



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

QUALITÄTSPRÜFUNG VON KLEIN- WÄRMEPUMPEN MITTELS NORM- UND AUSGEWÄHLTEN FELDMESSUNGEN

EFFIZIENZSTEIGERUNG (BESTANLAGEN) UND LANGZEITVERHALTEN

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch:

Marco Nani, Interstaatliche Hochschule für Technik NTB
Werdenbergstrasse 4, 9470 Buchs
marco.nani@ntb.ch, www.ntb.ch

Peter Hubacher, Hubacher Engineering
Tannenbergrasse 2, 9232 Engelburg
he-ko@bluewin.ch

Impressum

Datum: 4. Dezember 2007

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm UAW Umgebungswärme, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

BFE-Programmleiter F&E: Thomas Kopp tkopp@hsr.ch

BFE-Bereichsleiter: Fabrice Rognon fabrice.rognon@bfe.admin.ch

Projektnummer: 100'991 und 100'454

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Abstract	5
1 Projektziele.....	6
2 Normprüfungen an Wärmepumpen	7
2.1 Durchgeführte Wärmepumpen-Prüfungen	7
2.2 Dauer der durchgeführten Normprüfungen 2006.....	7
2.3 Weitere Aktivitäten am WPZ	8
2.4 Ausblick, strategische Ausrichtung WPZ 2007ff	9
3 Auswertungen von Normprüfungen	10
3.1 Luft-Wasser-Wärmepumpen	10
3.1.1 Leistungszahlverlauf Luft-Wasser-Wärmepumpen 1993 bis 2006.....	10
3.1.2 Abtauverfahren bei Luft-Wasser-Wärmepumpen.....	11
3.1.3 Verwendung von Kältemitteln in Luft-Wasser-Wärmepumpen.....	13
3.1.4 Verwendete Kompressor-Bauarten in Luft-Wasser-Wärmepumpen.....	15
3.1.5 Schallleistungspegel bei Luft-Wasser-Wärmepumpen.....	17
3.1.6 Schlussfolgerungen Luft-Wasser-Wärmepumpen.....	18
3.2 Sole-Wasser-Wärmepumpen	19
3.2.1 Leistungszahlverlauf Sole-Wasser-Wärmepumpen 1993 bis 2006	19
3.2.2 Verwendung von Kältemitteln in Sole-Wasser-Wärmepumpen	19
3.2.3 Verwendete Kompressor-Bauarten in Sole-Wasser-Wärmepumpen.....	21
3.2.4 Schallleistungspegel bei Sole-Wasser-Wärmepumpen	23
3.2.5 Schlussfolgerungen Sole-Wasser-Wärmepumpen	24
4 Anlagensample	25
4.1 Aufnahme und Beurteilung von Anlagen.....	25
4.2 Zielsetzung für diese Analyse von Bestanlagen	25
4.3 Anlagensample (28 Anlagen).....	26
5 Stand der Ermittlungen und Analysen	27
6 Anlagensample	29
7 Stand Ermittlungen und Analysen.....	30
7.1 Warmwasserbereitung	30
7.2 Langzeitverhalten	30
8 Referenzen.....	33

Zusammenfassung

Im Rahmen der systematischen Qualitätssicherungsstrategie des Bundesamtes für Energie (BFE) und der Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz für Wärmepumpen bis 60 kW Heizleistung werden Norm- und Feldprüfungen an Wärmepumpen durchgeführt. Im Betriebsjahr 2006 konnten am WPZ insgesamt 25 Wärmepumpenprüfungen durchgeführt werden.

Die gemessenen COP bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen lagen bei 5 von 6 Wärmepumpen unter den in den Vorjahren gemessenen Durchschnittswerten. Bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen lagen die gemessenen COP etwa gleich mit den Mittelwerten aus den Vorjahren. Die Stagnation der energetischen Effizienz in den letzten Jahren zeigt, dass der COP bei der Entwicklung von Wärmepumpen nicht mehr erste Priorität hat.

Das Feldmonitoring ist für den Vergleich mit den Normprüfungen des WPZ wichtig. Einerseits kann die Qualitätsprüfung im Feld der Frage nachgehen, ob die Geräte den gleichen Standard haben wie die geprüften Maschinen und andererseits mittels Vergleich auch die Frage einer korrekten Anlagenplanung, speziell der hydraulischen Einbindung, beantwortet werden.

Mit der Untersuchung der sog. Bestanlagen sollen auch die wichtigsten Punkte, die als Voraussetzung zu höheren Jahresarbeitszahlen führen, analysiert werden. Diese Erfahrungen und Informationen sind danach in der Schulung einzusetzen.

Die Langzeituntersuchung soll eine Antwort auf Effizienzveränderungen über die Lebensdauer der Anlagen geben. Die Resultate sind sehr positiv, da bisher keine wesentliche Abnahme der Effizienz festgestellt wurde.

Abstract

During 2006 the WPZ has tested totally 25 heat pumps. Compared with 2005, when 20 tests have been completed, this means an improvement of 25%. But there must be noted that not all of the tests in 2006 have been carried out regarding the DACH-regulations. Nevertheless the duration of the DACH-regulated tests have been shortened clearly.

Due to the measurements at the WPZ different development trends have been determined. In 2006 5 of the 6 measured air to water heat pumps showed a lower COP than the mean value of the COP in the last few years. The brine-water heat pumps just reached the same energetic efficiency as the heat pumps in the years before.

After initial improvement in the last years, the COP values have deteriorated. This is due to the low prices on the market. This means that heat pumps are built cost-optimized and are not developed to reach the maximum energetic efficiency.

The monitoring of heat pump facilities in the field is very important for a comparison with the test results of the Heat Pump Test Center. So it is possible to compare the measured data of the installed heat pumps with the test results from the laboratory and to determine the influence of the operation in heating facilities. Furthermore it can be checked, if the heat pumps are integrated in the right way into the heating system.

The Analysis of the energetic best heat pump facilities should give the answers to the question, which variables have the most influence to the energetic efficiency of the heating plant. The resulting knowledge should be used in the instruction of experts.

The long time observation analyses the influence of the operating time to the energetic efficiency. The results are very positive, no essential reduction of the energetic efficiency has been determined.

1 Projektziele

Ein zentrales Element der Qualitätssicherung für Wärmepumpen ist die Durchführung von Typenprüfungen, welche ein wichtiges Element der Qualitätssicherungsstrategie des Bundes und der Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz darstellt.

Das Projekt beinhaltet die folgenden Zielsetzungen:

- A) **Durchführung von Normprüfungen** nach EN 14511 [1] resp. EN 255-3 [2] oder nach DACH-Gütesiegel-Prüfreglementen [3 – 5] an Kleinwärmepumpen
- B) **Nutzung der vorhandenen Prüfdaten für Zusatzauswertungen** zur Abbildung des Entwicklungsstandes der Wärmepumpentechnik und für die Aufarbeitung von technisch-wissenschaftlichen und planerischen Kennzahlen, Ableitung von Erkenntnissen und Erfahrungen zuhanden der Fachbranche.
- C) **Feldmonitoring bei Bestanlagen**, Beurteilung und Analyse der Betriebsverhältnisse und im speziellen der Gründe, warum hohe Arbeitszahlen erreicht werden. Ableitung von Erkenntnissen und Erfahrungen zuhanden der Fachbranche.
- D) **Feldmonitoring über das Langzeitverhalten** von Kleinwärmepumpenanlagen an über 50 Anlagen. Dabei werden das Verhalten bezüglich der Effizienz, Ausfälle und Störungen (Verfügbarkeit) sowie auch Fragen über Service und Unterhalt untersucht.

A. Normprüfungen und Zusatzauswertungen

2 Normprüfungen an Wärmepumpen

2.1 Durchgeführte Wärmepumpen-Prüfungen

Sämtliche Luft-Wasser- und Sole-Wasser- resp. Wasser-Wasser-Wärmepumpen für Heizbetrieb werden nach dem auf der EN 14511 basierenden Prüfrelementen durchgeführt. Die Prüfung der Warmwasser-Wärmepumpen erfolgt nach dem auf der EN 255-3 basierenden Prüfrelement.

Bis Ende 2006 wurden am WPZ Buchs insgesamt 54 Wärmepumpen-Prüfungen durchgeführt, davon fallen auf das Jahr 2006 allein 25 Prüfungen. Neben den Prüfungen nach Prüfrelement konnten bei verschiedenen Wärmepumpen Messungen durchgeführt werden, die nicht nach DACH-Prüfrelement vollzogen wurden.

Untenstehende Tabelle zeigt die Aufgliederung der Prüfungen bis Ende 2006 nach ihrer Art:

Art der WP-Prüfung	Ende 2006	Ende 2005	WPZ Buchs Total bis Ende 2006
Luft-Wasser	5+2+1*	8	20
Sole-Wasser	4 + 1**	2	8
Wasser-Wasser	-	-	1
Kombination Sole-Wasser & Wasser-Wasser	4&4 + 1***	4 & 4	9 & 9
Warmwasser-WP	1 + 2****	2	7
Total	25	20	54

* 5 Normprüfungen, 2 unvollständige Prüfungen (abgebrochen) und 1 Prototypenprüfung
 ** 4 Normprüfungen und 1 Prototypenprüfung
 *** 4 kombinierte Normprüfungen und 1 unvollständige Prüfung (abgebrochen)
 **** 1 Normprüfung und 2 Prototypen-Prüfungen nach anderer Norm (Australien)

Tabelle 2.1: Art der durchgeführten Wärmepumpen-Prüfungen am WPZ

Als Prototypen-Prüfungen wurden durchgeführt:

- Luft-Wasser-Wärmepumpe der Fa. Hoval
- Sole-Wasser-Wärmepumpe der Fa. Steinmann
- 2 Warmwasser-WP der Fa. Ochsner nach australischer Norm

2.2 Dauer der durchgeführten Normprüfungen 2006

Die untenstehende Tabelle zeigt die Dauer der durchgeführten Normprüfungen 2006 in Arbeitstagen.

Art der WP-Prüfung	Anzahl	Dauer Normprüfung Arbeitstage 2006			Jahr 2005
		Min	Max	Mittelwert	Mittelwert
Luft-Wasser	5	17	34 *	23 ; 20 **	25
Sole-Wasser	4	8	13	11	-
Kombination S/W & W/W	4	11	20	15	17
Warmwasser-WP	1	10	10	10	11

* WP mit drehzahlvarriertem Kompressor mit zusätzlichen Prüfpunkten
 ** Mittelwert ohne WP-Prüfung mit drehzahlvarriertem Kompressor

Tabelle 2.2: Dauer der Normprüfungen aufgeteilt nach ihrer Art

Die angegebenen Dauern stellen reine Zeiten der Messung dar. Für die ganze Prüfungsdauer müssen 3 bis 5 Arbeitstage für den Abbau der gemessenen WP und die Installation des neuen Prüflings dazugerechnet werden.

Es wurden im Mittel tiefere Prüfdauern erreicht als 2005, was sich auch in der höheren Anzahl der geprüften Wärmepumpen widerspiegelt. Dies wurde einerseits durch die Umsetzung der Erfahrungen des Prüfpersonals im Prüfbetrieb erreicht, andererseits konnten die Prüfdauern bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen in der zweiten Hälfte 2006 durch den Einsatz der neuen Regelung im Lüftungs-Monoblock deutlich reduziert werden.

2.3 Weitere Aktivitäten am WPZ

Das Betriebsjahr 2006 am Wärmepumpen-Testzentrum WPZ wurde bisher auch noch durch die folgenden Tätigkeiten bestimmt:

- **Selbständige Schallmessungen am WPZ**
Einarbeitung in die theoretischen Grundlagen Akustik (Weiterbildung an der FHBB Basel), Ausarbeitung eines Prüfglementes, Inbetriebnahme der Messgeräte, Vergleichsmessungen im Schallraum am NTB und am Prüfstand WPZ.

Seit Juli 2006 werden sämtliche Schallmessungen im Rahmen der DACH-WP-Prüfungen selbständig durchgeführt, was eine weitere Reduktion der Prüfkosten bedeutet. Ausserdem wird die Schallmessung als Dienstleistung im Labor und im Feld angeboten; es konnten bereits am WPZ und im Feld Messungen durchgeführt werden. Ein Projekt zur Reduktion der Schallemissionen an Kältemaschinen konnte bereits akquiriert werden.

- **Optimierung der Prüfstände**
Die bestehenden Prüfstände wurden dieses Jahr schon teilweise umgebaut. Beim Sole-Wasser-Prüfstand konnte durch den Ersatz der Umwälzpumpen der Messbereich bezüglich der Wärme- und Kälteleistung erhöht werden.

Beim Luft-Wasser-Prüfstand konnte die Regelbarkeit der Quellluftbedingungen durch hardware- und softwareseitige Optimierung der Regelungstechnik stark verbessert werden. Dadurch kann eine Verbesserung der Einhaltung der Prüfbedingungen erzielt werden, was sich auch in einer Verkürzung der Prüfzeiten ausgewirkt hat.

- **Planung Prüfstandsumbau 2007**
Das hydraulische Konzept, welches eine vollständige hydraulische Trennung des Luft-Wasser- und Sole-Wasser-Prüfstandes vorsieht, ist festgelegt und die Dimensionierung der Komponenten, welche eine mögliche Wiederverwendbarkeit der bereits eingesetzten Bauteile berücksichtigt, ist z.Z. beendet. Der Umbau wird im Mai/Juni 2007 in Angriff genommen.

- **Reorganisation der Prüfanmeldung**
Im Jan./Feb. 2006 wurden von den Auftraggebern insgesamt 6 Wärmepumpen-Prüfungen sehr kurzfristig abgesagt. Die ausgefallenen Prüfungen konnten nur teilweise durch andere Prüfungen kompensiert werden, wodurch Einbussen bei den Einnahmen verzeichnet werden musste.

Ab Frühjahr 2006 müssen deshalb die Prüfanmelder spätestens 10 Wochen vor Prüfbeginn eine Kautions von CHF 500.- geleistet haben, ansonsten wird der reservierte Prüftermin anderweitig vergeben.

2.4 Ausblick, strategische Ausrichtung WPZ 2007ff

Akkreditierung als Prüfstelle

Nebst dem WPZ werden in der Zwischenzeit die Wärmepumpenprüfungen nach DACH-Reglement von weiteren Prüfstellen in Europa angeboten. Im Gegensatz zu diesen Prüfstellen ist das WPZ Buchs keine akkreditierte Prüfstelle. Um diesen strategischen Nachteil gegenüber der Konkurrenz auszugleichen, soll das WPZ im Laufe 2007 als Prüfstelle akkreditiert werden.

Durchführung von reglementierten Werksprüfungen

Um auch Prüfungen an Wärmepumpen durchzuführen, welche nicht am WPZ durchgeführt werden können (zu grosse Leistungen, andere Energieträger wie z.B. Gas-Absorptions-Wärmepumpen), wurde vom WPZ der Schweizer Gütesiegel-Kommission vorgeschlagen, Werksprüfungen in Ausnahmefällen durchzuführen. Das Konzept wurde soweit genehmigt. Da der VDE in Deutschland in der Zwischenzeit DACH-GS-Prüfungen als Werksprüfungen durchführt, wurde der VDE von der DACH-GS-Kommission beauftragt, ein Prüfreglement zu erstellen.

Elektrische Sicherheitsprüfung zur CE-Zulassung

Um das Dienstleistungsangebot am WPZ weiter auszubauen, soll mit der Prüfung nach dem DACH-Prüfreglement eine elektrische Sicherheitsprüfung zur CE-Zulassung der Wärmepumpen mit angeboten werden. Die elektrische Sicherheitsprüfung soll von einer Partnerfirma durchgeführt werden. Ob beide Prüfungen am Standort Buchs (mobile Prüfeinrichtung notwendig) oder an zwei Standorten stattfindet, ist vom zukünftigen Partner des WPZ abhängig.

3 Auswertungen von Normprüfungen

In diesem Kapitel werden aufgrund der beim WPZ Töss und Buchs seit 1993 ermittelten Daten verschiedene Auswertungen an Sole-Wasser- und Luft-Wasser-Wärmepumpen durchgeführt. Bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen stehen zum Zeitpunkt der Berichterstellung 95 Datensätze zur Auswertung zur Verfügung, bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen sind es 181.

Zur Auswertung der Leistungszahlen wurden die bei den Prüfpunkten A2/W35 resp. B0/W35 gemessenen Daten verwendet, die Senktemperaturspreizung beträgt wie von der Prüfnorm EN 255 vorgegeben 10K.

Aus den Auswertungen soll ersichtlich sein, wie sich die energetischen und qualitativen Aspekte der geprüften Wärmepumpen in den Jahren 1993 bis 2006 entwickelt haben. Ebenso soll versucht werden, für bestimmte Entwicklungstrends die Ursachen zu eruieren.

3.1 Luft-Wasser-Wärmepumpen

3.1.1 Leistungszahlverlauf Luft-Wasser-Wärmepumpen 1993 bis 2006

Der Trend in Abb. 3.1.1 zeigt für die Entwicklung der Leistungszahlen bis Ende 2002 einen fortlaufenden Anstieg. Der Durchschnittswert von anfänglich etwa 2.5 hat sich bis Ende 2002 auf etwa 3.3 verbessert. Seit 2003 konnte sich die Leistungszahl durchschnittlich auf dem Wert von 3.3 halten. Die ab dem Jahr 2000 gemessenen Werte streuen zwischen 3.02 und 3.93.

Es ist keine Steigerung der im Berichtsjahr 2006 ermittelten Leistungszahlen gegenüber den Vorjahren zu verzeichnen, 5 der 6 gemessenen Wärmepumpen liegen sogar unter den im Zeitraum 2002 bis 2005 gemessenen Mittelwerten. Mit einer einzigen Wärmepumpe konnte ein überdurchschnittlich gutes COP von 3.93 erzielt werden.

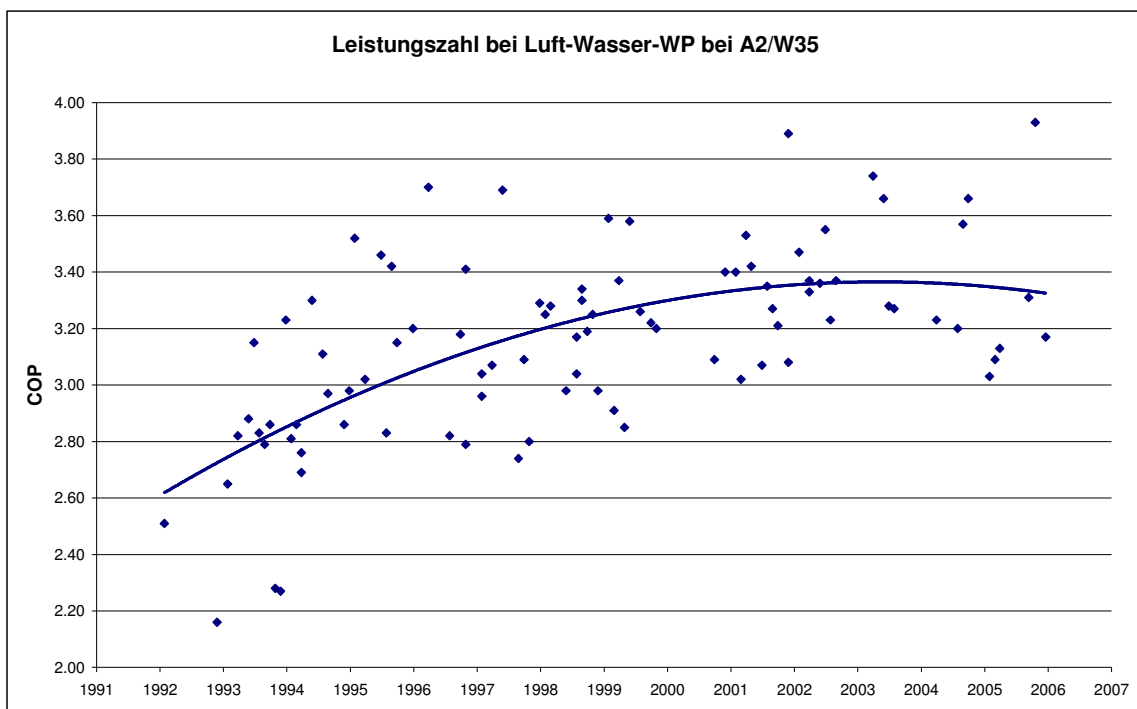


Abb. 3.1.1: COP-Verlauf von allen getesteten Luft-Wasser-WP seit 1993

3.1.2 Abtauverfahren bei Luft-Wasser-Wärmepumpen

Die Abtauung des Verdampfers hat einen grossen Einfluss auf die energetische Effizienz von Luft-Wasser-Wärmepumpen. Es werden ausschliesslich die Abtauverfahren Heissgasabtauung und Prozessumkehr eingesetzt.

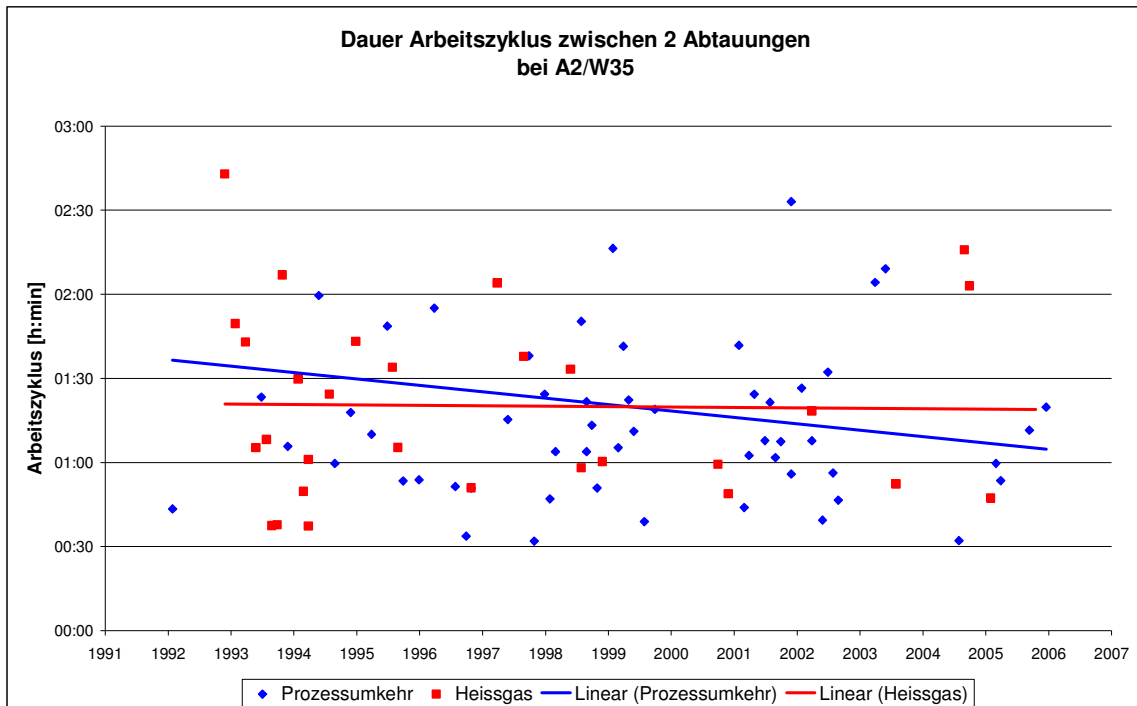


Abb. 3.1.2a: Dauer der Arbeitszyklen zwischen 2 Abtauungen je nach Abtauverfahren

Abb. 3.1.2a zeigt deutlich, dass die Betriebsdauer zwischen 2 Abtauungen nur bei der Prozessumkehr deutlich reduziert wurde; die Reduktion gegenüber dem Mittelwert von 1993 beträgt 2006 ca. 32%. Bei der Heissgasabtauung ist die Zyklusdauer über die Jahre stabil geblieben. Vor dem Jahr 2000 dauerte ein Arbeitszyklus zwischen 2 Abtauungen bei der Prozessumkehr länger als bei der Heissgasabtauung. Ab 2000 ist es umgekehrt. Aus der Grafik ist auch ersichtlich, dass die Prozessumkehr immer häufiger angewendet wird, die Heissgasabtauung kommt seit dem Jahr 2000 nur noch vereinzelt zum Einsatz.

Abb. 3.1.2b zeigt nun die relativen Abtaudauern der beiden Abtauverfahren. Aufgrund der Folgerungen aus der Abb. 3.1.2a wäre bei der Prozessumkehr bei gleich bleibender Abtaudauer eine Erhöhung der relativen Abtaudauer um ca. 30% zu erwarten. Dies bestätigt sich durch den entsprechenden Anstieg zwischen 1993 und 2006.

Im Gegensatz dazu hat sich die relative Abtaudauer bei der Heissgasabtauung von anfänglich 17% (!) auf durchschnittlich 9% stark verbessert. Seit dem Jahr 2000 wurden nur noch 7 Wärmepumpen mit Heissgasabtauung geprüft, mit zwei Ausnahmen liegen die relativen Abtaudauern im Bereich der Werte mit Prozessumkehr.

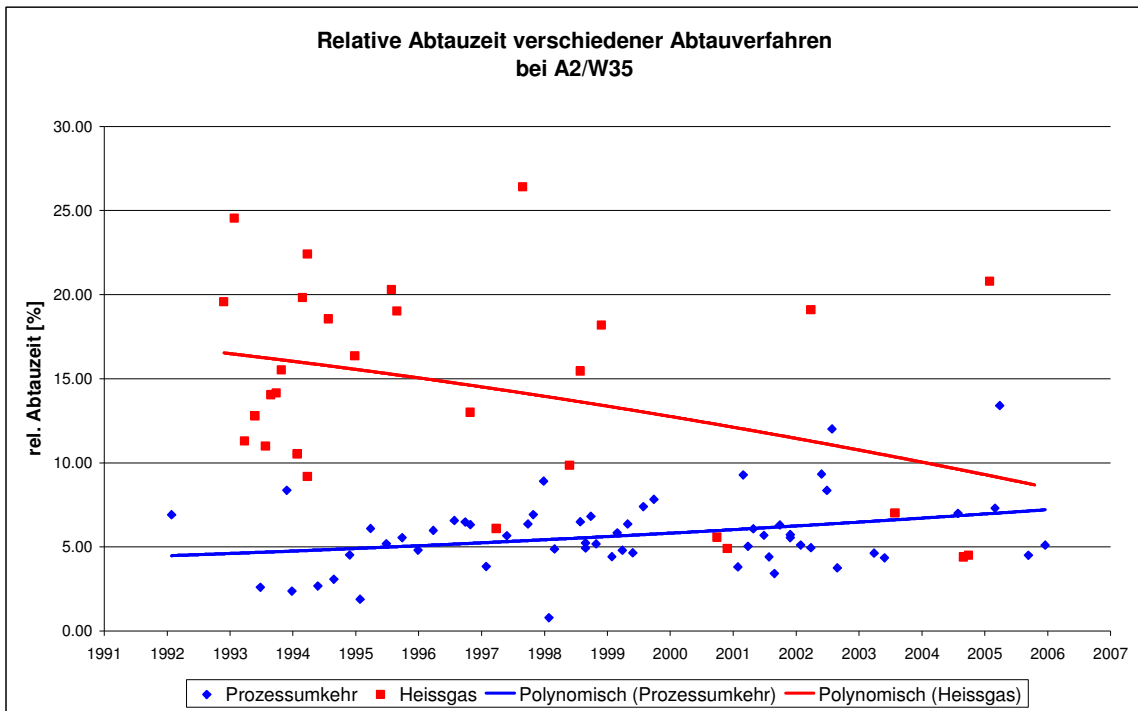


Abb. 3.1.2b: Entwicklung der relativen Abtauzeiten je nach Abtauverfahren

Abb. 3.1.2c zeigt, dass die Heissgasabtauung gegenüber der Prozessumkehr in den 90er-Jahren energetisch deutlich schlechter war. Die ab dem Jahr 2000 gemessenen Werte können im Mittel fast als identisch angesehen werden.

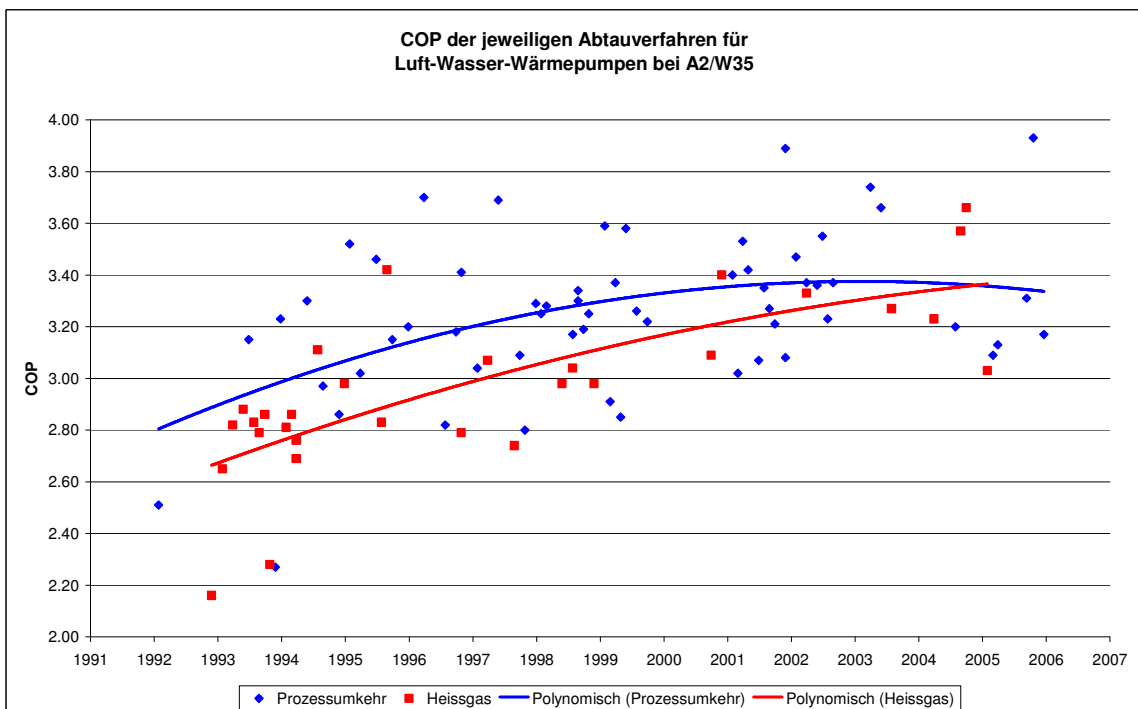


Abb. 3.1.2c: Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Abtauverfahren

3.1.3 Verwendung von Kältemitteln in Luft-Wasser-Wärmepumpen

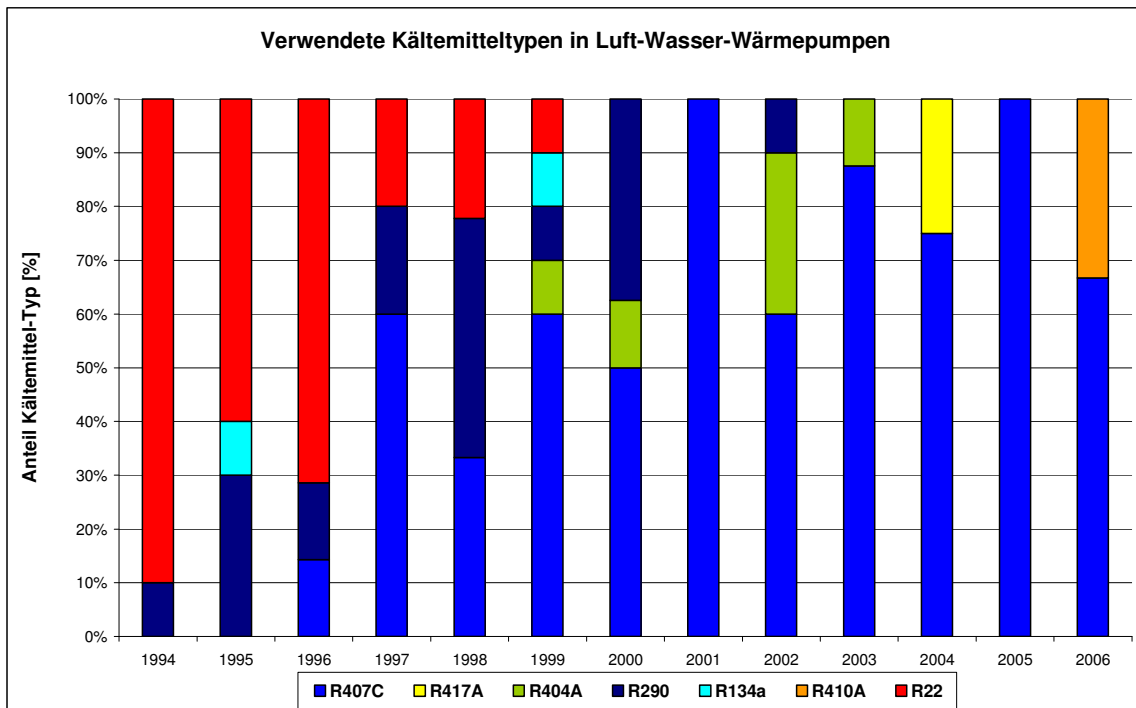


Abb. 3.1.3a: Verwendete Typen von Kältemitteln in Luft-Wasser-Wärmepumpen

Das Kältemittel R22 wird aufgrund des Verbotes in der Schweiz in Neuanlagen ab dem Jahr 2000 nicht mehr eingesetzt. R290 wurde bis ins Jahr 2000 recht häufig verwendet. Nebst R407c, welches seit 1997 am häufigsten eingesetzt wird, wurden vereinzelt Wärmepumpen mit den Kältemitteln R404a, R417a, R134a und R410a geprüft, wobei R134a am seltensten verwendet wurde.

In den nachfolgenden Betrachtungen werden nur auf die in den letzten Jahren am häufigsten verwendeten Kältemittel R290, R407c und R404a eingegangen.

In den Abbildungen 3.1.3b und 3.1.3c wird ersichtlich, dass bei R290 und R404a die absoluten und spezifischen Füllmengen mit der Zeit etwa konstant geblieben sind und eine geringe Streuung aufweisen.

Anders beim am häufigsten verwendeten Kältemittel R407c: Obwohl scheinbar auf eine Reduktion der absoluten Füllmenge (Abb. 3.1.3b) im Laufe der Zeit geschlossen werden könnte, zeigt sich, dass bei der spezifischen Füllmenge der Trend eher konstant bleibt. Allerdings ist die Streuung der einzelnen Werte so gross, dass die Aussagen der Trendlinien zu relativieren sind.

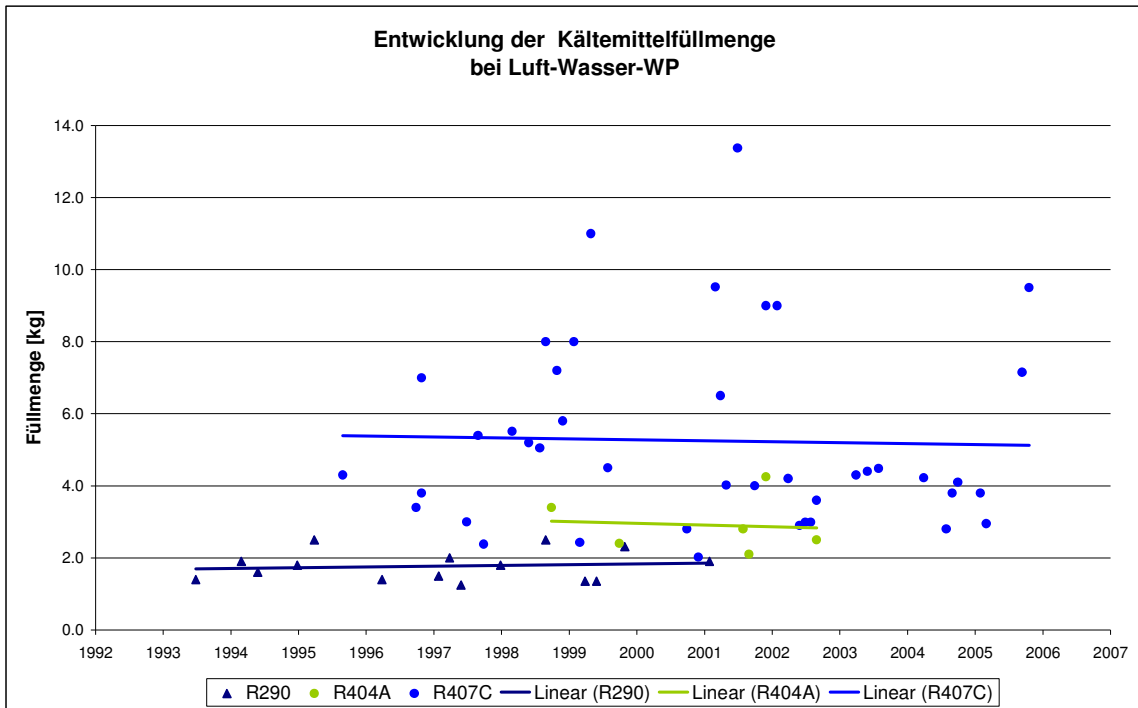


Abb. 3.1.3b: Entwicklung der absoluten Kältemittel-Füllmengen

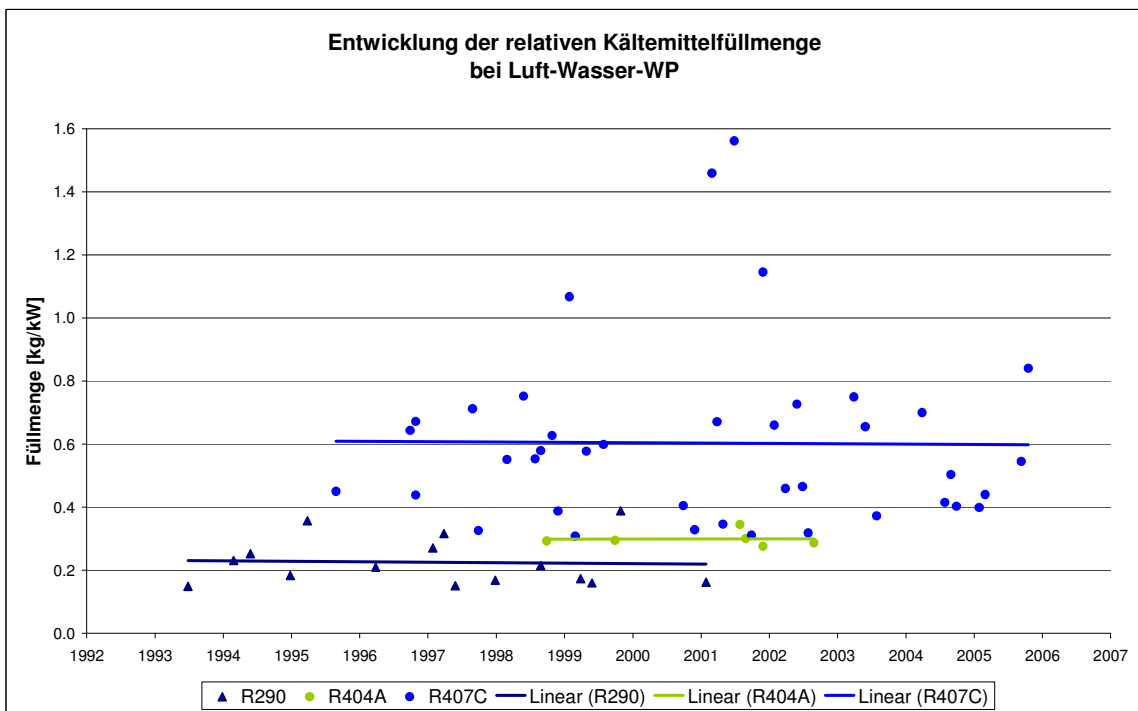


Abb. 3.1.3c: Entwicklung der relativen Kältemittel-Füllmengen

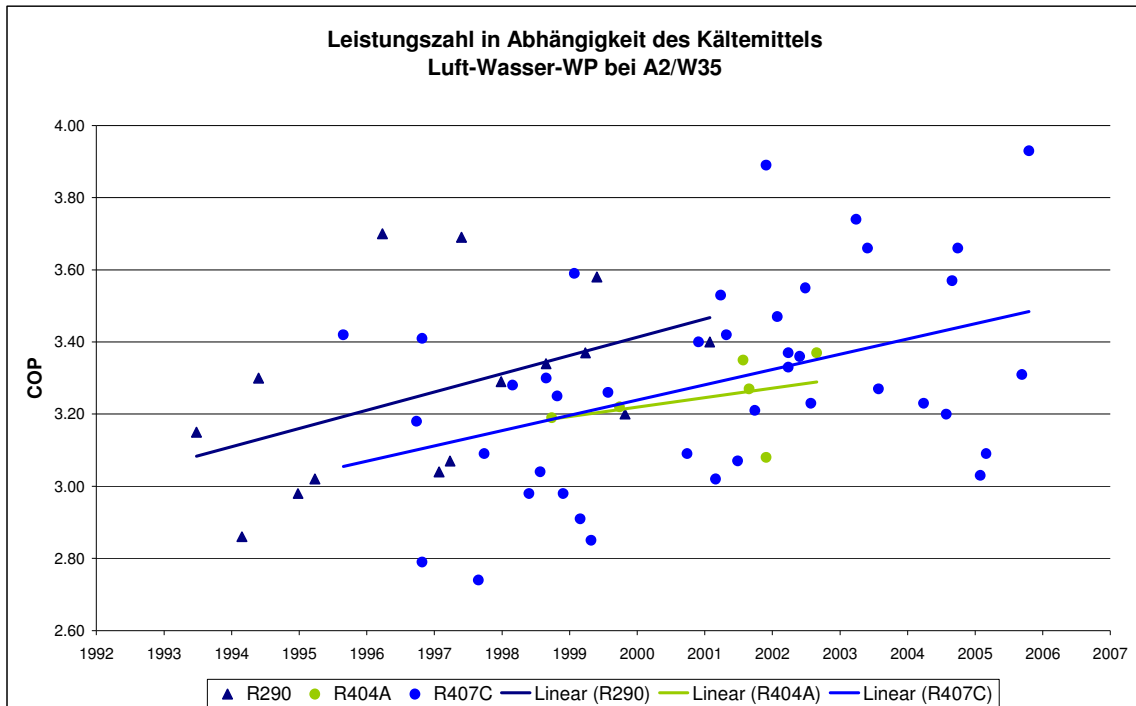


Abb. 3.1.3d: Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Kältemittel-Typen

Die Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Zeit und des Kältemittel-Typs zeigt für alle Kältemittel-Typen steigende Tendenz. Unter den Kältemitteln weist der Mittelwert von R290 gegenüber den fast gleich liegenden Mittelwerten von R407c und R404a einen höheren COP von ca. 0.15-0.2 auf, was 4.8% bis 5.9 % entspricht.

3.1.4 Verwendete Kompressor-Bauarten in Luft-Wasser-Wärmepumpen

Die Abbildung 3.1.4a zeigt, dass bis ca. 1996 fast ausschliesslich Hubkolben-Kompressoren eingesetzt wurden. Ab diesem Jahr wurde vermehrt der Scroll-Kompressor verwendet, ab dem Jahr 2000 waren von 34 geprüften Wärmepumpen nur gerade noch 4 mit einem Hubkolben-Kompressor ausgerüstet, die restlichen Wärmepumpen waren mit Scroll-Verdichtern bestückt.

Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Rollkolbenverdichtern wurden am WPZ nur gerade 3 im Jahr 1994 geprüft, auf eine Betrachtung dieser Kompressorbauart wird daher im Folgenden verzichtet.

Abbildung 3.1.4a zeigt auch, dass Wärmepumpen mit Hubkolben-Verdichtern gegen Ende ihrer Entwicklung die gleichen COP aufwiesen wie Wärmepumpen, die anfangs mit Scroll-Kompressoren ausgerüstet waren. Allerdings konnte bis 2005 mit dem Einsatz der Scroll-Verdichter eine weitere Steigerung der COP erreicht werden. Die einzelnen Messwerte weisen einen relativ grossen Streubereich zu den Regressionskurven auf.

Die in den letzten Kapiteln beschriebenen Untersuchungen haben die Abhängigkeit der energetischen Effizienz von weiteren Konstruktionsmerkmalen von Wärmepumpen aufgezeigt. Abbildung 3.1.4b zeigt nun die zeitliche Entwicklung des COP für Scroll-Kompressoren in Abhängigkeit des Kältemittel-Typs und des Abtauverfahrens.

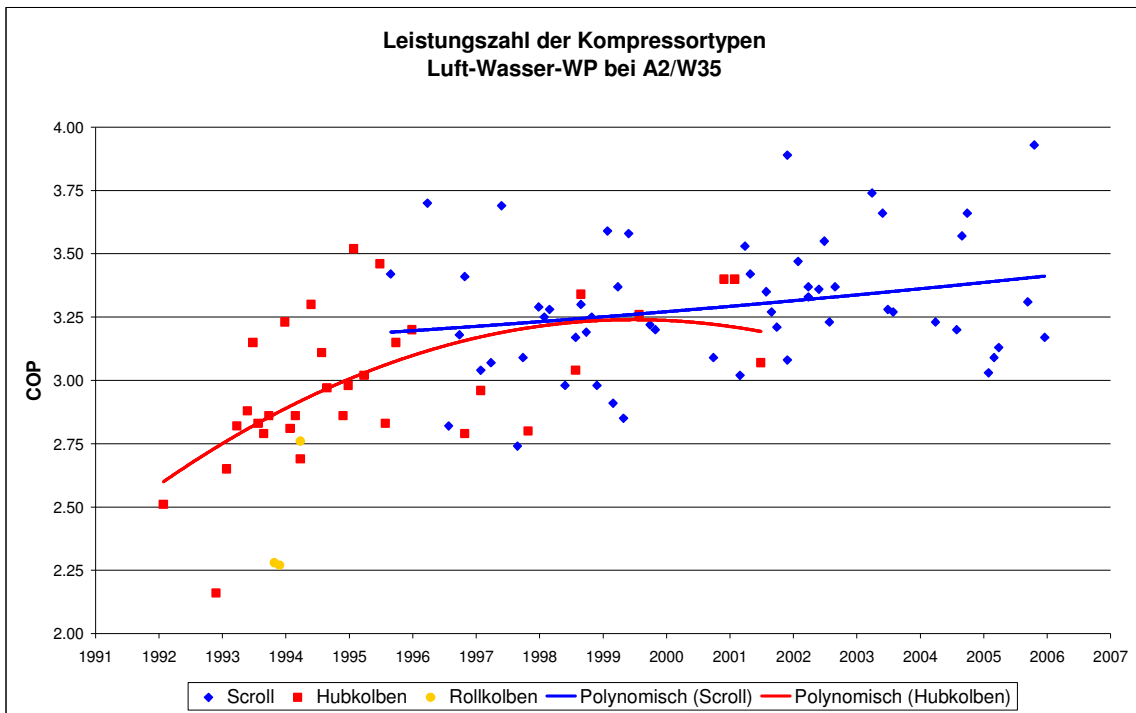


Abb. 3.1.4a: COP in Abhängigkeit des Kompressorartyps

Auf eine ähnliche Betrachtung mit Hubkolbenverdichtern wird hier verzichtet, da diese fast ausschliesslich mit dem Kältemittel R22 eingesetzt wurden, welches seit dem Jahr 2000 nicht mehr verwendet wird. Für eine Auswertung mit den heute verwendeten Kältemitteln ist die auswertbare Datenmenge für eine qualifizierte Aussage zu klein.

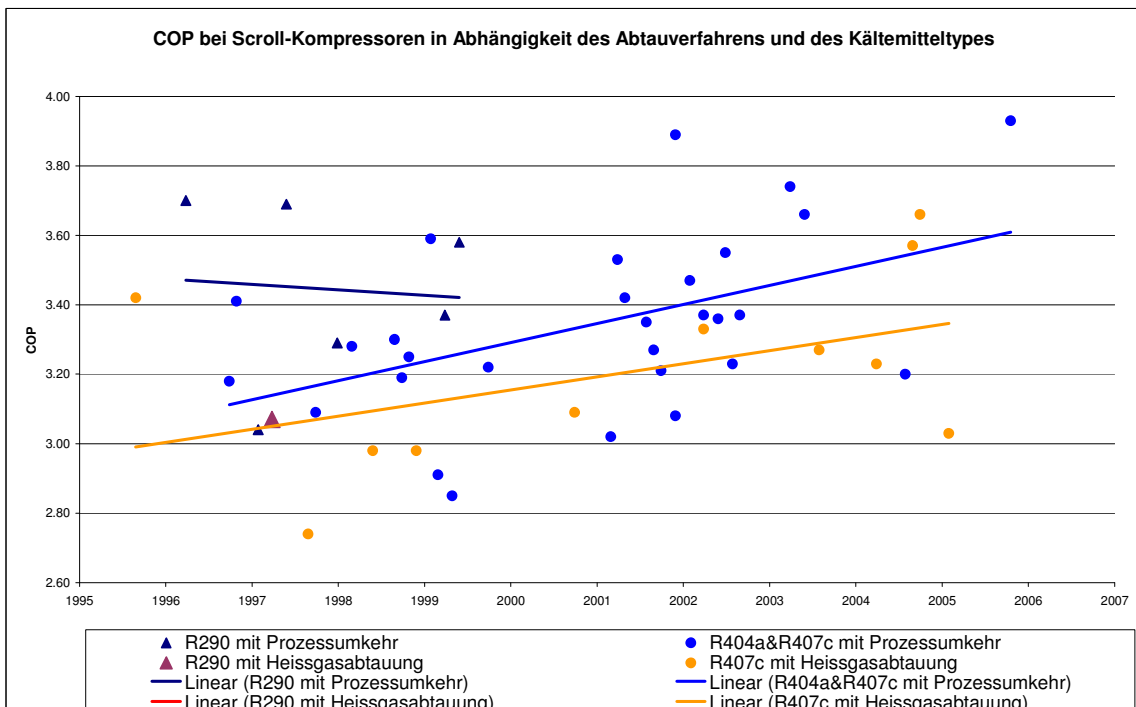


Abb. 3.1.4b: COP bei Wärmepumpen mit Scroll-Verdichtern in Abhängigkeit des Kältemittels und des Abtauverfahrens

Hier zeigt sich, dass mit der Prozessumkehr im Mittel deutlich höhere Leistungszahlen erreicht werden als mit der Heissgasabtauung. Wärmepumpen mit R290 als Kältemittel und Prozessumkehr erreichten schon Ende der 90er-Jahre die höchsten Leistungszahlen, welche durch R407c erst einige Jahre später erzielt werden konnten. Auch hier ist die grosse Streuung der Werte für R407c augenfällig.

3.1.5 Schalleistungspegel bei Luft-Wasser-Wärmepumpen

Die untenstehende Abbildung 3.1.5a zeigt, dass zwischen 1998 und 2004 eine deutliche Reduktion der Schallemission erzielt werden konnte. In den letzten zwei Jahren zeigt der Trend eher wieder nach oben, da im Verhältnis zu den anderen Jahren mehrere „ausser aufgestellte“ Anlagen und Splitanlagen geprüft wurden. Bei den innen aufgestellten Wärmepumpen wird ein grosser Teil der Schalleistung im Kanal zurück zur Anlage reflektiert.

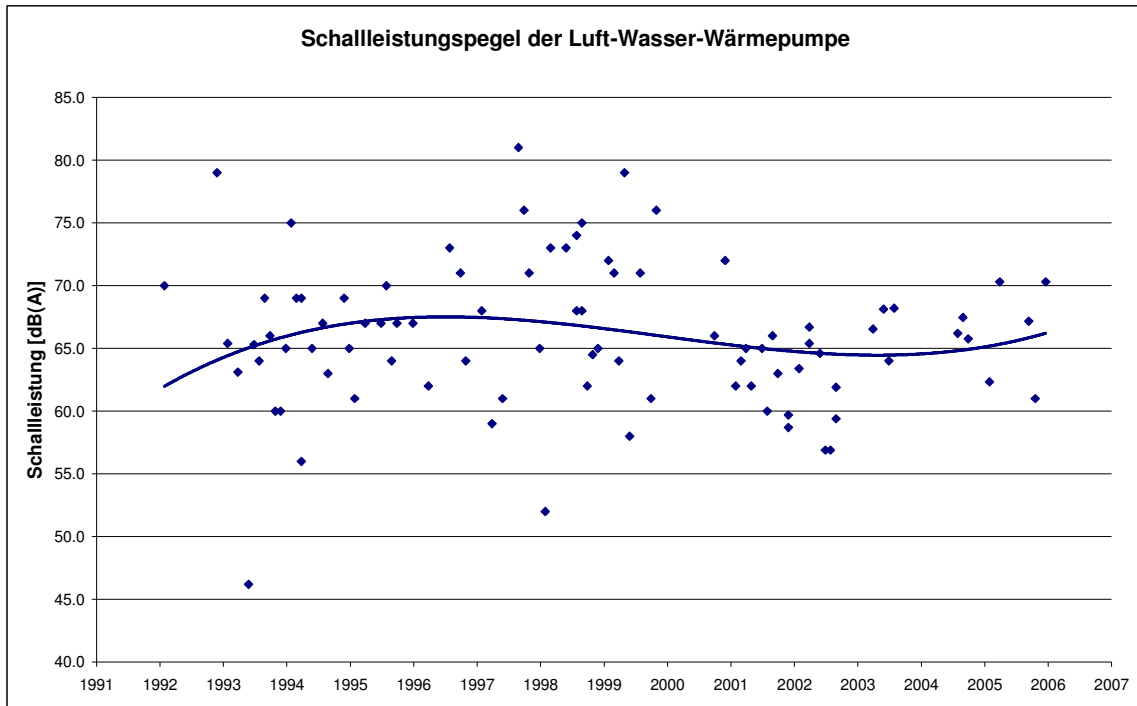


Abb. 3.1.5a: Schalleistungspegel bei Luft-Wasser-Wärmepumpen

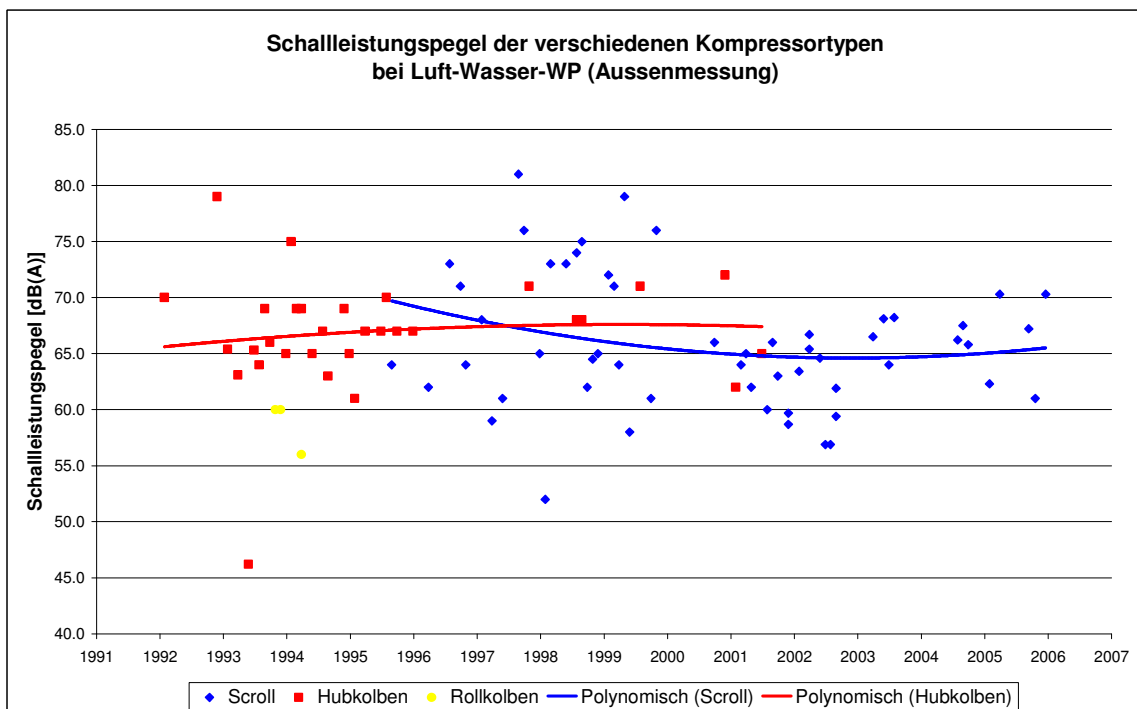


Abb. 3.1.5b: Schalleistungspegel bei Wärmepumpen mit verschiedenen Kompressortypen

Die Abbildung 3.1.5b zeigt, dass die Schalleistungsreduktion nicht mit der Einführung des Scroll-Kompressors zusammenfällt, sondern eher auf Optimierungen im Bereich der quellenseitigen Luftführung zurückzuführen sind.

3.1.6 Schlussfolgerungen Luft-Wasser-Wärmepumpen

Technologisch wäre eine weitere Steigerung der Leistungszahlen bei Luft-Wasser-Wärmepumpen erreichbar. Die Stagnation der Leistungszahlen in den letzten Jahren kann wahrscheinlich auf den herrschenden Kostendruck in den Märkten zurückgeführt werden. Die Wärmepumpen-Hersteller entwickeln ihre Produkte verstärkt Kosten optimiert und nicht mehr hinsichtlich der maximal möglichen energetischen Effizienz.

Die Anforderungen zur Erreichung des Gütesiegels, welches ab dem Jahr 2000 erteilt wird, liegen bei einem COP von 3.0. Auffällig ist, dass ab diesem Jahr nur noch ein COP-Wert unter diesem Grenzwert gemessen wurde; anscheinend werden die Wärmepumpen von den Herstellern bei der Entwicklung auf den Gütesiegel-Grenzwert hin ausgelegt. Eine Erhöhung des Gütesiegel-Grenzwertes könnte hier wahrscheinlich eine Verbesserung bringen.

Es zeigt sich, dass die Heissgasabtauung anfänglich der Prozessumkehr deutlich unterlegen war. Durch konsequente Verbesserung konnte die relative Abtauendauer aber vor allem bei der Heissgasabtauung massiv reduziert und die energetische Effizienz derart verbessert werden, so dass heute beide Verfahren fast als gleichwertig angesehen werden können.

Der Vergleich der COP-Werte in Abhängigkeit des Abtauverfahrens, des eingesetzten Kältemittels und des Kompressortyps hat deutlich gezeigt, dass bei Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Prozessumkehr, R290 als Kältemittel und Scroll-Verdichtern in den letzten 10 Jahren im Mittel die besten Leistungszahlen erzielt worden sind.

In den 90er-Jahren wurde hauptsächlich das Kältemittel R22 eingesetzt. Durch dessen Verbot ab dem Jahr 2000 wurde es vor allem durch die Kältemittel R290, R404a und R407c ersetzt, wobei heute vor allem R407c eingesetzt wird. Trotz bester energetischer Effizienz konnte sich R290 im Markt aufgrund der vorherrschenden Sicherheitsbedenken nicht durchsetzen.

Die relativen Kältemittel-Füllmengen weisen vor allem beim am häufigsten eingesetzten Kältemittel R407c sehr grosse Streuungen auf. Die Kältemittel-Füllmenge ist von der Konstruktion der Wärmepumpe abhängig. Eine Reduktion der Füllmengen kann schlussendlich nur durch die WP-Entwickler und -Hersteller bewirkt werden.

Abbildung 3.1.5b zeigt auch, dass die Reduktion des Schalleistungspegels bei Luft-Wasser-Wärmepumpen nicht mit der Einführung des Scroll-Kompressors zusammenfällt, sondern eher auf Optimierungen im Bereich der quellenseitigen Luftführung zurückzuführen sind.

3.2 Sole-Wasser-Wärmepumpen

3.2.1 Leistungszahlverlauf Sole-Wasser-Wärmepumpen 1993 bis 2006

Der Trend in Abb. 3.2.1 zeigt für die Entwicklung der Leistungszahlen bis ins Jahr 2000 einen fortlaufenden Anstieg, wobei sicher der Durchschnittswert von anfänglich etwa 3.8 auf etwa 4.4 verbessert hat. Seit 2003 haben sich die Mittelwerte wieder leicht reduziert und liegen heute bei etwa 4.2. Die ab dem Jahr 2000 gemessenen Werte streuen zwischen 3.95 (Ausreisser bei 2.58!) und 5.14.

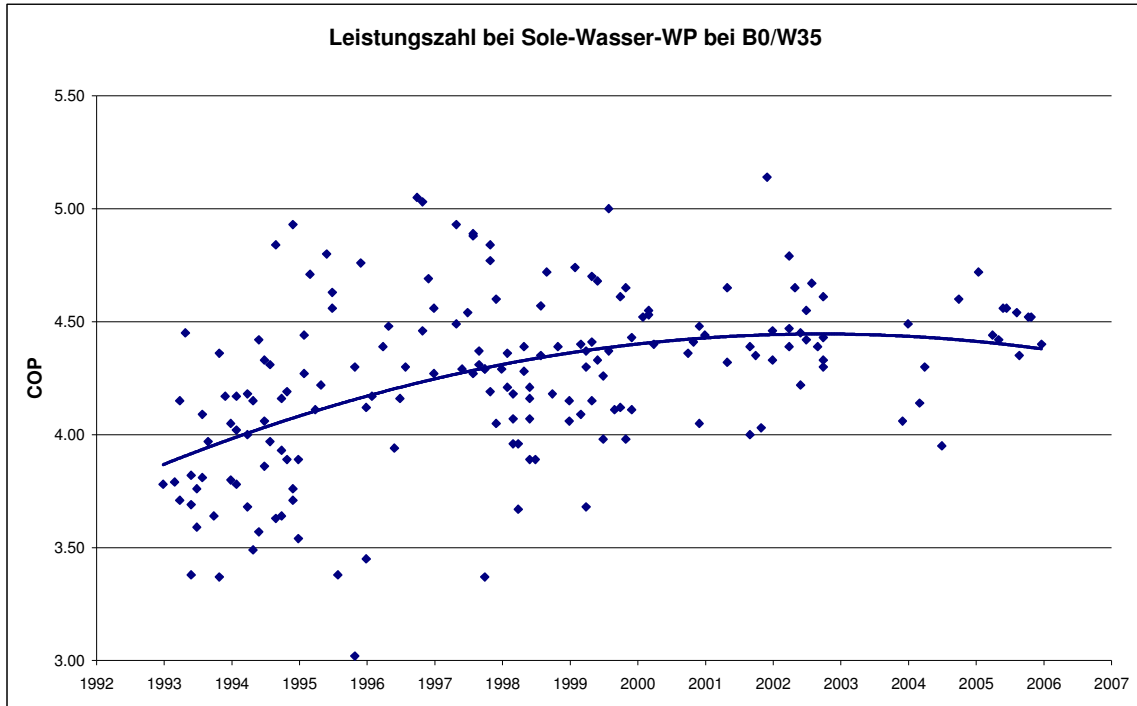


Abb. 3.2.1: COP-Verlauf der getesteten Sole-Wasser-WP seit 1993

3.2.2 Verwendung von Kältemitteln in Sole-Wasser-Wärmepumpen

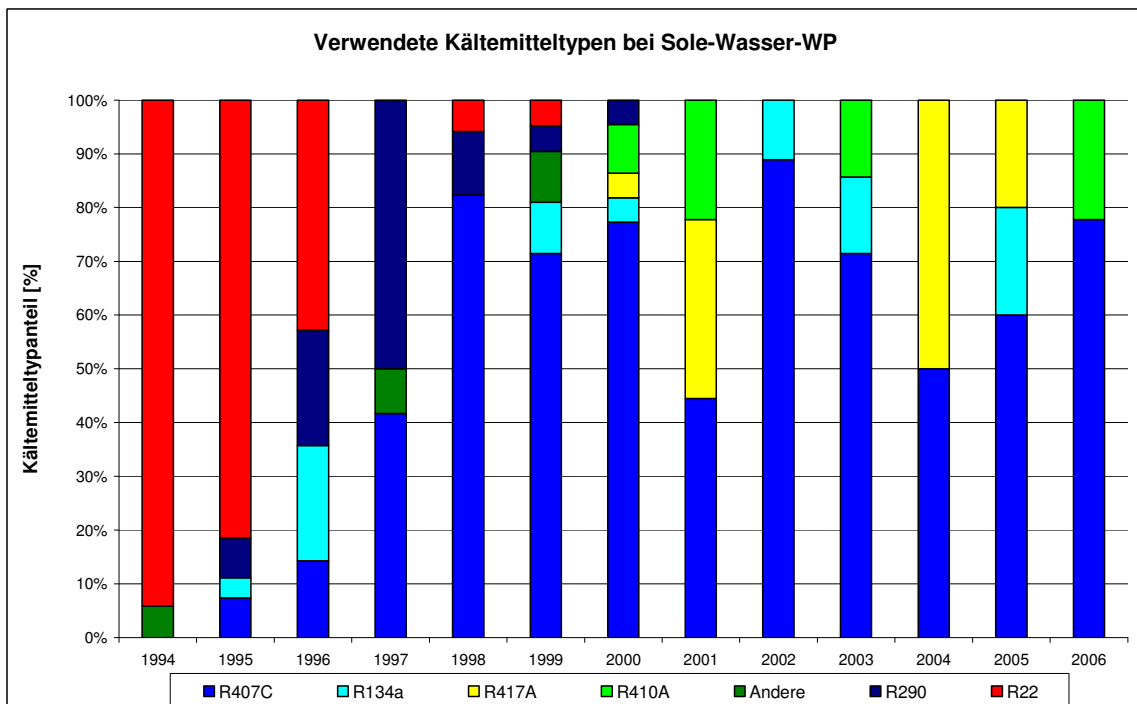


Abb. 3.2.2a: Verwendete Typen von Kältemitteln in Sole-Wasser-Wärmepumpen

Das Kältemittel R22 wurde aufgrund des Verbotes in der Schweiz in Neuanlagen ab dem Jahr 2000 nicht mehr eingesetzt. R290 wurde bis ins Jahr 2000 recht häufig verwendet. Nebst R407c, welches seit 1998 am häufigsten eingesetzt wird, wurden Wärmepumpen mit den Kältemitteln R417a und R134a geprüft, wobei R134a am seltensten verwendet wurde.

In den nachfolgenden Betrachtungen wird nur auf die in den letzten Jahren am häufigsten verwendeten Kältemittel R290, R407c, R134a und R417a eingegangen.

In den Abbildungen 3.2.2b wird ersichtlich, dass die absolute Menge des eingesetzten Kältemittels mit der Zeit verringert wurde, wobei hier R290 die Ausnahme mit einem geringfügigen Anstieg bildet. Derselbe Trend wird auch bei den relativen Kältemittelmengen aus Abbildung 3.2.2c ersichtlich. Augenfällig sind die grossen Streuungen beim Kältemittel R407c.

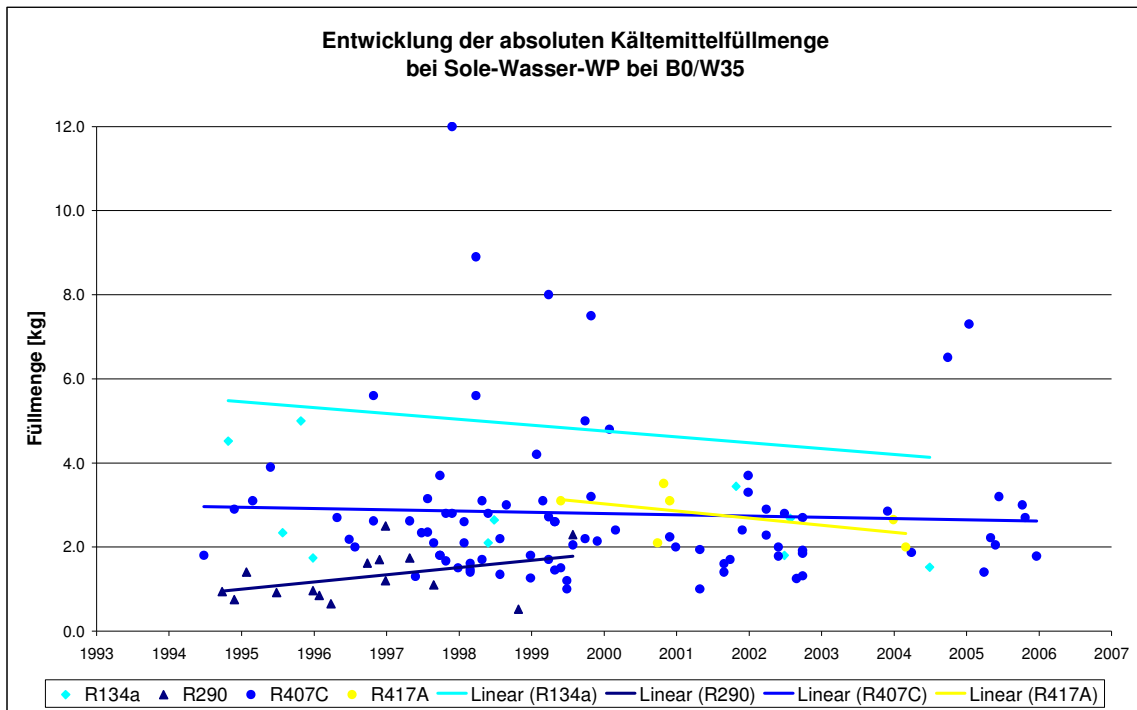


Abb. 3.2.2b: Entwicklung der absoluten Kältemittel-Füllmengen

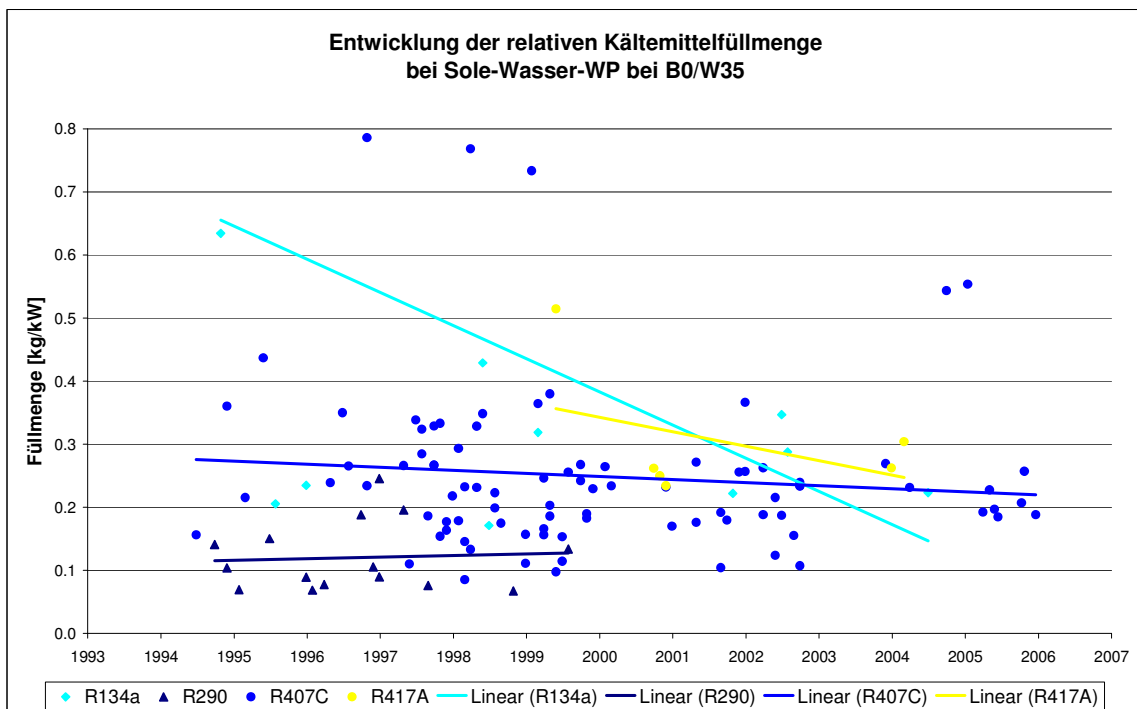


Abb. 3.2.2c: Entwicklung der relativen Kältemittel-Füllmengen

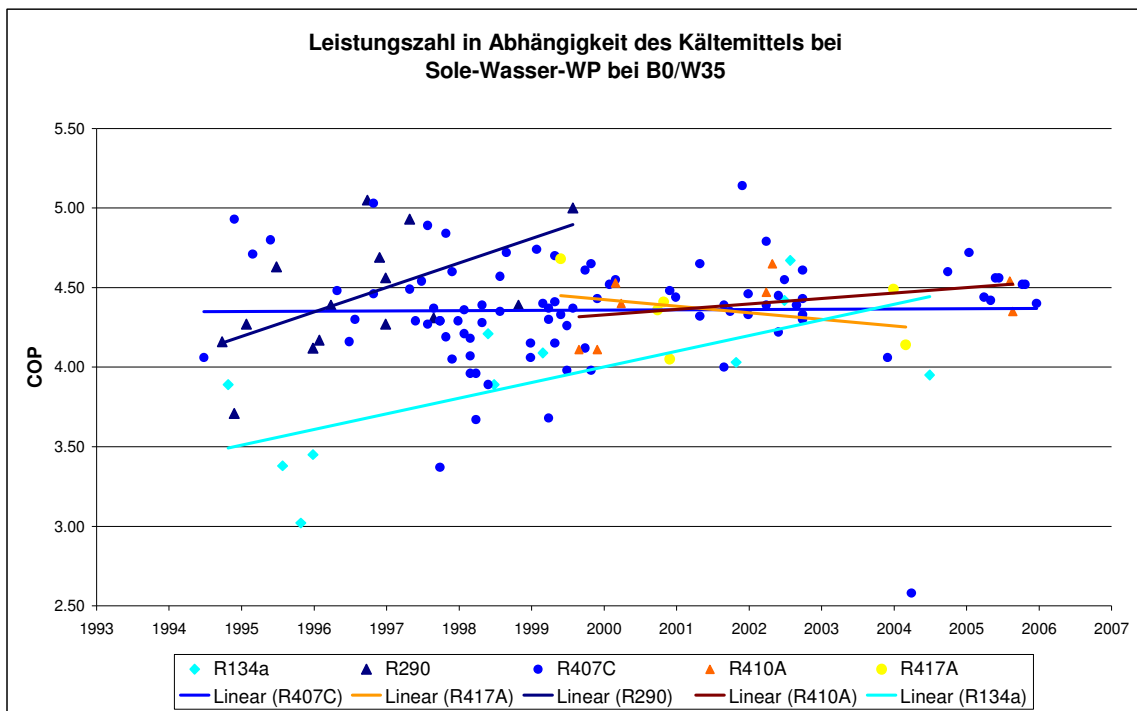


Abb. 3.2.2d: Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Kältemittel-Typen

Die Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Zeit und des Kältemittel-Typs zeigt für R290 und R134a steigende Tendenz, diese ist jedoch bei R407c konstant und bei R417a leicht fallend. Wie bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen wurden auch hier bei Wärmepumpen mit R290 als Kältemittel im Mittel die besten COP-Werte gemessen.

3.2.3 Verwendete Kompressor-Bauarten in Sole-Wasser-Wärmepumpen

Die Abbildung 3.2.3a zeigt, dass bis ca. 1996 fast ausschliesslich Hubkolben-Kompressoren eingesetzt wurden. Ab 1997 wurde vermehrt der Scroll-Kompressor verwendet, ab dem Jahr 2000 wurden nur gerade noch 2 mit Hubkolben-Kompressoren ausgerüstete Wärmepumpen gemessen.

Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Rollkolbenverdichtern wurden am WPZ keine gemessen.

Abbildung 3.2.3a zeigt auch, dass Wärmepumpen mit Hubkolben-Verdichtern gegen Ende ihrer Entwicklung etwa die gleichen COP aufwiesen wie Wärmepumpen, die anfangs mit Scroll-Kompressoren ausgerüstet waren. Mit dem Einsatz von Scroll-Verdichtern wurde im zeitlichen Verlauf keine entscheidende Verbesserung des COP erzielt, die COP sind seit dem Jahr 2000 sogar stagnierend. Alle Messwerte weisen einen relativ grossen Streubereich zu den Regressionskurven auf.

Abbildung 3.2.3b zeigt nun die zeitliche Entwicklung des COP in Abhängigkeit des Kältemittel-Typs und des eingesetzten Verdichter-Typs auf.

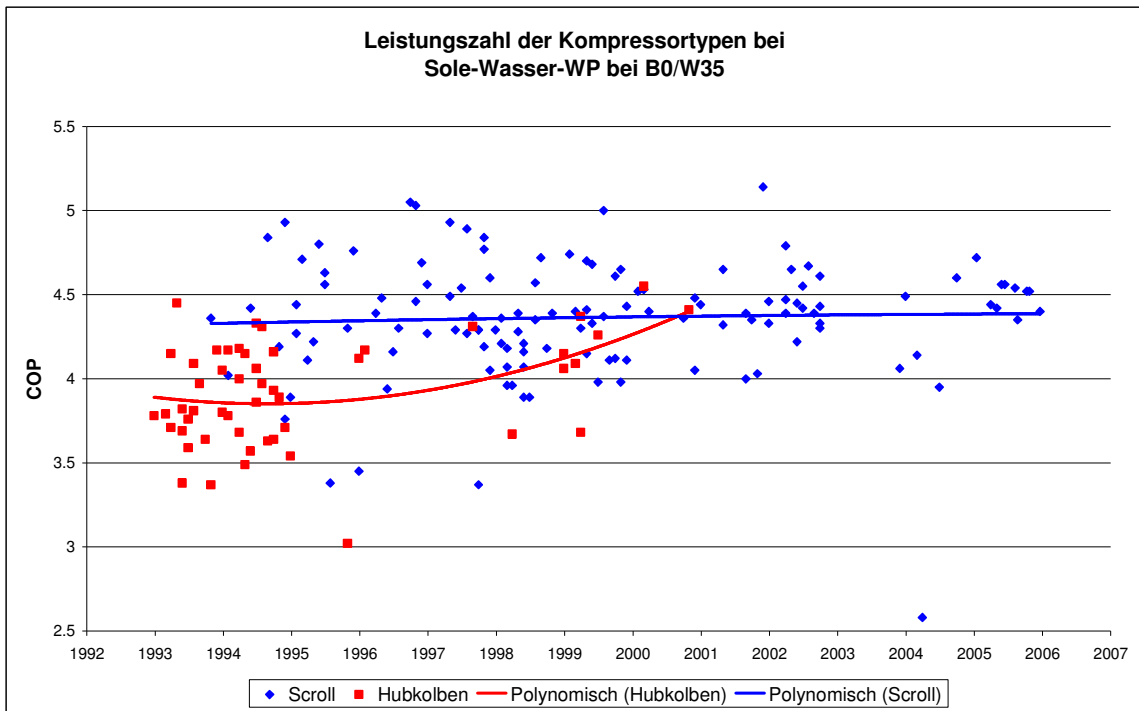


Abb. 3.2.3a: COP in Abhängigkeit des Kompressortyps

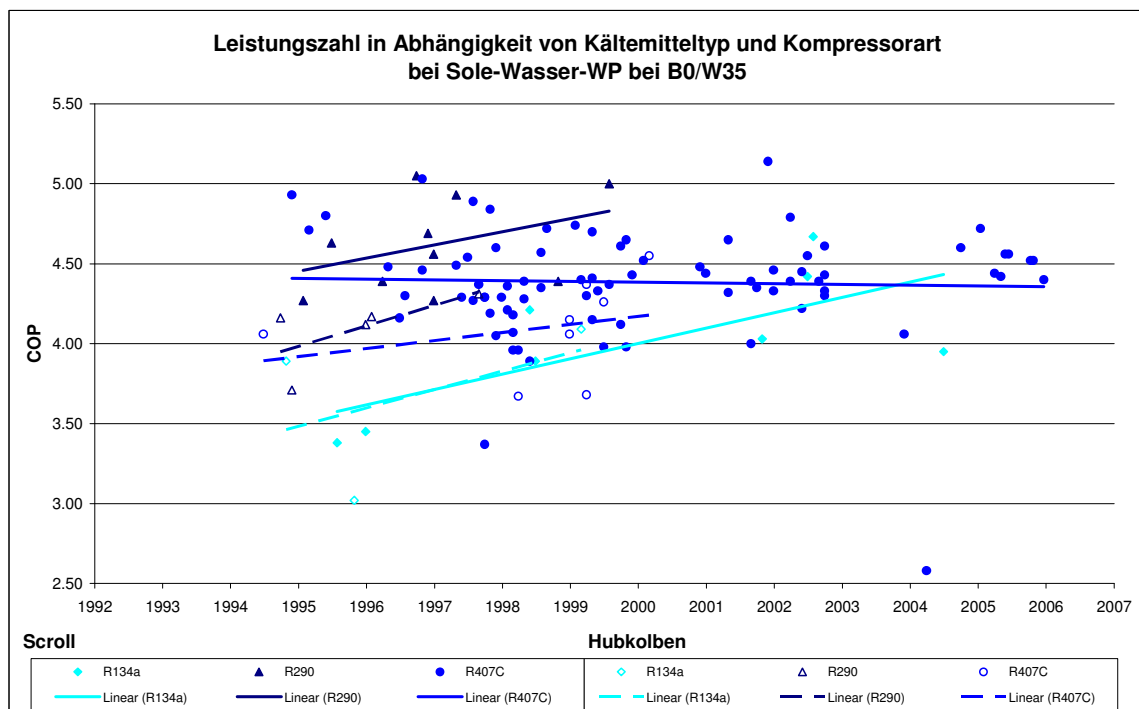


Abb. 3.2.3b: COP bei Wärmepumpen in Abhängigkeit des Kältemittels und des Kompressor-Typs

Die besten COP-Werte werden wiederum von Wärmepumpen mit Scroll-Verdichtern und R290 als Kältemittel erzielt. Bei den Kältemitteln R290 und R407c&R417a sind die Vorteile der Scroll-Verdichter gegenüber den Hubkolben-Verdichtern deutlich ersichtlic. Bei R134a konnte jedoch durch den Einsatz von Scroll-Verdichtern keine Verbesserung erzielt werden. Bei Wärmepumpen mit R407c und Scroll-Verdichtern sind die COP-Werte im zeitlichen Verlauf leicht fallend, bei den anderen Kältemitteln ist der Trend jedoch steigend.

3.2.4 Schalleistungspegel bei Sole-Wasser-Wärmepumpen

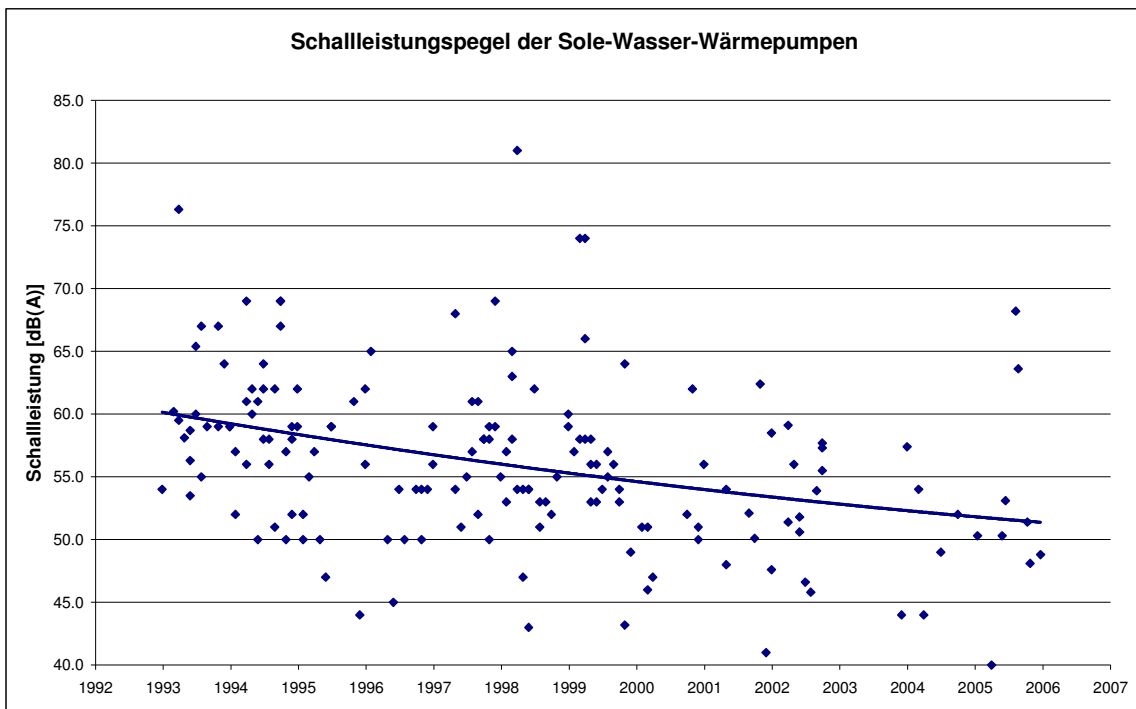


Abb. 3.2.4a: Schalleistungspegel bei Sole-Wasser-Wärmepumpen

Abb. 3.2.4a zeigt, dass in den letzten 12 Jahren eine kontinuierliche Reduktion der Schalleistungspegel erzielt werden konnte. Abb. 3.2.4b zeigt, dass vor allem mit der Einführung des Scroll-Kompressors diese Reduktion erreicht wurde.

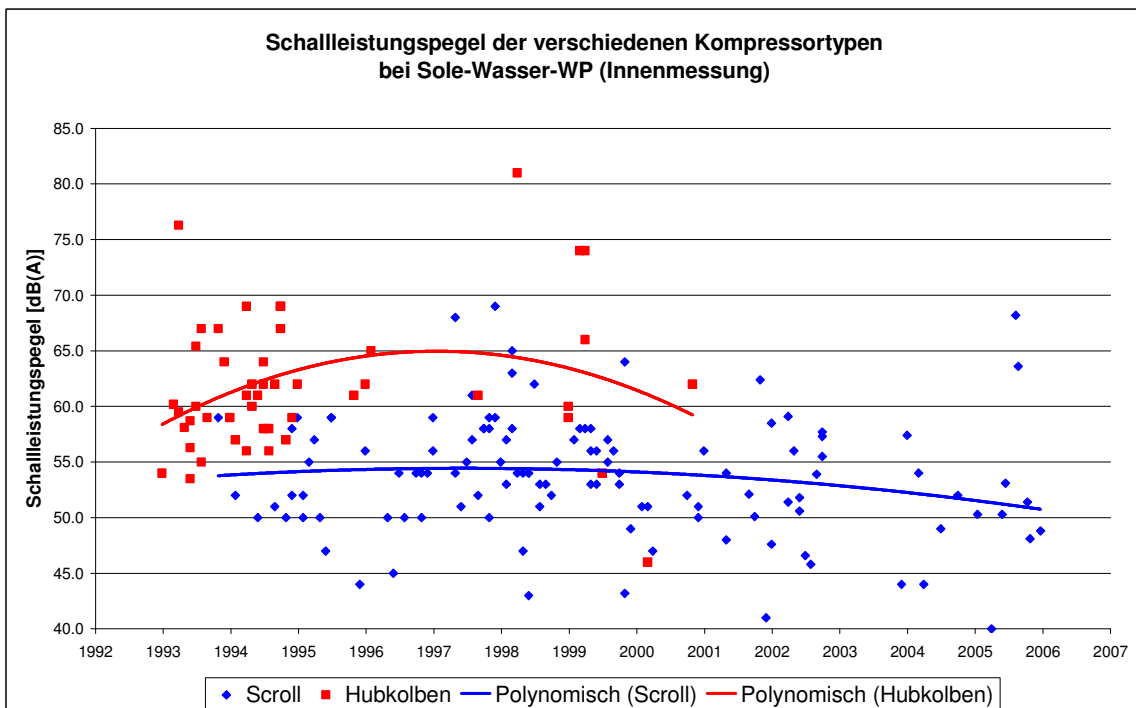


Abb. 3.2.4b: Schalleistungspegel nach Kompressorbauart

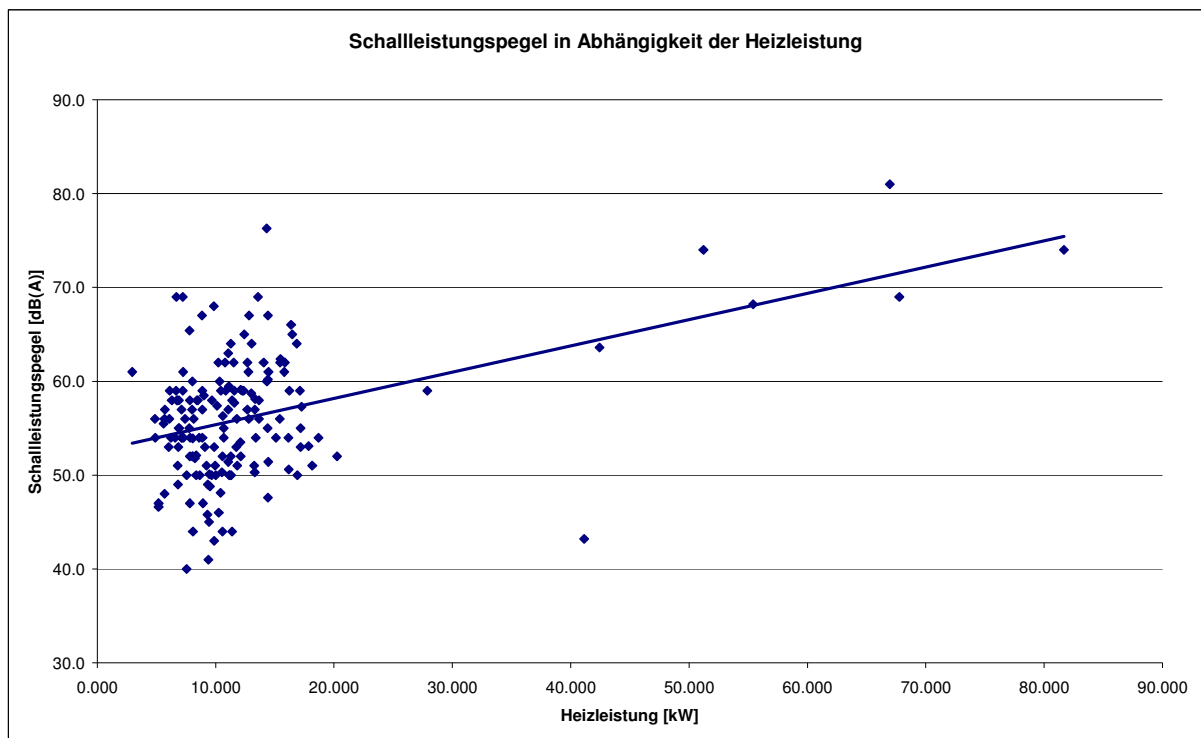


Abb. 3.2.4c: Schalleistungspegel bei Wärmepumpen mit verschiedenen Kompressortypen

Die Abbildung 3.2.4c zeigt auf, dass zwar eine Abhängigkeit des Schalleistungspegels zur Heizleistung besteht, die Streuung der Messwerte aber erheblich sind.

3.2.5 Schlussfolgerungen Sole-Wasser-Wärmepumpen

Die mittleren Leistungszahlen bei den Sole-Wasser-Pumpen sind seit dem Jahr 2000 stagnierend, dabei wäre auch bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen eine Steigerung der Leistungszahlen erreichbar. Wie bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen entwickeln die Wärmepumpen-Hersteller ihre Produkte verstärkt Kosten optimiert und nicht mehr hinsichtlich der maximal möglichen energetischen Effizienz.

Die Anforderungen zur Erreichung des Gütesiegels, welches ab dem Jahr 2000 erteilt wird, liegen bei einem COP von 4.0. Auch hier zeigt sich, dass ab diesem Zeitpunkt fast keine Wärmepumpen mit einem tieferen COP gemessen wurden. Der Einfluss des Gütesiegels ist also wiederum offensichtlich.

Offensichtlich ist, dass die genannten Steigerungen bei den COP-Werten hauptsächlich auf die Einführung der Scroll-Kompressoren zurückzuführen sind.

Der Vergleich der COP-Werte in Abhängigkeit des eingesetzten Kältemittels und des Kompressortyps hat deutlich gezeigt, dass bei Sole-Wasser-Wärmepumpen mit R290 als Kältemittel und Scroll-Verdichtern in den letzten 10 Jahren im Mittel die besten Leistungszahlen erzielt worden sind.

In den 90er-Jahren wurde hauptsächlich das Kältemittel R22 eingesetzt. Durch dessen Verbot ab dem Jahr 2000 wurde es vor allem durch die Kältemittel R290, R407c, R134a und R417a ersetzt, wobei heute vor allem R407c eingesetzt wird. Trotz bester energetischer Effizienz konnte sich R290 im Markt wiederum nicht durchsetzen.

Die relativen Kältemittel-Füllmengen konnten bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen im Laufe der Zeit reduziert werden. Augenfällig sind hier wiederum die grossen Streuungen vor allem beim am häufigsten eingesetzten Kältemittel. Da die Kältemittel-Füllmenge konstruktiv bedingt ist, kann eine Reduktion der Füllmengen schlussendlich nur durch die WP-Entwickler und -Hersteller bewirkt werden.

Eine massive Reduktion des Schalleistungspegels von im Mittel 10 dB konnte mit der Einführung der Scroll-Kompressoren erreicht werden. Die heute teilweise erreichten Werte unter 50 dB stellen im Heiztechnikbereich Spitzenwerte dar.

B. Feldmonitoring von Bestanlagen

4 Anlagensample

4.1 Aufnahme und Beurteilung von Anlagen

Um eine Anlage in das Anlagensample für Bestanlagen aufnehmen zu können, müssen ein bis zwei Jahre Betriebserfahrungen und deren Daten vorliegen. Ohne diese Informationen ist es schlicht nicht möglich eine Beurteilung, resp. eine Selektion vornehmen zu können.

4.2 Zielsetzung für diese Analyse von Bestanlagen

Das Ziel des Teilprojektes Feldmonitoring von Bestanlagen besteht darin, aufzuzeigen, was Wärmepumpen bezüglich Jahresarbeitszahl erreichen können. Damit sollen Richtmarken für Bauherren, Hersteller und Planer gesetzt werden. Im Gegensatz zum Projekt FAWA [6], wo *Durchschnittswerte* gesucht wurden, sollen hier also *Bestwerte* eruiert werden. Die Änderung (und womöglich Verbesserung) der JAZ der Bestanlagen soll über mehrere Jahre verfolgt werden. Es werden nur Luft-Wasser- und Sole-Wasser-Wärmepumpen (auch SW-Anlagen mit Wasserfüllung) erfasst, da diese den Hauptbestand aller eingebauten Wärmepumpen ausmachen.

Kriterien für die Auswahl:

Ein erstes Kriterium sind die Normprüfungen am WPZ Buchs. Bezüglich der Leistungszahlen gibt es doch deutliche Unterschiede von Fabrikat zu Fabrikat.

Ein zweites Kriterium sind die Auslegesystemtemperaturen. Vor allem die Vorlauftemperaturen sollten unterhalb von 40 °C liegen.

Als drittes Kriterium sind die technische Lösung und damit verbunden die Investitionskosten in einem normalen Rahmen zu halten. Es sollen keine sog. „Exoten“ oder „technische Wunderwerke“ erfasst werden.

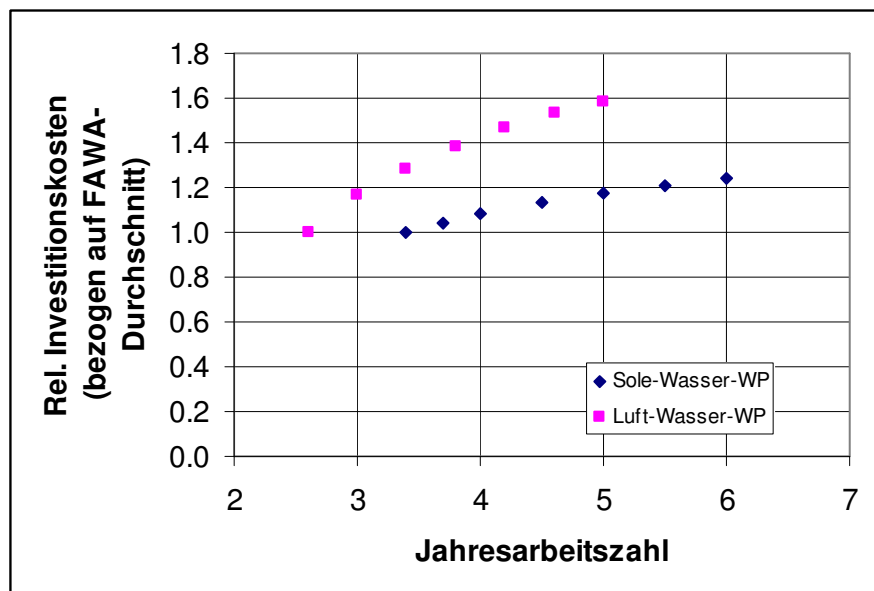


Abb. 4.2: Zusammenhang zwischen der JAZ und den zulässigen Investitionskosten für identische Lebensdauererwartungen (Wärmeleistung ca. 12 kW).

Die Bestanlagen werden aber nicht nur bezüglich ihres energetischen Verhaltens untersucht. Vielmehr soll auch die wirtschaftliche Seite angegangen werden. Es macht keinen Sinn, die Jahresarbeitszahl durch eine sündhaft teure Sonderanlage in einsame Höhen zu maximieren. Wir suchen also Bestanlagen, die auch bezüglich Anlagekosten im Rahmen liegen, wobei wir Investitionskosten der Wärme-erzeugungsanlage von etwa 20 % über dem Durchschnitt noch tolerieren.

Diesen Grundsatz können wir noch präziser fassen. Wenn wir von den Lebensdauererwartungen ausgehen, so dürfen die Investitionskosten umso höher sein, je höher die Jahresarbeitszahl ausfällt. Für identische Lebensdauererwartungen gibt es also einen Zusammenhang zwischen Investitionskosten und der

Jahresarbeitszahl. Dieser Zusammenhang kann rechnerisch ermittelt werden. Abb. 4.2 zeigt den Zusammenhang für eine Luft-Wasser-Wärmepumpe und eine SW-Wärmepumpe.

4.3 Anlagensample (28 Anlagen)

Das Anlagensample umfasst die nachstehenden Anlagen, die mehrheitlich aus dem FAWA-Sample hervorgegangen sind.

Nr.	Objekt	Baujahr	Art	Medium	WQ	EWS	WW	KM	Tv	Qh *	Pel *	JAZ
5	Neubau	1998	LW	AUL	3500			R407C	35	12.90	4.17	3.09
8	Neubau	2000	LW	AUL	3100		BWW	R290	40	10.19	3.19	3.05
10	Neubau	2000	LW	AUL	3100			R290	40	7.11	2.21	2.93
11	Neubau	2001	LW	AUL	2500		BWW	R404A	40	8.65	2.86	3.04
12	Neubau	2001	LW	AUL	4000			R290	38	12.00	3.69	3.45
13	Neubau	2002	LW	AUL	3100		BWW	R290	35	6.80	1.98	3.38
14	Neubau	2002	LW	AUL	1800			R407C	40	6.32	2.14	2.90
20	Neubau	2003	LW	AUL	2250		BWW	R407C	35	6.11	1.56	3.21
24	Neubau	2001	LW	AUL	4300			R290	35	8.50	2.40	3.82
25	Neubau	2003	LW	AUL	2500		BWW	R290	35	8.80	2.55	3.51
26	Sanierung	1981	LW	AUL	4700		BWW	R407C	40	10.10	3.10	3.18
28	Neubau	202	LW	AUL	1000		BWW	R407C	35	5.70	1.46	3.30
1	Neubau	1996	SW	Sole	150	32	BWW	R290	35	9.22	1.80	4.97
2	Neubau	1998	SW	Sole	140	32	BWW	R407C	35	8.88	2.77	4.45
3	Neubau	1998	SW	Sole	140	32	BWW	R22	30	9.85	2.00	4.52
4	Neubau	1998	SW	Sole	170	32	BWW	R290	38	9.20	1.78	4.94
6	Neubau	1998	SW	Wasser	170	40	BWW	R407C	30	5.88	1.11	6.30
7	Neubau	1999	SW	Sole	200	40	BWW	R290	38	9.20	1.78	5.09
9	Sanierung	1985	SW	Sole	128	32	BWW	R417A	40	6.42	1.32	4.10
15	Neubau	2003	SW	Sole	160	32	BWW	R290	30	6.43	1.02	5.05
16	Neubau	2003	SW	Sole	185	32	BWW	R407C	30	7.94	1.62	4.88
17	Neubau	2003	SW	Sole	165	40	BWW	R410A	30	7.33	1.72	4.57
18	Sanierung	1983	SW	Sole	220	40	BWW	R290	40	9.19	1.77	4.59
19	Sanierung	1980	SW	Sole	200	40		R410A	45	14.20	3.43	5.19
21	Sanierung	1979	SW	Wasser	195	40	BWW	R410A	40	8.96	1.48	4.35
22	Sanierung	1996	SW	Sole	105	32	BWW	R290	40	6.30	1.23	4.21
27	Neubau	2001	SW	Sole	150	32		R407C	40	8.40	1.85	4.98
23	Neubau		WW	Wasser	2540		BWW	R407C	35	12.52	2.67	4.99

Ein entscheidender Parameter ist sicher die Tiefhaltung der Vorlauftemperatur. Der Durchschnitt der Planungswerte ist bei den analysierten Anlagen bei 36.6 °C. Ebenso sind die mittleren Betriebsstunden dieser Anlagen eher tief. Bei ausgewerteten Gesamtbetriebsstunden von 224'688 liegt der Jahresmittelwert für die Heizsaison pro Anlage bei 1702 Betriebsstunden.

Die Warmwasserbereitung ist ebenfalls in der Untersuchung enthalten. Es sind 21 Anlagen mit WW-Bereitung und 7 Anlagen mit beigestelltem Elektroboiler im Anlagensample, die analysiert werden konnten.

5 Stand der Ermittlungen und Analysen

Welches sind die Gründe für den auffallenden Unterschied zwischen FAWA und Bestanlagen?

- Kältemittel: Anlagen mit R290 (Propan) zeigen generell gute und vor allem bei den LW-Anlagen hohe Leistungszahlen. Es ist daher nicht verwunderlich, dass bei den Bestanlagen überdurchschnittlich viele solcher Anlagen im Sample enthalten sind.
- Wärmequelle EWS: EWS, die mit Wasser betrieben werden, haben deutlich höhere Verdampfungstemperaturen als solche, die mit Sole betrieben werden. Ebenso sind die Umwälzpumpenleistungen bedeutend tiefer. Da bei den Bestanlagen, die mit Wasser betriebenen EWS mit ca. 50% Anteil gegenüber dem FAWA-Sample stark übervertreten sind, erklärt sich ein weiterer JAZ Unterschied.
- Vorlauftemperaturen: Gemäss FAWA-Analyse beträgt die mittlere Auslegetemperatur (Vorlauf) 43.0 [°C] und bei den untersuchten Bestanlagen 36.7 [°C]. Dies erklärt eine weitere JAZ-Differenz von rund 8 [%] zwischen den beiden Samples.

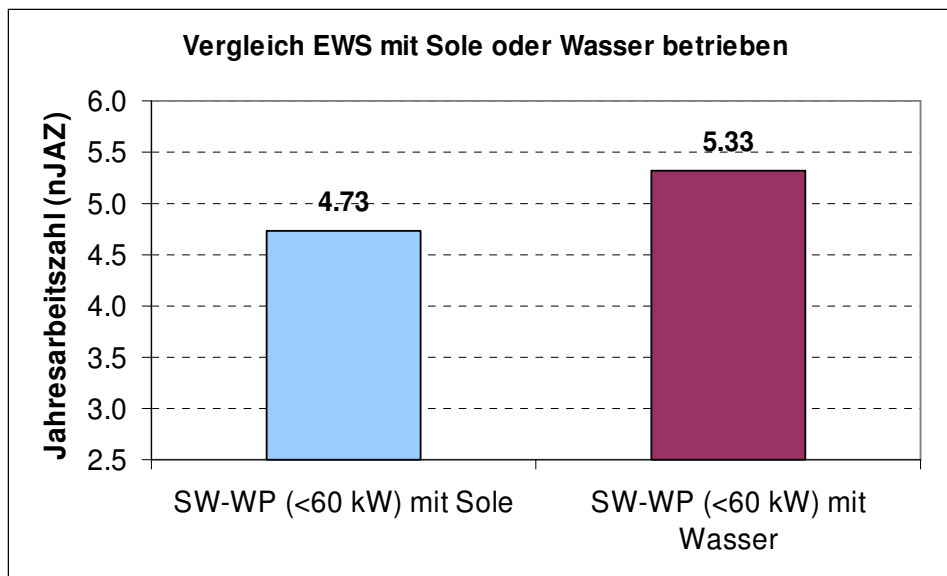


Abb. 5.1: Vergleich der normierten Jahresarbeitszahlen für EWS-Anlagen mit Sole- resp. Wasserfüllung für das Anlagensample „Bestanlagen“

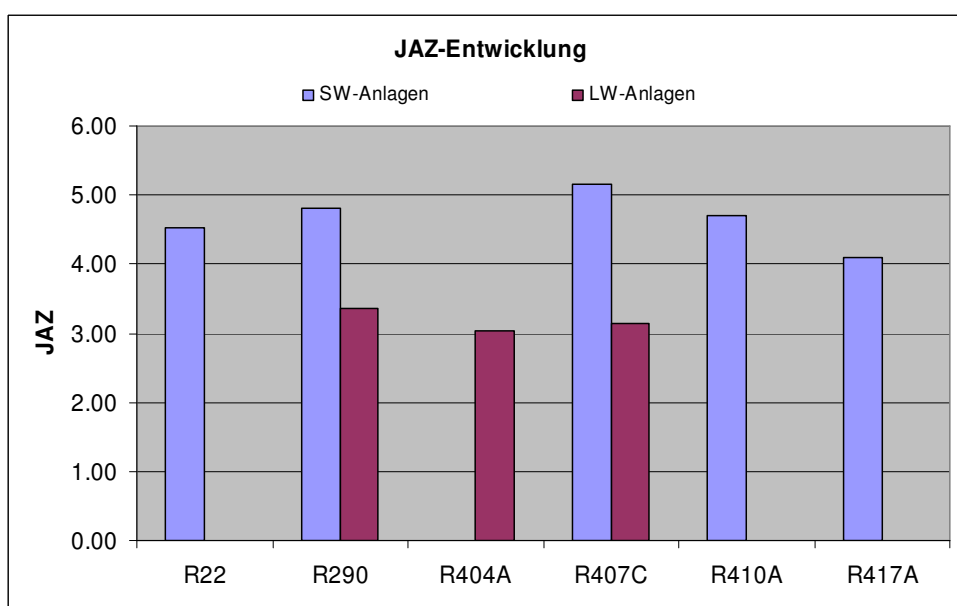


Abb. 5.2: Vergleich der JAZ-Werte bei SW- und LW-Anlagen versus verschiedene Kältemittel

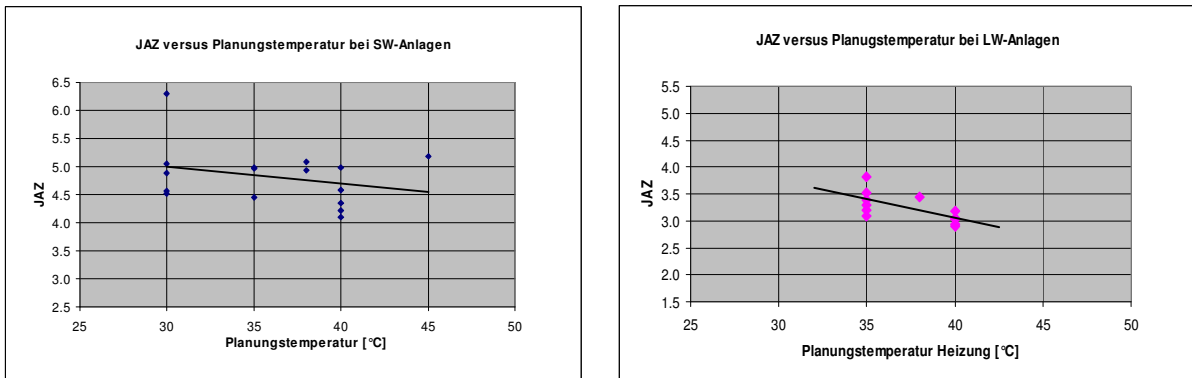


Abb. 5.3: Einfluss der Planungstemperatur für das Heizsystem bei SW- und LW-Anlagen

Zusätzlich sind eine Vielzahl von optimal gestalteten Details (z. Bsp. Wärmetauscherlegung, Abtausystem, etc.), die zu einer besseren Effizienz führen. Auch die Betreuung durch die Anlagenbesitzer, die für optimale Einstellungen und Betrieb (Heizkurve, etc.) verantwortlich sind, spielt ebenfalls eine Rolle.

Beim Betrieb von Erdsondenanlagen mit Wasser oder Sole/Wassergemisch spielen zwei Einflussfaktoren mit. Einerseits ist die spezifische Wärmekapazität unterschiedlich und andererseits ist der Kraftbedarf für die Quellen-Umwälzpumpe im Falle von Sole/Wassergemisch grösser. Werden dazu noch längere Erdwärmesonden versetzt, ist der Unterschied gross. Die Optimierung kann durch die Wahl des grösseren Sondendurchmessers und aber auch durch die Aufteilung auf mehrere parallel abgeteufte Erdwärmesonden erfolgen. In diesem Bereich wird noch zu wenig geplant, um eine optimale Quellenanlage zu erstellen.

Die Warmwasserbereitung zeigt jedoch im Gegensatz zum FAWA-Sample bei den SW-WP im Bereich der Bestanlagen einen Einfluss auf die JAZ. Statistisch sind diese Werte jedoch noch nicht gesichert, da das Anlagensample zu klein ist.

Bestanlagen	JAZ _{mittel}	JAZ _{max}	JAZ _{min}
LW-WP mit WW-Bereitung	3.239	3.51	3.04
LW-WP ohne WW-Bereitung	3.238	3.82	2.90
SW-WP mit WW-Bereitung	4.67	5.09	4.10
SW-WP ohne WW-Bereitung	5.09	5.19	4.98
WW-WP mit WW-Bereitung *	5.21	6.30	4.35
WW-WP ohne WW-Bereitung *	kein Wert	kein Wert	kein Wert

* Anmerkung: Diese WW-WP-Anlagen haben als Wärmequelle Erdwärmesonden, die mit reinem Wasser betrieben werden.

C. Feldmonitoring über Langzeitverhalten

6 Anlagensample

Anl.-Nr.	Ort	Gebäude-art	Bau-jahr	Wärme-quelle	JAZ mittel	Qh [kW]	Anlageart	WW	Beginn Datenerf.
1	Herisau	ZFH	1976	Erdsonde	2.66	14.2	bivalent	ja	07.12.96
2	Herisau	ZFH	1976	Erdsonde	2.62	12.6	monovalent	ja	04.12.96
3	Eggersriet	ZFH	1965	Erdsonde	2.52	9.6	monoener.	ja	04.12.96
4	Speicherschwendi	EFH	1981	Erdsonde	2.87	13.2	monovalent	ja	04.12.96
5	Sax	EFH	1976	Luft	2.62	10.4	bivalent	ja	13.12.96
6	Dreien(Bütschwil)	EFH	1845	Erdsonde	2.53	10.7	monovalent	ja	09.12.96
7	Eschenbach	EFH	1975	Erdsonde	3.03	13.2	monovalent	ja	13.12.96
8	St. Gallenkappel	EFH	1975	Erdsonde	2.82	13	bivalent	nein	18.12.96
9	Rieden(Uznach)	MFH	1985	Erdsonde	2.21	12.5	monovalent	ja	13.12.96
10	Zürich(Wiedikon)	REFH	1927	Erdsonde	2.82	13.3	monovalent	nein	06.12.96
11	Bülach	TERH	1974	Luft	2.3	10	monoener.	ja	12.12.96
12	Bülach	TERH	1974	Luft	2.32	9	monoener.	ja	12.12.96
13	Eglisau	EFH	1705	Luft	2.54	7.5	monovalent	nein	12.12.96
14	Seuzach (ZH)	REFH	1985	Luft	2.39	13.9	monovalent	ja	12.12.96
15	Aeugstertal	EFH	1820	Erdsonde	3.33	7.8	monovalent	nein	18.12.96
16	Sennwald(Rheintal)	GWH	1996	Quellwasser	2.54	28	monovalent	ja	13.12.96
17	Schiers/Prättigau	EFH	1997	Erdsonde	4.14	7.5	monovalent	ja	21.01.97
18	Bad Ragaz	EFH	1996	Luft	2.67	7.4	monovalent	ja	29.01.97
19	Oberembrach RgZH	EFH	1981	Erdregister	3.27	12	monovalent	Nein	30.01.97
20	Bassersdorf RgZH	EFH	1955	Luft	2.53	9.8	monovalent	Nein	30.01.97
21	Dielsdorf Rg ZH	NPH	1985	Luft	2.49	5.4	monovalent	ja	27.01.97
22	Algetshausen SG	EFH	1996	Erdsonde	4.03	9.6	monovalent	ja	15.02.97
23	Sonnental SG	EFH	1996	Erdregister	3.58	8.57	monovalent	ja	30.01.97
24	Bernhardzell SG	EFH	1996	Erdsonde	4.59	8	monovalent	Ja	20.01.97
25	Hütten (Wollerau)	EFH	1996	Erdsonde	3.84	6.03	monovalent	Ja	22.01.97
26	Mels	EFH	1997	Erdsonde	3.34	8	monovalent	ja	25.06.97
27	Diepoldsau	EFH	1997	Erdpfähle	3.35	4.6	monovalent	Ja	05.12.97
28	Appenzell	EFH	1980	Luft	2.63	13.8	monovalent	ja	05.12.97
29	Rorschacherberg	EFH	1981	Luft	2.24	14.3	bivalent	ja	20.11.97
30	Waldkirch	EFH	1997	Erdsonde	4.25	9.3	monovalent	Ja	29.11.97
31	Stein am Rhein	Zentrum	1900	Erdsonde	3.6	18	monovalent	ja	27.10.97
32	Guntershausen	EFH	1980	Erdkollektor	3.53	6.6	monovalent	ja	12.12.97
33	Näfels GL	EFH	1997	Grundwasser	3.01	8	monovalent	ja	01.12.97
34	St. Gallen	EFH	1960	Luft	2.42	7.2	monovalent	Ja	30.12.98
35	Uster	EFH	1998	Ersonde	4.34	5	monovalent	Ja	15.07.98
36	Wangen	EFH	1998	Luft	2.38	8	monovalent	Ja	09.07.98
37	Stettfurt	EFH	1998	Erdsonde	4.55	8.7	monovalent	Ja	29.09.98
38	Buch	EFH	1998	Erdsonde	4.99	9.56	monovalent	Ja	06.11.98
39	Abtwil	EFH	1998	Erdsonde	3.37	12.1	monovalent	Ja	02.12.98
40	Lienz	EFH	1998	Luft	3.09	8.6	monovalent	Nein	15.09.98
41	Immensee	EFH	1998	Erdsonde	6.3	3.3	monovalent	Ja	18.12.98
42	Lanterswil	EFH	1820	Erdsonde	3.4	10.7	monovalent	Elektro	26.11.99
43	Weingarten	EFH	1999	Erdsonde	4.61	6.9	monovalent	WP	22.12.99
44	Gähwil	EFH	1999	Erdsonde	5.08	6.7	monovalent	WP	11.12.99
45	Tobel	EFH	1890	Erdsonde	3.54	12.2	monovalent	WP	23.12.99
46	St. Gallen	DEFH	1999	Erdsonde	4.44	9.5	monovalent	WP	22.12.99
47	Schaffhausen	DEFH	1907	Erdsonde	3.62	8.6	monovalent	WP+EI	14.01.99
48	Marmorera	EFH	1999	Erdsonde	3.48	8.9	monovalent	WP	29.12.99
49	Minusio TI	EFH	1999	Luft	2.55	9.5	monovalent	WP+EI	28.12.99
50	Vaz/Obervaz	EFH	2000	Luft	3.05	12	monoenerg.	WP	01.12.00
51	Arisdorf	MFH	1990	Luft	2.5	18.6	monovalent	Elektro	21.10.97
52	Bubendorf	EFH	1995	Luft	2.18	10.8	monoenerg.	Elektro	20.03.97
53	Seewen	EFH	1996	Luft	2.98	10.4	monoenerg.	Elektro	15.11.98
54	Ziefen	EFH	1996	Luft	3.09	14	monoenerg.	Elektro	14.03.97
55	Bettlach	MFH	1997	Quellwasser	5.17	12.5	monovalent	WP+So	16.12.97
56	Reiden	EFH	1998	Luft	2.2	9.1	monoenerg.	Elektro	17.12.98
57	Corcelles-Près-Pay.	EFH	1983	Luft	2.71	10.5	monoenerg.	Elektro	28.12.97
58	Massongex	EFH	1997	Wasser	3.91	8.7	monovalent	WP+EL	11.01.98
59	Billens	EFH	1997	Erdsonde	3.68	12.9	monovalent	Elektro	06.01.98
60	Belmont/Lsne	EFH	1983	Luft	2.93	9.22	monoenerg.	Elektro	17.11.98
61	Epalinges	DEFH	1986	Erdsonde	3.46	14.4	monovalent	EL+So	09.12.98

Für die Analyse und Beurteilung der Langzeiterfahrungen wurden aus dem gesamten FAWA-Anlagensample etwas mehr als 60 Anlagen gewählt, die weiterhin speziell im Zusammenhang mit der Frage des Langzeitverhaltens beurteilt werden.

7 Stand Ermittlungen und Analysen

7.1 Warmwasserbereitung

Die Frage der Warmwasserbereitung mit Wärmepumpenanlagen, resp. die Auswirkung auf die Effizienz, wird immer wieder gestellt. Es kann mit Sicherheit nachgewiesen werden, dass die Warmwasserbereitung auf die Effizienz, resp. die Jahresarbeitszahl JAZ beim Wärmepumpenbetrieb keinen negativen Einfluss hat. Abb. 7.1.1 verdeutlicht diese Erkenntnis. Daraus ist abzuleiten, dass die Warmwasserbereitung mit der Wärmepumpe bezüglich der Effizienz immer besser ist als ein Elektroboiler.

	100% mit WP		0% mit WP (Elektroboiler)	
	Anzahl	nJAZ 2	Anzahl	nJAZ 2
Alle Anlagen	38	3.66	36	3.27
LW-WP	13	2.78	14	2.83
SW-WP	25	4.15	22	3.34

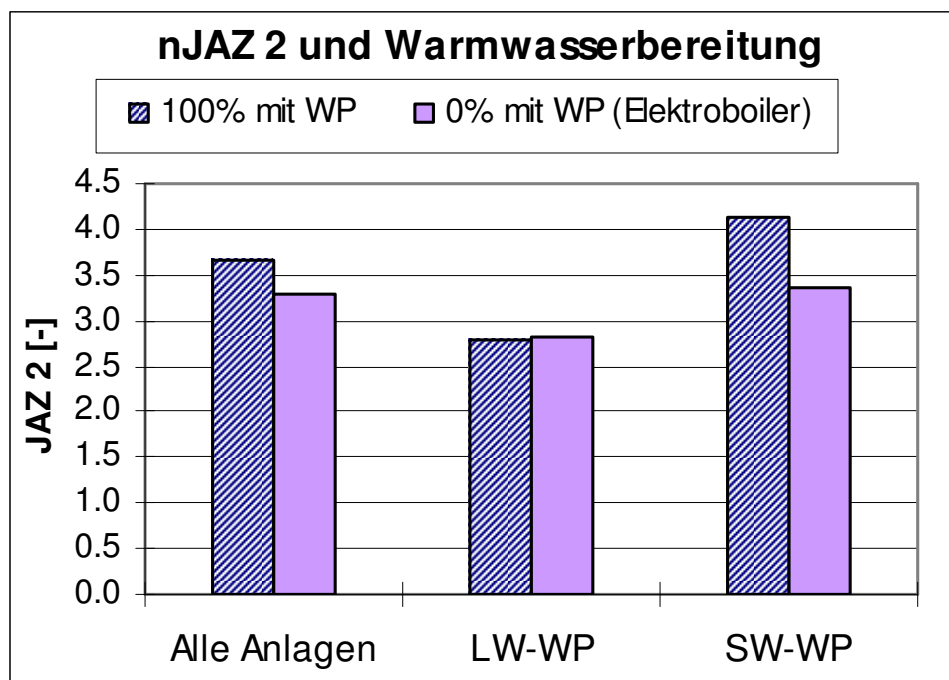


Abb. 7.1: JAZ bei Anlagen mit und ohne Warmwasserbereitung

7.2 Langzeitverhalten

Das Langzeitverhalten kann nun bereits über die Beobachtungszeit von 11 Jahren und mit entsprechend grosser Sicherheit beurteilt werden. Dabei muss beachtet werden, dass mit der Zunahme der Beurteilungsjahre die Anzahl untersuchter Anlagen zurückgeht. Da im Rahmen des FAWA-Projekts jährlich 30 neue Anlagen in dieses Programm aufgenommen wurden, gibt es vom Istzeit-Standpunkt aus rückwärts betrachtet eine abnehmende Anzahl Anlagen, d.h. dass ab dem Beurteilungsjahr 2005 insgesamt nur noch 30 Anlagen zur Verfügung stehen.

Begonnen wurde mit der Analyse und Datenauswertung im Jahr 1996. Dann wurden jährlich ca. 30 Anlagen ins Messprogramm aufgenommen und dies bis Ende 2004 fortgesetzt. Ab dieser Zeit wurden die Messdaten der im Programm FAWA enthaltenen Anlagen weiterhin festgehalten und ausgewertet, jedoch keine neuen Anlagen mehr rekrutiert.

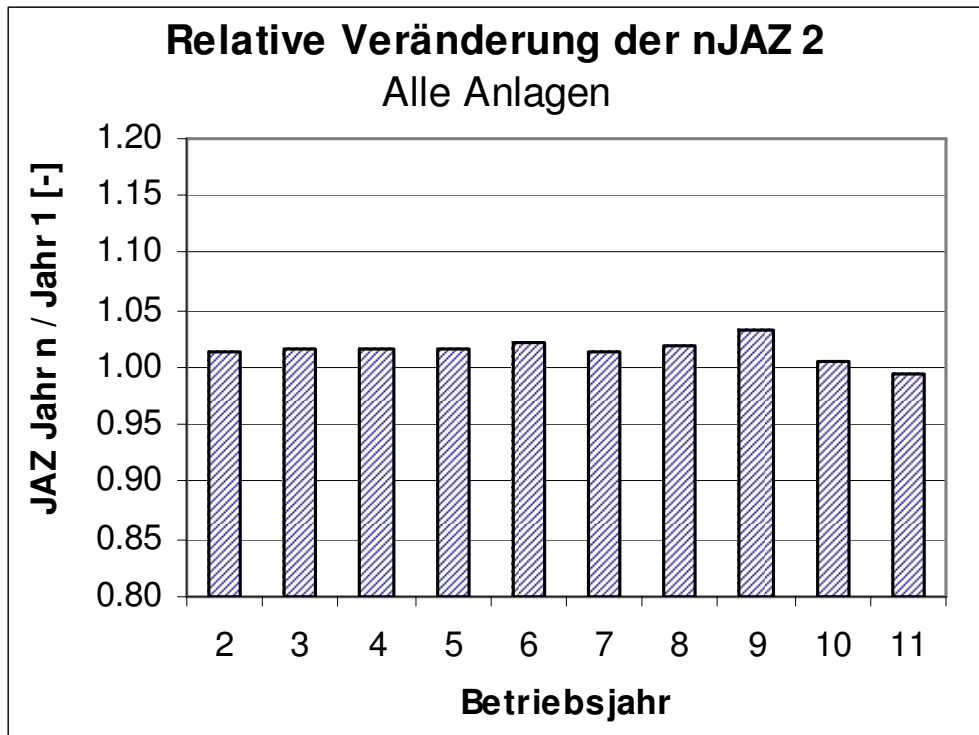


Abb. 7.2a Rel. Veränderung der JAZ gegenüber dem ersten Betriebsjahr

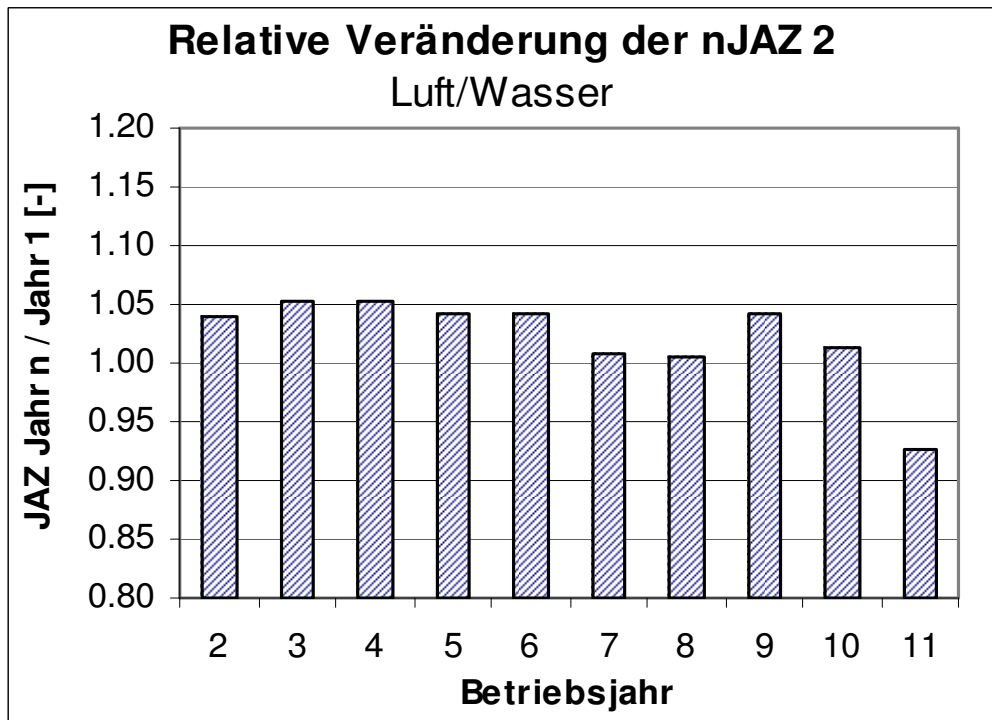


Abb. 7.2b: Rel. Veränderung der Gruppe Luft/Wasser-Wärmepumpen

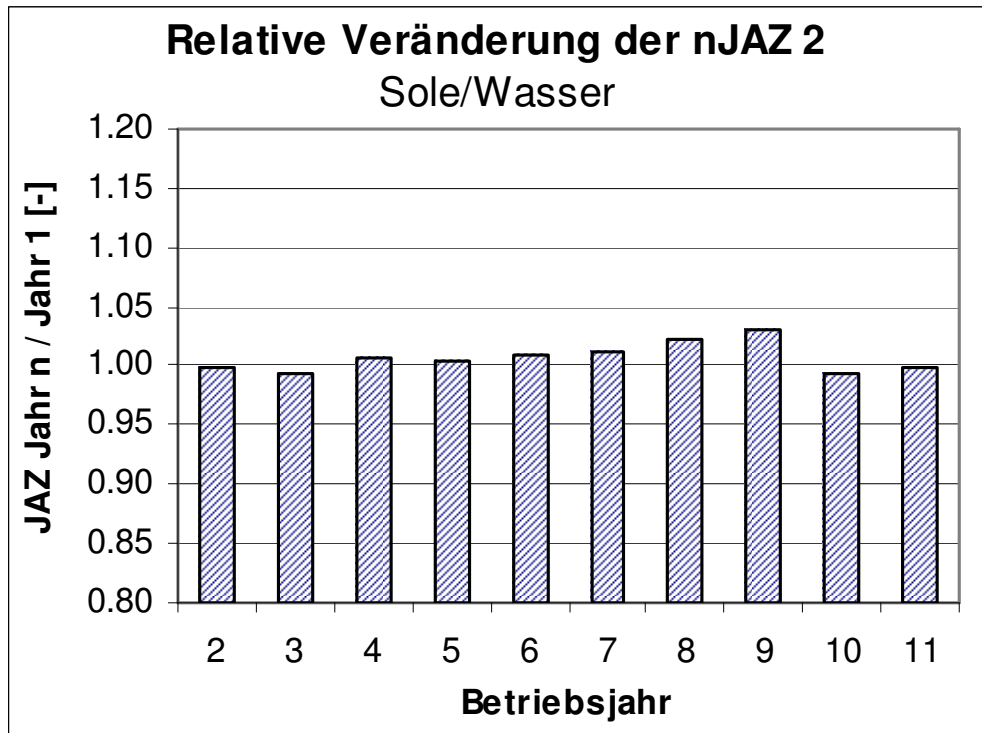


Abb. 7.2c: Rel. Veränderung der Gruppe Sole/Wasser-Wärmepumpen

Die Resultate zeigen, dass die heute vermarkteten Wärmepumpenanlagen über mehr als 10 Betriebsjahre praktisch keine Alterung zeigen. D.h., dass die Effizienz einer solchen Wärmepumpenanlage auch nach mehr als 10 Betriebsjahren immer noch die ursprüngliche Leistung hat und auch die gleiche Effizienz erbringt, wie damals bei der Anschaffung.

8 Referenzen

- [1] *EN 14511:2004 Teile 1 bis 4: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern; Begriffe, Prüfbedingungen, Prüfverfahren und Anforderungen*

- [2] *EN 255-3: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern – Heizen; Prüfung und Anforderung an die Kennzeichnung von Geräten zum Erwärmen von Brauchwasser*

- [3] *D-A-CH-Prüfreglement: Prüfung von Luft-Wasser-Wärmepumpen; Begriffe, Prüfbedingungen und Prüfverfahren basierend auf der EN 14511-1 bis 4; Erweiterte Anforderungen zur Erlangung des internationalen Gütesiegels für Wärmepumpen*
Version 1.0, Ausgabe 19.09.2005;
Beziehbar unter www.wpz.ch

- [4] *D-A-CH-Prüfreglement: Prüfung von Wasser-Wasser- oder Sole-Wasser-Wärmepumpen; Begriffe, Prüfbedingungen und Prüfverfahren basierend auf der EN 14511-1 bis 4; Erweiterte Anforderungen zur Erlangung des internationalen Gütesiegels für Wärmepumpen*
Version 1.0, Ausgabe 19.09.2005;
Beziehbar unter www.wpz.ch

- [5] *D-A-CH-Prüfreglement: Prüfung von Warmwasser-Wärmepumpen mit Luft als Quellenmedium; Begriffe, Prüfbedingungen und Prüfverfahren basierend auf der EN 255-3; Erweiterte Anforderungen zur Erlangung des internationalen Gütesiegels für Wärmepumpen*
Version 1.0, Ausgabe 19.09.2005;
Beziehbar unter www.wpz.ch

- [6] *FAWA-Schlussbericht BFE: Feldanalysen von Wärmepumpenanlagen FAWA, 1996 - 2003*
Schlussbericht April 2004, Autoren: P. Hubacher, M. Erb, M. Ehrbar

