorten eines bestimmten Wärmepumpentyps zu jedem Jahr berechnet (z.B. für das Jahr 1998). Zählt man die Mächtigkeiten aller Kohorten zusammen, erhält man die gesamte Anzahl von Wärmepumpen des entsprechenden Typs für das interessierende Jahr (in Figur 1 für 1998 mit 3'452 angedeutet). Gleichzeitig werden weitere interessierende Grössen berechnet wie etwa die produzierte Wärme oder die verbrauchte Elektrizität. Schliesslich werden alle Resultate für die einzelnen Wärmepumpen-Typen in einer Übersichtstabelle zusammengezogen.

Da das Modell als Excel-Arbeitsmappe realisiert ist, können Korrekturen oder Ergänzungen vom Anwender (entsprechende Kenntnisse vorausgesetzt) leicht selbst vorgenommen werden. Dies ist denn auch aufgrund der feineren Leistungsaufteilung der neuen Erhebung von AWP und FWS geschehen, indem neue Wärmepumpentypen definiert worden sind: Anstatt der Leistungskategorie bis 20 kW gibt es jetzt zusätzlich die Kategorien bis 5 kW, 5 bis 10 kW und

10 bis 20 kW. Dabei bleibt die alte Leistungskategorie bestehen; sie wird lediglich nicht mehr mit neuen Absatzdaten belegt – diese werden auf die neuen Kategorien bezogen. Analoges gilt für die übrigen Verfeinerungen.

Fig. 1: Prinzipdarstellung der Kohortenmodellierung eines Wärmepumpentyps (Zahlen fiktiv; grau unterlegt: Inputdaten)



3. Durchschnittliche Leistungen in einer Erhebungskategorie

Die Absatzdaten von AWP/FWS sind nach Leistungen kategorisiert. Bis Ende 1998 waren es z.B. bei den Heizwärmepumpen die folgenden Kategorien: bis 20 kW, 20 bis 50 kW, 50 bis 100 kW und über 100 kW. Ab 1999 ist die Aufteilung bei den ganz kleinen und den ganz grossen Leitungen feiner: bis 5 kW, 5 bis 10 kW und 10 bis 20 kW, bzw. 100 bis 300 kW und über 300 kW. Es stellt sich damit die Frage nach der Grösse der durchschnittlichen Leistung der Anlagen innerhalb einer Kategorie. Die Frage stellt sich am dringendsten bei den kleinen wie bei den grossen Wärmepumpen: bei den kleinen Wärmepumpen, weil diese anzahlmässig dominieren und ein möglicher Fehler bei der durchschnittlichen Leistung praktisch linear durchgeht, bei den grossen Wärmepumpen, weil hier die durchschnittliche Leistung nach oben offen ist (und es tatsächlich einige ganz grosse Wärmepumpen gibt). Zur Beantwortung dieser Fragen haben wir verschiedene Datenquellen ausgewertet. Obwohl sich mit der feineren Aufteilung der Leistungen das Problem etwas entschärft hat, kann es zur Zeit aber nicht abschliessend gelöst werden (s. u.).

3.1 Erkenntnisse aus einer Auswertung von EKZ-Daten

Vom EKZ haben wir Anfang 1999 die elektrischen Anschlussleistungen aller installierter, dem EKZ bekannten Wärmepumpen erhalten. Gesamthaft waren dies 6212 Wärmepumpen. Die Anschlussleistungen wurden mit einem Faktor 2.9 auf thermische Leistungen umgerechnet. Sensitivitätsrechnungen und Plausibilitätsüberlegungen zeigten, dass die so erhaltenen Durchschnittswerte für die Leistungen recht "stabil" sind – also in dem in Frage kommenden Bereich nur relativ wenig von dem gewählten Umrechnungsfaktor abhängen. Das Resultat dieser Auswertungen zeigt Tabelle 1.

In der Kategorie mit thermischen Leistungen über 100 kW sind 17 Wärmepumpen enthalten; der entsprechende Leistungsdurchschnitt ergibt sich zu 139 kW. Die grösste in dieser Kategorie enthaltene Wärmepumpe weist eine Leistung von lediglich 336.4 kW auf. Berücksichtigt man, dass von den gesamtschweizerischen Absatzzahlen von AWP/FWS her die grossen Wärmepumpen im Vergleich zu den kleinen Wärmepumpen deutlich häufiger sind als im EKZ-Sample, ist anzunehmen, dass das EKZ-Sample bei den grossen Wärmepumpen nicht nur deren Anteil¹, sondern auch die durchschnittliche Leistung unterschätzt.

¹ Dass die grossen Wärmepumpen nur einen geringen Anteil im EKZ-Sample haben, entspricht dem "Erhebungsansatz" des EKZ-Samples: Es handelt sich praktisch ausschliess-

Tab. 1: Durchschnittliche thermische Leistungen für verschiedene Leistungskategorien (Quelle: EKZ; Auswertung: Basics)

Leistungsbereich (kW)	Leistungssumme (kW)	Anzahl (-)	Durchschnitt (kW)
0 - 5	157	35	4.5
>5 - 10	13'326	1'666	8.0
>10 - 20	44'561	3'193	14.0
0 - 20	58'044	4'894	11.9
> 20- 50	32'980	1'198	27.5
> 50 - 100	6'718	103	65.2
> 100	2'361	17	138.9
Total	100'104	6'212	

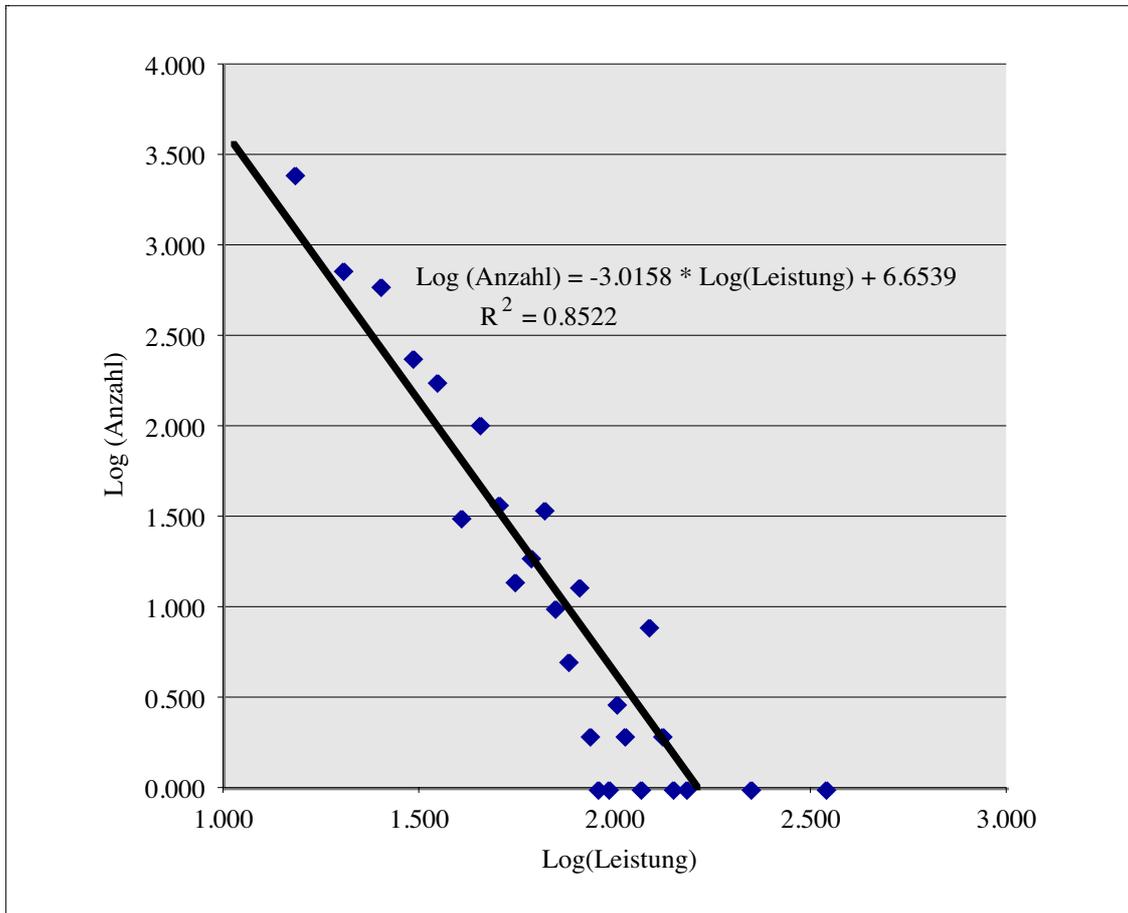
Ein Hinweis darauf ergibt sich aus dem EKZ-Sample selbst. In Figur 2 ist der Logarithmus der thermischen Leistungen gegen den Logarithmus der jeweiligen Anzahl von Wärmepumpen aufgetragen (jeweils auf ein 5-kW-Intervall bezogen). Eingetragen ist auch eine lineare Regressionsgerade. Nimmt man an, dass die durch diese Gerade ausgedrückte Beziehung zwischen Leistung und Anzahl auch bei den grösseren Leistungen gilt (die im EKZ-Sample ja deutlich untervertreten sind), so ergibt sich nach einer etwas komplizierteren Rechnung² eine durchschnittliche Leistung bei den Wärmepumpen über 100 kW von (zufälligerweise recht genau) 200 kW. Diese Zahl ist tatsächlich verträglich damit, dass es in der Schweiz doch ein paar (wenige) ganz grosse Wärmepumpen im MW-Bereich gibt (siehe Abschnitt 12 über Gross-Wärmepumpen).

Eine andere Schwierigkeit folgt daraus, dass gemäss den Absatzzahlen offenbar im Laufe der Zeit der Anteil der grössten Wärmepumpenkategorie deutlich abgenommen hat (vgl. Tabelle 3). Dies bedeutet wohl (und einige Expertengespräche scheinen dies zu bestätigen), dass früher im Durchschnitt deutlich grössere Wärmepumpen installiert wurden. Eine einfache Extrapolation der durchschnittlichen Leistungen, wie sie sich aus dem EKZ-Sample für die Leistungen bis 100 kW ergeben, auf die Leistungen über 100 kW liefert für die Wärmepumpen mit über 100 kW Leistung aus den Jahren 1979 bis 1984 unter Berücksichtigung der Absatzverhältnisse eine Durchschnittsleistung von 280 kW.

lich um Niederspannungsbezüger, die dem EKZ ihre Wärmepumpe bekannt geben. Grosse Wärmepumpen sind bei Niederspannungsbezügern eher die Ausnahme.

² Mittelung (Integration) über alle Leistungen grösser als 100 kW.

Fig. 2: Anzahl der installierten Wärmepumpen als Funktion der thermischen Leistung (Quelle: EKZ, Auswertung: Basics)



Tab. 3: Anteile der Leistungskategorien bei den Absatz-Zahlen (Quelle: AWP/FWS; Auswertung: Basics)

Leistungsbereich (kW)	Absatz 1979 -1984	Absatz 1993-1998
- 20	78%	87%
> 20 – 50	12%	10%
> 50 - 100	4%	2%
> 100	6%	1%

3.2 Erkenntnisse aus den Förderprogrammen des BFE

Vom Bundesamt für Energie (BFE) haben wir für die im Rahmen des Startprogramms während der Jahre 1992 bis 1995 geförderten Wärmepumpen für gesamthaft 2'784 Anlagen die thermischen Leistungen erhalten. Es betrifft dies ausschliesslich Sanierungen. Da die Anzahlen genügend gross sind, lassen sich Auswertungen nach den Wärmequellen vornehmen. Die Resultate zeigen die Tabellen 4 bis 6.

Tab. 4: Mittlere thermische Leistungen für Luft-Wasser-Wärmepumpen bei Sanierungen (Quelle: BFE; Auswertung: Basics; gerundet)

Leistungsbereich (kW)	Leistungssumme (kW)	Anzahl (-)	Durchschnitt (kW)
- 5	245	62	4.0
> 5 - 10	1'678	198	8.5
> 10 - 20	12'419	870	14.3
- 20	14'342	1130	12.7
> 20 - 50	1'997	82	24.4
> 50 - 100	57	1	57.2
> 100	432	2	216.0
Total	16'827	1'215	

Tab. 5: Mittlere thermische Leistungen für Sole-Wasser-Wärmepumpen bei Sanierungen (Quelle: BFE; Auswertung: Basics; gerundet)

Leistungsbereich (kW)	Leistungssumme (kW)	Anzahl (-)	Durchschnitt (kW)
- 5	26	6	4.3
> 5 - 10	1'972	231	8.5
> 10 - 20	13'804	996	13.9
- 20	15'802	1'233	12.8
> 20 - 50	3'264	135	24.2
> 50 - 100	129	2	64.6
Total	19'195	1'370	

Tab. 6: Mittlere thermische Leistungen für Wasser-Wasser-Wärmepumpen bei Sanierungen (Quelle: BFE; Auswertung: Basics; gerundet)

Leistungsbereich (kW)	Leistungssumme (kW)	Anzahl (-)	Durchschnitt (kW)
- 5	3	1	3.4
> 5 - 10	181	20	9.0
> 10 - 20	1'710	117	14.6
- 20	1'894	138	13.7
> 20 - 50	1'475	57	25.9
> 50 - 100	171	3	57.1
> 100	128	1	128.0
Total	3'669	199	

Das BFE hat auch Wärmepumpen in Neubauten gefördert. Hierzu stehen uns die thermischen Leistungen von gesamthaft 514 Wärmepumpen zur Verfügung. Wiederum wurde eine Auswertung nach Wärmequellen vorgenommen. Die Resultate zeigen die Tabellen 7 bis 9.

Tab. 7: Mittlere thermische Leistungen von Luft-Wasser-Wärmepumpen bei Neubauten (Quelle: BFE; Auswertungen: Basics; gerundet)

Leistungsbereich (kW)	Leistungssumme (kW)	Anzahl (-)	Durchschnitt (kW)
- 5	20	8	2.5
> 5 - 10	482	55	8.8
> 10 - 20	1'544	111	13.9
- 20	2'046	174	11.8
> 20 - 50	377	16	23.6
Total	2'424	190	

Tab. 8: Mittlere thermische Leistungen von Sole-Wasser-Wärmepumpen bei Neubauten (Quelle: BFE; Auswertungen: Basics; gerundet)

Leistungsbereich (kW)	Leistungssumme (kW)	Anzahl (-)	Durchschnitt (kW)
-5	5	2	2.6
>5 - 10	1'170	155	7.6
>10 - 20	1'565	121	12.9
- 20	2'740	278	9.9
> 20- 50	441	15	29.4
> 50 - 100	100	1	100.0
Total	3'281	294	

Tab. 9: Mittlere thermische Leistungen von Wasser-Wasser-Wärmepumpen bei Neubauten (Quelle: BFE; Auswertungen: Basics; gerundet)

Leistungsbereich (kW)	Leistungssumme (kW)	Anzahl (-)	Durchschnitt (kW)
-5	0	0	-
>5 - 10	43	5	8.6
>10 - 20	221	16	13.8
- 20	264	21	12.6
> 20- 50	215	7	30.8
> 50 - 100	51	1	51.4
>100	148	1	148.0
Total	679	30	

3.3 Erkenntnisse aus den neuen Absatzdaten von AWP und FWS

1999 wurden für die Raumwärme nach der neuen Erhebung von AWP und FWS die in Tabelle 10 zusammengefassten Daten ermittelt. Wir haben diese Zahlen mit Blick auf die Frage nach den durchschnittlichen Leistungen bei den grösseren Wärmepumpen näher analysiert. Eine solche Analyse erübrigt sich

vorderhand bei den kleinen Leistungen, da wir über die Daten des EWZ in diesem Leistungsbereich vorläufig genug (siehe oben) wissen.

Tab. 10: Absatzdaten von AWP/FWS für 1999 (Raumwärme)

Kategorie	Anzahl
unter 5 kW	207
5 bis 10 kW	3'098
10 bis 20 kW	2'276
20 bis 50 kW	339
50 bis 100 kW	50
100 bis 300 kW	25
über 300 kW	10

Die entscheidende Annahme bei der Analyse besteht darin, dass wir davon ausgehen, dass ab der Kategorie 10 bis 20 kW bis zu den grössten Wärmepumpen ein einfaches Potenzgesetz für die Anzahl der abgesetzten Wärmepumpen in Abhängigkeit ihrer Leistung gelten sollte. Aufgrund von ökonomischen Abschätzungen kommen wir damit zum Schluss, dass die durchschnittliche Leistung der Wärmepumpen in der Kategorie 100 bis 300 kW bei rund 168 kW liegen müsste. Dies ist durchaus verträglich mit der bisher angenommenen Durchschnittsleistung von 200 kW für alle Wärmepumpen über 100 kW. Nicht ganz verträglich mit dieser Zahl ist die relativ grosse Anzahl von 10 abgesetzten Wärmepumpen mit einer Leistung von über 300 kW. Wir setzen hier provisorisch ("Handschtätzung") eine durchschnittliche Leistung von 400 kW an.

Da wir im Moment nicht wissen, wie typisch die oben wiedergegebenen Absatzdaten bezüglich ihrer Leistungsstruktur über einen längeren Zeitraum hinweg sind, können wir hier nicht annehmen, dass dieser Schätzwert so bleiben kann. Wir schlagen im Gegenteil vor, bei den grossen Wärmepumpen zukünftig bei den Lieferanten die genauen Daten zu erheben (siehe Abschnitt 3.5).

3.4. Annahmen für das Rechenmodell

Aufgrund der obigen Auswertungen und Abschätzungen werden für die durchschnittlichen Leistungen der alten und neuen Erhebungskategorien von AWP / FWS die folgenden Annahmen getroffen.

- Es wird nicht nach Wärmequellen unterschieden. Die Auswertung der BFE-Daten zeigt, dass in der Leistungskategorie mit den meisten Anlagen (10 bis 20 kW) die Unterschiede so gering sind, dass sich eine Differenzierung vor-derhand nicht lohnt. Ähnliches gilt für die übrigen Leistungskategorien, al-lerdings weniger ausgeprägt und weniger signifikant (da deutlich kleinere Stichproben).
- Im Vergleich von Neubau zu Sanierung resultiert in der häufigsten Lei-stungskategorie (10 bis 20 kW) gemäss BFE-Daten ein Unterschied von et-wa 1 kW: Wärmepumpen in Neubauten haben offenbar etwas geringere durchschnittliche Leistungen innerhalb der gleichen Kategorie. Dies könnte aber z.T. auch ein statistischer Artefakt sein, denn die etwas grösseren Wärmepumpen (über 20 kW) sind – passend zur Förderphilosophie – deut-lich untervertreten, so dass eine auswahlbedingte Unterschätzung der durchschnittlichen Leistung der Wärmepumpen bis 20 kW für die Grundge-samtheit resultiert. Es wird deshalb auf eine Unterscheidung verzichtet.
- Eine Variation der durchschnittlichen Leistungen im Zeitablauf wird nur bei den grössten Wärmepumpen (über 100 kW Leistung) angenommen, und zwar von 280 kW im Jahre 1982 (d.i. die Mitte der Periode 1979 und 1984, für die ein mittlerer Wert von 280 kW geschätzt wurde) auf 200 kW im Jahr 1990. Der Einfachheit halber nehmen wir eine lineare Abnahme an. Davor und danach sind die durchschnittlichen thermischen Leistungen konstant (280 resp. 200 kW). Dies gilt bis und mit 1998. Für 1999 und die folgenden Jahre (mit der feineren Aufteilung auch bei den grösseren Leistungen) muss die Doktrin noch gefunden werden. Im Moment setzen wir auch konstante Leistungen voraus, besser wäre es aber, bei den ganz grossen Wärmepum-pen die effektiven Leistungen zu erheben.
- Warum keine Leistungsreduktion im Zeitablauf bei den kleineren Leistun-gen? Das Argument ist etwa folgendes: Zunächst stimmt es, dass die Wär-mebedarfe der Häuser kleiner werden und damit auch die zu installierenden thermischen Leistungen. Dies hat aber in erster Näherung keinen Einfluss auf die durchschnittliche Leistung, indem von der nächst grösseren Katego-rie zusätzliche Wärmepumpen nachrutschen, die "unten" wegfallen (d.h. in die nächst kleinere Kategorie wandern).

Gesamthaft gesehen werden für die mittleren thermischen Leistungen für die verschiedenen Wärmepumpen-Kategorien und Leistungsbereiche die folgenden Annahmen getroffen (vgl. die vollständigen Tabellen in Anhang 1). "neu" be-deutet dabei eine ab 1999 eingeführte Kategorie, "alt" eine im Modell zwar

noch bestehende aber seit 1999 nicht mehr mit neuen Absatzdaten gefütterte Kategorie.

Raumwärme

bis 5 kW (neu):	3.96 kW
5 bis 10 kW (neu):	8.50 kW
10 bis 20 kW (neu):	14.00 kW
bis 20 kW (alt):	11.86 kW
20 bis 50 kW:	27.53 kW
50 bis 100 kW:	65.23 kW
100 bis 300 kW (neu):	167.87 kW
über 300 kW (neu):	400.00 kW
über 100 kW (alt):	280.00 kW (bis 1982) dann linear abnehmend auf 200.00 kW bis 1990, dann konstant.

Mit anderen Worten: Es werden für die ersten 6 Kategorien die Mittelwerte aus dem EKZ-Sample übernommen, die alte grösste Kategorie entspricht einem Mix aus zwei Extrapolationsüberlegungen, basierend zum einen auf den EKZ-Bestandsdaten, zum andern auf den Absatzdaten für 1979 und 1984; und die zwei neuen grössten Kategorien sind Schätzungen aus den Resultaten der ersten Erhebung von AWP und FWS in der neuen Struktur.

Wärmerückgewinnung (WRG)

bis 50 kW (neu):	40.00 kW
50 bis 100 kW (neu):	65.23 kW
bis 100 kW (alt):	65.23 kW
über 100 kW	280.00 kW (bis 1982) dann linear abnehmend auf 200.00 kW bis 1990, dann konstant.

Die Werte für die alte und die weitergeführte Kategorie entsprechen denjenigen für die Raumwärme, wobei angenommen wird, dass WRG-Wärmepumpen in der Regel eine Leistung von über 50 kW aufweisen. Nach der neuen Erhebung von AWP und FWS scheint dies aber nicht unbedingt zutreffend zu sein: 141 WRG-Wärmepumpen weisen (1999) eine Leistung von unter 50 kW auf, nur 4 Wärmepumpen liegen im Bereich zwischen 50 und 100 kW und deren 10 weisen Leistungen über 100 kW auf. Wir wählen deshalb auf vorläufiger Basis für die Durchschnittsleistung der WRG-Wärmepumpen bis 50 kW einen Wert von 40 kW, für jene zwischen 50 und 100 kW den Durchschnittswert der alten Kategorie bis 100 kW (nämlich 65.23 kW).

Wärmepumpenboiler

Aufgrund von Expertengesprächen und Angaben des grössten Herstellers in der Schweiz werden die folgenden Annahmen getroffen:

bis 600 l (alt) bzw. bis 2 kW (neu):	1.5 kW
2 kW bis 5 kW (neu):	3.0 kW
über 5 kW (neu)	6.0 kW
über 600 l (alt):	3.0 kW.

Die Durchschnittszahl für die neue grösste Kategorie ist eine grobe Schätzung. Sie basiert auf der Annahme, dass grössere Wärmepumpenboiler eigentlich nicht vorkommen. Diese Annahme wird durch die neuen Absatzdaten für 1999 gestützt: bis 2 kW waren es deren 160, zwischen 2 und 5 kW deren 36 und über 5 kW nur deren 3.

Einzelraum-Wärmepumpen

Verschiedene Gespräche mit Experten und mit Mitgliedern aus der Begleitgruppe machen folgende Annahmen plausibel:

bis 2002	1.2 kW
nach 2002	1.5 kW.

3.5 Verbesserungsmöglichkeiten

Vor allem bei den grossen Wärmepumpen (thermische Leistungen über 100 kW) besteht nach wie vor eine beträchtliche Unsicherheit über die durchschnittliche Leistung. Zwar wird hier über die neuen Erhebungsformulare bei der Absatzerhebung die Informationslage durch die Einführung einer neuen Kategorie (100 bis 300 kW) deutlich verbessert, aber bei den bereits installierten Wärmepumpen bleibt die bisherige Unsicherheit bestehen. Und bei den Wärmepumpen über 300 kW Leistung (grösste Erhebungskategorie im neuen Formular) ist ein plausibler Durchschnittswert völlig offen, da im Vergleich zu einem Potenzgesetz bezüglich Leistung und Absatzmenge 1999 eigentlich "zu viele" Wärmepumpen in dieser Kategorie abgesetzt wurden. Allerdings: Die statistischen Zufälligkeiten sind bei nur 10 Anlagen natürlich beträchtlich – entsprechend muss man sich davor hüten, voreilige Schlüsse zu ziehen.

Wir schlagen deshalb vor, für die Vergangenheit für die grossen Wärmepumpen eine vertiefende Erhebung durchzuführen. Und für die Gegenwart schlagen wir

vor, die Erhebung von AWP und FWS für die grössten Wärmepumpenkategorien für Heizung und WRG zu ergänzen: Es wären nicht nur die Anzahlen, sondern auch deren Leistungen und Leistungszahl, deren Jahresarbeitszahl und auch deren Normlaufzeit zu erheben. Selbst wenn die Händler hier nur Schätzungen geben können, würde die Statistik durch die Berücksichtigung von Einzeldaten erheblich an Qualität gewinnen. Und der Aufwand für die Händler wäre durchaus vertretbar: 1999 hätten diese Zusatzinformationen genau 20 Wärmepumpen betroffen.

Für die Eingabe ins Modell würden diese Zusatzinformationen wie folgt verwendet: Aus den Einzeldaten würden, gewichtet mit den jeweiligen jährlichen Wärmeproduktionsmengen, durchschnittliche Leistungen, Leistungszahlen und Normlaufzeiten berechnet. Diese würden dann direkt in das entsprechende Kategorienblatt eingegeben.

4. Ausfallwahrscheinlichkeiten

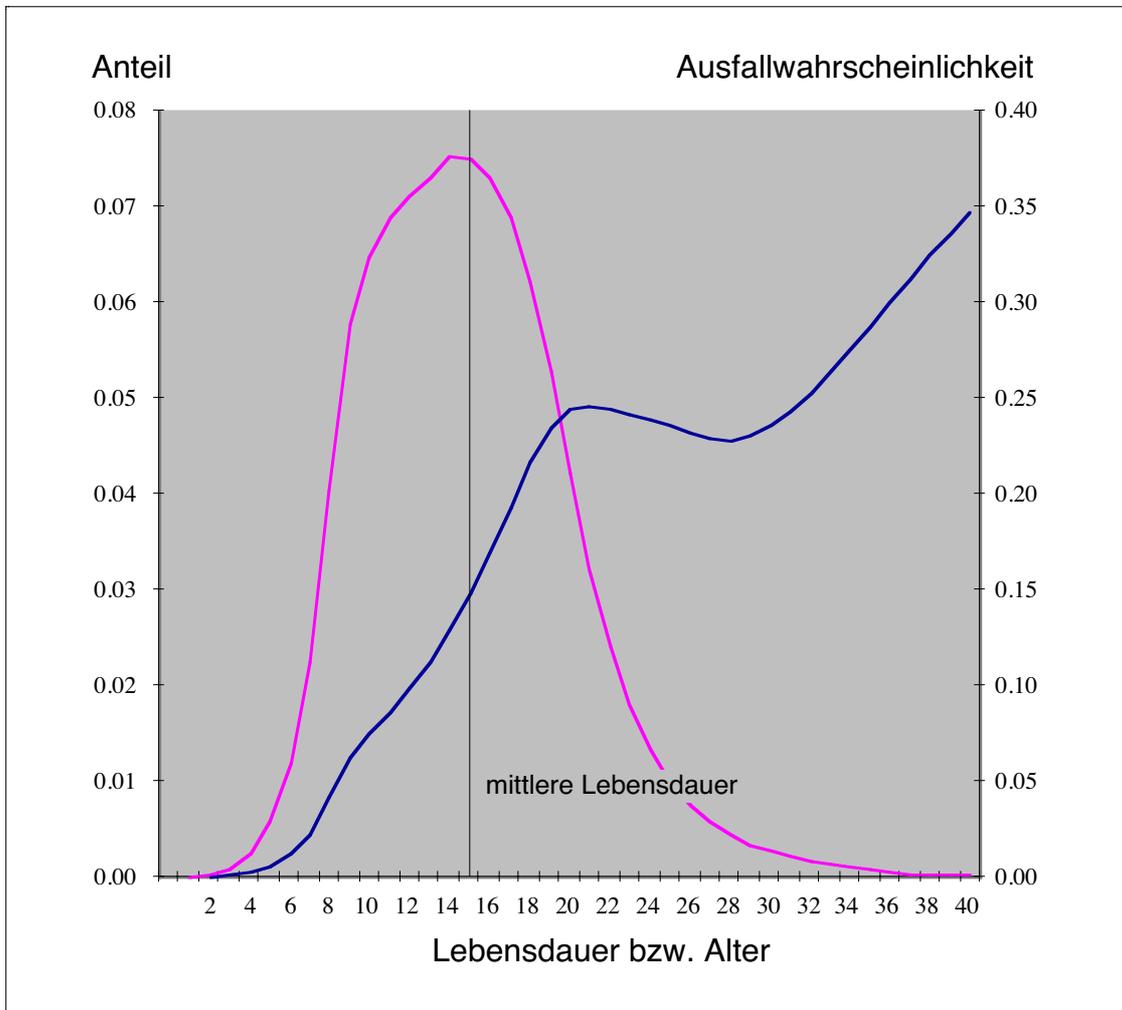
4.1 Umfrage bei Experten

Bei 51 Experten haben wir eine Umfrage über die durchschnittlichen Lebensdauern von Wärmepumpen gemacht. Gegenstand der Befragung war auch die mutmassliche Streuung dieser Lebensdauern. Es wurden zwei Grössenkategorien und vier Alterskategorien unterschieden. Über ein einfaches statistisches Verfahren (Superposition von Verteilungen) haben wir aus den Antworten eine Gesamtverteilung ermittelt.

Die Figur 1 zeigt beispielhaft das Resultat für monovalente Wärmepumpen heutiger Bauart bis zu einer thermischen Leistung von 20 kW. Die hellere Kurve zeigt die Verteilung der Lebensdauern bezogen auf Jahresintervalle, die dunklere Kurve die bedingten Wahrscheinlichkeiten bei Erreichen eines bestimmten Alters im darauffolgenden Jahr auszufallen. Tabelle 2 fasst die ermittelten Mittelwerte für alle befragten Wärmepumpen-Kategorien zusammen. Ebenfalls angegeben sind die mittleren Fehler dieser Mittelwerte³. Man erkennt, dass diese mit zunehmendem Alter anwachsen und für die ältesten Kategorien die Gröszenordnung von 8 % (gemessen an der mittleren Lebensdauer) erreichen.

³ Diese sind nicht mit der Streuung der von den Experten genannten Mittelwerte zu verwechseln.

Fig. 1: Verteilung der Lebensdauern (hellere Kurve, linke Skala) und der Ausfallwahrscheinlichkeiten (dunklere Kurve, rechte Skala) nach Jahren.



Tab. 2: Mittlere Lebensdauern von Wärmepumpen (Quelle: Basics)

Herstellungsjahr	Leistungskategorie	Mittlere Lebensdauer (mit Angabe des mittleren Fehlers)
heute	bis 20 kW	15.0 (+/- 0.55)
	50 bis 100 kW	17.0 (+/- 0.59)
1990	bis 20 kW	14.1 (+/- 0.60)
	50 bis 100 kW	16.2 (+/- 0.71)
1980	bis 20 kW	13.1 (+/- 0.84)
	50 bis 100 kW	14.0 (+/- 0.85)
1970	bis 20 kW	13.3 (+/- 1.00)
	50 bis 100 kW	14.2 (+/- 1.10)

Mit Ausfallwahrscheinlichkeitskurven gemäss Figur 1 lassen sich Ausfallwahrscheinlichkeitsmatrizen ableiten. Figur 3 (Seite 17) zeigt Ausschnitte aus einer solchen Matrix. Die Zahlen geben die bedingten Wahrscheinlichkeiten an, dass eine Wärmepumpe, welche in einem bestimmten Jahr in Betrieb genommen wurde (erste Kolonne) in einem nachfolgenden Jahr (vgl. erste Zeile) ausfällt, wenn die Wärmepumpe bis zum unmittelbar vorangehenden Jahr noch ihre Dienste geleistet hat. Man erkennt, dass diese Wahrscheinlichkeiten in den ersten Betriebsjahren sehr klein sind, dann aber immer stärker zunehmen. Jüngere Wärmepumpen zeigen einen geringeren Anstieg der Ausfallwahrscheinlichkeiten.

4.2 Annahmen für das Rechenmodell

Im Prinzip könnte man für jede Wärmepumpen-Kategorie eine eigenständige Ausfallmatrix definieren. Von der oben referierten Umfrage her liegen Informationen für zwei Kategorien explizit vor: Für Wärmepumpen mit einer Leistung bis 20 kW und für solche mit einer Leistung von 50 bis 100 kW. Die genauere Analyse hat gezeigt, dass die Unterschiede zwischen den beiden Kategorien nicht signifikant sind, abgesehen von der etwas grösseren durchschnittlichen Lebensdauer der grösseren Wärmepumpen (vgl. Tabelle 2). Um möglichst sparsame Annahmen zu treffen ("Ockhams Rasiermesser"), verwenden wir für alle Wärmepumpen-Kategorien grundsätzlich die gleiche Ausfallmatrix (nämlich jene, welche ausschnittsweise in Figur 3 dargestellt ist); allerdings unter Berücksichtigung der unterschiedlichen (durchschnittlichen) Lebensdauern.

Im einzelnen bedeutet dies folgendes:

Raumwärme

bis 5 kW (neu):	Basisfall (gemäss Figur 3)
5 bis 10 kW (neu)	wie oben
10 bis 20 kW (neu):	wie oben
bis 20 kW (alt):	wie oben
20 bis 50 kW:	durchschnittliche Lebensdauer plus 1 Jahr
50 bis 100 kW:	durchschnittliche Lebensdauer plus 2 Jahre
100 bis 300 kW (neu):	wie oben
über 300 kW (neu)	wie oben
über 100 kW (alt):	wie oben

Fig. 3: Ausfallmatrix für Wärmepumpen bis Heizleistung 20 kW (Ausschnitte; Erläuterungen im Text, Quelle: Basics)

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	...	1993	1994	1995	1996	1997	1998
1970	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08		0.24	0.23	0.23	0.23	0.23	0.24
1971		0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04	0.06		0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23
1972			0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04		0.24	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23
1973				0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02		0.24	0.24	0.24	0.24	0.23	0.23
1974					0.00	0.00	0.00	0.01	0.01		0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.23
1975						0.00	0.00	0.00	0.01		0.24	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24
1976							0.00	0.00	0.00		0.23	0.24	0.25	0.24	0.24	0.24
1977								0.00	0.00		0.22	0.23	0.24	0.25	0.24	0.24
1978									0.00		0.19	0.22	0.23	0.24	0.25	0.24
1979											0.17	0.19	0.22	0.23	0.24	0.25
1980											0.15	0.17	0.19	0.22	0.23	0.24
1981											0.13	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23
1989											0.01	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08
1990											0.00	0.01	0.01	0.02	0.04	0.06
1991											0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04
1992											0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02
1993											0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
1994												0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1995													0.00	0.00	0.00	0.00
1996														0.00	0.00	0.00
1997															0.00	0.00
1998																0.00

Wärmerückgewinnung (WRG)

bis 50 kW (neu):	durchschnittliche Lebensdauer plus 2 Jahre
50 bis 100 kW (neu):	wie oben
bis 100 kW (alt):	wie oben
über 100 kW	wie oben

Wärmepumpenboiler

Aufgrund von Expertengesprächen und Angaben des grössten Herstellers in der Schweiz werden die folgenden Annahmen getroffen:

bis 600 l (neu) bzw. bis 2 kW:	durchschnittliche Lebensdauer minus 2 Jahre
2 kW bis 5 kW (neu):	wie oben
über 600 l (alt):	wie oben

Einzelraum-Wärmepumpen

Hier nehmen wir die gleiche Ausfallmatrix wie im Basisfall.

4.3 Verbesserungsmöglichkeiten

Grundsätzlich sollte hier eine empirische Untersuchung durchgeführt werden, um die aus einer Expertenbefragung abgeleitete Ausfallmatrix zu überprüfen. Insbesondere scheint uns die Frage der Ausfälle unmittelbar nach der Installation wichtig, d.h. die Frage der "Kinderkrankheiten". In der Ausfallmatrix kommen diese ausdrücklich nicht vor. Dies scheint uns methodisch insofern vertretbar, weil umgekehrt in der Absatzerhebung es den Anschein hat, dass das Auswechseln einer Wärmepumpe kurz nach der Installation sich nicht in einer "doppelt gezählten" Wärmepumpe niederschlägt. Ob das allerdings in jedem Fall so zutrifft und ob das Problem überhaupt quantitative Relevanz hat, müsste genauer untersucht werden.

Im weiteren ist die hier vorgenommene Übertragung der Resultate aus der Expertenbefragung auf andere Wärmepumpenkategorien wohl vertretbar; es wäre aber wünschenswert, wenn auch für die übrigen Wärmepumpen-Kategorien "eigenständige" Ausfallmatrizen ermittelt werden könnten – insbesondere für die grossen Wärmepumpen.

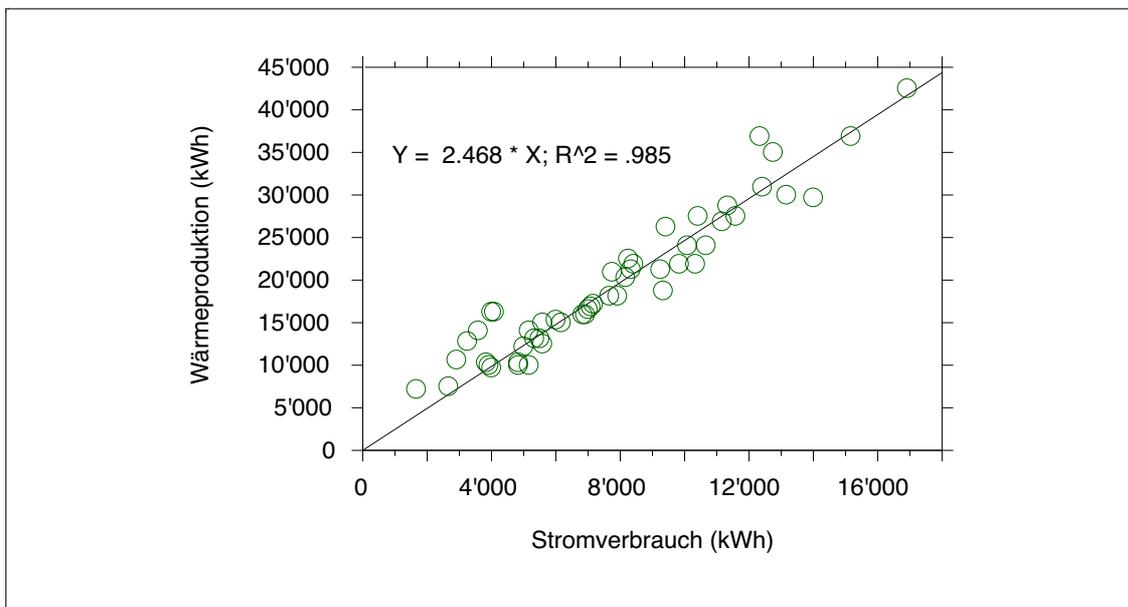
5. Jahresarbeitszahlen

Für die Jahresarbeitszahlen und erst recht für deren Entwicklung im Zeitablauf gibt es nur wenige empirische Anhaltspunkte.

5.1 Erkenntnisse aus den FAWA-Daten

Figuren 1a bis 1d zeigen den empirisch bestimmten Zusammenhang zwischen Wärmeproduktion und Elektrizitätsverbrauch für Wärmepumpen der Jahrgänge⁴ 1995 bis 1998. Daraus ergibt sich –noch anders als in der letztjährigen Analyse⁵ – ein deutlicher Trend zur Zunahme der Jahresarbeitszahl. Allerdings zeigt Tabelle 2, dass der mittlere Fehler des JAZ-Wertes für 1998 doch ziemlich gross ist, so dass der beobachtete Trend in seiner statistischen Stringenz nicht überbewertet werden darf. Zudem muss berücksichtigt werden, dass bei den Jahrgängen 1995 und z.T. 1996 das klimatisch ungünstige Jahr 1996 zu Buche schlägt und den statistisch gefundenen Trend zur Zunahme der Jahresarbeitszahl etwas verstärkt (vgl. auch Abschnitt 6).

Fig. 1a: JAZ-Werte des Jahrganges 1995 für alle Typen gemäss FAWA-Daten (Auswertung Basics, berücksichtigt sind Messdaten bis Mitte 1999)



⁴ Genau genommen ist dies keine Analyse nach Jahrgängen sondern nach Beginn der Messperioden.

⁵ Es stehen fast doppelt so viele Datenpunkte zur Verfügung wie vor Jahresfrist.

Fig. 1b: JAZ-Werte des Jahrganges 1996 für alle Typen gemäss FAWA-Daten (Auswertung Basics, berücksichtigt sind Messdaten bis Mitte 1999)

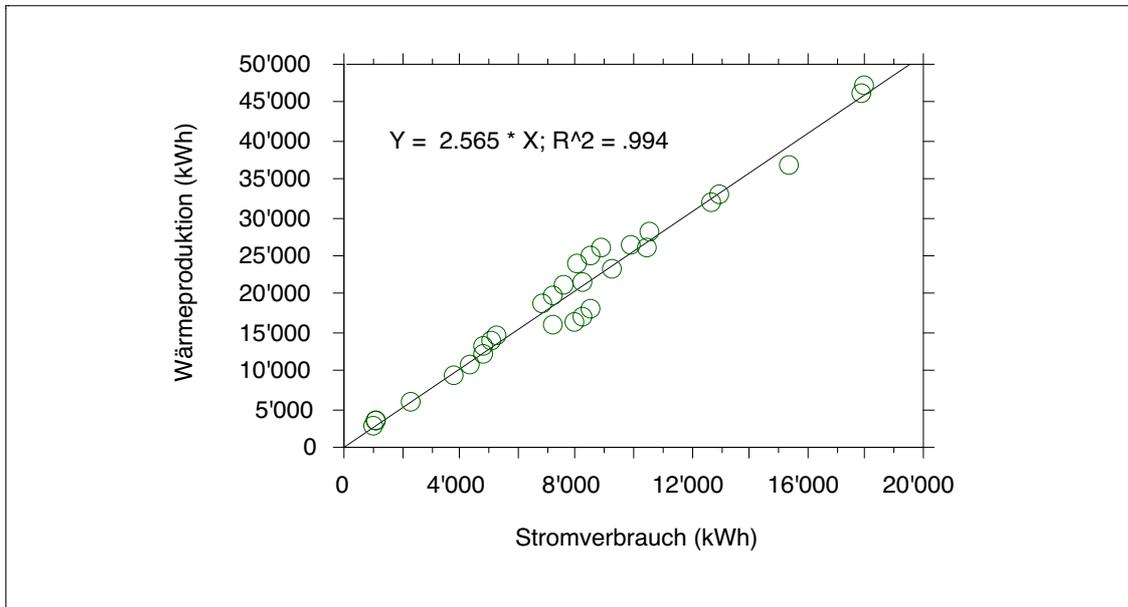


Fig. 1c: JAZ-Werte des Jahrganges 1997 für alle Typen gemäss FAWA-Daten (Auswertung Basics, berücksichtigt sind Messdaten bis Mitte 1999)

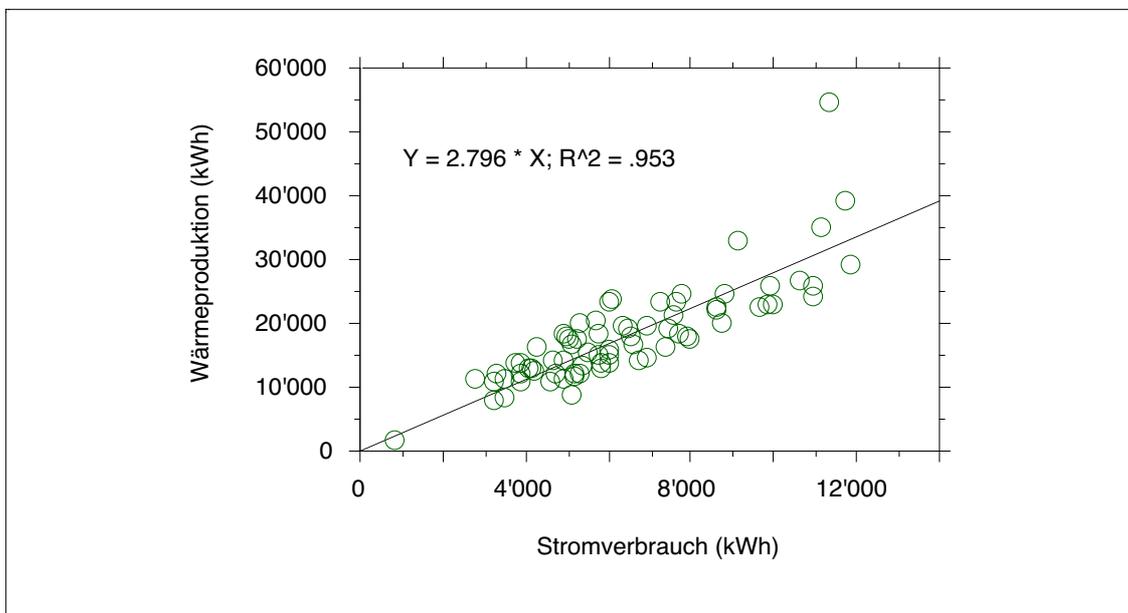
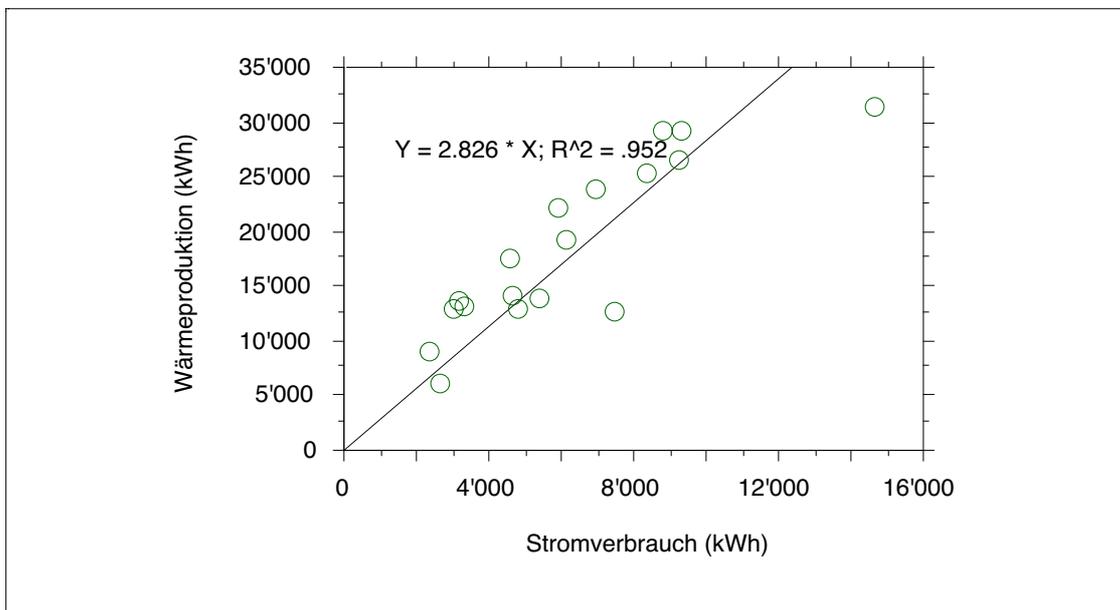


Fig. 1d: JAZ-Werte des Jahrganges 1998 für alle Typen gemäss FAWA-Daten (Auswertung Basics, berücksichtigt sind Messdaten bis Mitte 1999)



Tab. 2: Abhängigkeit der JAZ vom Wärmepumpen-Jahrgang als Resultat einer Regressionsrechnung, Angabe der mittleren Fehler der berechneten durchschnittlichen JAZ-Daten, Auswertung Basics, Messdaten bis Mitte 1999 berücksichtigt)

Jahrgang	JAZ-Wert	Mittlerer Fehler	Anzahl Messpunkte
1995	2.468	0.043	51
1996	2.531	0.081	30
1997	2.796	0.073	74
1998	2.826	0.153	18

Die genannten Zahlen weisen den gleichen Trend auf wie diejenigen von P. Hubacher (in Rognon 1999, vgl. Tabelle 3). Nach dem gleichen Autor liegen im übrigen die gemittelten Jahresarbeitszahlen aller gemessenen Wärmepumpen (130 Anlagen) für Luft/Wasser bei 2.5 und für Sole/Wasser um 2.75.

Eine von Basics durchgeführte Umfrage bei 20 Experten ergab das in Figur 4 zusammengefasste Bild. Die erhaltenen Trends sind signifikant, wie Tabelle 5

zeigt. Die für 1970 angegebenen Werte sind Extrapolationen aufgrund der Expertenangaben für die Jahre 1980, 1990 und 1998.

Tab. 3: Abhängigkeit der JAZ vom Wärmepumpenjahrgang (mit produzierter Energiemenge gewichtet, Quelle: a.a.O.)

Jahrgang	Mittelwert	mittlerer Fehler	Anzahl Anlagen
1994	2.60	k.A.	19
1995	2.77	k.A.	43
1996	2.82	k.A.	45
1997	2.99	k.A.	30

Eine eher cursorische Sichtung älterer Literatur (SVK 1981, Enfog 1984, EWI 1992) scheint die oben aus der Expertenumfrage ermittelten "alten" Jahresarbeitszahlen zu bestätigen. Allerdings: Wir haben diese Überprüfung nicht im "technischen" Detail vorgenommen (dies war ja auch nicht unsere Aufgabe), sondern im Hinblick auf eine Plausibilisierung. Wollte man hier weitergehen, so wäre wohl ein erheblicher Aufwand zu leisten, um die datenmässige Vergleichbarkeit zu erreichen (Klima, Messbedingungen, Definitionen). Angesichts der wenigen effektiv ausgemessenen Anlagen sind wir aber der Meinung, dass sich dieser Aufwand nicht lohnen dürfte.

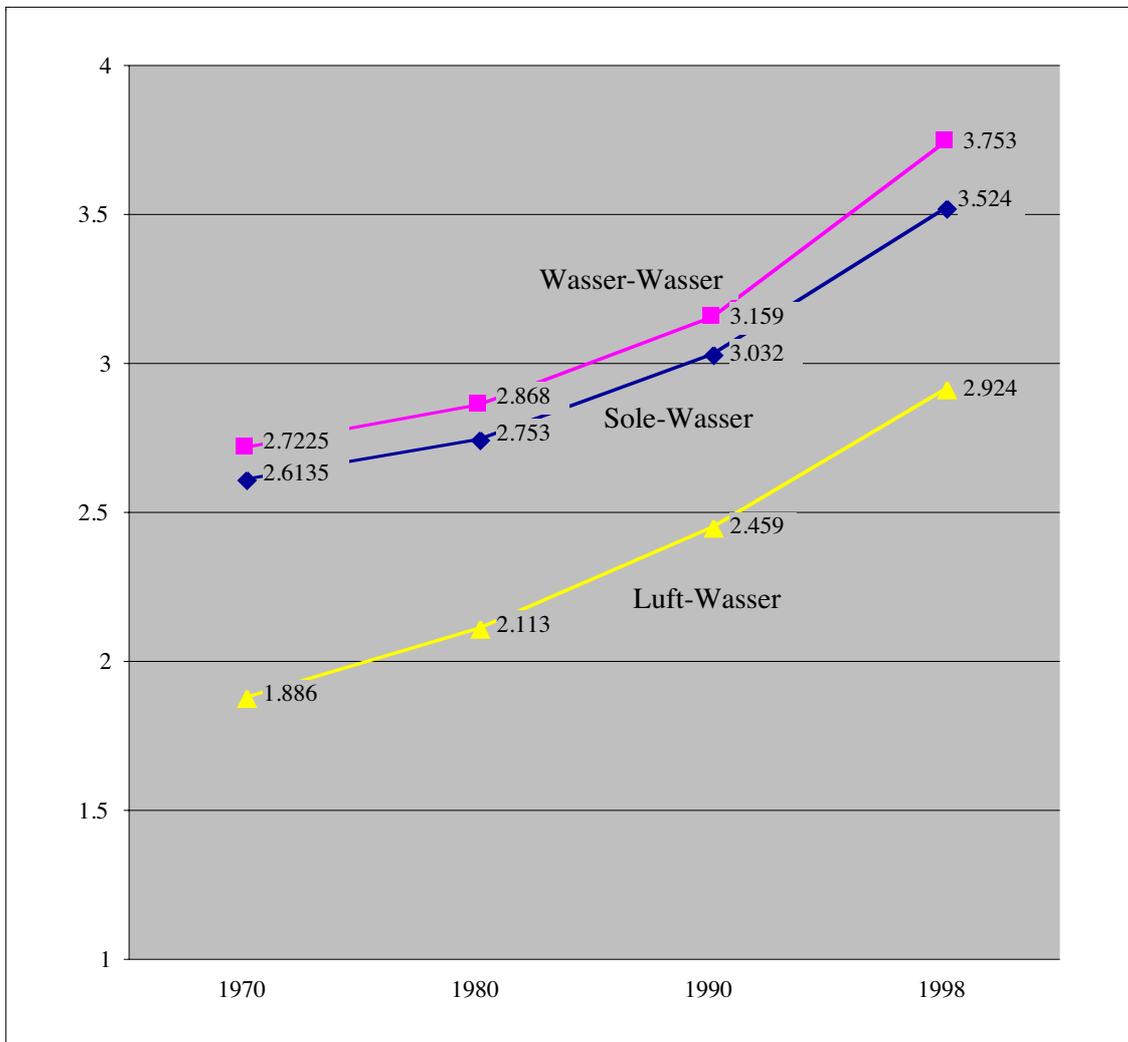
Da sich die JAZ-Zahlen nach den drei Typen Luft/Wasser, Sole/Wasser und Wasser/Wasser ziemlich stark unterscheiden, stellt sich die Frage, ob sich die Anteile dieser Kategorien im Zeitverlauf relevant geändert haben. Tabelle 6 zeigt die Absatz-Daten für Wärmepumpen mit einer Heizleistung unterhalb 20 kW. Unter Berücksichtigung der Statistikbrüche (mit Querlinien markiert) scheint es sinnvoll, keine im Zeitablauf variierende Aufteilung anzunehmen. Für die Wärmepumpenstatistik setzten wir folgende, zeitunabhängige Aufteilung an: Luft/Wasser: 56 %, Sole/Wasser: 40 %, Wasser/Wasser 4 %.

Schliesslich haben wir die aus den FAWA-Daten ermittelten JAZ-Werte zur Kalibrierung der Expertenumfrage anhand des Jahrganges 1997⁶ verwendet: Zunächst wurde aus den FAWA-Daten für den Jahrgang 1997 für die zwei Haupttypen (Luft-Wasser und Sole-(Wasser-)Wasser) die entsprechenden JAZ-Werte ermittelt und ein gewichteter Mittelwert gemäss Typen-Split bestimmt (2.805)

⁶ Die Rekalibrierung muss sich auf einen Jahrgang beziehen, da sich aus den FAWA-Daten klar ein Trend ergibt. Für die Rekalibrierung haben wir jenen Jahrgang gewählt, der die meisten Datenpunkte aufweist.

und klimakorrigiert (2.787, vgl. Abschnitt 6). Dann wurden die Resultate der Expertenbefragung auf den gleichen Typen-Split umgerechnet. Zu guter Letzt haben wir die Zeitreihe aus der Expertenbefragung am so erhaltenen FAWA-Wert für 1997 "angehängt". Das Resultat zeigt Figur 7 (für Wärmepumpen bis 20 kW). In die gleiche Figur eingetragen ist die aufgrund von verschiedenen Expertengesprächen anzunehmende künftige JAZ-Entwicklung. Bis ins Jahr 2010 kann man danach davon ausgehen, dass die JAZ-Werte von neuen Anlagen (im gewichteten Durchschnitt aller Typen) bis auf den Wert 4 klettern dürften. Die Meinungen hierzu gehen allerdings etwas auseinander. Das BFE als Anwender des Modells kann hier natürlich andere Annahmen treffen.

Fig. 4: Entwicklung der JAZ gemäss Expertenbefragung (thermische Leistungen bis 20 kW; Quelle: Basics)



Tab. 5: Details zur Expertenbefragung über die JAZ (Quelle: Basics)

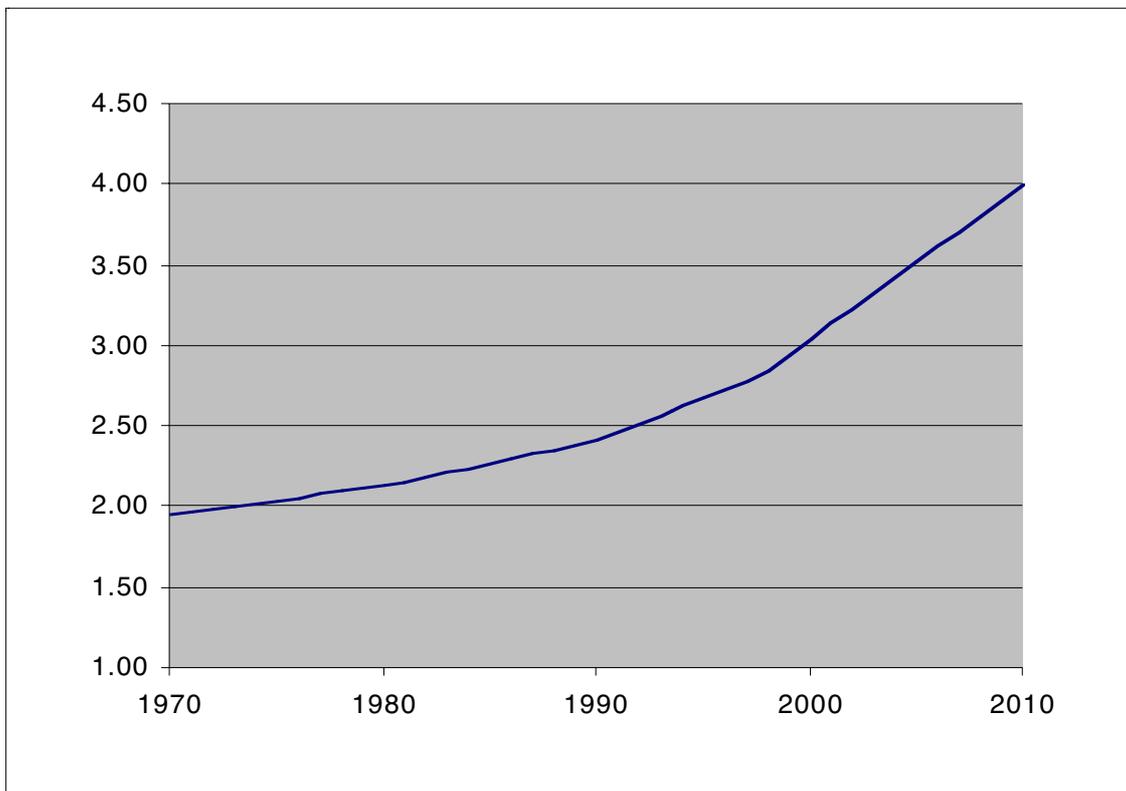
Typ	Jahrgang	Mittelwert	Mittlerer Fehler	Anzahl Nennungen
Sole/Wasser	1980	2.753	0.116	17
	1990	3.032	0.154	19
	1998	3.524	0.157	19
Wasser/Wasser	1980	2.868	0.153	17
	1990	3.159	0.141	16
	1998	3.753	0.215	17
Luft/Wasser	1980	2.113	0.092	17
	1990	2.459	0.096	17
	1998	2.924	0.132	17

Tab. 6: Aufteilung der abgesetzten Wärmepumpen nach Typen (thermische Leistungen bis 20 kW)

Jahr/ Periode	Luft/ Wasser	Sole/ Wasser	Wasser/ Wasser	Bemerkungen
1999	55.9 %	41.9 %	2.2 %	FWS + AWP
1998	54.4 %	41.8 %	3.8 %	FWS + AWP
1997	55.1 %	40.7 %	4.2 %	FWS + AWP
1996	57.0 %	37.9 %	5.1 %	FWS + AWP
1996	66.8 %	27.7 %	5.4 %	AWP
1995	66.5 %	27.6 %	5.8 %	AWP
1994	66.7 %	30.3 %	3.1 %	AWP
1993	63.6 %	27.8 %	8.6 %	AWP
1992	62.3 %	32.4 %	5.3 %	AWP
1991	59.8 %	33.3 %	6.9 %	AWP
1990	65.1 %	34.9 %		AWP, nur 2 Rubriken
1989	64.7 %	35.3 %		AWP, nur 2 Rubriken
1988	65.5 %	34.5 %		AWP, nur 2 Rubriken
1987	69.2 %	30.8 %		AWP, nur 2 Rubriken

1986	69.4 %	30.6 %		AWP, nur 2 Rubriken
1985	71.9 %	28.1 %		AWP, nur 2 Rubriken
1979-1989	57.7 %	42.3 %		AWP, nur 2 Rubriken
Gewählte Aufteilung	56 %	40 %	4 %	Keine Änderung in der Zeit

Fig. 7: JAZ-Werte im Zeitverlauf für Wärmepumpen bis 20 kW (Quelle: Basics)



5.2 Annahmen für das Rechenmodell

Während wir uns für Leistungen bis 20 kW bzw. zwischen 50 und 100 kW auf eine Expertenumfrage beziehen können, ist dies bei den andern Leistungskategorien nicht möglich. Wir stützen uns deshalb auf einige Expertenauskünfte und Plausibilitätsüberlegungen. Gesamthaft haben wir für die verschiedenen Wärmepumpenkategorien die folgenden Annahmen getroffen (vgl. die vollständigen Tabellen in Anhang 1).

Raumwärme

bis 5 kW (neu):	gemäss Figur 7
5 bis 10 kW (neu):	wie oben
10 bis 20 kW (neu):	wie oben
bis 20 kW (alt):	wie oben
20 bis 50 kW:	wie oben
50 bis 100 kW:	bis 1980 um 0.2 grösser als gemäss Figur 7; dann linear anwachsend bis 1999 auf 2.97; dann wie Figur 7
100 bis 300 kW (neu):	wie 50 bis 100 kW
über 300 kW (neu):	wie oben
über 100 kW (alt):	wie oben

Wärmerückgewinnung (WRG)

alle Kategorien:	bis 1985: konstant 3.2
(neue und alte)	bis 1995: konstant 3.4
	bis 2010: konstant 3.6

Diese Annahmen beruhen im wesentlichen auf Angaben eines grossen Anbieters von WRG-Wärmepumpen in der Schweiz.

Wärmepumpenboiler

bis 600 l (bzw. 2 kW):	gleichbleibend 2.5
übrige Kategorien:	gleichbleibend 2.6

Diese Annahmen beruhen auf verschiedenen Expertenauskünften und auf Angaben des grössten schweizerischen Herstellers.

Einzelraum-Wärmepumpen

Aufgrund verschiedener Expertengespräche und den Angaben eines Mitgliedes der Begleitgruppe gehen wir von einer Jahresarbeitszahl aus, die von 2.1 (im Jahr 1995) auf 2.7 (im Jahr 2010) ansteigt.

5.3 Verbesserungsmöglichkeiten

Eine empirisch besser gestützte Kenntnis der Jahresarbeitszahlen – vor allem auch für grössere Leistungen – wäre sehr wünschenswert. Interessant wäre an sich auch der historische Rückblick; doch dürfte der Untersuchungsaufwand in keinem vernünftigen Verhältnis zum Ertrag stehen. Sicher müssen die Annahmen für die zukünftige Entwicklung der Jahresarbeitszahlen fortlaufend überprüft werden (z. B. anhand von FAWA-Daten, sofern auch die jeweils aktuellsten Jahrgänge dazukommen.)

6. Klimaabhängigkeit der Jahresarbeitszahl⁷

6.1 Ausgangslage, Zielsetzungen

Es soll der Einfluss des Jahresklimas auf die Jahresarbeitszahl β untersucht werden. Der elektrische Energiebezug von Wärmepumpen ist einerseits vom Wärmebedarf des Objektes und andererseits von der Jahresarbeitszahl β abhängig. Beide werden vom Jahresklima beeinflusst. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Einfluss des Jahresklimas auf β abzuklären und einen möglichst einfachen Algorithmus dafür anzugeben.

Konzeptionell sollen hierzu die jahresklimaabhängigen elektrischen Energieverbräuche von Wärmepumpenheizungen (ohne Warmwasseraufbereitung) so erfasst werden, dass man die Abweichungen des Energieverbrauchs zu einem Referenzverbrauch berechnen kann. Als Referenzverbrauch dient der Verbrauch in einem Normaljahr, z.B. für einen Umgebungstemperaturverlauf gemäss dreissigjährigem Mittel.

6.2 Einfluss des Jahresklimas auf den Wärmebedarf

Unter dem Begriff Jahresklima verstehen wir hier die Summenhäufigkeit $f(T_u)$ der Umgebungstemperaturen in der Heizperiode. Erfasst werden nur Tagesmitteltemperaturen von 12° C und weniger. Die Summenhäufigkeit der Umgebungstemperaturen ist bei einem gegebenen Gebäude massgebend für den Wärmebe-

⁷ Der Text der Abschnitte 6.1 bis 6.6 stammt – leicht redigiert – von Prof. Dr. M. Ehrbar von der Interstaatlichen Fachhochschule für Technik in Buchs, der im Auftrag von Basics eine Untersuchung über die Klimaabhängigkeit der Jahresarbeitszahl durchgeführt hat.

darf des Objektes und somit auch für die Wärmeproduktion der Heizanlage. Der Wärmebedarf beträgt:

$$Q_{Bed} = Q_{Prod} = K * \int_{t_1}^{t_2} (T_R - T_u) * dt = K * HGT * 86400 \quad (1)$$

Hier bedeuten:

Q_{Bed}	Wärmebedarf des Objekts	[J]
Q_{Prod}	Wärmeproduktion der Heizanlage	[J]
K	Wärmebedarfsfaktor des Objektes	[W/K]
	$Q_{Bed} = (k * A + m_L * c_{pL}) * (T_R - T_u)$	
	$K \equiv k * A + m_L * c_{pL}$	
k	mittlere Wärmedurchgangszahl der Bauhülle	[W/(m ² *K)]
A	Aussenfläche der Bauhülle	[m ²]
m_L	Luftwechsel des Gebäudes	[kg/s]
c_{pL}	spezifische Wärme der Luft (dh/dT) _p	[J/(kg*K)]
T_R	Raumtemperatur	[C]
T_u	Umgebungstemperatur	[C]
t	Zeitvariable	[s]
t_1	Beginn der Heizperiode	[s]
t_2	Ende der Heizperiode	[s]
HGT	Heizgradtage	[d*K]

Der Wärmebedarf und damit die Wärmeproduktion sind unabhängig von der Art der Wärmeerzeugung. Gleichung (1) gilt demnach für alle Heizverfahren gleichermaßen.

Ist der Referenz-Wärmebedarf für ein Objekt (z.B. in Form des dreissigjährigen Mittels der Temperatursummenhäufigkeit) bekannt, so kann der Wärmebedarf für ein davon abweichendes Klima wie folgt berechnet werden:

$$Q_{Bed} = Q_{Bed_{Ref}} * \frac{HGT}{HGT_{Ref}} \quad (3)$$

6.3 Einfluss des Jahresklimas auf die Jahresarbeitszahl

Etwas komplizierter gestaltet sich die Situation bei der elektrischen Energieaufnahme der Wärmepumpe. Die kostenpflichtige Energieaufnahme hängt nicht nur vom Wärmebedarf, sondern auch von der Arbeitszahl β ab. Die Arbeitszahl β ist das Verhältnis von produzierter Nutzwärme zur kostenpflichtigen Energieaufnahme. Da hier nur die elektrisch angetriebenen Wärmepumpen interessieren, gilt für β die Definition:

$$\beta \equiv \frac{Q_{Prod}}{E_{el}} \quad (4)$$

Die Jahresarbeitszahl β ist keine Konstante. Sie hängt neben der Bauart der Wärmepumpe und deren Einbindung ins Wärmeverteilsystem auch von den klimatischen Randbedingungen in der Heizperiode und der Wärmequelle ab. Bei einem gegebenen Objekt und gegebener Wärmepumpe ist β eine Funktion der Summenhäufigkeit der Umgebungstemperatur und der Senkentemperatur, wobei letztere wiederum mit der Umgebungstemperatur gekoppelt ist und somit keine streng unabhängige Grösse darstellt.

Für die Schätzung des jährlichen Energiekonsums von Wärmepumpen wäre es praktisch, wenn man die klimabedingte Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl etwa mit den Heizgradtagen berechnen könnte. Die Jahresarbeitszahl kann wie folgt ermittelt werden:

$$\beta = \frac{\int_{T_{u1}}^{T_{u2}} (T_R - T_u) * f^{(*)} dT_u}{\int_{T_{u1}}^{T_{u2}} \frac{T_R - T_u}{\varepsilon(T_u)} * f^{(*)} dT_u} \quad (5)$$

f ist die Ableitung der Summenhäufigkeit der aufsummierten Zeit nach der Umgebungstemperatur (Summenhäufigkeitsdichte):

$$f(T_u) = \frac{df}{dT_u} \quad [s/K] \quad (6)$$

Für die Berechnung von (5) ist kein effektiver zeitlicher Verlauf der Umgebungstemperaturen notwendig. Es genügt die reduzierte Darstellung der Werte in Form einer Summenhäufigkeit (vgl. Figuren 1 und 2). Mit Ausnahme der Leistungszahl ϵ sind in (5) alle Größen nur von der Umgebungstemperatur T_u abhängig.

Fig. 1: Summenhäufigkeit der Umgebungstemperatur in Bad Ragaz 1981

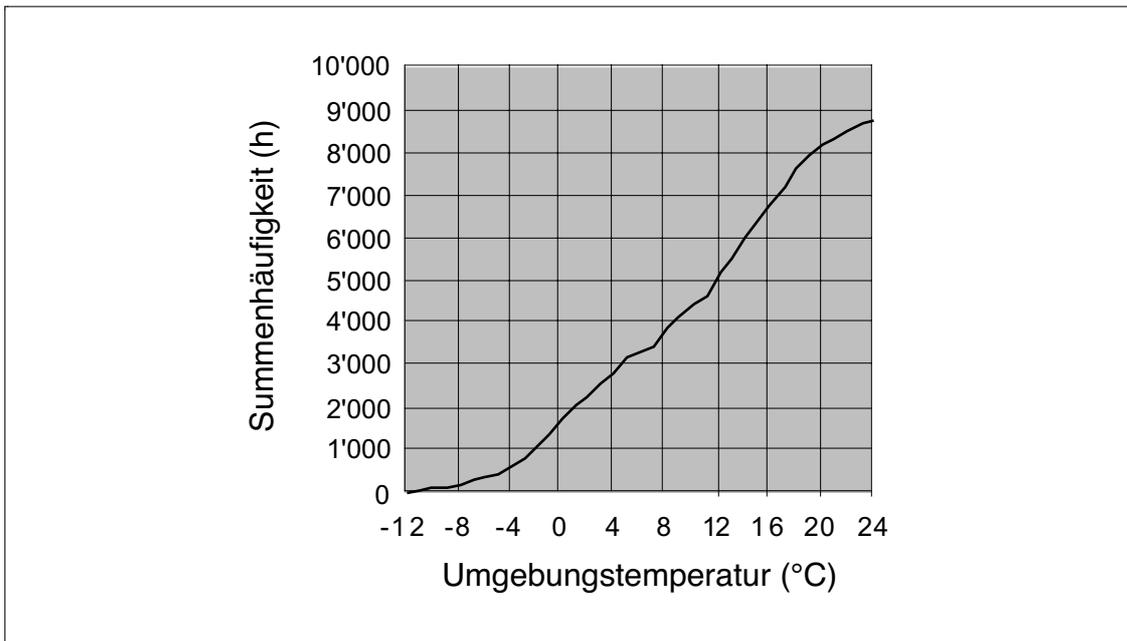
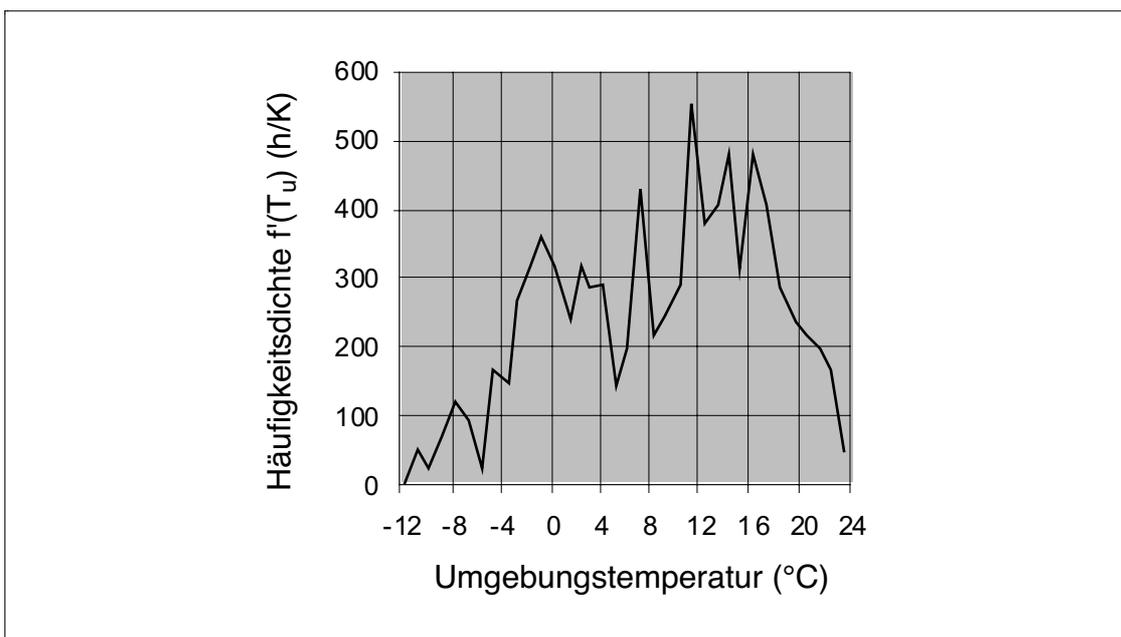


Fig. 2: Summenhäufigkeitsdichte der Umgebungstemperatur in Bad Ragaz



6.4 Die Leistungszahl

Der Zusammenhang zwischen der Leistungszahl ε und der Umgebungstemperatur ist sowohl von der Bauart der Wärmepumpe (Quelle: Luft, Sole, Wasser) als auch von deren Einbindung ins Wärmeverteilsystem abhängig (konstante oder variable Vorlauftemperatur). Will man aus allen existierenden Wärmepumpenanlagen einen Mittelwert des Zusammenhangs $\varepsilon(T_u)$ bilden, ist ε mit allen diesen Einflussfaktoren geeignet zu gewichten.

Zunächst ist die Bauart anteilmässig zu bestimmen. Wir unterscheiden auf Grund der Einbauhäufigkeit nur die beiden Kategorien

- Luft-Wasser-Wärmepumpen
- Sole-Wasser-Wärmepumpen

Innerhalb dieser beiden Kategorien ist zwischen unterschiedlichen Vorlaufgesetzen und Leistungsgrössen zu unterscheiden. Das wohl umfassendste Datenmaterial folgt aus den FAWA-Untersuchungen. Daraus kann eine recht zuverlässige, statistisch genügend abgesicherte Formel für die Leistungszahl ε abgeleitet werden. Diese Formel hat die Form:

$$\varepsilon = [a + b * T_u + c * T_u^2 + d * \text{Tanh}(T_u - 5)] * [1 - e * (T_s - 35)] \quad T_u \text{ in } [^{\circ}\text{C}] \quad (6)$$

Die Konstanten a , b , c , d und e sind nun eben von der Bauart der Wärmepumpe und deren Anteilen, den Verläufen der Vorlauftemperatur und der technischen Entwicklung abhängig. Es ist anzunehmen, dass sich diese Konstanten mit der Zeit ändern und etwa alle 5 Jahre den aktuellen Werten anzupassen sind.

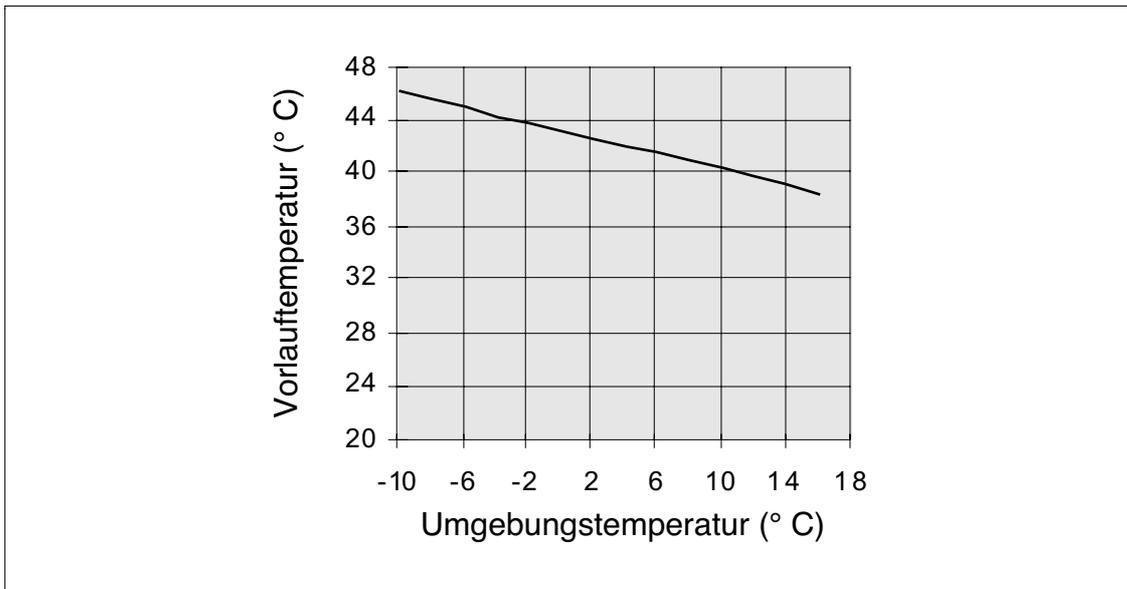
Für die Bestimmung des Leistungszahlverlaufs müssen die Vorlauftemperaturen bekannt sein. Es wurden deshalb die Vorlaufgesetze von 26 Wärmepumpenanlagen aus dem Projekt FAWA zusammengetragen und das folgende mittlere Vorlaufgesetz erhalten (vgl. auch Figur 3):

$$T_{\text{vorl}} = 43.3 - 0.296 * T_u \quad \text{alle Temperaturen in } [^{\circ}\text{C}] \quad (9)$$

Diese Mittelwertbildung ist ungewichtet, d.h. es wurden einfach alle verfügbaren Vorlaufgesetze arithmetisch gemittelt. Da FAWA sich nur mit neueren Anlagen beschäftigt, sind diese Mittelwerte u.U. nicht ganz repräsentativ. Mangels

besserer Unterlagen bleibt nichts anderes übrig, als diese für die weiteren Berechnungen zugrunde zu legen.

Fig. 3: Verlauf der mittleren Vorlauftemperatur von 26 gemessenen Wärmepumpen



Für den Leistungszahlverlauf wird ebenfalls auf die Modelle aus den FAWA-Erhebungen abgestellt. Auch hier gilt, dass nur neuere Wärmepumpen ab etwa Baujahr 1996 und vor allem "Töss-geprüfte" Maschinen erfasst werden. Die Leistungszahlverläufe dürften daher eher über dem Durchschnitt aller Anlagen liegen.

Es liegen die Modelle von 26 Wärmepumpen vor. Diese teilen sich in 9 Sole-Wasser-Wärmepumpen und 17 Luft-Wasser-Wärmepumpen auf. Man erhält die folgenden Modellgleichungen (T_q = Quelltemperatur ein, T_s = Senktemperatur aus):

Luft-Wasser-Wärmepumpen

$$\varepsilon_{LW} = [a + b * T_q + c * T_q^2 + d * \text{Tanh}(T_q - 5)] * [1 - e * (T_s - 35)]$$

$$\begin{aligned}
 a &= 3.071 \\
 b &= 0.0637 \\
 c &= -0.00011 \\
 d &= 0.2234 \\
 e &= 0.0158
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Sole-Wasser-Wärmepumpen

$$\varepsilon_{SW} = [a + b * T_q + c * T_q^2] * [1 - e * (T_s - 35)]$$

$$\begin{aligned} a &= 3.772 \\ b &= 0.0809 \\ c &= 0.00041 \\ e &= 0.0168 \end{aligned} \quad (11)$$

Wir kombinieren nun die Gleichungen (9) und (10). Für die Quelltemperatur setzen wir in (10) die Umgebungstemperatur ein und für die Senktemperatur die Vorlauftemperatur nach Gleichung (9). Damit erhalten wir:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{LW} &= [3.071 + 0.0637 * T_u - 0.00011 * T_u^2 + 0.2234 * \text{Tanh}(T_u - 5)] * \\ &\quad * [1 - 0.0158 * (43.3 - 0.296 * T_u - 35)] = \\ &= [3.071 + 0.0637 * T_u - 0.00011 * T_u^2 + 0.2234 * \text{Tanh}(T_u - 5)] * [0.861 + 0.0047 * T_u] \end{aligned} \quad (12)$$

Bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen hängt die Quelltemperatur in geringem Masse von der Umgebungstemperatur ab. Zudem ist ein leichter Jahresgang zu verspüren, indem die Sondenaustrittstemperaturen gegen Frühjahr tendenziell sinken und sich im Sommer wieder erholen. Dieser Effekt wird hier nicht berücksichtigt.

Die Abhängigkeit der Quelltemperatur von der Umgebungstemperatur kommt bei Sole-Wasser-Anlagen dadurch zustande, dass bei tieferen Umgebungstemperaturen die mittlere Wärmeentnahmeleistung der Wärmepumpe höher ist und dadurch grössere Temperaturabstände zwischen Erdreich und Sole entstehen und auch eine grössere Abkühlung des Erdreichs um die Sonde bewirkt wird. Dies bewirkt eine Absenkung der Sondentemperatur. Wir haben diese Abhängigkeit bei neun verschiedenen Sole-Wasser-Anlagen untersucht und folgenden Zusammenhang gefunden:

$$T_q = 6.0 + 0.3 * T_u \quad (13)$$

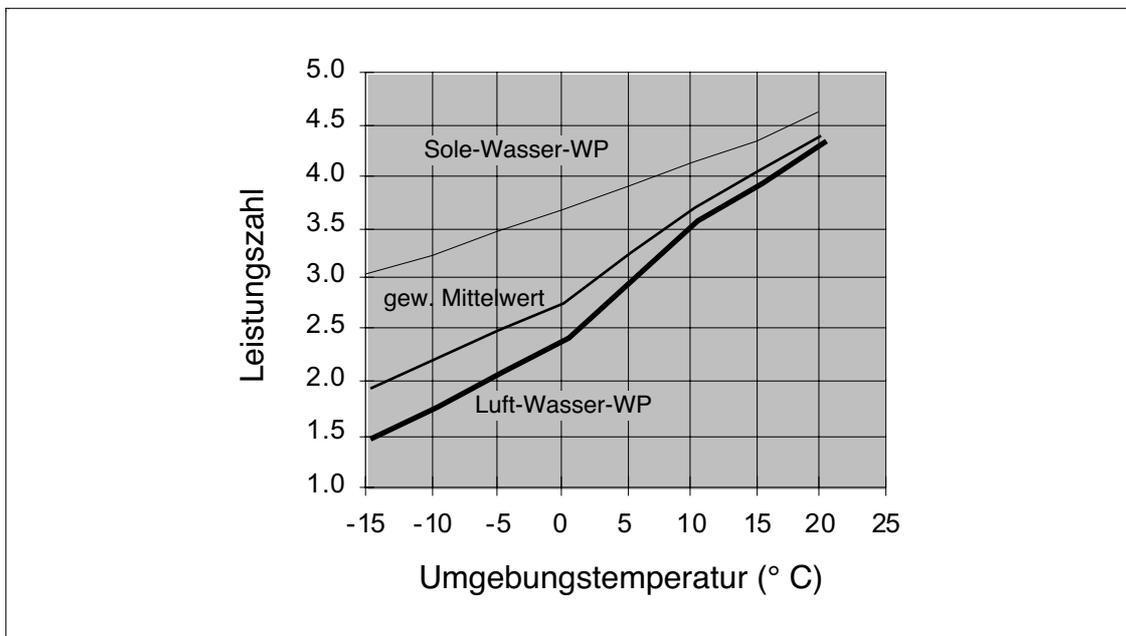
Wir können nun diesen Ausdruck mit Gleichung (11) kombinieren und erhalten:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{SW} &= \left[3.772 + 0.0809 * (6.0 + 0.3 * T_u) + 0.00041 * (6.0 + 0.3 * T_u)^2 \right] * \\
 &\quad * \left[1 - 0.0168 * (43.3 - 0.296 * T_u - 35) \right] = \\
 &= \left[4.272 + 0.0244 * T_u + 0.000037 * T_u^2 \right] * \left[0.861 + 0.005 * T_u \right]
 \end{aligned} \tag{14}$$

Für die Bedürfnisse der erweiterten Energiestatistik für Wärmepumpen ist eine Unterscheidung in Luft-Wasser- und Sole-Wasser-Wärmepumpen nicht nötig. Wir gewichten die beiden Leistungszahlfunktionen zunächst im Verhältnis der im Rahmen von FAWA untersuchten Anlagen. Es sind dies derzeit etwa 30 % Sole-Wasser-Anlagen und 70 % Luft-Wasser-Anlagen. Damit lautet der zusammengefasste Zusammenhang zwischen der Leistungszahl und der Umgebungstemperatur:

$$\begin{aligned}
 \bar{\varepsilon} &\equiv 0.7 * \varepsilon_{LW} + 0.3 * \varepsilon_{SW} = \\
 &= \left[3.431 + 0.052 * T_u - 0.000067 * T_u^2 + 0.156 * \text{Tanh}(T_u - 5) \right] * \left[0.861 + 0.0048 * T_u \right]
 \end{aligned} \tag{15}$$

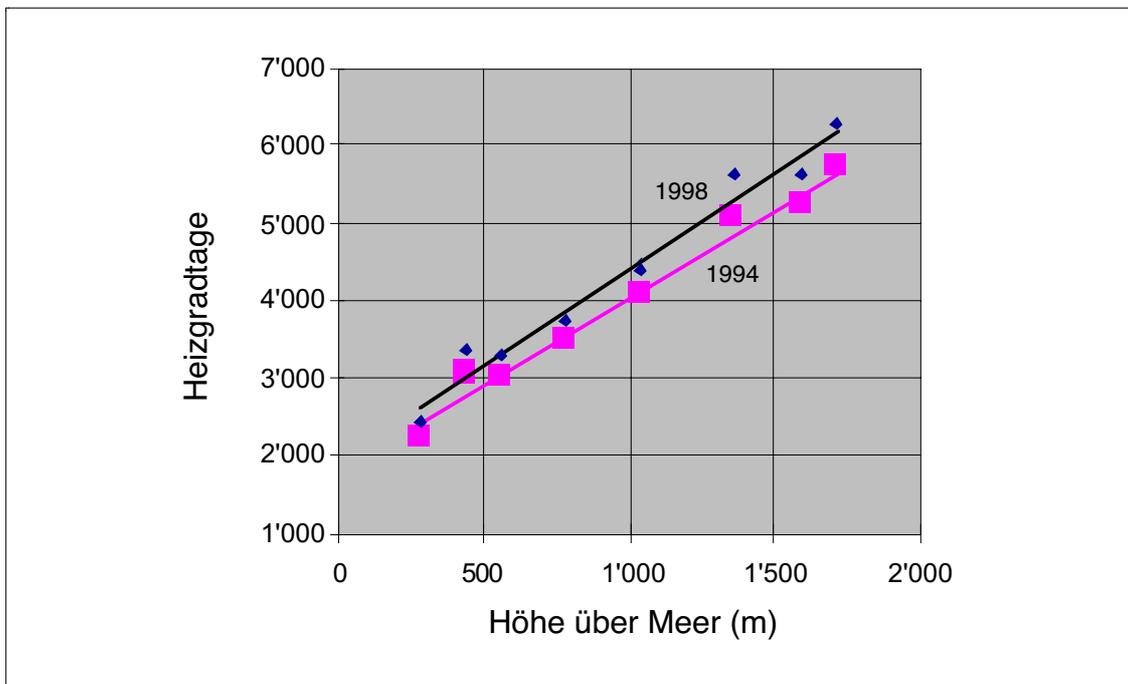
Fig. 4: Verlauf der Leistungszahlen von Sole-Wasser- und Luft-Wasser-Wärmepumpen, sowie der gewichtete Mittelwert der Leistungszahlen (im Verhältnis 30 : 70).



6.5 Zur Temperaturverteilung

Die Jahresarbeitszahl hängt von der zeitlichen Verteilung der Umgebungstemperaturen ab. Diese Abhängigkeit kann beispielsweise in Form einer Summenhäufigkeit vorliegen. Aus der Sicht des Statistikers wäre es von Vorteil, wenn die Jahresarbeitszahl von den Heizgradtagen abhängen würde. Leider kann von vornherein nicht angenommen werden, dass dieser Zusammenhang eindeutig ist. Vielmehr ist es durchaus denkbar, dass beispielsweise die Heizgradtage zunehmen, aber die für die Jahresarbeitszahl massgebliche mittlere Umgebungstemperatur konstant bleibt.

Fig. 5: Abhängigkeit der Heizgradtage von der Höhenlage (Heizgradtage mit einer Raumtemperatur von 20 °C berechnet).



Im Falle der höhenbedingten Unterschiede der Heizgradtage (vgl. Figur 4) kann jedoch gezeigt werden, dass zwischen den Heizgradtagen und der zeitlichen Temperaturverteilung ein enger Zusammenhang besteht. Bekanntlich sinken die Umgebungstemperaturen pro eintausend Meter Höhenunterschied um etwa 6 bis 7 Kelvin. Dies bedeutet, dass die Temperaturverteilungen verschiedener Höhenlagen sich in der Summenhäufigkeit einfach durch eine Parallelverschiebung erzeugen lassen! Die *Form* der Summenhäufigkeitskurve bleibt dadurch unangetastet. Wenn dem so ist, dann besteht ein *eindeutiger* Zusammenhang zwi-

schen der Temperaturverteilung und den Heizgradtagen und somit auch zwischen den Heizgradtagen und der Arbeitszahl β .

Unter diesen Voraussetzungen würde sich (5) wie folgt schreiben:

$$\beta = \frac{\int_{T_{u1}}^{T_{u2}} (T_R - T_u) * f_{Ref}^{\odot}(T_u + \Delta T_u) * dT_u}{\int_{T_{u1}}^{T_{u2}} \frac{T_R - T_u}{\varepsilon(T_u)} * f_{Ref}^{\odot}(T_u + \Delta T_u) * dT_u} \quad (16)$$

ΔT_u ist die von der Höhendifferenz zum Referenzstandort abhängige Temperaturverschiebung. Für sie gilt:

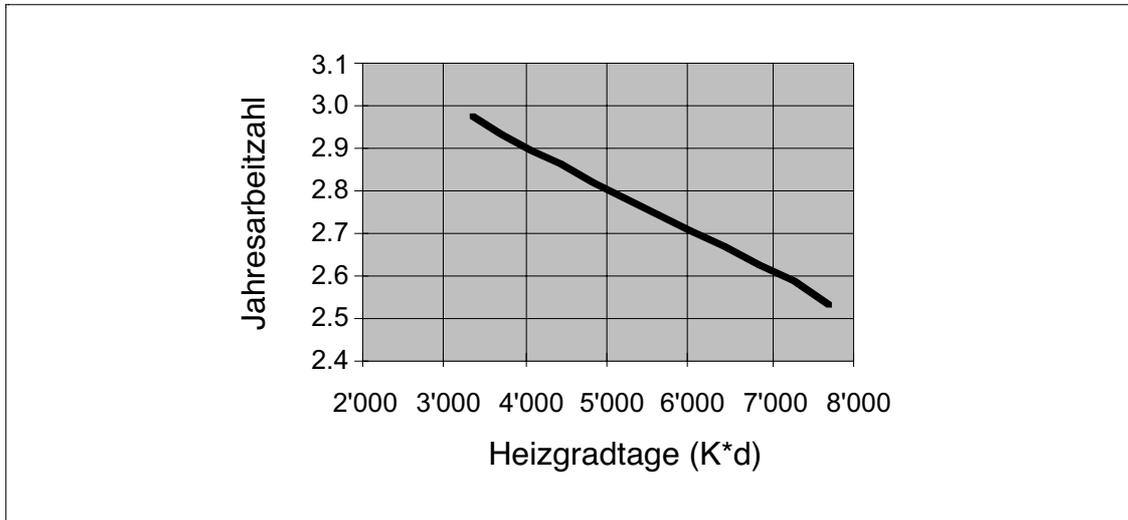
$$\Delta T_u = (6...7) * (h_{eff} - h_{Ref}) \quad h_{Ref} = \text{Höhe des Referenzstandortes} \quad (17)$$

Wir nehmen den Standort Bad Ragaz (450 m über Meer) und das Jahr 1981 als Referenz für die Temperaturverteilung (dies könnte mit jedem anderen Ort oder Jahr auch geschehen) und werten die Gleichung (16) für verschiedene Höhenlagen aus. Für die obere Integrationsgrenze setzen wir 12 °C. Wegen der Fremdwärme liegt die effektive Wärmeabgabe der Heizung unter dem Bedarf des Objektes. Dies hat zur Folge, dass der effektive Heizwärmebedarf einer Raumtemperatur von 15 °C entspricht.

$$\beta = \frac{\int_{T_{u1}}^{12} (15 - T_u) * f_{Ref}^{\odot}(T_u + \Delta T_u) * dT_u}{\int_{T_{u1}}^{12} \frac{15 - T_u}{\varepsilon(T_u)} * f_{Ref}^{\odot}(T_u + \Delta T_u) * dT_u} \quad (18)$$

Die Auswertung der Ausdrücke (18) hat nun den in der Figur 6 wiedergegebenen Zusammenhang zwischen der Jahresarbeitszahl und den durch den Höhenunterschied bedingten unterschiedlichen Heizgradtagen ergeben.

Fig. 6: Zusammenhang zwischen der Jahresarbeitszahl und den durch Höhenunterschied bedingten unterschiedlichen Heizgradtagen. Die Heizgradtage werden mit 20 °C Raumtemperatur berechnet.



Der Einfluss der Heizgradtage in Figur 6 äussert sich im Gradienten von β . Dieser beträgt für den oben erwähnten Split von Luft-Wasser-Wärmepumpen zu Sole-Wasser-Wärmepumpen:

$$\frac{d\beta}{dHGT} = -0.000101 \quad (19)$$

Mit anderen Worten: Die Arbeitszahl sinkt absolut um 0.101 oder rund 3.7 % pro 1'000 Heizgradtage. Dieses Resultat lässt sich wie folgt plausibilisieren: Erfahrungsgemäss sinkt die Leistungszahl einer Wärmepumpe pro Grad Quelltemperaturabsenkung um etwa 2.5 % der aktuellen Leistungszahl und etwa 1.5 % pro Grad Vorlaufanhebung. Da der Vorlauf etwa 0.3 K pro Grad Quelltemperaturabsenkung steigt (vgl. Gleichung 9), ergibt sich zusammen pro Grad Quelltemperaturabsenkung etwa 3 % Verschlechterung der Leistungszahl. Die mittlere Quelltemperatur nimmt pro 1'000 Heizgradtage etwa 1.24 K ab. Zusammen ergibt sich auf diesem Weg eine Abnahme der JAZ um 0.000102 pro Heizgradtag, was gut dem Wert von Gleichung (19) entspricht.

Nun interessieren allerdings weniger die höhenbedingt unterschiedlichen Heizgradtage und deren Einfluss auf β als vielmehr der Einfluss des von Jahr zu Jahr etwas unterschiedlichen Klimas auf β am gleichen Standort. Es stellt sich die Frage, ob der höhenbedingte Zusammenhang zwischen β und den Heizgradtagen auch für Temperaturverteilungen gilt, die von Jahr zu Jahr etwas schwan-

ken. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Parallelverschiebung der Summenhäufigkeit infolge unterschiedlicher Höhen nur innerhalb des gleichen Jahres zulässig ist, da in diesem Fall bei den lokal doch eng beieinander liegenden Verhältnissen der Schweiz kaum grundsätzlich andere Klimatypologien herrschen.

Beim gefragten Zusammenhang ist der systematische Hintergrund, der dem Einfluss des Höhenunterschiedes auf β innewohnt, nicht gegeben. Wir können hier nur eine Plausibilitätsüberlegung anstellen. Wir gehen davon aus, dass sich ein kalter Winter auch auf die Verteilung der Temperaturen in dem Sinne auswirkt, dass die Verteilungskurve zu tieferen Temperaturen hin verschoben wird. In diesem Sinne würde sich auch die Jahresarbeitszahl durch die im Mittel tieferen Umgebungstemperaturen analog wie beim Höhenunterschied verändern. Mangels exakterer Unterlagen bleibt uns nichts anderes übrig, als vorläufig den in Figur 6 gezeigten Verlauf auch für unterschiedliche Jahresklimas an ein und demselben Standort anzunehmen.

Alternativ wäre es allerdings einfach, die aktuellen Temperaturverteilungen eines Jahres in das bestehende EXCEL-Programm einzugeben und durchzurechnen. Ein Fachmann benötigt hierzu etwa einen Tag.

6.6 Überlegungen zu den Heizgradtagen

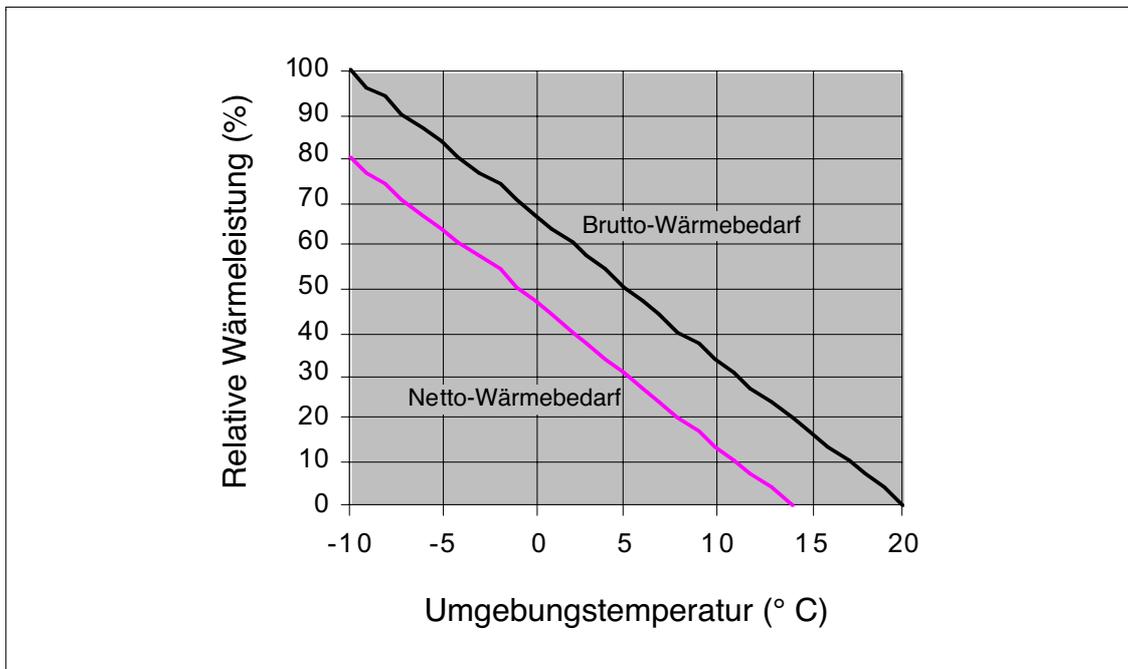
Die Heizgradtage wurden oben nach der üblichen Definition gerechnet, d.h. ihre Aufsummierung wird bei einer mittleren Tagestemperatur von 12 °C abgebrochen. Als Raumtemperatur wurde 20 °C verwendet.

Diese Definition wirft im Zusammenhang mit Wärmepumpen gewisse Fragen grundsätzlicher Natur auf. Die Jahresarbeitszahl entsteht dadurch, dass die Leistungszahlen mit der jeweiligen Wärmeleistungsabgabe der Wärmepumpe gewichtet werden. Die Wärmeleistungsabgabe der Wärmepumpe richtet sich nach dem Wärmeleistungsbedarf eines Gebäudes bei einer gewissen Umgebungstemperatur. Wegen der Fremdwärme erreicht die vom Heizwärmelieferant abzugebende Wärmeleistung ihren Nullwert bei tieferen Umgebungstemperaturen als bei Raumtemperatur. Bei älteren Gebäuden liegt dieser Wert bei etwa 16 °C, bei neueren, gut isolierten Gebäuden aber bei etwa 12 °C und bei Objekten, die nach dem Minergiestandard isoliert sind, dürfte der Wert bei etwa 5 °C liegen.

Die untere Kurve gilt für die Wärmeabgabeleistung des Wärmeerzeugers. Für die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ist nun die untere Kurve massgebend. Sie führt zu einer stärkeren Betonung der niedrigen Leistungszahlen, womit auch die Jahresarbeitszahl geringer ausfällt als nach der oberen Kurve. Leider existieren bislang keine statistisch gesicherten Erhebungen über die Starttemperatur

der unteren Kurve in Figur 7. Im Beispiel wurde eine Starttemperatur von 15 °C angenommen (siehe unten).

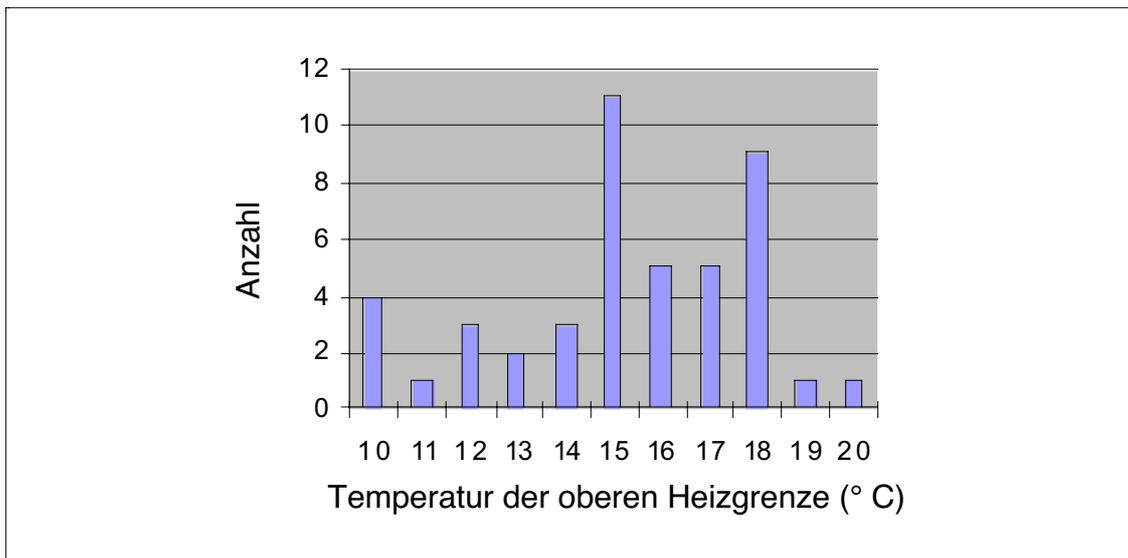
Fig. 7: Wärmebedarfsverlauf eines Gebäudes



Man kann diese Starttemperatur für die von FAWA betreuten Messungen aus der Auslastungsgradlinie der gemessenen Wärmepumpen entnehmen, wobei natürlich diese Werte nur für diese Gruppe von Wärmepumpen gelten. Eine erste Auswertung an 46 gemessenen Wärmepumpenanlagen ergab die in Figur 8 dargestellte Verteilung der oberen Heizgrenzen.

Der Mittelwert liegt zufälligerweise bei exakt 15.0 °C. Für die vorliegende Untersuchung haben wir diesen Wert für die Berechnung von β sowie das Klima von Bad Ragaz im Jahre 1981 zugrunde gelegt.

Fig. 8: Verteilung der oberen Heizgrenzen gemäss FAWA-Messungen



6.7 Annahmen für das Rechenmodell

Die oben gefundene Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl vom Klima wurde anhand von kleinen Wärmepumpen abgeleitet. Wir übernehmen die Resultate von Prof. Ehrbar, berücksichtigen aber den etwas anderen gesamtschweizerischen Split von Luft-Wasser-Wärmepumpen zu Sole-Wasser-Wärmepumpen. Anstelle des Verhältnisses von 70 zu 30 % wird ein solches von 56 zu 44 % angenommen (vgl. Abschnitt 5.1) und die oben dargestellten Ableitungen mit diesen Annahmen durchgerechnet⁸. Damit erniedrigt sich der Gradient der Arbeitszahl um absolut rund 8 %. Da für grössere Wärmepumpen keine analogen Untersuchungen vorliegen, behelfen wir uns bei diesen mit Plausibilitätsannahmen.

Raumwärme

Für alle Wärmepumpen-Kategorien wird angenommen, dass die Arbeitszahl pro 1000 Heizgradtage einheitlich um 3.4 % zurückgeht. Wir berücksichtigen also nicht, dass in den verschiedenen Wärmepumpenkategorien die Splits bezüglich Luft-Wasser- und Sole-Wasser-Wärmepumpen nicht einheitlich sind. Dies ist angesichts des geringen quantitativen Ausmasses der Klimaabhängigkeit der Jahresarbeitszahl sicher gerechtfertigt.

⁸ Das ganze "System" liegt bei Basics als Spreadsheet vor und könnte auch andere Splits "verkräften".

Wärmerückgewinnung

Hier gehen wir davon aus, dass die Jahresarbeitszahl nicht vom Klima abhängt, indem die Wärmerückgewinnung von einem sowohl durch die Wärmequelle als auch durch die Wärmenachfrage gegebenen (anderen) Temperaturniveau abhängt und nicht von äusseren Einflüssen.

Warmwasser

Wie bei der Wärmerückgewinnung wird angenommen, dass die JAZ nicht vom Klima abhängt.

Einzelraum-Wärmepumpe

Angesichts fehlender Grundlagen treffen wir hier die Annahme, dass die JAZ vom Klima abhängt wie die übrigen Heizungswärmepumpen.

Schliesslich noch eine Bemerkung zur Klimaabhängigkeit der Raumwärmenachfrage: Hier gehen wir nach einem Vorschlag von E.A. Müller vereinfachend davon aus, dass diese zu 70 % durchschlägt. Mit anderen Worten: In den Resultattabellen für die produzierte Wärme wird eine klimabedingte Mehr- oder Minderproduktion über den Faktor α berücksichtigt:

$$\alpha = \frac{\Delta(HGT)}{3588} * 0.7 \tag{20}$$

6.8. Verbesserungsmöglichkeiten

Die Klimaabhängigkeit der Jahresarbeitszahl ist nach den oben referierten Resultaten gering. Insofern spielt sie aus statistischer Sicht eine vernachlässigbare Rolle gegenüber andern Effekten. Da man aber über die Klimaabhängigkeit der Jahresarbeitszahl an sich sehr wenig weiss, schlagen wir dennoch vor – unabhängig vom vorliegenden Kontext – hier mit vertiefenden Untersuchungen nachzuhaken, z.B. im Kontext der FAWA. Interessant wäre auch die Frage, ob es relevante Unterschiede zwischen verschiedenen Wärmepumpentypen und -grössenklassen gibt.

7. Norm-Laufzeiten

Das Rechenschema für die Wärmepumpenstatistik ist so aufgebaut, dass die durchschnittliche Laufzeit bei "thermischer Nennleistung" einer Wärmepumpe über ein Jahr hinweg als Input benötigt wird. Diese Laufzeiten nennen wir Norm-Laufzeiten, um anzudeuten, dass diese Laufzeiten zwar einen empirischen Hintergrund haben, aber doch auch den Charakter einer Rechnungsabmachung tragen.

7.1 Erkenntnisse aus den FAWA-Daten

Aus den uns zur Verfügung stehenden FAWA-Daten haben wir versucht, eine plausible Grössenordnung für diese Laufzeiten abzuleiten (vgl. Figuren 1a und 1b). Daraus ergibt sich, dass für den Typen-Split gemäss Tabelle 6 in Abschnitt 5.1 eine Normlaufzeit von 1'594 Stunden resultiert. Dieser Wert ist rund 14 % grösser als der Wert, den wir vor Jahresfrist aus dem FAWA-Datenset ermittelt haben (1'400 Stunden). Nach wie vor ist die statistische Genauigkeit aber nicht überwältigend. Diese grössere Zahl für die Normlaufzeit passt damit besser zu den Resultaten der VSE-Erhebung (und auch zur Meinung einiger Experten, die 1400 Stunden als eher gering einstufen).

Fig. 1a: Durchschnittliche Laufzeiten der Wärmepumpen gemessen an der thermischen Nennleistung für Luft-Wasser-Wärmepumpen, alle Jahrgänge (FAWA-Daten; Auswertung Basics)

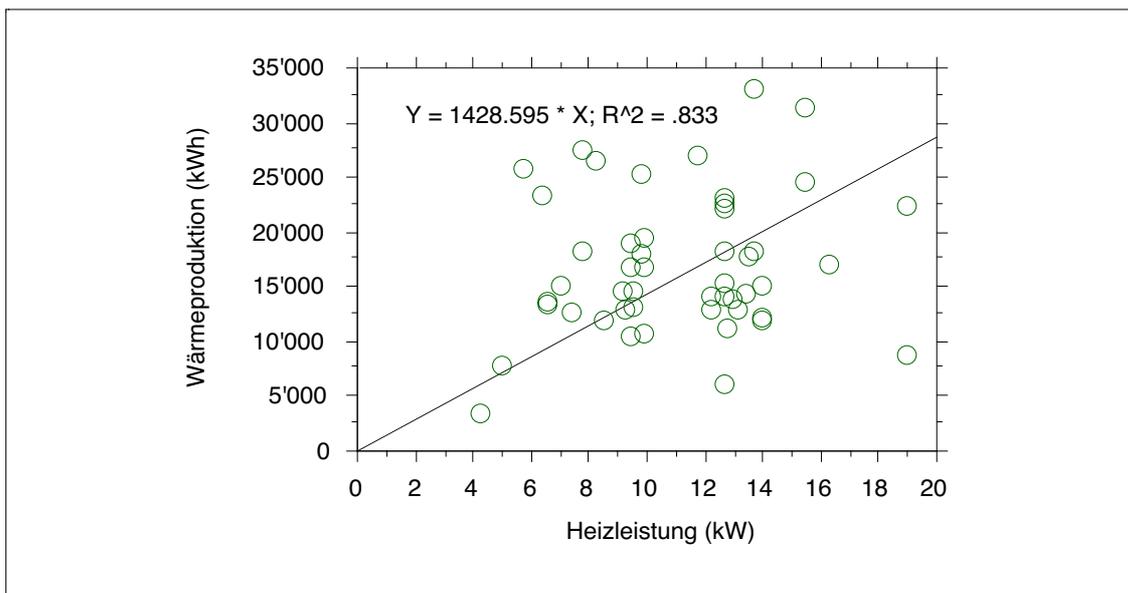
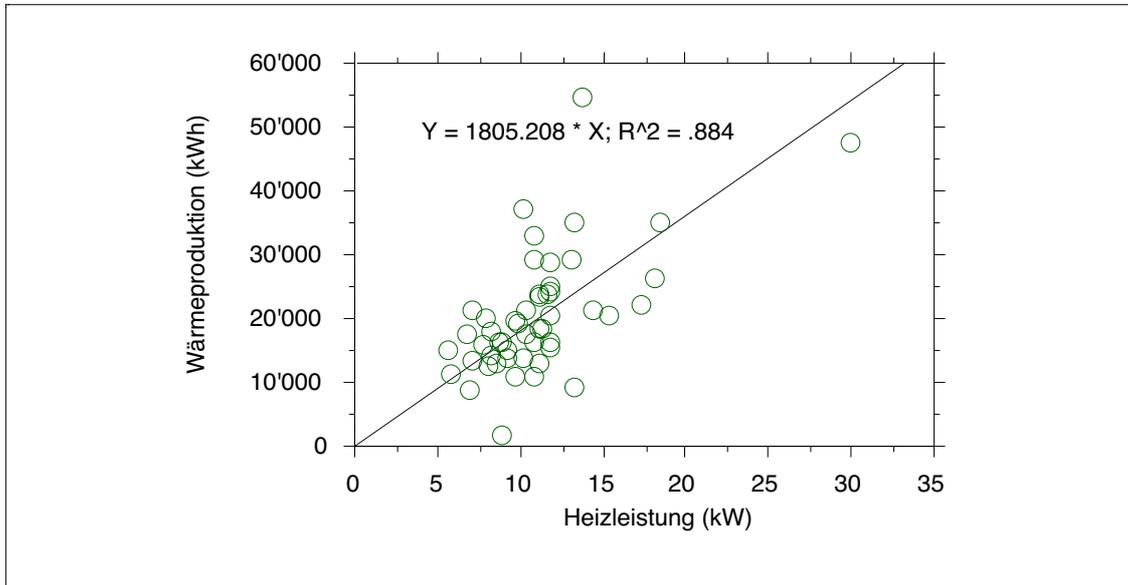


Fig. 1b: Durchschnittliche Laufzeiten der Wärmepumpen gemessen an der thermischen Nennleistung für Sole-(Wasser)-Wasser-Wärmepumpen, alle Jahrgänge (FAWA-Daten; Auswertung Basics)



7.2 Annahmen für das Rechenmodell

Einigermassen fundierte empirische Erkenntnisse stehen nur für die kleineren Wärmepumpen (etwa im Bereich von 5 bis 20 kW thermischer Leistung) zur Verfügung. Für die grösseren Wärmepumpen, aber auch für die übrigen Kategorien sind wir auf plausible Schätzungen angewiesen.

Im einzelnen treffen wir für die Normlaufzeiten die folgenden Annahmen:

Raumwärme

Für alle Wärmepumpenkategorien gilt aufgrund der FAWA-Auswertungen eine einheitliche Laufzeit von 1'594 Stunden je Jahr. Einzige Ausnahme stellen die ganz grossen Wärmepumpen mit Leistungen über 300 kW dar, für welche 2'000 Stunden angesetzt werden.

Wärmerückgewinnung

Aufgrund von Expertengesprächen setzen wir hier eine durchschnittliche Laufzeit von 3'000 Stunden an. Diese Zahl könnte allerdings etwas zu hoch liegen, indem unsere Umfrage zu Grosswärmepumpen (s. Abschnitt 12) eher auf einen

kleineren Wert hinweist – allerdings in einem statistisch überhaupt nicht signifikanten Ausmass (zu geringe Anzahl von Wärmepumpen). Immerhin streuen die aus dieser Umfrage abzuleitenden Laufzeiten im Bereich von rund 500 bis knapp 6'000 Stunden.

Warmwasser

Nach Angaben eines grösseren schweizerischen Herstellers und Kommentaren aus der Begleitgruppe wird von einer Norm-Laufzeit von 2'000 Stunden für beide Boiler-Kategorien ausgegangen.

Einzelraum-Wärmepumpen

Nach Angaben aus der Begleitgruppe setzen wir hier eine Norm-Laufzeit von 1'800 Stunden an.

7.3 Verbesserungsmöglichkeiten

Wir sind der Meinung, dass im Bereich der Laufzeiten vertiefende Untersuchungen unbedingt notwendig sind. Diese "schlagen" sowohl beim Elektrizitätsverbrauch wie auch bei der Wärmeproduktion voll durch und unterscheiden sich – wie die oben getroffenen Annahmen zeigen – von Kategorie zu Kategorie recht stark.

8. Leistungsziffern

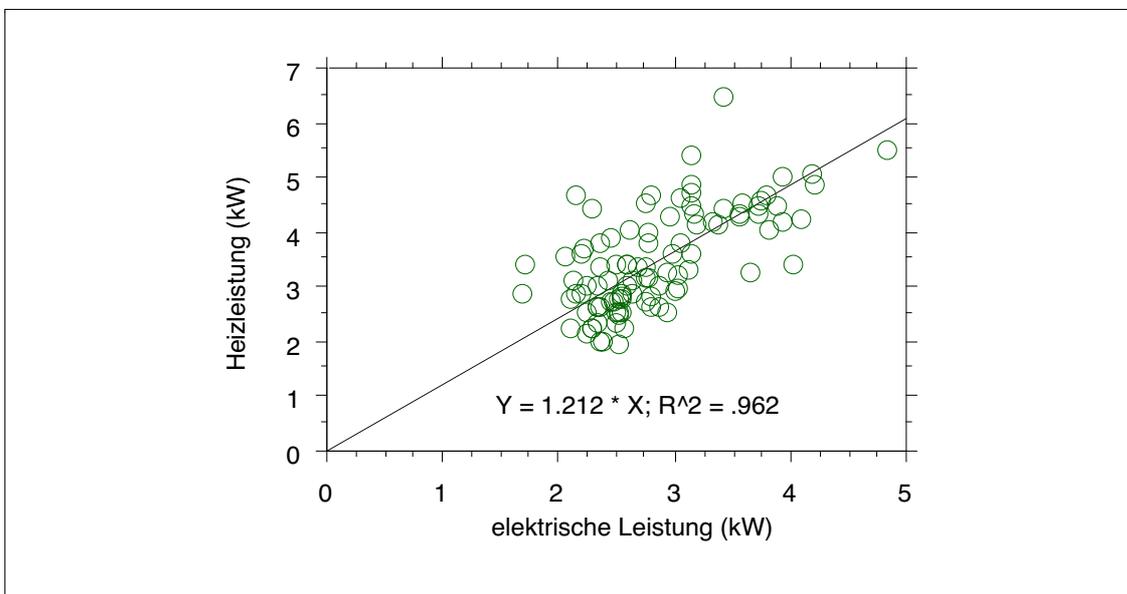
Im Rechenmodell dienen Leistungsziffern dazu, aus den thermischen Leistungen (gemäss Absatzerhebung, siehe Abschnitt 10) auf die elektrischen Anschlussleistungen rückschliessen zu können.

8.1 Erkenntnisse aus den FAWA-Daten

Für die Umrechnung von thermischen Leistungen in elektrische Leistungen (Leistungsziffer) verwenden wir wiederum die FAWA-Daten. Wir gehen dabei vereinfachend davon aus, dass ein "universeller" Zusammenhang bestehen sollte zwischen der Jahresarbeitszahl und der Leistungsziffer – unabhängig vom Wärmepumpentyp und dem Jahrgang. Die Figur 1 zeigt den ökonomisch be-

stimmten Zusammenhang zwischen Leistungsziffer und Jahresarbeitszahl. Es handelt sich hier also nicht um einen Durchschnittswert aller Wärmepumpen, sondern um den "besten Fit" für alle Wärmepumpen zusammengenommen. Es ergibt sich ein Wert von 1.212. Der zugehörige mittlere Fehler ist bei 99 Messpunkten sehr klein; er beträgt nur 0.024. Entgegen der früheren Auswertung ist damit der Quotient zwischen Leistungsziffer und Jahresarbeitszahl um rund 10 Prozentpunkte grösser. Diese Korrektur vergrössert den Unterschied zu den Resultaten der VSE-Erhebung bei den elektrischen Anschlussleistungen.

Fig. 1: Leistungsziffer (FAWA-Daten, Auswertung: Basics)



8.2 Annahmen für das Rechenmodell

Wie erwähnt werden die Leistungsziffern ausgehend von den Jahresarbeitszahlen durch Multiplikation mit einem Proportionalitätsfaktor bestimmt. Dieser Proportionalitätsfaktor wird für alle Wärmepumpenkategorien einheitlich zu 1.21 angenommen.

8.3 Verbesserungsmöglichkeiten

Zwar sind die für die Leistungsziffern getroffenen Annahmen relativ krud; da sie aber nur die installierte elektrische Leistung betreffen, sind die damit verbunde-

nen Fehler nicht so wichtig. Wir empfehlen deshalb, auf eigenständige Untersuchungen in diesem Bereich zu verzichten; allenfalls in Kombination mit der Untersuchung von andern Fragen wäre eine Vertiefung sinnvoll.

9. Frühe Wärmepumpen

Wärmepumpen weisen üblicherweise eine Lebensdauer von 10 bis 20 Jahren, in einzelnen Fällen bis 30 Jahre auf. Da die Absatzdaten von AWP und FWS nur bis ins Jahr 1979 zurückreichen, ergibt sich das Problem, dass im Jahre 1990 (ein für Energie 2000 wichtiges Vergleichsjahr) immer noch eine ganze Reihe von Wärmepumpen aus den 70er Jahren in Betrieb gewesen sein dürften. Es stellt sich also die Frage, welche Annahmen über diese "frühen" Wärmepumpen zu treffen sind.

9.1 Erkenntnisse aus einer Befragung von Wärmepumpenbesitzern

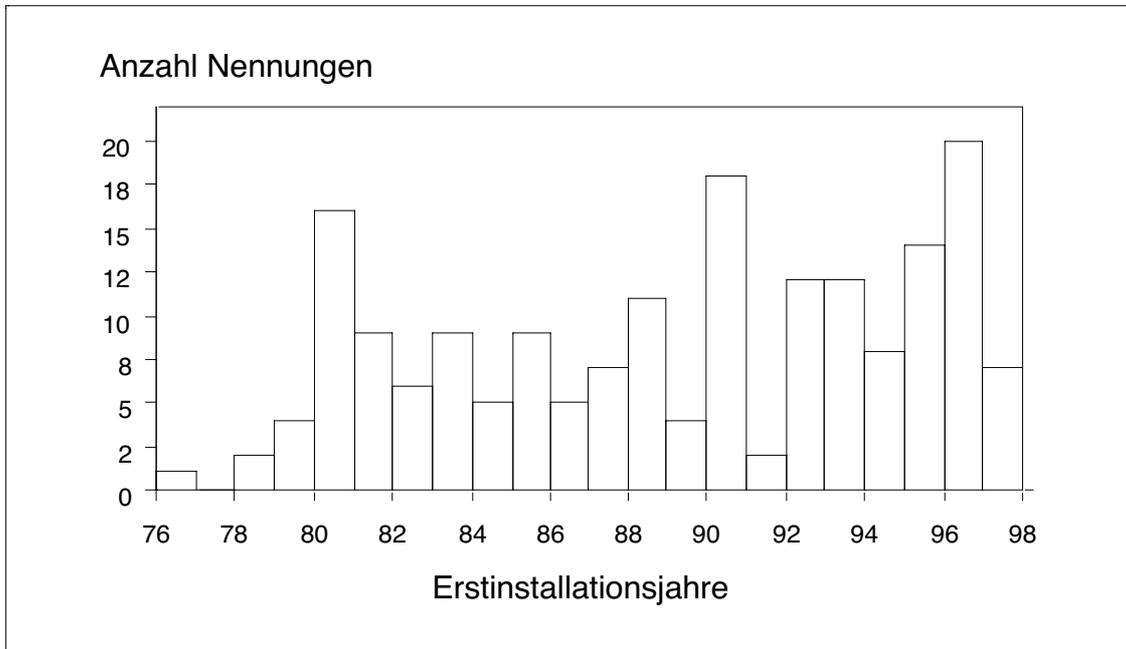
Figur 1 (Seite 47) zeigt die Verteilung der Wärmepumpen-Installationsjahre nach Aussage von Wärmepumpen-Besitzern aus dem Versorgungsgebiet des EKZ (n=183). Die älteste Wärmepumpe wurde 1976 installiert. Man muss also durchaus davon ausgehen, dass es schon in den 70er Jahren Wärmepumpen gegeben hat. Dies deckt sich insofern mit den Absatzerhebungen der AWP, als die für das Jahr 1979 ermittelte Zahl sich gemäss AWP als Summe der im Jahr 1979 dazugekommenen Wärmepumpen plus alle früher schon verkauften Wärmepumpen versteht. Gemäss AWP darf hier ein Split von 50 zu 50 angenommen werden.

9.2 Annahmen für das Rechenmodell

Wir treffen die Annahme, dass die Zahl der vor 1979 installierten Wärmepumpen exponentiell zugenommen hat, und zwar so, dass sich der Absatz jedes Jahr bis 1979 verdoppelt habe. Angesichts der damaligen (energie)wirtschaftlichen Entwicklung in der Schweiz scheint dies durchaus vertretbar. Nach dieser Annahme heisst das etwa, dass im Jahre 1975 110 Wärmepumpen installiert wurden, zwei Jahre später aber bereits deren 442.

Bezüglich der Verteilung dieser Wärmepumpen auf die verschiedenen Kategorien übernehmen wir die für das Jahr 1979 geschätzte Struktur (vgl. Abschnitt 10).

Fig. 1: Verteilung der Erstinstallationsjahre von Wärmepumpen im EKZ-Gebiet (n =183; Umfrage und Auswertung: Basics)



9.3 Verbesserungsmöglichkeiten

Wie oben erläutert, müssen wir uns mit sehr groben Annahmen behelfen. Da die Frage der frühen Wärmepumpen heute keine Bedeutung mehr hat und es auch für das Jahr 1990 nur darauf ankommt, quantitativ nicht völlig falsch zu liegen, ist es nicht nötig, in diesem Bereich die Kenntnisse zu vertiefen.⁹ Zudem dürfte es gar nicht möglich sein, selbst mit grösserem Aufwand, diese Kenntnislücken zu schliessen.

10. Absatzdaten von AWP und FWS

Die Absatzdaten von AWP und FWS sind zentraler Input für das Rechenmodell. Da die Daten für die Jahre 1979 bis 1999 nicht in einheitlicher Form vorliegen, mussten hier einige Anpassungen und Korrekturen vorgenommen werden. Leitplanke ist hierbei, dass die Struktur der Daten für die Jahre 1996 bis 1998

⁹ Ein "zeitlicher" Fehler von 30 % bei den Annahmen für die Jahre vor 1979 schlägt für das Jahr 1990 im Gesamtergebnis schlimmstenfalls mit einigen wenigen Prozentpunkten durch.

auf die früheren Jahre übertragen wird, wobei darauf geachtet wurde, dass die neue Erhebungsstruktur damit kompatibel ist (vgl. u.a. Abschnitt 3).

Seit 1996 erhebt neben der AWP auch der FWS Absatzdaten. Für die Jahre 1985 bis 1995 liegen (mit den gleichen für das Rechenmodell relevanten Erhebungskategorien) nur die Erhebungen der AWP allein vor. Um in den Gesamtabsatzzahlen auch die Wärmepumpenverkäufe der Nicht-AWP-Mitglieder mitzunehmen, wurden die AWP-Totalzahlen rückwirkend um bestimmte Prozentsätze nach oben korrigiert: 1995 um 27 %, 1994 um 25 % und für die früheren Jahre einheitlich um 15 %. Dies sind die Absatzzahlen, wie sie die FWS für die Schweiz als Ganzes im Zeitablauf seit 1985 verwendet. Diese Erhöhung des Gesamtabsatzes wird proportional gleich auf alle Wärmepumpenkategorien übertragen.

Für die Zeit 1979 bis 1984 steht uns nicht mehr die gleiche Information zur Verfügung: Bekannt sind die jährlichen Gesamtabsatzzahlen gemäss AWP und die über diese Zeit aufsummierten Absatzzahlen nach Wärmepumpen-Kategorien. Unter Berücksichtigung der Motorwärmepumpen (gesamthaft 57 Anlagen in der Zeit von 1979 bis 1984) haben wir durch eine geeignete Proportionalisierung eine Absatzstruktur auf Jahresbasis ermittelt. Dabei wurde zusätzlich in Rechnung gestellt, dass die Absatzdaten für 1979 gemäss AWP nur zur Hälfte dem Jahr 1979 angerechnet werden dürfen (vgl. Abschnitt 9). Tabelle 1 zeigt das Gesamtergebnis dieser Rechnungen. Miteingetragen sind auch die passend zusammengefassten Resultate der neuen Erhebung.

Tab. 1: Absatzdaten nach Wärmepumpen-Kategorien

Jahr	WP < 20 kW	WP 20 – 50 kW	WP 50 – 100 kW	WP >100 kW	WRG <= 100 kW	WRG > 100 kW	Boiler <= 600 l	Boiler > 600 l	Einzel- raum
1979	1'350	212	68	98	32	7	194		
1980	2'531	398	128	183	60	14	364		
1981	1'739	273	88	126	41	10	250		
1982	1'374	216	69	99	32	8	197		
1983	1'372	216	69	99	32	8	197		
1984	1'766	278	89	128	42	10	254		
1985	2'645	222	38	46	14	8	385		
1986	2'497	360	64	37	53	8	206		
1987	2'827	359	75	31	63	17	399		
1988	3'120	325	51	33	55	32	401		
1989	2'910	290	53	28	31	22	378		
1990	2'712	377	71	36	9	15	384		
1991	2'139	404	60	30	99	26	304	7	
1992	1'922	473	61	29	107	8	298	5	

1993	2'140	419	62	35	116	12	273	7	
1994	3'344	541	96	39	97	19	399	11	
1995	3'546	431	58	29	89	6	423	9	20
1996	3'605	344	136	42	66	14	509	33	50
1997	4'501	378	74	18	111	11	392	29	132
1998	5'152	403	69	26	218	17	534	18	270
1999	5'581	339	50	35	145	10	160	29	339

11. Bestandserhebung des VSE

Schon bisher hat der VSE in mehr oder weniger regelmässigen Abständen eine Bestandserhebung der Elektrowärmepumpen bei den Mitgliedswerken durchgeführt und auf gesamtschweizerische Verhältnisse hochgerechnet. Eine solche Bestandserhebung stellt eine unabhängige und unverzichtbare Kontrolle-/Ergänzung der auf Absatzerhebungen basierenden Bestandsschätzung unseres Rechenmodells dar. Zudem erlaubt die Bestandserhebung des VSE, eine Aufteilung der Wärmepumpen nach Verbrauchssektoren vorzunehmen (Haushalt-/Wohnen, Landwirtschaft, Industrie und Dienstleistungen). Eine solche Aufteilung ist basierend auf der Absatzerhebung nicht möglich.

In Anlehnung an den bisherigen VSE-Fragebogen wurde aber ein neuer Fragebogen geschaffen, der möglichst optimal zur Absatzerhebung von AWP und FWS passen sollte. Tatsächlich ergeben sich hier verschiedene Probleme. Zwei seien kurz angetönt. Erstens wissen die Werke in der Regel nur über Wärmepumpen bei Niederspannungskunden Bescheid, wogegen die Absatzerhebung grundsätzlich alle Wärmepumpen betrifft. Zweitens kennen die Werke nur die elektrischen Leistungen, wogegen die Absatzerhebung nach thermischen Leistungen differenziert. Von daher ist es klar, dass die Bestandserhebung des VSE nicht einfach 1 : 1 den Resultaten des Rechenmodells gegenübergestellt werden darf, sondern für einen Vergleich bestimmte Korrekturen vorgenommen werden müssen (vgl. Abschnitt 13).

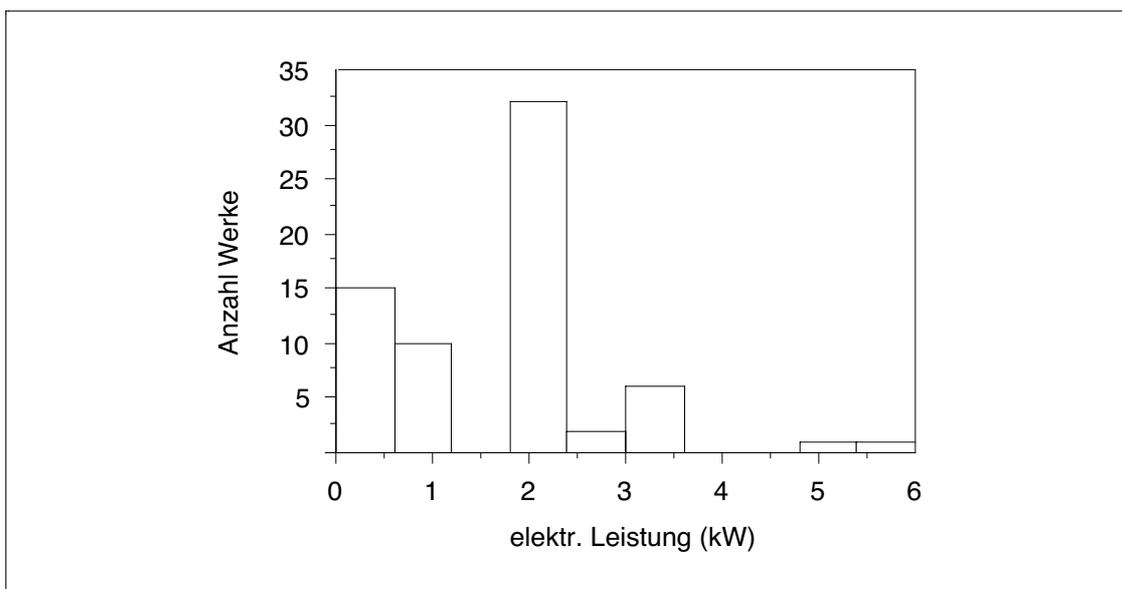
Gegenüber den bisherigen VSE-Erhebungen ergeben sich eine Reihe von Änderungen (vgl. Anhang 3). Zunächst wird nicht nur der Bestand (per 31. 12. 1998) erfragt, sondern zusätzlich noch die Bestandsänderungen im Verlaufe des Jahres 1998 – getrennt nach Zugängen und Abgängen. Erfahrungsgemäss sind Bestandsänderungen deutlich besser bekannt als die absoluten Bestände. Weiter wurde in den Fragen zum Bestand versucht, Informationen über die mögliche Qualität der Umfrageresultate zu erhalten. Hierzu wurde einerseits die Erhebungsgrenze der elektrischen Anschlussleistungen erfragt, andererseits sollten allfällige Verbrauchsschätzungen bezüglich ihrer Qualität charakterisiert werden.

Die Umfrage ist Anfang 1999 durchgeführt worden. 124 Werke haben geantwortet, was einer Rücklaufquote von knapp 30 % entspricht. Absatzmässig wird mit den antwortenden Werken bezogen auf den gesamtschweizerischen Verbrauch (ohne SBB) aber eine Rücklaufquote von rund 68 % erreicht.

Es ist hier nicht der Ort, eine detaillierte Auswertung der VSE-Erhebung wiederzugeben. Wir beschränken uns in diesem Abschnitt auf einige "auswertungstechnische" Angaben, die für das vorliegende Projekt von besonderer Bedeutung sind, sowie auf die Angabe einiger Bruttoresultate als Input für die Hochrechnung. In Abschnitt 13 zeigen wir die wichtigsten Resultate der Hochrechnung im Vergleich mit den Daten aus der Modellrechnung über Absatzdaten.

Zunächst geht es um die Frage der Erhebungsgrenzen. Figur 1 zeigt, dass die Erhebungsgrenze tatsächlich nicht einheitlich ist. 67 Werke haben für den Bereich Haushalt/Wohnen hierzu eindeutige Angaben gemacht. Man erkennt, dass rund die Hälfte eine Grenze bei 2 kW ziehen, was einer thermischen Leistung von 5 bis 6 kW entspricht. Mit andern Worten: Die üblichen thermischen Leistungsgrössen bei Wärmepumpen dürften so weitgehend abgedeckt sein, auch wenn sich im Bereich um 5 kW Heizleistung eine gewisse Erhebungslücke abzeichnet. Umgekehrt dürften die Heizleistungen generell überschätzt werden, in dem die bewilligten Leistungen wohl immer eine mehr oder weniger grosse "Reserve" beinhalten dürften.

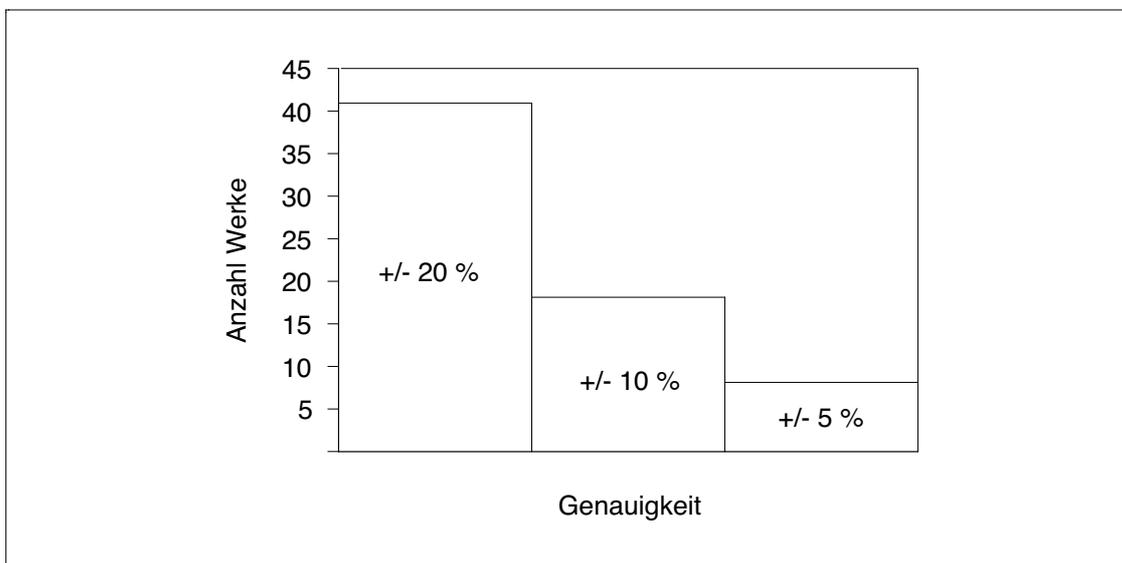
Fig. 1: Verteilung der Erhebungsgrenzen bei der elektrischen Anschlussleistung im Bereich Haushalt/Wohnen



Während eine zu hohe Erhebungsgrenze die Anzahl der Wärmepumpen¹⁰ unterschätzt, könnten zu viele "Karteileichen" umgekehrt die Zahl der Wärmepumpen überschätzen. Gemeint sind hier Wärmepumpen, von denen die Elektrizitätswerke "meinen", dass es sie gäbe, diese aber in Wirklichkeit nicht (mehr) vorhanden sind. Aufgrund unserer Umfrage bei Wärmepumpenbesitzern ist davon auszugehen, dass die Elektrizitätswerke bis zu 5 % solcher Fälle haben könnten. Tatsächlich ist die statistische Basis aber zu klein, um hier eine verlässliche Schätzung machen zu können. Die Größenordnung (einige Prozentpunkte) dürfte aber zutreffend sein.

Eine weitere wichtige Frage betrifft die Einschätzung der befragten Werke bezüglich der Qualität der Verbrauchsangaben. 67 Werke haben dazu im Bereich Haushalte/Wohnen Angaben gemacht.¹¹ Figur 2 zeigt die Resultate für den Bereich Haushalt/Wohnen. Man erkennt, dass die überwiegende Mehrheit der Werke die Genauigkeit der Verbrauchsangaben bei etwa $\pm 20\%$ veranschlagt. (In Klammern sei vermerkt, dass nur 5 Werke im Bereich Haushalt/Wohnen Angaben zum Verbrauch gemacht haben, ohne diese Angabe zu qualifizieren.)

Fig. 2: Qualität der Verbrauchsangaben im Bereich Haushalte/Wohnen (Auswertung: Basics)



¹⁰ Eigentlich kennen die Elektrizitätswerke nur Wärmepumpenanlagen und nicht einzelne Wärmepumpen (Aggregate). Aufgrund verschiedener Expertengespräche dürfte dieser Unterschied aber quantitativ nicht von grösserer Bedeutung sein. Zudem hat die von uns durchgeführte Umfrage bei Wärmepumpenbesitzern (im Sinne von Anlagenbesitzern!) nur zwei Fälle zutage gefördert, bei denen eine Anlage zwei oder mehr Aggregate umfassen würde (n = 183).

Figur 3 zeigt einige Brutto-Resultate aus der VSE-Befragung für den Bestand; Figur 4 für die Veränderung. Direkt erfasst wurden – mit Stichdatum 31. 12. 1998 – ziemlich genau 30'000 Wärmepumpenanlagen. Bei der Interpretation ist u.a. folgendes zu beachten: Da nicht alle Werke in der Lage waren, die Wärmepumpenanlagen nach Verbrauchssektoren zu differenzieren, sind die Angaben in der Totalkolonne grösser als die Summe der Angaben zu den einzelnen Verbrauchssektoren (ausser bei der Angabe zum Endverbrauch, wo es sich um Angaben aus der Elektrizitätsstatistik für das Jahr 1997 handelt).¹² Im übrigen ist ausdrücklich der Elektrizitätsverbrauch der SBB ausgeklammert worden.

Mit dem Einverständnis des VSE können die anonymisierten Daten der einzelnen Werke an Interessierte abgegeben werden.

Fig. 3: Bruttoresultate aus der VSE-Erhebung: Bestand Ende 1998

	Haushalt / Wohnen	Landwirt- schaft	Industrie	Dienstlei- stungen	Total
Anzahl Anlagen	26'156	122	399	553	30'031
Anschlussleistung (kW)	153'708	1'357	9'596	17'308	206'708
Elektrizitätsverbrauch (GWh)	147	1	12	21	187
Gesamte Abgabe (GWh)					30'513
Gesamte Abgabe jener Werke, die Angabe zum Elektrizitätsverbrauch von Wärmepumpen machen (GWh)					15'265
Endverbrauch 1997 (GWh)	14'859	954	16'229	12'674	44'716

Fig. 4: Bruttoresultate aus der VSE-Erhebung: Veränderungen 1998

	Haushalt / Wohnen	Landwirt- schaft	Industrie	Dienstlei- stungen	Total
Zugänge Anzahl Anlagen	2'400	10	11	59	2'605
Zugänge Anschlussleistung (kW)	9'909	54	203	2'144	13'068
Abgänge Anzahl Anlagen	176	0	2	8	181
Abgänge Anschlussleistung (kW)	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

¹¹ Zufälligerweise ergibt sich hier die gleiche Zahl antwortender Werke wie bei den Angaben zu einer allfälligen Erhebungsgrenze. Aus Signifikanzgründen betrachten wir hier nur Haushalte.

¹² Die Angabe zur Gesamtabgabe der antwortenden Werke bezieht sich ebenfalls (mit Ausnahmen) auf das Jahr 1997.

12. Gross-Wärmepumpen

Um sicherzustellen, dass in der Absatzerhebung von AWP und FWS bei den grossen Wärmepumpen keine Lücken klaffen, haben wir eine eigentliche Recherche durchgeführt. Ziel war es, möglichst viele grosse Wärmepumpen zu finden. Suchkriterien waren: mindestens 200 kW elektrische Leistung oder 500 kW thermische Leistung. Nach rund 200 Kontakten nach dem "Schneeballprinzip"¹³ mit einschlägigen Fachleuten haben wir so schliesslich 21 im Betrieb befindliche Wärmepumpen gefunden, wobei wir Anlagen zu Brüdenkompression und ähnliches aber ausdrücklich ausgeschlossen haben.

Gesamthaft weisen die aufgefundenen Wärmepumpen eine elektrische Leistung von 9.7 MW auf (der Durchschnitt liegt bei 462 kW); die thermische Gesamtleistung liegt bei 36.0 MW (bzw. einem Durchschnitt von 1'713 kW). Zum Vergleich: leistungs- wie auch energiemässig macht das grob gesprochen etwa ein achtel aller 1998 laufenden Wärmepumpen gemäss Absatzerhebung aus, deren thermische Leistung über 100 kW liegt. Maximal 9 der so gefundenen grossen Wärmepumpen dürften nicht in der Absatzerhebung enthalten sein, möglicherweise sind es aber gar nur 4.

Von 13 Wärmepumpen (entsprechend einer gesamten thermischen Leistung von 30.6 MW) haben wir Produktions- und Verbrauchsdaten erhalten. Der Elektrizitätsverbrauch betrug im letzten Jahr 20.0 GWh, die Wärmeproduktion 63.3 GWh.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde im Einverständnis mit dem Auftraggeber darauf verzichtet, die Daten jener Gross-Wärmepumpen mit in die Statistik aufzunehmen, von denen anzunehmen ist, dass sie nicht in der Absatzerhebung drin sind. Der damit verbundene Fehler scheint vertretbar. Zumal alle neuen grossen Wärmepumpen in der Absatzstatistik enthalten sind.

13. Resultate

Es ist hier nicht der Ort, eine detaillierte Übersicht über die erhaltenen Resultate zu vermitteln. Es sollen nur die wichtigsten Resultate referiert werden. Insbe-

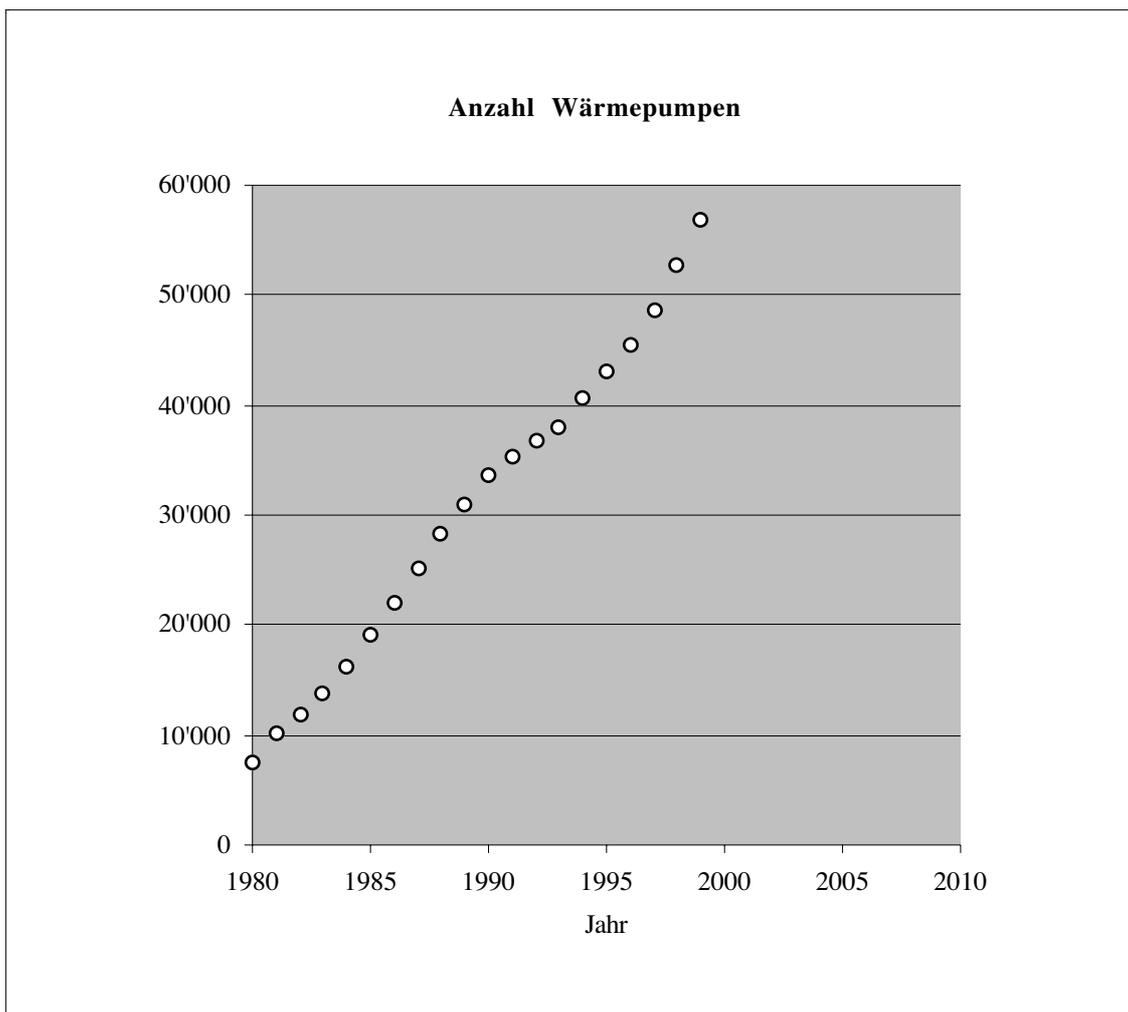
¹³ Jeder Gesprächspartner wird nach potentiellen weiteren Gesprächspartnern bzw. Wärmepumpen gefragt, bis man schliesslich immer wieder bei den gleichen schon bekannten Gesprächspartnern bzw. Wärmepumpen "landet".

sondere soll ein Vergleich der Kohortenrechnungen mit der Bestandserhebung des VSE durchgeführt werden.

Figur 1 zeigt die resultierende Anzahl aller installierter Wärmepumpen (inkl. Boiler und Einzelraum-Wärmepumpen) von 1980 - 1999, wie sie sich aus dem Rechenmodell mit Kohorten ergibt. Tabelle 2 zeigt einige Detail-Daten für den vor allem interessierenden Zeitraum 1990 - 1999. Gesamthaft sind es demnach rund 57'000 Wärmepumpen, welche zusammengenommen 1999 rund 1'650 GWh Wärme erzeugten.

Figur 3 zeigt die Entwicklung der installierten thermischen Leistung von 1980 bis 1999 und Figur 4 für den gleichen Zeitraum die mit diesen Wärmepumpen genutzte Umweltwärme.

Fig. 1: Anzahl installierter Wärmepumpen in der Schweiz (inkl. Boiler und Einzelraum-Wärmepumpen) 1980 bis 1999 (Quelle: Basics)



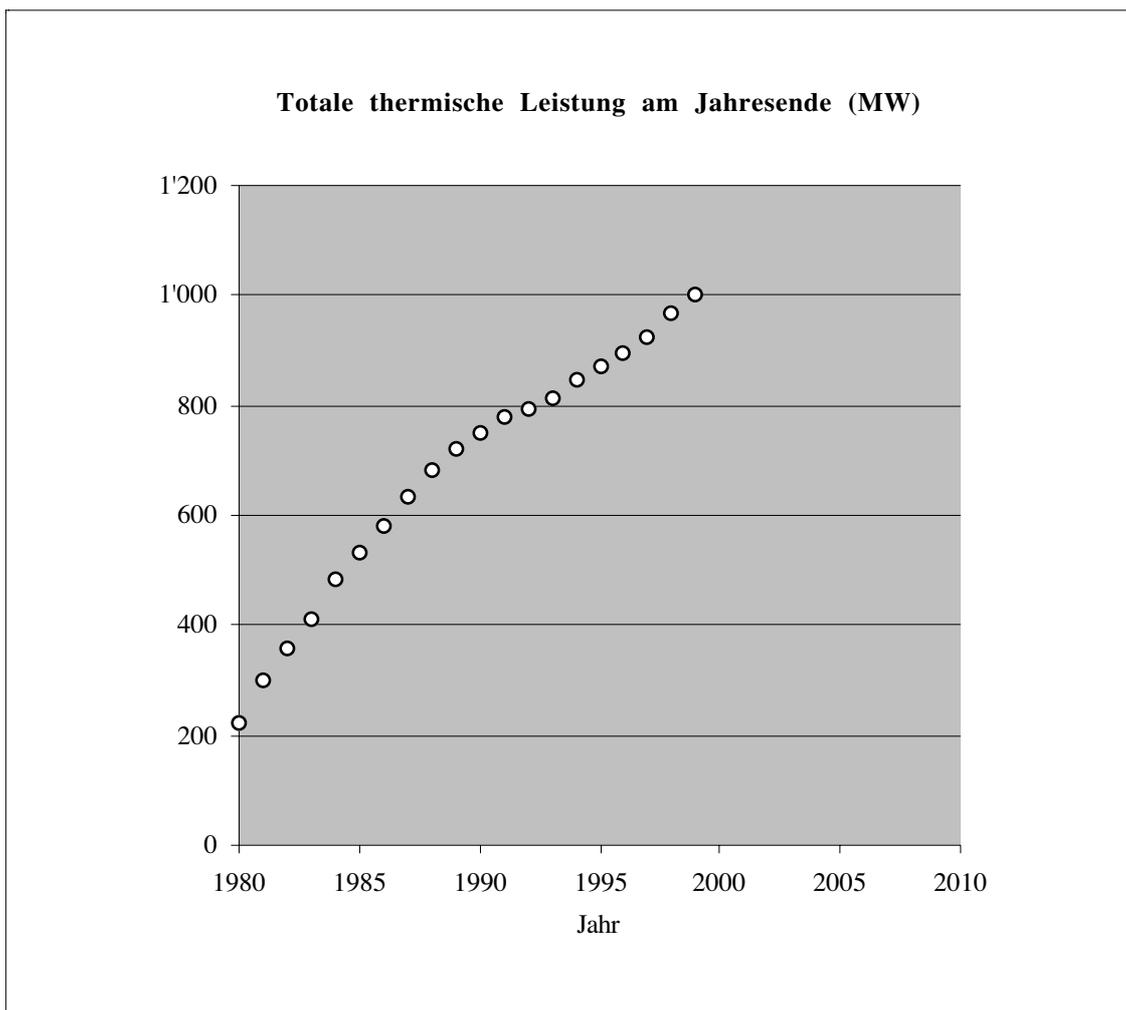
Die Tabellen 5 und 6 zeigen die Wärmepumpen-Daten, wie sie sich aus der VSE-Erhebung nach einer Hochrechnung ergeben. Um einen Vergleich mit den Kohortenrechnungen vornehmen zu können, werden bei diesen alle Boiler, Einzelraum-Wärmepumpen sowie alle Wärmepumpen mit einer Heizleistung über 100 kW in Abzug gebracht. Damit gehen wir davon aus, dass in der VSE-Bestandserhebung im wesentlichen gerade diese Wärmepumpen fehlen dürften: Die kleinen, weil diese offenbar von den Elektrizitätswerken nicht erfasst werden, die grossen, weil diese in der Regel nicht von Niederspannungsbezüglern betrieben werden (und also den Werken grundsätzlich auch nicht bekannt sind). Bei einem solchen Vergleich ergibt sich, dass den 44'716 Wärmepumpen gemäss VSE (ohne einen Abzug für allfällige "Karteileichen" und ohne eine Korrektur in die andere Richtung dafür, dass die Werke nicht einzelne Wärmepumpen sondern nur Wärmepumpenanlagen kennen) 45'869 Wärmepumpen gemäss Kohortenmodell gegenüberstehen (Daten für Ende 1998). Dies ist ein so kleiner Unterschied, dass - wie oben angedeutet - darauf verzichtet wurde, einen Abgleich vorzunehmen.

Tab. 2: Einige Details zu den installierten Wärmepumpen 1990 bis 1999. Die klimanormierten Angaben beziehen sich auf den langjährigen Durchschnitt der Heizgradtage. (Quelle: Basics)

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Anzahl Wärmepumpen (-)	33'549	35'291	36'661	37'980	40'577	43'045	45'527	48'712	52'842	56'866
el. Leistung total Jahresende (MW)	258	265	269	272	280	285	289	295	304	309
therm. Leistung total Jahresende (MW)	750	777	795	813	847	869	895	924	969	1'002
Elektrizitätsverbrauch (GWh)	473	551	529	539	509	562	619	567	599	604
Wärmeproduktion (GWh)	1'170	1'353	1'322	1'359	1'312	1'453	1'603	1'507	1'613	1'655
Erneuerbare Wärme (GWh)	697	801	793	820	803	890	983	940	1'014	1'051
Elektrizitätsverbrauch klimanormiert (GWh)	518	536	550	559	573	587	597	608	626	643
Wärmeproduktion klimanormiert (GWh)	1'265	1'320	1'367	1'405	1'456	1'509	1'553	1'602	1'675	1'749
Erneuerbare Wärme klimanormiert (GWh)	747	784	817	845	883	922	955	994	1'049	1'106

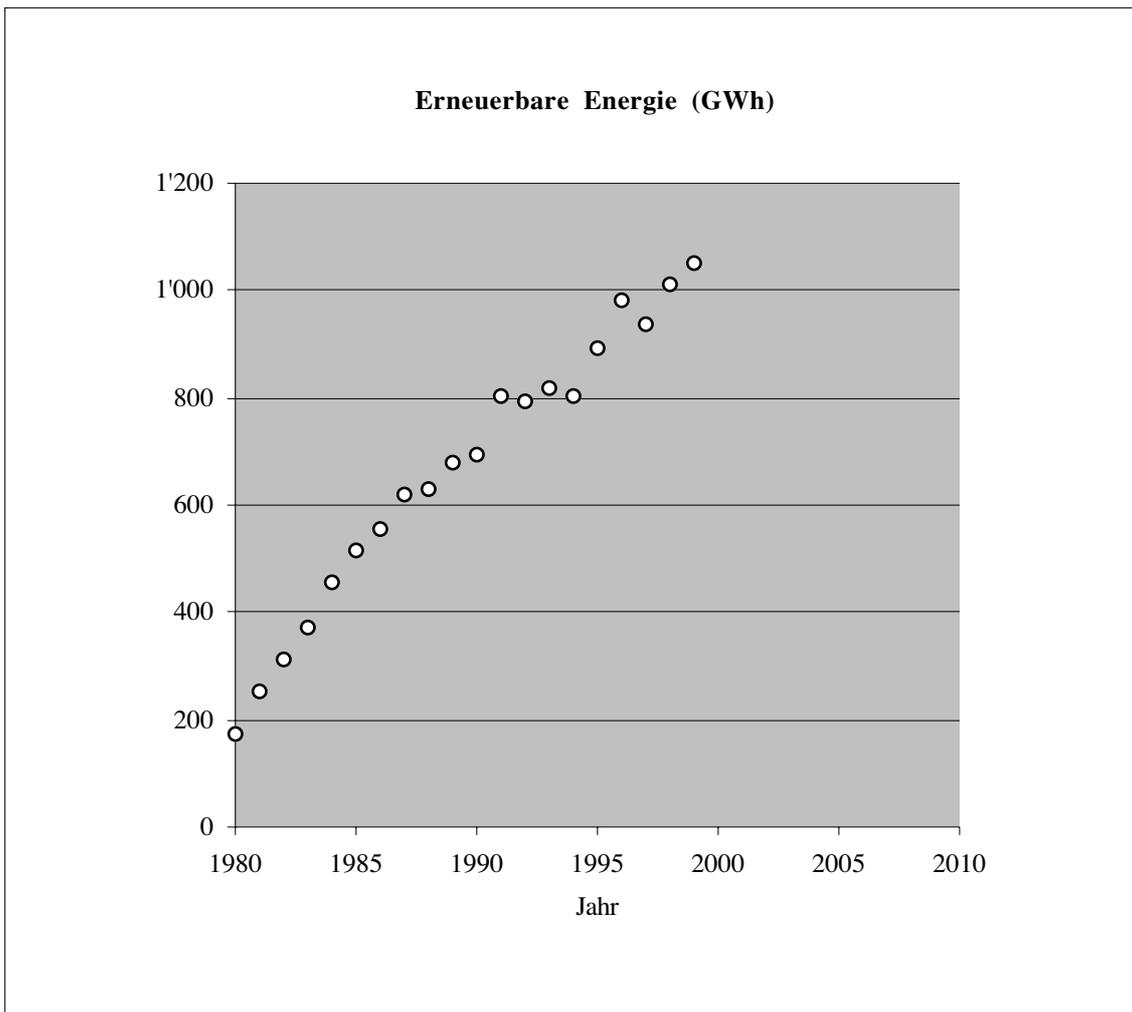
Grösser ist der Unterschied aber bei den elektrischen Anschlussleistungen. Hier stehen 221 MW gemäss Kohortenmodell 303 MW gemäss VSE-Erhebung gegenüber. Dieser Unterschied kann dahingehend interpretiert werden, dass den Werken wohl eher grössere Leistungen gemeldet werden als dann schliesslich eingebaut werden. Eine Überbuchung von 30 % scheint da eine durchaus plausible Grössenordnung. Geringer ist der Unterschied bei den Elektrizitätsverbrauchswerten (548 GWh aus der VSE-Bestandserhebung gegen 399 GWh effektiv und 416 GWh klimanormiert aus dem Kohortenmodell). Dieser Unterschied lässt sich etwa wie folgt erklären. Zunächst ist klar, dass die bereits erwähnte "Leistungsüberschätzung" der Werke mindestens z.T. "durchschlägt". Dann scheint es uns notwendig, den Vergleich klimanormiert vorzunehmen, da die einzelnen Werke ja nicht über Verbrauchsmessungen verfügen, sondern lediglich Schätzungen vornehmen (mit einer selbstdeklarierten Genauigkeit von grössenordnungsmässig +/- 20 %, siehe Abschnitt 11).

Fig. 3: Gesamte installierte thermische Leistung aller Wärmepumpen 1980 bis 1999 (Quelle: Basics)



Eine weitere Vergleichsmöglichkeit bieten die Bestandsveränderungen im Laufe des Jahres 1998. Aus dem Kohortenmodell ergibt sich ein Nettozuwachs von 3'428 Wärmepumpen, aus der Erhebung der Werke ein solcher von 3'552 Wärmepumpenanlagen. Da man heute davon ausgehen kann, dass praktisch alle neuen Anlagen nur aus einer einzigen Wärmepumpe bestehen, ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung. Leistungsmässig ist wiederum eine Überschätzung bei den Werken zu konstatieren, aber eine noch ausgeprägtere als für den gesamten Bestand: 17.8 MW gegen 10.5 MW. Die Vergrößerung der Diskrepanz hat damit zu tun, dass über das Kohortenmodell die wegfallenden, tendenziell grösseren Wärmepumpen in der Leistungsdifferenz miteingerechnet werden. Bei der VSE-Umfrage ist dies nicht der Fall, indem der Ersatz einer grösseren durch eine etwas kleinere Wärmepumpe nicht berücksichtigt wird.

Fig. 4: Gesamte mit Wärmepumpen genutzte erneuerbare Energie 1980 bis 1999 (Quelle: Basics)



Aus den Angaben der Werke lässt sich auch eine Schätzung über die Verteilung der Wärmepumpen nach den Verbrauchssektoren ableiten. Im Sinne einer groben Abschätzung kann man etwa von den in Tabelle 7 wiedergegebenen Anteilen ausgehen. Diese Werte beziehen sich ausdrücklich auf die den Elektrizitätswerken bekannten Wärmepumpen (d.h. im wesentlichen auf die Wärmepumpen der Niederspannungskunden ohne Boiler und Einzelraumwärmepumpen). Eine Übertragung des aus den VSE-Daten gefundenen Splits nach Nachfragesektoren auf die gesamte Wärmepumpen-Population ist zur Zeit nicht möglich.

Tab. 5: Resultate der Hochrechnung der VSE-Erhebung für den Bestand per 31. 12. 1998 (Quelle: Basics)

	Haushalt/ Wohnen	Landwirt- schaft	Industrie	Dienst- leistungen	Total
Anzahl Anlagen	38'946	182	594	823	44'716
Anschlussleistung (kW)	225'254	1'989	14'063	25'364	302'924
Elektrizitätsverbrauch (GWh)	429	3	36	61	548

Tab. 6: Resultate der Hochrechnung der VSE-Erhebung für die Veränderung 1. 1. 1998 bis 31. 12. 1998 (Quelle: Basics)

	Haushalt/ Wohnen	Landwirt- schaft	Industrie	Dienst- leistungen	Total
Netto-Zugänge Anzahl Anlagen	3'259	15	13	75	3'552
Netto-Zugänge Anschluss- leistung (kW)	13'456	79	243	2'715	17'820

Tab. 7: Aufteilung der Wärmeproduktion mit Wärmepumpen nach Verbrauchssektoren (nur Wärmepumpen der Niederspannungskunden)

Nachfragesektor	Anteil (%)
Haushalt/Wohnen	80.1 %
Industrie (inkl. industrielles Gewerbe)	7.2 %
Dienstleistungen (inkl. nicht industrielles Gewerbe, öffentliche Gebäude, Kirchen, Schulen und Landwirtschaft)	12.3 %
Landwirtschaft	0.4 %

Bibliografie

- Rognon F. (Hrsg. 1999): Wärmepumpen – heute und morgen, Bundesamt für Energie, Bern
- SVK (1981): Wärmepumpen, Schriftenreihe des Schweizerischen Vereins für Kältetechnik, Sonderheft der "Temperatur Technik", Küsnacht
- Enfог (1984): Mittlere Anlage-Leistungs-Zahl β bei Wärmepumpen-Anlagen, NEFF-Forschungsprojekt 122, Gossau und Thalwil
- EWI (1988 – 1992): Auswertung von alternativen Wärmeerzeugungsanlagen, Untersuchung im Auftrag der SBB, zwei Hauptberichte und zwei Anhangsbände, Zürich

Parameter-Annahmen:

Wärmepumpen für Heizung, thermische Leistung < 5 kW, alle Typen

Jahr	LZ (-)	therm. Leistung (kW)	JAZ (-)	Norm-Laufzeit (h)	DJAZ (-)
1970					
1971					
1972					
1973					
1974					
1975					
1976					
1977					
1978					
1979					
1980					
1981					
1982					
1983					
1984					
1985					
1986					
1987					
1988					
1989					
1990					
1991					
1992					
1993					
1994					
1995					
1996					
1997					
1998					
1999	3.6	4.0	2.9	1'594	-0.034
2000	3.7	4.0	3.0	1'594	-0.034
2001	3.8	4.0	3.1	1'594	-0.034
2002	3.9	4.0	3.2	1'594	-0.034
2003	4.0	4.0	3.3	1'594	-0.034
2004	4.1	4.0	3.4	1'594	-0.034
2005	4.3	4.0	3.5	1'594	-0.034
2006	4.4	4.0	3.6	1'594	-0.034
2007	4.5	4.0	3.7	1'594	-0.034
2008	4.6	4.0	3.8	1'594	-0.034
2009	4.7	4.0	3.9	1'594	-0.034
2010	4.8	4.0	4.0	1'594	-0.034

Parameter-Annahmen:

Wärmepumpen für Heizung, thermische Leistung 5 bis 10 kW, alle Typen

Jahr	LZ (-)	therm. Leistung (kW)	JAZ (-)	Norm-Laufzeit (h)	DJAZ (-)
1970					
1971					
1972					
1973					
1974					
1975					
1976					
1977					
1978					
1979					
1980					
1981					
1982					
1983					
1984					
1985					
1986					
1987					
1988					
1989					
1990					
1991					
1992					
1993					
1994					
1995					
1996					
1997					
1998					
1999	3.6	8.5	2.9	1'594	-0.034
2000	3.7	8.5	3.0	1'594	-0.034
2001	3.8	8.5	3.1	1'594	-0.034
2002	3.9	8.5	3.2	1'594	-0.034
2003	4.0	8.5	3.3	1'594	-0.034
2004	4.1	8.5	3.4	1'594	-0.034
2005	4.3	8.5	3.5	1'594	-0.034
2006	4.4	8.5	3.6	1'594	-0.034
2007	4.5	8.5	3.7	1'594	-0.034
2008	4.6	8.5	3.8	1'594	-0.034
2009	4.7	8.5	3.9	1'594	-0.034
2010	4.8	8.5	4.0	1'594	-0.034

Parameter-Annahmen:

Wärmepumpen für Heizung, thermische Leistung 10 bis 20 kW, alle Typen

Jahr	LZ (-)	therm. Leistung (kW)	JAZ (-)	Norm-Laufzeit (h)	DJAZ (-)
1970					
1971					
1972					
1973					
1974					
1975					
1976					
1977					
1978					
1979					
1980					
1981					
1982					
1983					
1984					
1985					
1986					
1987					
1988					
1989					
1990					
1991					
1992					
1993					
1994					
1995					
1996					
1997					
1998					
1999	3.6	14.0	2.9	1'594	-0.034
2000	3.7	14.0	3.0	1'594	-0.034
2001	3.8	14.0	3.1	1'594	-0.034
2002	3.9	14.0	3.2	1'594	-0.034
2003	4.0	14.0	3.3	1'594	-0.034
2004	4.1	14.0	3.4	1'594	-0.034
2005	4.3	14.0	3.5	1'594	-0.034
2006	4.4	14.0	3.6	1'594	-0.034
2007	4.5	14.0	3.7	1'594	-0.034
2008	4.6	14.0	3.8	1'594	-0.034
2009	4.7	14.0	3.9	1'594	-0.034
2010	4.8	14.0	4.0	1'594	-0.034

Parameter-Annahmen:

Wärmepumpen für Heizung, thermische Leistung < 20 kW, alle Typen

Jahr	LZ (-)	therm. Leistung (kW)	JAZ (-)	Norm-Laufzeit (h)	DJAZ (-)
1970	2.4	11.9	2.0	1'594	-0.034
1971	2.4	11.9	2.0	1'594	-0.034
1972	2.4	11.9	2.0	1'594	-0.034
1973	2.4	11.9	2.0	1'594	-0.034
1974	2.5	11.9	2.0	1'594	-0.034
1975	2.5	11.9	2.0	1'594	-0.034
1976	2.5	11.9	2.1	1'594	-0.034
1977	2.5	11.9	2.1	1'594	-0.034
1978	2.5	11.9	2.1	1'594	-0.034
1979	2.6	11.9	2.1	1'594	-0.034
1980	2.6	11.9	2.1	1'594	-0.034
1981	2.6	11.9	2.2	1'594	-0.034
1982	2.6	11.9	2.2	1'594	-0.034
1983	2.7	11.9	2.2	1'594	-0.034
1984	2.7	11.9	2.2	1'594	-0.034
1985	2.7	11.9	2.3	1'594	-0.034
1986	2.8	11.9	2.3	1'594	-0.034
1987	2.8	11.9	2.3	1'594	-0.034
1988	2.9	11.9	2.4	1'594	-0.034
1989	2.9	11.9	2.4	1'594	-0.034
1990	2.9	11.9	2.4	1'594	-0.034
1991	3.0	11.9	2.5	1'594	-0.034
1992	3.0	11.9	2.5	1'594	-0.034
1993	3.1	11.9	2.6	1'594	-0.034
1994	3.2	11.9	2.6	1'594	-0.034
1995	3.2	11.9	2.7	1'594	-0.034
1996	3.3	11.9	2.7	1'594	-0.034
1997	3.4	11.9	2.8	1'594	-0.034
1998	3.4	11.9	2.8	1'594	-0.034
1999	3.6	11.9	2.9	1'594	-0.034
2000	3.7	11.9	3.0	1'594	-0.034
2001	3.8	11.9	3.1	1'594	-0.034
2002	3.9	11.9	3.2	1'594	-0.034
2003	4.0	11.9	3.3	1'594	-0.034
2004	4.1	11.9	3.4	1'594	-0.034
2005	4.3	11.9	3.5	1'594	-0.034
2006	4.4	11.9	3.6	1'594	-0.034
2007	4.5	11.9	3.7	1'594	-0.034
2008	4.6	11.9	3.8	1'594	-0.034
2009	4.7	11.9	3.9	1'594	-0.034
2010	4.8	11.9	4.0	1'594	-0.034

Parameter-Annahmen:

Wärmepumpen für Heizung, thermische Leistung 20 - 50 kW, alle Typen

Jahr	LZ (-)	therm. Leistung (kW)	JAZ (-)	Norm-Laufzeit (h)	DJAZ (-)
1970	2.4	27.5	2.0	1'594	-0.034
1971	2.4	27.5	2.0	1'594	-0.034
1972	2.4	27.5	2.0	1'594	-0.034
1973	2.4	27.5	2.0	1'594	-0.034
1974	2.5	27.5	2.0	1'594	-0.034
1975	2.5	27.5	2.0	1'594	-0.034
1976	2.5	27.5	2.1	1'594	-0.034
1977	2.5	27.5	2.1	1'594	-0.034
1978	2.5	27.5	2.1	1'594	-0.034
1979	2.6	27.5	2.1	1'594	-0.034
1980	2.6	27.5	2.1	1'594	-0.034
1981	2.6	27.5	2.2	1'594	-0.034
1982	2.6	27.5	2.2	1'594	-0.034
1983	2.7	27.5	2.2	1'594	-0.034
1984	2.7	27.5	2.2	1'594	-0.034
1985	2.7	27.5	2.3	1'594	-0.034
1986	2.8	27.5	2.3	1'594	-0.034
1987	2.8	27.5	2.3	1'594	-0.034
1988	2.9	27.5	2.4	1'594	-0.034
1989	2.9	27.5	2.4	1'594	-0.034
1990	2.9	27.5	2.4	1'594	-0.034
1991	3.0	27.5	2.5	1'594	-0.034
1992	3.0	27.5	2.5	1'594	-0.034
1993	3.1	27.5	2.6	1'594	-0.034
1994	3.2	27.5	2.6	1'594	-0.034
1995	3.2	27.5	2.7	1'594	-0.034
1996	3.3	27.5	2.7	1'594	-0.034
1997	3.4	27.5	2.8	1'594	-0.034
1998	3.4	27.5	2.8	1'594	-0.034
1999	3.6	27.5	2.9	1'594	-0.034
2000	3.7	27.5	3.0	1'594	-0.034
2001	3.8	27.5	3.1	1'594	-0.034
2002	3.9	27.5	3.2	1'594	-0.034
2003	4.0	27.5	3.3	1'594	-0.034
2004	4.1	27.5	3.4	1'594	-0.034
2005	4.3	27.5	3.5	1'594	-0.034
2006	4.4	27.5	3.6	1'594	-0.034
2007	4.5	27.5	3.7	1'594	-0.034
2008	4.6	27.5	3.8	1'594	-0.034
2009	4.7	27.5	3.9	1'594	-0.034
2010	4.8	27.5	4.0	1'594	-0.034

Parameter-Annahmen:

Wärmepumpen für Heizung, thermische Leistung 50 - 100 kW, alle Typen

Jahr	LZ (-)	therm. Leistung (kW)	JAZ (-)	Norm-Laufzeit (h)	DJAZ (-)
1970	2.6	65.2	2.2	1'594	-0.034
1971	2.6	65.2	2.2	1'594	-0.034
1972	2.7	65.2	2.2	1'594	-0.034
1973	2.7	65.2	2.2	1'594	-0.034
1974	2.7	65.2	2.2	1'594	-0.034
1975	2.7	65.2	2.2	1'594	-0.034
1976	2.7	65.2	2.3	1'594	-0.034
1977	2.8	65.2	2.3	1'594	-0.034
1978	2.8	65.2	2.3	1'594	-0.034
1979	2.8	65.2	2.3	1'594	-0.034
1980	2.8	65.2	2.3	1'594	-0.034
1981	2.9	65.2	2.4	1'594	-0.034
1982	2.9	65.2	2.4	1'594	-0.034
1983	2.9	65.2	2.4	1'594	-0.034
1984	3.0	65.2	2.5	1'594	-0.034
1985	3.0	65.2	2.5	1'594	-0.034
1986	3.1	65.2	2.5	1'594	-0.034
1987	3.1	65.2	2.6	1'594	-0.034
1988	3.1	65.2	2.6	1'594	-0.034
1989	3.2	65.2	2.6	1'594	-0.034
1990	3.2	65.2	2.7	1'594	-0.034
1991	3.2	65.2	2.7	1'594	-0.034
1992	3.3	65.2	2.7	1'594	-0.034
1993	3.3	65.2	2.7	1'594	-0.034
1994	3.4	65.2	2.8	1'594	-0.034
1995	3.4	65.2	2.8	1'594	-0.034
1996	3.4	65.2	2.8	1'594	-0.034
1997	3.5	65.2	2.9	1'594	-0.034
1998	3.5	65.2	2.9	1'594	-0.034
1999	3.6	65.2	2.9	1'594	-0.034
2000	3.7	65.2	3.0	1'594	-0.034
2001	3.8	65.2	3.1	1'594	-0.034
2002	3.9	65.2	3.2	1'594	-0.034
2003	4.0	65.2	3.3	1'594	-0.034
2004	4.1	65.2	3.4	1'594	-0.034
2005	4.3	65.2	3.5	1'594	-0.034
2006	4.4	65.2	3.6	1'594	-0.034
2007	4.5	65.2	3.7	1'594	-0.034
2008	4.6	65.2	3.8	1'594	-0.034
2009	4.7	65.2	3.9	1'594	-0.034
2010	4.8	65.2	4.0	1'594	-0.034

Parameter-Annahmen:

Wärmepumpen für Heizung, thermische Leistung 100 bis 300 kW, alle Typen

Jahr	LZ (-)	therm. Leis- tung (kW)	JAZ (-)	Norm- Laufzeit (h)	DJAZ (-)
1970					
1971					
1972					
1973					
1974					
1975					
1976					
1977					
1978					
1979					
1980					
1981					
1982					
1983					
1984					
1985					
1986					
1987					
1988					
1989					
1990					
1991					
1992					
1993					
1994					
1995					
1996					
1997					
1998					
1999	3.6	167.9	2.9	1'594	-0.034
2000	3.7	167.9	3.0	1'594	-0.034
2001	3.8	167.9	3.1	1'594	-0.034
2002	3.9	167.9	3.2	1'594	-0.034
2003	4.0	167.9	3.3	1'594	-0.034
2004	4.1	167.9	3.4	1'594	-0.034
2005	4.3	167.9	3.5	1'594	-0.034
2006	4.4	167.9	3.6	1'594	-0.034
2007	4.5	167.9	3.7	1'594	-0.034
2008	4.6	167.9	3.8	1'594	-0.034
2009	4.7	167.9	3.9	1'594	-0.034
2010	4.8	167.9	4.0	1'594	-0.034

Parameter-Annahmen:

Wärmepumpen für Heizung, thermische Leistung > 300 kW, alle Typen

Jahr	LZ (-)	therm. Leis- tung (kW)	JAZ (-)	Norm- Laufzeit (h)	DJAZ (-)
1970					
1971					
1972					
1973					
1974					
1975					
1976					
1977					
1978					
1979					
1980					
1981					
1982					
1983					
1984					
1985					
1986					
1987					
1988					
1989					
1990					
1991					
1992					
1993					
1994					
1995					
1996					
1997					
1998					
1999	3.6	400.0	2.9	2'000	-0.034
2000	3.7	400.0	3.0	2'000	-0.034
2001	3.8	400.0	3.1	2'000	-0.034
2002	3.9	400.0	3.2	2'000	-0.034
2003	4.0	400.0	3.3	2'000	-0.034
2004	4.1	400.0	3.4	2'000	-0.034
2005	4.3	400.0	3.5	2'000	-0.034
2006	4.4	400.0	3.6	2'000	-0.034
2007	4.5	400.0	3.7	2'000	-0.034
2008	4.6	400.0	3.8	2'000	-0.034
2009	4.7	400.0	3.9	2'000	-0.034
2010	4.8	400.0	4.0	2'000	-0.034

Parameter-Annahmen:

Wärmepumpen für Heizung, thermische Leistung > 100 kW, alle Typen

Jahr	LZ (-)	therm. Leistung (kW)	JAZ (-)	Norm-Laufzeit (h)	DJAZ (-)
1970	2.6	280.0	2.2	1'594	-0.034
1971	2.6	280.0	2.2	1'594	-0.034
1972	2.7	280.0	2.2	1'594	-0.034
1973	2.7	280.0	2.2	1'594	-0.034
1974	2.7	280.0	2.2	1'594	-0.034
1975	2.7	280.0	2.2	1'594	-0.034
1976	2.7	280.0	2.3	1'594	-0.034
1977	2.8	280.0	2.3	1'594	-0.034
1978	2.8	280.0	2.3	1'594	-0.034
1979	2.8	280.0	2.3	1'594	-0.034
1980	2.8	280.0	2.3	1'594	-0.034
1981	2.9	280.0	2.4	1'594	-0.034
1982	2.9	280.0	2.4	1'594	-0.034
1983	2.9	270.0	2.4	1'594	-0.034
1984	3.0	260.0	2.5	1'594	-0.034
1985	3.0	250.0	2.5	1'594	-0.034
1986	3.1	240.0	2.5	1'594	-0.034
1987	3.1	230.0	2.6	1'594	-0.034
1988	3.1	220.0	2.6	1'594	-0.034
1989	3.2	210.0	2.6	1'594	-0.034
1990	3.2	200.0	2.7	1'594	-0.034
1991	3.2	200.0	2.7	1'594	-0.034
1992	3.3	200.0	2.7	1'594	-0.034
1993	3.3	200.0	2.7	1'594	-0.034
1994	3.4	200.0	2.8	1'594	-0.034
1995	3.4	200.0	2.8	1'594	-0.034
1996	3.4	200.0	2.8	1'594	-0.034
1997	3.5	200.0	2.9	1'594	-0.034
1998	3.5	200.0	2.9	1'594	-0.034
1999	3.6	200.0	2.9	1'594	-0.034
2000	3.7	200.0	3.0	1'594	-0.034
2001	3.8	200.0	3.1	1'594	-0.034
2002	3.9	200.0	3.2	1'594	-0.034
2003	4.0	200.0	3.3	1'594	-0.034
2004	4.1	200.0	3.4	1'594	-0.034
2005	4.3	200.0	3.5	1'594	-0.034
2006	4.4	200.0	3.6	1'594	-0.034
2007	4.5	200.0	3.7	1'594	-0.034
2008	4.6	200.0	3.8	1'594	-0.034
2009	4.7	200.0	3.9	1'594	-0.034
2010	4.8	200.0	4.0	1'594	-0.034

Parameter-Annahmen:

Wärmepumpen für Wärmerückgewinnung, thermische Leistung < 50 kW, alle Typen

Jahr	LZ (-)	therm. Leis- tung (kW)	JAZ (-)	Norm- Laufzeit (h)	DJAZ (-)
1970					
1971					
1972					
1973					
1974					
1975					
1976					
1977					
1978					
1979					
1980					
1981					
1982					
1983					
1984					
1985					
1986					
1987					
1988					
1989					
1990					
1991					
1992					
1993					
1994					
1995					
1996					
1997					
1998					
1999	4.4	40.0	3.6	3'000	
2000	4.4	40.0	3.6	3'000	
2001	4.4	40.0	3.6	3'000	
2002	4.4	40.0	3.6	3'000	
2003	4.4	40.0	3.6	3'000	
2004	4.4	40.0	3.6	3'000	
2005	4.4	40.0	3.6	3'000	
2006	4.4	40.0	3.6	3'000	
2007	4.4	40.0	3.6	3'000	
2008	4.4	40.0	3.6	3'000	
2009	4.4	40.0	3.6	3'000	
2010	4.4	40.0	3.6	3'000	

Parameter-Annahmen:

Wärmepumpen für Wärmerückgewinnung, thermische Leistung 50 bis 100 kW, alle Typen

Jahr	LZ (-)	therm. Leistung (kW)	JAZ (-)	Norm-Laufzeit (h)	DJAZ (-)
1970					
1971					
1972					
1973					
1974					
1975					
1976					
1977					
1978					
1979					
1980					
1981					
1982					
1983					
1984					
1985					
1986					
1987					
1988					
1989					
1990					
1991					
1992					
1993					
1994					
1995					
1996					
1997					
1998					
1999	4.4	65.2	3.6	3'000	
2000	4.4	65.2	3.6	3'000	
2001	4.4	65.2	3.6	3'000	
2002	4.4	65.2	3.6	3'000	
2003	4.4	65.2	3.6	3'000	
2004	4.4	65.2	3.6	3'000	
2005	4.4	65.2	3.6	3'000	
2006	4.4	65.2	3.6	3'000	
2007	4.4	65.2	3.6	3'000	
2008	4.4	65.2	3.6	3'000	
2009	4.4	65.2	3.6	3'000	
2010	4.4	65.2	3.6	3'000	

Parameter-Annahmen:

Wärmepumpen für Wärmerückgewinnung, thermische Leistung < 100 kW, alle Typen

Jahr	LZ (-)	therm. Leistung (kW)	JAZ (-)	Norm-Laufzeit (h)	DJAZ (-)
1970	3.9	65.2	3.2	3'000	
1971	3.9	65.2	3.2	3'000	
1972	3.9	65.2	3.2	3'000	
1973	3.9	65.2	3.2	3'000	
1974	3.9	65.2	3.2	3'000	
1975	3.9	65.2	3.2	3'000	
1976	3.9	65.2	3.2	3'000	
1977	3.9	65.2	3.2	3'000	
1978	3.9	65.2	3.2	3'000	
1979	3.9	65.2	3.2	3'000	
1980	3.9	65.2	3.2	3'000	
1981	3.9	65.2	3.2	3'000	
1982	3.9	65.2	3.2	3'000	
1983	3.9	65.2	3.2	3'000	
1984	3.9	65.2	3.2	3'000	
1985	3.9	65.2	3.2	3'000	
1986	4.1	65.2	3.4	3'000	
1987	4.1	65.2	3.4	3'000	
1988	4.1	65.2	3.4	3'000	
1989	4.1	65.2	3.4	3'000	
1990	4.1	65.2	3.4	3'000	
1991	4.1	65.2	3.4	3'000	
1992	4.1	65.2	3.4	3'000	
1993	4.1	65.2	3.4	3'000	
1994	4.1	65.2	3.4	3'000	
1995	4.1	65.2	3.4	3'000	
1996	4.4	65.2	3.6	3'000	
1997	4.4	65.2	3.6	3'000	
1998	4.4	65.2	3.6	3'000	
1999	4.4	65.2	3.6	3'000	
2000	4.4	65.2	3.6	3'000	
2001	4.4	65.2	3.6	3'000	
2002	4.4	65.2	3.6	3'000	
2003	4.4	65.2	3.6	3'000	
2004	4.4	65.2	3.6	3'000	
2005	4.4	65.2	3.6	3'000	
2006	4.4	65.2	3.6	3'000	
2007	4.4	65.2	3.6	3'000	
2008	4.4	65.2	3.6	3'000	
2009	4.4	65.2	3.6	3'000	
2010	4.4	65.2	3.6	3'000	

Parameter-Annahmen:

Wärmepumpen für Wärmerückgewinnung, thermische Leistung > 100 kW, alle Typen

Jahr	LZ (-)	therm. Leistung (kW)	JAZ (-)	Norm-Laufzeit (h)	DJAZ (-)
1970	3.9	280.0	3.2	3'000	
1971	3.9	280.0	3.2	3'000	
1972	3.9	280.0	3.2	3'000	
1973	3.9	280.0	3.2	3'000	
1974	3.9	280.0	3.2	3'000	
1975	3.9	280.0	3.2	3'000	
1976	3.9	280.0	3.2	3'000	
1977	3.9	280.0	3.2	3'000	
1978	3.9	280.0	3.2	3'000	
1979	3.9	280.0	3.2	3'000	
1980	3.9	280.0	3.2	3'000	
1981	3.9	280.0	3.2	3'000	
1982	3.9	280.0	3.2	3'000	
1983	3.9	270.0	3.2	3'000	
1984	3.9	260.0	3.2	3'000	
1985	3.9	250.0	3.2	3'000	
1986	4.1	240.0	3.4	3'000	
1987	4.1	230.0	3.4	3'000	
1988	4.1	220.0	3.4	3'000	
1989	4.1	210.0	3.4	3'000	
1990	4.1	200.0	3.4	3'000	
1991	4.1	200.0	3.4	3'000	
1992	4.1	200.0	3.4	3'000	
1993	4.1	200.0	3.4	3'000	
1994	4.1	200.0	3.4	3'000	
1995	4.1	200.0	3.4	3'000	
1996	4.4	200.0	3.6	3'000	
1997	4.4	200.0	3.6	3'000	
1998	4.4	200.0	3.6	3'000	
1999	4.4	200.0	3.6	3'000	
2000	4.4	200.0	3.6	3'000	
2001	4.4	200.0	3.6	3'000	
2002	4.4	200.0	3.6	3'000	
2003	4.4	200.0	3.6	3'000	
2004	4.4	200.0	3.6	3'000	
2005	4.4	200.0	3.6	3'000	
2006	4.4	200.0	3.6	3'000	
2007	4.4	200.0	3.6	3'000	
2008	4.4	200.0	3.6	3'000	
2009	4.4	200.0	3.6	3'000	
2010	4.4	200.0	3.6	3'000	

Parameter-Annahmen:

Wärmepumpen für Warmwasserbereitung, Boiler < 600 Liter (< 2 kW), alle Typen

Jahr	LZ (-)	therm. Leistung (kW)	JAZ (-)	Norm-Laufzeit (h)	DJAZ (-)
1970	3.0	1.5	2.5	2'000	
1971	3.0	1.5	2.5	2'000	
1972	3.0	1.5	2.5	2'000	
1973	3.0	1.5	2.5	2'000	
1974	3.0	1.5	2.5	2'000	
1975	3.0	1.5	2.5	2'000	
1976	3.0	1.5	2.5	2'000	
1977	3.0	1.5	2.5	2'000	
1978	3.0	1.5	2.5	2'000	
1979	3.0	1.5	2.5	2'000	
1980	3.0	1.5	2.5	2'000	
1981	3.0	1.5	2.5	2'000	
1982	3.0	1.5	2.5	2'000	
1983	3.0	1.5	2.5	2'000	
1984	3.0	1.5	2.5	2'000	
1985	3.0	1.5	2.5	2'000	
1986	3.0	1.5	2.5	2'000	
1987	3.0	1.5	2.5	2'000	
1988	3.0	1.5	2.5	2'000	
1989	3.0	1.5	2.5	2'000	
1990	3.0	1.5	2.5	2'000	
1991	3.0	1.5	2.5	2'000	
1992	3.0	1.5	2.5	2'000	
1993	3.0	1.5	2.5	2'000	
1994	3.0	1.5	2.5	2'000	
1995	3.0	1.5	2.5	2'000	
1996	3.0	1.5	2.5	2'000	
1997	3.0	1.5	2.5	2'000	
1998	3.0	1.5	2.5	2'000	
1999	3.0	1.5	2.5	2'000	
2000	3.0	1.5	2.5	2'000	
2001	3.0	1.5	2.5	2'000	
2002	3.0	1.5	2.5	2'000	
2003	3.0	1.5	2.5	2'000	
2004	3.0	1.5	2.5	2'000	
2005	3.0	1.5	2.5	2'000	
2006	3.0	1.5	2.5	2'000	
2007	3.0	1.5	2.5	2'000	
2008	3.0	1.5	2.5	2'000	
2009	3.0	1.5	2.5	2'000	
2010	3.0	1.5	2.5	2'000	

Parameter-Annahmen:

Wärmepumpen für Warmwasserbereitung, Boiler 2 bis 5 kW, alle Typen

Jahr	LZ (-)	therm. Leistung (kW)	JAZ (-)	Norm-Laufzeit (h)	DJAZ (-)
1970					
1971					
1972					
1973					
1974					
1975					
1976					
1977					
1978					
1979					
1980					
1981					
1982					
1983					
1984					
1985					
1986					
1987					
1988					
1989					
1990					
1991					
1992					
1993					
1994					
1995					
1996					
1997					
1998					
1999	2.9	3.0	2.6	2'000	
2000	2.9	3.0	2.6	2'000	
2001	2.9	3.0	2.6	2'000	
2002	2.9	3.0	2.6	2'000	
2003	2.9	3.0	2.6	2'000	
2004	2.9	3.0	2.6	2'000	
2005	2.9	3.0	2.6	2'000	
2006	2.9	3.0	2.6	2'000	
2007	2.9	3.0	2.6	2'000	
2008	2.9	3.0	2.6	2'000	
2009	2.9	3.0	2.6	2'000	
2010	2.9	3.0	2.6	2'000	

Parameter-Annahmen:

Wärmepumpen für Warmwasserbereitung, Boiler > 5 kW, alle Typen

Jahr	LZ (-)	therm. Leistung (kW)	JAZ (-)	Norm-Laufzeit (h)	DJAZ (-)
1970					
1971					
1972					
1973					
1974					
1975					
1976					
1977					
1978					
1979					
1980					
1981					
1982					
1983					
1984					
1985					
1986					
1987					
1988					
1989					
1990					
1991					
1992					
1993					
1994					
1995					
1996					
1997					
1998					
1999	3.1	6.0	2.6	2'000	
2000	3.1	6.0	2.6	2'000	
2001	3.1	6.0	2.6	2'000	
2002	3.1	6.0	2.6	2'000	
2003	3.1	6.0	2.6	2'000	
2004	3.1	6.0	2.6	2'000	
2005	3.1	6.0	2.6	2'000	
2006	3.1	6.0	2.6	2'000	
2007	3.1	6.0	2.6	2'000	
2008	3.1	6.0	2.6	2'000	
2009	3.1	6.0	2.6	2'000	
2010	3.1	6.0	2.6	2'000	

Parameter-Annahmen:

Wärmepumpen für Warmwasserbereitung, Boiler > 600 Liter, alle Typen

Jahr	LZ (-)	therm. Leistung (kW)	Leistung (kW)	JAZ (-)	Norm-Laufzeit (h)	DJAZ (-)
1970						
1971						
1972						
1973						
1974						
1975						
1976						
1977						
1978						
1979						
1980						
1981						
1982						
1983						
1984						
1985						
1986						
1987						
1988						
1989						
1990						
1991	3.1		3.0	2.6	2'000	
1992	3.1		3.0	2.6	2'000	
1993	3.1		3.0	2.6	2'000	
1994	3.1		3.0	2.6	2'000	
1995	3.1		3.0	2.6	2'000	
1996	3.1		3.0	2.6	2'000	
1997	3.1		3.0	2.6	2'000	
1998	3.1		3.0	2.6	2'000	
1999	3.1		3.0	2.6	2'000	
2000	3.1		3.0	2.6	2'000	
2001	3.1		3.0	2.6	2'000	
2002	3.1		3.0	2.6	2'000	
2003	3.1		3.0	2.6	2'000	
2004	3.1		3.0	2.6	2'000	
2005	3.1		3.0	2.6	2'000	
2006	3.1		3.0	2.6	2'000	
2007	3.1		3.0	2.6	2'000	
2008	3.1		3.0	2.6	2'000	
2009	3.1		3.0	2.6	2'000	
2010	3.1		3.0	2.6	2'000	

Parameter-Annahmen:

Wärmepumpen für Heizung, Einzelraum-Wärmepumpen, alle Typen

Jahr	LZ (-)	therm. Leistung (kW)	JAZ (-)	Norm-Laufzeit (h)	DJAZ (-)
1970					
1971					
1972					
1973					
1974					
1975					
1976					
1977					
1978					
1979					
1980					
1981					
1982					
1983					
1984					
1985					
1986					
1987					
1988					
1989					
1990					
1991					
1992					
1993					
1994					
1995	2.5	1.2	2.1	1'800	-0.037
1996	2.6	1.2	2.1	1'800	-0.037
1997	2.6	1.2	2.2	1'800	-0.037
1998	2.7	1.2	2.2	1'800	-0.037
1999	2.7	1.2	2.3	1'800	-0.037
2000	2.8	1.2	2.3	1'800	-0.037
2001	2.8	1.2	2.3	1'800	-0.037
2002	2.9	1.2	2.4	1'800	-0.037
2003	2.9	1.5	2.4	1'800	-0.037
2004	3.0	1.5	2.5	1'800	-0.037
2005	3.0	1.5	2.5	1'800	-0.037
2006	3.1	1.5	2.5	1'800	-0.037
2007	3.1	1.5	2.6	1'800	-0.037
2008	3.2	1.5	2.6	1'800	-0.037
2009	3.2	1.5	2.7	1'800	-0.037
2010	3.3	1.5	2.7	1'800	-0.037