

Jahresbericht 2005  
**QS-WP:**  
**Qualitäts-Prüfung von Klein-Wärmepumpen**  
**mittels Norm- und Feldmessungen**  
Teilprojekt Effizienzsteigerung  
Norm- und Feldmonitoring  
Bestanlagen

ausgearbeitet von  
Marco Nani, dipl. Ing. HTL  
Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs  
Werdenbergstrasse 4, 9471 Buchs  
marco.nani@ntb.ch

In Zusammenarbeit mit

Peter Hubacher, dipl. Ing. HTL  
Hubacher Engineering AG  
Tannenbergrasse 2, 9032 Engelburg  
he-ko@bluewin.ch

und

Prof. Dr. Max Ehrbar  
Im Sixer 17a, 7320 Sargans  
ehrbar.max@bluewin.ch

Dezember 2005

## 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. Die Normprüfungen erfolgen anhand von international festgelegten Prüfabläufen nach EN 14511 und werden im Wärmepumpen-Testzentrum WPZ in Buchs durchgeführt. Neu wurden auch Prüfungen von Wärmepumpen-Boilern nach EN 255-3 ins Dienstleistungsangebot aufgenommen. Bei den Normprüfungen werden insbesondere Leistungszahlen bei festgelegten Arbeitspunkten ermittelt.

Das Betriebsjahr 2005 am Wärmepumpen-Testzentrum WPZ wurde von der organisatorischen Seite her vor allem durch die Erarbeitung und internationale Abstimmung der Prüffreglemente für die Normprüfungen nach EN 14511 und EN 255-3, den Aufbau und Unterhalt der Website und Optimierung der betrieblichen Abläufe bestimmt. Ausserdem wurde das erste WPZ-Bulletin mit den Prüfergebnissen herausgegeben. Im Jahr 2005 wurden am WPZ Buchs insgesamt 20 Wärmepumpen-Prüfungen durchgeführt.

Aufgrund von Auswertungen von am WPZ gemessenen Wärmepumpen konnten diverse Entwicklungstrends festgestellt werden:

- Der COP-Verlauf hat sich nach anfänglicher Verbesserung in den letzten Jahren verschlechtert, da aufgrund des grossen Preisdruckes in den Märkten die Wärmepumpen kostenoptimiert und nicht mehr auf die maximale energetische Effizienz hin entwickelt werden. In diesem Bereich könnte eine Verschärfung der Minimalanforderung zur Erreichung des D-A-CH-Gütesiegels eine Verbesserung bringen.
- Bei Luft-Wasser und Sole-Wasser-Wärmepumpen werden die besten COP-Werte mit Scroll-Kompressoren und dem Kältemittel R290 erzielt. Ausserdem hat sich die Prozessumkehr bei der Abtauung von Luft-Wasser-Wärmepumpe als energetisch sinnvollstes Abtauverfahren gezeigt.
- Das in den letzten Jahren am häufigsten eingesetzte Kältemittel ist R407c. Der mengenmässige Einsatz der Kältemittel wurde bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen nicht reduziert, eine geringfügige Verbesserung zeigt sich hier bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen. Hier könnten seitens der Wärmepumpen-Hersteller massive Verbesserungen erzielt werden.

Als zweite Massnahme wurden Felderhebungen an ausgeführten Wärmepumpenanlagen durchgeführt. Bei diesen Felderhebungen wurde insofern eine neue Philosophie gefahren, als man nun gezielt Wärmepumpenanlagen mit möglichst hohen Arbeitszahlen erfasst (sogenannte Bestanlagen). Man will damit den Bauherren und Planer zeigen, was heute bei tragbaren Kosten technisch möglich ist. Die Werte liegen erstaunlich hoch, wobei keine der Anlagen als „exotisch“ eingestuft werden muss. Vielmehr wurden an sich längst bekannte Planungsparameter für gute Arbeitszahlen konsequent umgesetzt.

Die bisherigen Auswertungen zeigen ein interessantes Bild. Es sind nicht in erster Linie die Anlagen mit viel Technik, sondern die einfachen Anlagen, die optimal ausgelegt worden sind, wie z. Bsp. die Dimensionierung der Erdwärmesonden samt der Sole-Umwälzpumpe. Es ist nicht immer einfach, bei Anlagen mit guten JAZ-Resultaten gleich herauszufinden, wieso gerade diese Anlage als Bestanlage hervorsteht. Es können auch äussere Randbedingungen mithelfen, dass eine Anlage sehr gute Effizienz aufweist.

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.
--

## Summary

Within the systematic quality assurance strategy of the Federal Office for Energy (BFE) and the Swiss Heat Pump Association (FWS) heat pumps up to 60 kW are tested in the laboratory of the Heat Pump Test Center (WPZ) in Buchs/Switzerland and at the place of installation. The course for the standard tests are defined in the D-A-CH testing rules which are based on the international standard EN 14511. Tests for domestic hot water heat pumps, based on the standard EN 255-3, have also been taken into the service offered by the WPZ. In particular the coefficients of performance (COP) are measured at fixed operating conditions with the standard tests.

During 2005 the WPZ concentrated on preparing and the international coordination of the D-A-CH testing rules regarding to the international testing standards EN 14511 and EN255-3, developing and maintaining the website, optimising the internal operational sequences. In addition, the first WPZ-Bulletin with test results was published. In 2005 the WPZ has tested 20 heat pumps.

On the basis of the test results the following various development trends have been observed:

- 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. An improvement of the minimum requirement to get the D-A-CH quality seal could help to raise the COP values in the future.
- The best COP values with coefficients of performance are reached with scroll compressors and the refrigerant R290. In addition the reverse cycle defrosting has proved to be the most efficient method energy-wise for air-to-water heat pumps.
- In the last years the most used refrigerant was R407c. The quantity of used refrigerants was not reduced in the air-to-water heat pumps and a slight reduction was shown with the brine-to-water heat pumps. Substantial improvements to reduce the use of refrigerants could be made by the heat pump manufacturers.

The second measure undertaken was to analyze installed Heat Pump systems. The units chosen for this were those with the highest efficiencies (Best of class) compared to the earlier FAWA research. In this way it will be demonstrated to the Owners and Planers what improvements are possible today with reasonable costs. The improvements (efficiency) observed were amazingly large and none of the installations could be classed as "exotic". These results had been achieved by using well known planning guides for a high efficiency system.

The evaluations show an interesting picture. Primarily it is the simpler systems that have been installed optimally and not the more complex installations. This has been achieved by for example correctly dimensioning the earth coupled probes and the brine water circulation pump. It is not always straight forward to see why systems have a good JAZ index. In some cases external factors have a positive influence on the efficiency.

The average efficiency of the best of class installations lies by brine/water heat pumps 45% and for air/water by 20%, above the FAWA average value.

If the earth coupled probes is filled only with water, instead of Brine/water, then the seasonal performance factor (SPF) value increases on average from 4.42 to 5.5. In additions systems used to produce domestic hot water, are no less efficient.

This work developed on behalf of the Swiss Federal Office of Energy (BFE). For contents and the conclusions the authors of this report are excluding responsible.
---

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	2
Summary.....	3
Inhaltsverzeichnis .....	4
1 Projektziele .....	5
2 Stand der Arbeiten.....	5
3 Bestanlagen.....	5
3.1 Voraussetzung und Vorgehen.....	5
3.2 Im Projekt aufgenommene Anlagen .....	7
3.3 Stand der Ermittlungen und Analysen.....	7
4 Normprüfungen am Wärmepumpen-Testzentrum WPZ.....	10
4.1 Organisation .....	10
4.2 Durchgeführte Wärmepumpen-Prüfungen .....	10
4.2.1 Dauer der durchgeführten Normprüfungen 2005 .....	11
4.3 Ausblick, strategische Ausrichtung WPZ 2006 ff.....	11
4.3.1 Optimierung der Prüfstände .....	11
4.3.2 Akkreditierung als Prüfstelle.....	12
4.3.3 Forschung&Entwicklung.....	12
4.3.4 Elektrische Sicherheitsprüfung zur CE-Zulassung .....	12
5 Auswertungen von Normprüfungen .....	13
5.1 Luft-Wasser-Wärmepumpen .....	13
5.1.1 Leistungszahlverlauf Luft-Wasser-Wärmepumpen 1993 bis 2005.....	13
5.1.2 Abtauverfahren bei Luft-Wasser-Wärmepumpen.....	14
5.1.3 Verwendung von Kältemitteln in Luft-Wasser-Wärmepumpen.....	16
5.1.4 Verwendete Kompressor-Bauarten in Luft-Wasser-Wärmepumpen .....	18
5.1.5 Schalleistungspegel bei Luft-Wasser-Wärmepumpen .....	20
5.1.6 Schlussfolgerungen Luft-Wasser-Wärmepumpen.....	21
5.2 Sole-Wasser-Wärmepumpen .....	22
5.2.1 Leistungszahlverlauf Sole-Wasser-Wärmepumpen 1993 bis 2005.....	22
5.2.2 Verwendung von Kältemitteln in Sole-Wasser-Wärmepumpen .....	22
5.2.3 Verwendete Kompressor-Bauarten in Sole-Wasser-Wärmepumpen .....	25
5.2.4 Schalleistungspegel bei Sole-Wasser-Wärmepumpen .....	26
5.2.5 Schlussfolgerungen Sole-Wasser-Wärmepumpen .....	27

# 1 Projektziele

Konsequente Fortsetzung der Qualitätssicherung bei Wärmepumpen. Aufsicht über die Normprüfungen auf dem Prüfstand (Normprüfungen) sowie Zusatzauswertungen der vorhandenen Daten hinsichtlich technisch-wirtschaftlicher und planerischer Kennzahlen. Felderhebungen (Feldmonitoring) bei Bestanlagen mit dem Ziel herauszufinden, wo die wichtigsten Erkenntnisse sind, die zu Bestanlagen führen.

Im Einzelnen sind folgende Massnahmen geplant:

- Aufsicht über die Durchführung von Normprüfungen
- Feldmonitoring bei Bestanlagen
- Zusatzauswertungen von bestehenden Daten (WPZ) für die Aufarbeitung von technisch-wirtschaftlichen und planerischen Kennzahlen

## 2 Stand der Arbeiten

- Die Oberaufsicht ist ein wichtiger Bestandteil des Prüfbetriebs. Insbesondere ist die Erfahrung mit dem neuen Prüfstand, wichtig. Es braucht eine grosse Erfahrung für die Durchführung der Prüfungen und die Beurteilung der Messresultate.
- Das bestehende Anlagensample FAWA wurde für die Selektion von Bestanlagen durchgearbeitet. Es sind (leider) wenige Anlagen, die sich für die Aufnahme als Bestanlagen eignen.
- Für die Selektion von weiteren Neuanlagen sind weitere Kontakte aufgenommen worden. Die Aufnahme dieser neuen Anlagen samt Instrumentierung erfolgt gemäss Vereinbarung im Unterauftrag durch Hubacher Engineering, die im Projekt FAWA die Projektleitung durchgeführt haben und mit den Arbeiten im Feld bestens vertraut sind.
- Die Erstellung der EDV-Anlagenfiles und die Eingabe der Messdaten samt den entsprechenden Auswertungen erfolgen jeweils erst gegen Ende November des Beurteilungsjahres. Die Gesamtauswertung aus den Resultaten der Einzelanlagen können dann ebenfalls frühestens Ende November erfolgen.
- Erkenntnisse und Betriebserfahrungen, die den Bestanlagen zugrunde liegen, werden entsprechend aufgearbeitet und nach kritischer Analyse als typische Merkmale festgehalten. Die Weitergabe an die Fachbranche kann erst nach statistisch gesicherten Grundlagen erfolgen.

## 3 Bestanlagen

### 3.1 Voraussetzung und Vorgehen

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

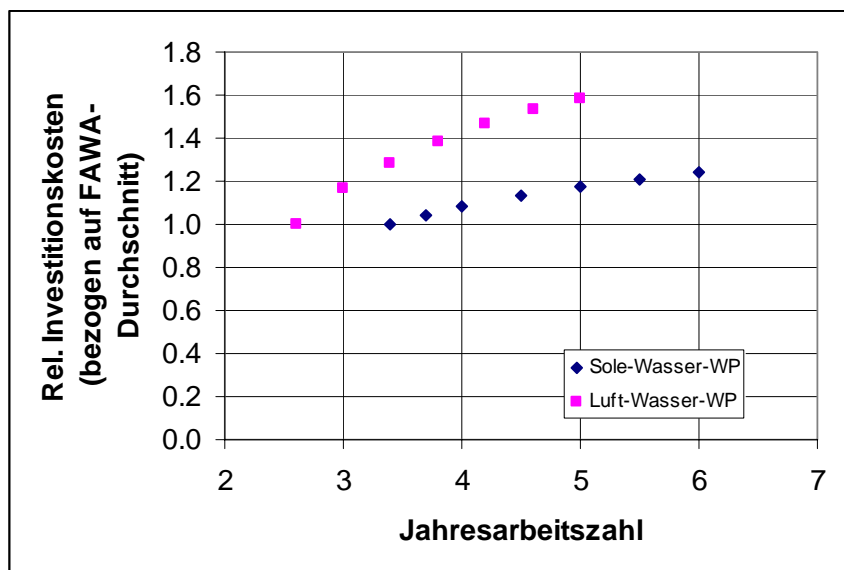
Im ersten Jahr gehen wir noch von den FAWA-Beständen aus. Hier sind die JAZ aller Anlagen bekannt. Es geht also „nur“ darum, die besten Anlagen herauszupicken und die Gründe für das gute Abschneiden zu finden. Wenn das FAWA-Sample ausgewertet ist, müssen neue Anlagen

gefunden werden. Woran erkennt man jedoch eine Bestanlage, d.h. eine Anlage mit besonders hoher JAZ?

Ein erstes Kriterium sind die Normprüfungen am WPZ Buchs. Bezüglich der Leistungszahlen gibt es doch deutliche Unterschiede von Fabrikat zu Fabrikat. Allerdings verwenden wir für die Auswahl nicht die Leistungszahlen der Prüfmessungen direkt, sondern berechnen daraus einen Erwartungswert der Jahresarbeitszahl (wie schon im Projekt FAWA) für das Klima Zürich-Kloten. Dieser Standort ist für das Mittellandklima der Schweiz typisch. Es werden also jene Anlagen ausgewählt, die an der Spitze der Erwartungswerte liegen.

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. 1:** Zusammenhang zwischen der JAZ und den zulässigen Investitionskosten für identische Lebensdauerkosten (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 Wärmeerzeugungsanlage von etwa 20 % über dem Durchschnitt noch tolerieren.

Diesen Grundsatz können wir noch präziser fassen. Wenn wir von den Lebensdauerkosten ausgehen, so dürfen die Investitionskosten umso höher sein, je höher die Jahresarbeitszahl ausfällt. Für identische Lebensdauerkosten gibt es also einen Zusammenhang zwischen Investitionskosten und der Jahresarbeitszahl. Dieser Zusammenhang kann rechnerisch ermittelt werden. Abb. 2 zeigt den Zusammenhang für eine Luft-Wasser-Wärmepumpe und eine SW-Wärmepumpe.

Startpunkt sind die Investitionskosten beim FAWA-Durchschnitt der Arbeitszahlen. Wenn beispielsweise die JAZ durch entsprechende Massnahmen auf 6.0 gesteigert werden kann, so dürfen die Investitionskosten bei einer Sole-Wasser-Wärmepumpe 22 % höher sein. Bei Luft-Wasser-Wärmepumpen lohnen sich Mehrinvestition mit dem Teil einer höheren Arbeitszahl noch mehr. Eine Steigerung der JAZ vom FAWA-Durchschnitt auf 5.0 liesse eine Mehrinvestition von 60 % zu!

### 3.2 Im Projekt aufgenommene Anlagen

Die bis heute in die Untersuchung aufgenommenen Anlagen sind alle gut dokumentiert und tw. bereit aus dem FAWA Programm bekannt. Die Anlagen, die aus dem FAWA Programm übernommen wurden, haben eine längere Beobachtungszeit und damit ein wesentlich umfangreicheres Datenmaterial, das ausgewertet werden kann.

Tab. 1: Anlagensample Bestanlagen

Anlage	Wärmequelle	Objekt	Lage H.ü.M.	Kältemittel	VL Senke max.	Speicher	Einbindung	WW-Bereitung	EWS Länge	EWS $\emptyset$	nJAZ mittel	nJAZ max	nJAZ min
7	Aussenluft	Neubau	420	R290	38	ja	serie	nein			3.45	3.48	3.43
8	Aussenluft	Neubau	595	R404A	40	ja	serie	ja			2.97	3.08	2.74
9	Aussenluft	Neubau	455	R407C	35	ja	parallel	nein			3.08	3.22	3.02
10	Aussenluft	Neubau	1200	R290	40	ja	parallel	ja			3.03	3.13	2.98
11	Aussenluft	Neubau	615	R290	40	nein		nein			3.02	3.08	2.98
15	Aussenluft	Neubau	460	R290	35	ja	parallel	ja			3.38	3.49	3.31
16	Aussenluft	Neubau	525	R407C	35	nein		ja			2.60	2.70	2.50
18	Aussenluft	Altbau	430	R407C	40	ja	kombi spiral	ja			3.26	3.45	3.06
1	EWS Sole	Neubau	621	R290	35	nein		ja	150	32	4.66	5.08	4.01
2	EWS Sole	Neubau	455	R407C	35	nein		ja	140	32	4.43	4.65	4.01
3	EWS Sole	Neubau	430	R22	30	nein		ja	140	32	4.52	4.69	4.35
4	EWS Sole	Neubau	545	R290	38	nein		ja	170	32	4.94	5.10	4.66
13	EWS Sole	Neubau	490	R410A	30	nein		ja	165	40	4.57	4.64	4.50
20	EWS Sole	Altbau	695	R417A	40	nein		ja	128	32	3.68	4.13	3.44
5	EWS Wasser	Neubau	440	R407C	30	nein		ja	170	40	6.42	7.15	5.93
6	EWS Wasser	Neubau	782	R290	38	nein		ja	200	40	5.08	5.29	4.93
12	EWS Wasser	Neubau	540	R290	30	nein		ja	160	32	5.05	5.32	4.78
14	EWS Wasser	Altbau	578	R290	40	nein		nein	220	40	4.59	4.59	4.58
17	EWS Wasser	Altbau	550	R410A	45	ja	parallel	nein	200	40	5.11	5.26	4.95
19	EWS Wasser	Altbau	418	R410A	40	nein		ja	200	40			

Die Anlagen aus dem FAWA-Sample werden nun bereits seit 10 Jahren begleitet und jährlich ausgewertet. Daraus können wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden, die speziell auch für diese Bestanlagen bedeutungsvoll sind.

Die Analyse wird speziell auch für Teilbereiche, wie Warmwasserbereitung, Sanierung (Altbau) und Neubau, sowie Kältemittel, Senktemperaturen, etc. durchgeführt.

### 3.3 Stand der Ermittlungen und Analysen

Es fällt auf, dass die entscheidenden Parameter, wie bspw. die Vorlauftemperatur tief gehalten werden. Ebenso sind die mittleren Betriebsstunden dieser Anlagen eher tief. Bei ausgewerteten Gesamtbetriebsstunden von 120'898 liegt der Jahresmittelwert pro Anlage bei 1670.9 Betriebsstunden.

Die Warmwasserbereitung ist ebenfalls in der Untersuchung enthalten. Bis heute sind 13 Anlagen mit WW-Bereitung und 5 Anlagen mit beigestelltem Elektroboiler im Anlagensample.

EWS mit WW Mittelwert nJAZ	4.98	102.7 %
EWS ohne WW Mittelwert nJAZ	4.85	100 %
AUL mit WW Mittelwert nJAZ	3.07	97.2 %
AUL ohne WW Mittelwert nJAZ	3.16	100 %

Die Tabelle zeigt, dass die WW-Bereitung keinen bedeutenden Einfluss auf die nJAZ hat. Bei den EWS-Anlagen liegt der Wert bei den Anlagen mit WW-Bereitung sogar höher, was eigentlich speziell bei diesen Bestanlagen nicht zu erwarten war. Statistisch sind diese Werte natürlich noch nicht gesichert, da das Anlagensample zu klein ist.

Eine weitere interessante Tatsache ist die Kältemittelwahl. Rund die Hälfte der Anlagen werden mit dem natürlichen Kältemittel R290 Propan betrieben. Es ist bekannt, dass dieses Kältemittel gute Eigenschaften, insbesondere hohe JAZ-Werte, für einen optimalen Betrieb ermöglicht. Dies widerspiegelt sich auch bei den WPZ Auswertungen (Abb. 5.1.4b Seite 19 und 5.2.2d Seite 26).

Der Mittelwert nJAZ dieser Bestanlagen ist speziell bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen deutlich über dem FAWA-Mittelwert. Hingegen kann bei den Luft/Wasser-Anlagen nur eine marginale Steigerung festgestellt werden

		Max Wert über 5 Jahre	Min Wert über 5 Jahre	Mittelwert über 5 Jahre	
Bestanlagen	EWS (Sole/Wasser)	5.59	4.31	4.96	145.9%
FAWA	EWS (Sole/Wasser)			3.40	100 %
Bestanlagen	AUL (Luft/Wasser)	3.38	2.84	3.11	119.6%
FAWA	AUL (Luft/Wasser)			2.60	100 %

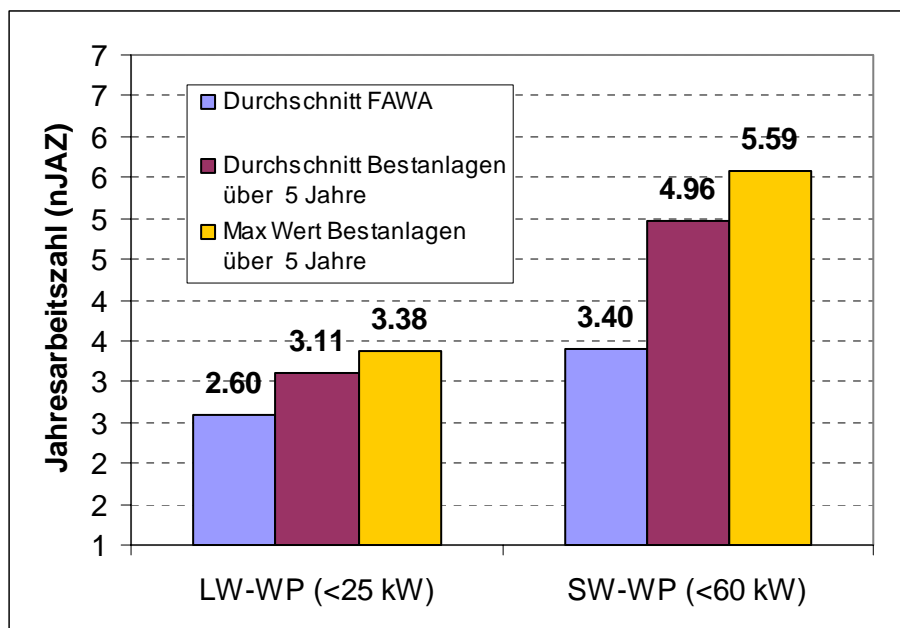


Abb. 2: Vergleich der Bestanlagen mit dem FAWA-Sample

Aus der oben stehenden Tabelle geht hervor, dass über die Auswertungszeit von 9 Jahren bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen ein sehr hoher Mittelwert von fast 5.0 erreicht worden ist und die über die Betrachtungsjahre gemittelten Maximal- und Minimalwerte wirklich gut liegen. Es könnte durchaus realistisch sein, für diese Anlagen eine Jahresarbeitszahl von 5.0 anzustreben. Derzeit wird in der Branche vermutlich wenig Innovation zur Steigerung der Effizienz betrieben.

Bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen ist noch ein Optimierungspotential sichtbar. Doch bereits die ersichtliche Steigerung wäre in der Umsetzung ein erfreulicher Fortschritt. Würden die auf verschiedenen Ebenen gemachten Erkenntnisse umgesetzt, wie bspw. die Optimierung bei der Abtauung, wie sie im BFE-Bericht Abtauen 3 für Luft/Wasser-Wärmepumpen aufgezeigt wird (Abtauung mit Ventilator über ca. +2 [°C]), könnte diese Steigerung relativ rasch umgesetzt werden.

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

- Vorlauftemperaturen: Gemäss FAWA-Analyse beträgt die mittlere Auslegetemperatur (Vorlauf) 43.0 [°C] und bei den untersuchten Bestanlagen 36.7 [°C]. Dies erklärt eine JAZ-Differenz von rund 8 [%] zwischen den beiden Samples.
- Kältemittel: Anlagen mit R290 (Propan) zeigen generell hohe Leistungszahlen (siehe auch Auswertungen WPZ-Daten Abb. 5.1.4b Seite 19 und 5.2.2d Seite 26). 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.

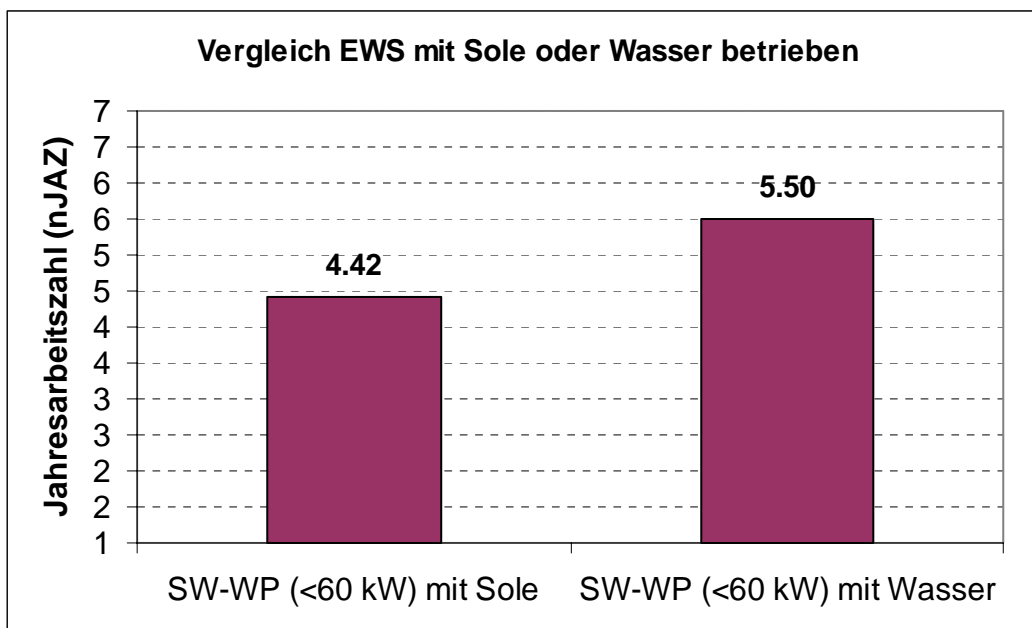


Abb. 3: Vergleich der normierten Jahresarbeitszahlen für EWS-Anlagen mit Sole- resp. Wasserfüllung für das Anlagensample „Bestanlagen“

Zusätzlich sind eine Vielzahl von optimal gestalteten Details (z. Bsp. Wärmetauscheranlegung, 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.

## 4 Normprüfungen am Wärmepumpen-Testzentrum WPZ

Unter dem Begriff Normprüfungen verstehen wir die nach der internationalen Norm EN 255 (neu EN 14511) im Wärmepumpen-Testzentrum geprüften Kleinwärmepumpen bis 25 kW Heizleistung im Falle von Luft-Wasser-Wärmepumpen und von 60 kW bei den Sole-Wasser- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen, sowie die Prüfung von Warmwasser-Wärmepumpen nach der EN 255-3.

Das Wärmepumpen-Testzentrum in Buchs wurde Ende 2003 eröffnet, ab Anfang 2004 konnte mit den ersten Normprüfungen begonnen werden.

### 4.1 Organisation

Das Betriebsjahr 2005 am Wärmepumpen-Testzentrum WPZ wurde von der organisatorischen Seite durch folgende Tätigkeiten bestimmt:

- Erarbeitung und internationale Abstimmung von Prüfrelementen: Die Prüfrelemente für Luft/Wasser-Wärmepumpen, Sole/Wasser- resp. Wasser/Wasser-WP wurden hinsichtlich der neuen Prüfnorm EN 14511 überarbeitet. Neu wurde das Prüfrelement basierend auf der EN 255-3 für Warmwasser-Wärmepumpen geschaffen. Alle drei Reglemente wurden im September dieses Jahres an einem Workshop in München mit den Mitgliedern des D-A-CH-Verbandes abgestimmt und vom WPZ überarbeitet. Die Freigabe auf Stufe D-A-CH wird noch dieses Jahr erfolgen.
- Aufbau und Unterhalt Website [www.wpz.ch](http://www.wpz.ch): Der Aufbau wurde bereits anfangs Jahr mit Unterstützung der Firma ECOSAM Bernal in Angriff genommen. Die Website ist in die Website des NTB integriert, was sich vor allem bei Änderungen als sehr vorteilhaft erwiesen hat. Es sind neben interessanten Informationen zum WPZ und zum Prüfablauf auch die aktuellen Prüfergebnisse und die WPZ-Bulletins abrufbar.
- Optimierung der betrieblichen Abläufe: Erstellung oder Änderung von Standarddokumenten, Prozessoptimierung bei der Kundenbetreuung und Abwicklung der Prüfaufträge.
- Erstellung und Versand des ersten WPZ-Bulletins: Die von Töss zur Verfügung gestellten Adressen wurden angeschrieben und um Abonnie rung des Bulletins gebeten. Die gedruckte Heftform ist neu kostenpflichtig, der Versand per E-Mail kostenlos. Bis jetzt wurden insgesamt 650 Bulletins verschickt, inkl. E-Mail-Versand. Das Bulletin wurde in deutsch und französisch erstellt, wobei leider nur 40 Bulletins in französisch bestellt wurden.

### 4.2 Durchgeführte Wärmepumpen-Prüfungen

Bis Ende 2005 wurden am WPZ Buchs insgesamt 29 Wärmepumpen-Prüfungen durchgeführt, davon fallen auf das Jahr 2005 allein 20 Prüfungen. Nebst den Prüfungen nach Prüfrelement konnten bei 3 Wärmepumpen Prototypenmessungen durchgeführt werden, 2 davon im Rahmen von BFE-Projekten.

Als Prototypen-Prüfungen wurden durchgeführt:

- Luft-Wasser-Wärmepumpe der Fa. SATAG für das BFE-Projekt „Abtauen 3“
- Luft-Wasser-Wärmepumpe von Stiebel-Eltron mit überkritischem CO<sub>2</sub>-Prozess; BFE-Projekt
- Sole/Wasser-Wärmepumpe der Firma Swisstherm, Normprüfung mit zusätzlichen Prüfpunkten und Optimierung der Leistungszahl

Untenstehende Tabelle zeigt die Aufgliederung der Prüfungen bis Ende 2005 nach ihrer Art.

<b>Art der WP-Prüfung</b>	<b>2005</b>	<b>WPZ seit 2004</b>
Luft-Wasser	6 + 2 *	12
Sole-Wasser	1 + 1 **	3
Wasser-Wasser	-	1
Kombination Sole-Wasser & Wasser-Wasser	4 & 4	4 & 4
Warmwasser-WP	2	5
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>29</b>

\* 6 Normprüfungen und 2 Prototypenprüfungen

\*\* 1 Normprüfung und 1 Prototypenprüfung

#### 4.2.1 Dauer der durchgeführten Normprüfungen 2005

Die untenstehende Tabelle zeigt die Dauer der durchgeführten Normprüfungen (reine Prüfdauer) im Jahr 2005 in Arbeitstagen.

<b>Art der WP-Prüfung</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Dauer Normprüfung Arbeitstage</b>		
		<b>Min</b>	<b>Max.</b>	<b>Mittelwert</b>
Luft-Wasser	5	22	49 *	25
Kombination S/W & W/W	3	11	38 *	17
Warmwasser-WP	2	5	16	11

\* Ausreisser, bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt

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

Die Prüfzeiten weisen relativ grosse Streuungen auf. Extrem lange Laufzeiten (siehe die beiden Ausreisser) ergeben sich vor allem, wenn Probleme mit dem Prüfling während den Messungen auftauchen.

Ein weiteres Problem stellen die von der EN 14511 verlangten, sehr engen Toleranzgrenzen für die Einhaltung der Sollwerte dar. Diese können nur durch ständige Veränderung der Regelparameter durch das Prüfstandpersonal angefahren und eingehalten werden, was zu erheblichen Verzögerungen im Prüfablauf führt. Es wurden folgende Ursachen erkannt:

- Die Anlagenhydraulik ist sehr aufwendig und daher schwierig regelbar
- Hydraulische Kopplung der beiden Prüfstände für Luft-Wasser und Sole/Wasser über den gemeinsamen Wärmespeicher
- Ungenügende Regelgenauigkeit der quellenseitigen Luftbedingungen durch sehr lange Regelstrecken beim Luft-Wasser-Prüfstand

#### 4.3 Ausblick, strategische Ausrichtung WPZ 2006 ff

##### 4.3.1 Optimierung der Prüfstände

Das Interesse an den WP-Prüfungen in Buchs ist gross, das Prüfzentrum ist zum jetzigen Zeitpunkt bis Anfang nächsten Jahres mit Prüfaufträgen ausgebucht. Um die Prüfdauer zu reduzieren, das Abwandern der Prüffinteressenten zu anderen Prüfstellen zu verhindern und das betriebliche Ergebnis zu verbessern, sollen die Prüfdauern möglichst verkürzt werden. Dazu sollen folgende Massnahmen eingeleitet werden:

- Verbesserung der Regelbarkeit der Quellluftbedingungen: Einsatz eines zusätzlichen Fühlers direkt nach dem Kühlregister im Monoblock mit Regelung der Kühlleistung
- Veränderung der Regelstrategie bei der Wärmerückgewinnung des Luft/Wasser-Prüfstandes
- Ersatz des 1.5m<sup>3</sup> Wärmespeichers aus Schwarzstahl durch einen Speicher aus Edelstahl, Einführung des WRG-Rücklaufes auf halber Speicherhöhe
- Umbau des Sole/Wasser-Prüfstandes inkl. hydr. Entkoppelung vom Luft/Wasser-Prüfstand

#### **4.3.2 Akkreditierung als Prüfstelle**

Nebst dem WPZ werden in der Zwischenzeit die Wärmepumpenprüfungen nach D-A-CH-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 2006 als Prüfstelle akkreditiert werden.

#### **4.3.3 Forschung&Entwicklung**

Im Bereich angewandte Forschung&Entwicklung werden die Jahresziele 2005 leider nicht erreicht werden. Dieser Bereich soll durch intensivere, direkte Akquisition beim Kunden verstärkt werden. Für die Projektbearbeitung wird ab Januar 2006 ein zusätzlicher Mitarbeiter am WPZ seine Tätigkeit aufnehmen.

#### **4.3.4 Elektrische Sicherheitsprüfung zur CE-Zulassung**

Um das Dienstleistungsangebot am WPZ weiter auszubauen, soll mit der Prüfung nach dem D-A-CH-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.

## 5 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 87 Datensätze zur Auswertung zur Verfügung, bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen sind es 171.

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 2005 entwickelt haben. Ebenso soll versucht werden, für bestimmte Entwicklungstrends die Ursachen zu eruieren.

### 5.1 Luft-Wasser-Wärmepumpen

#### 5.1.1 Leistungszahlverlauf Luft-Wasser-Wärmepumpen 1993 bis 2005

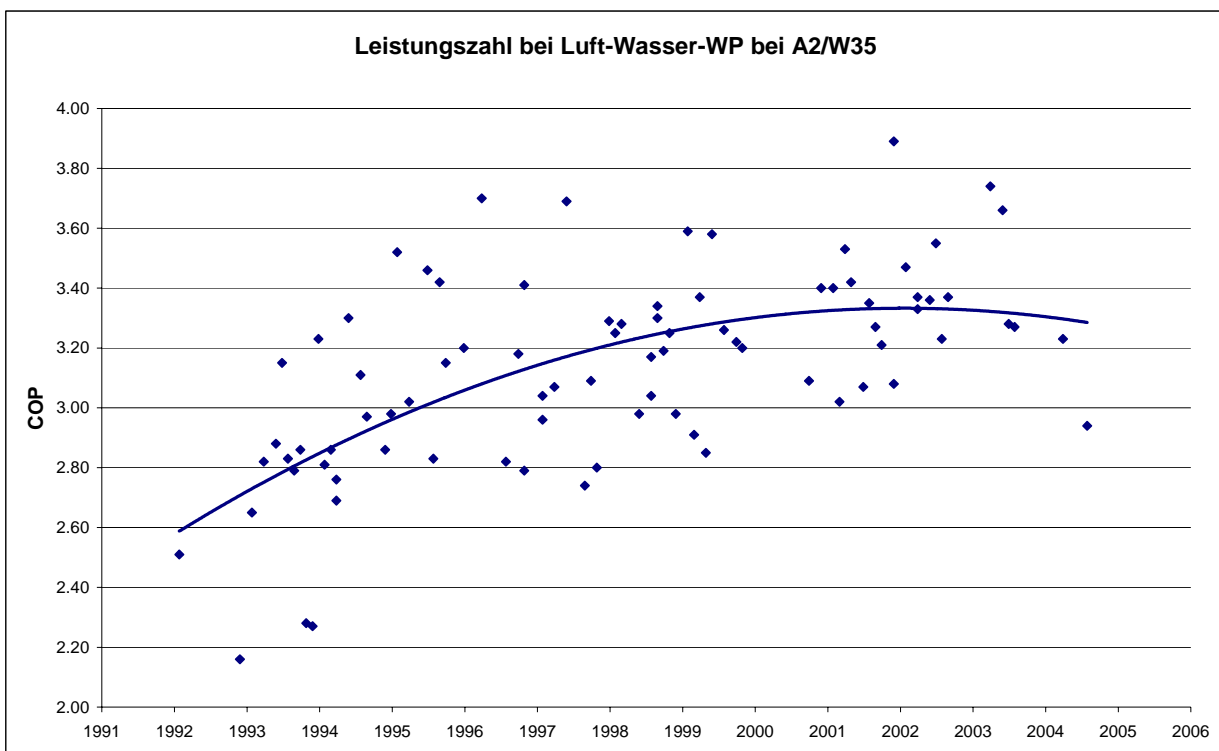


Abb. 5.1.1: COP-Verlauf von allen getesteten Luft-Wasser-WP seit 1993

Der Trend in Abb. 5.1.1 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 2.94 und 3.89.

## 5.1.2 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.

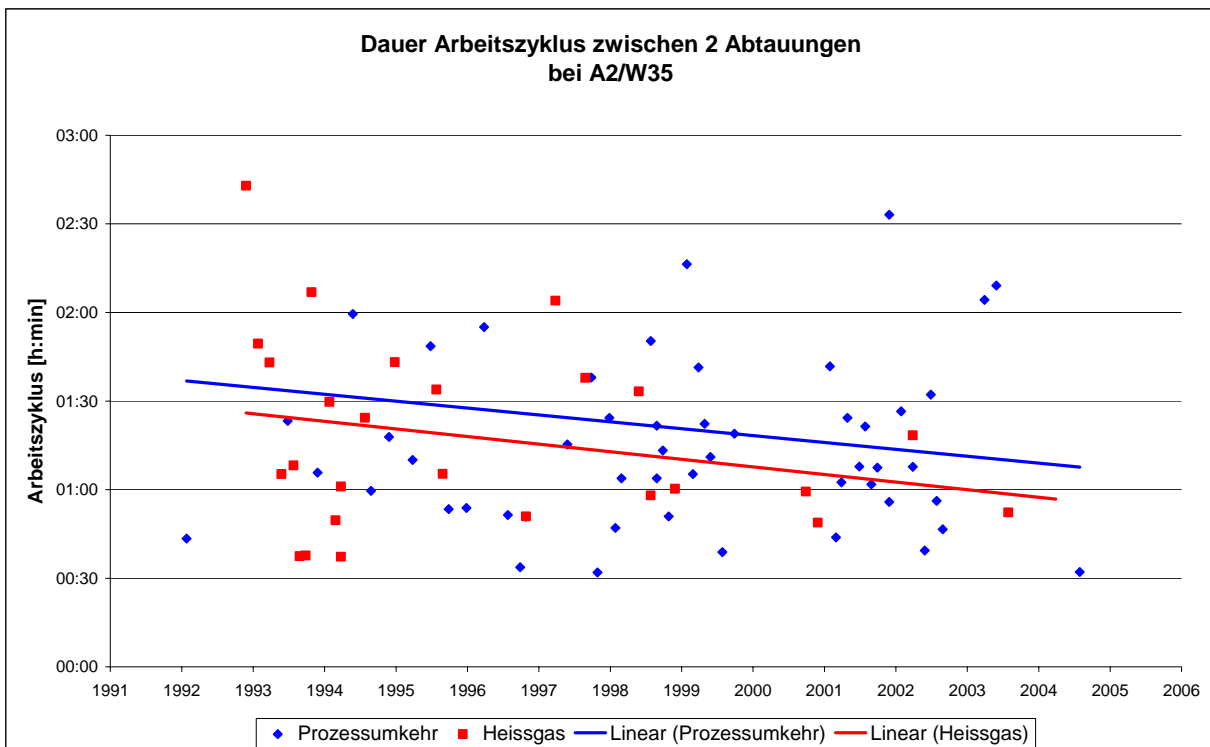


Abb. 5.1.2a: Dauer der Arbeitszyklen zwischen 2 Abtauungen je nach Abtauverfahren

Abb. 5.1.2a zeigt deutlich, dass die Betriebsdauer zwischen 2 Abtauungen bei beiden Abtauverfahren deutlich reduziert worden ist; die Reduktion gegenüber dem Mittelwert von 1993 beträgt 2005 32% bei der Prozessumkehr und 34% bei der Heissgasabtauung. Dabei ist die Dauer des Arbeitszyklus zwischen 2 Abtauungen bei der Prozessumkehr konstant um ca. 10 min höher als bei der Heissgasabtauung. 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. 5.1.2b zeigt nun die relativen Abtaudauern der beiden Abtauverfahren. Aufgrund der Folgerungen aus der Abb. 5.1.2a wäre bei gleich bleibender Abtaudauer eine Erhöhung der relativen Abtaudauer um ca. 30% zu erwarten. Dies bestätigt sich bei der Prozessumkehr in etwa durch den entsprechenden Anstieg zwischen 1993 und 2005; im Gegensatz dazu hat sich die relative Abtaudauer bei der Prozessumkehr von anfänglich 17% (!) auf durchschnittlich 9% stark verbessert. Seit dem Jahr 2000 wurden nur noch 4 Wärmepumpen mit Heissgasabtauung geprüft, mit einer Ausnahme liegen die relativen Abtaudauern im Bereich der Werte mit Prozessumkehr.

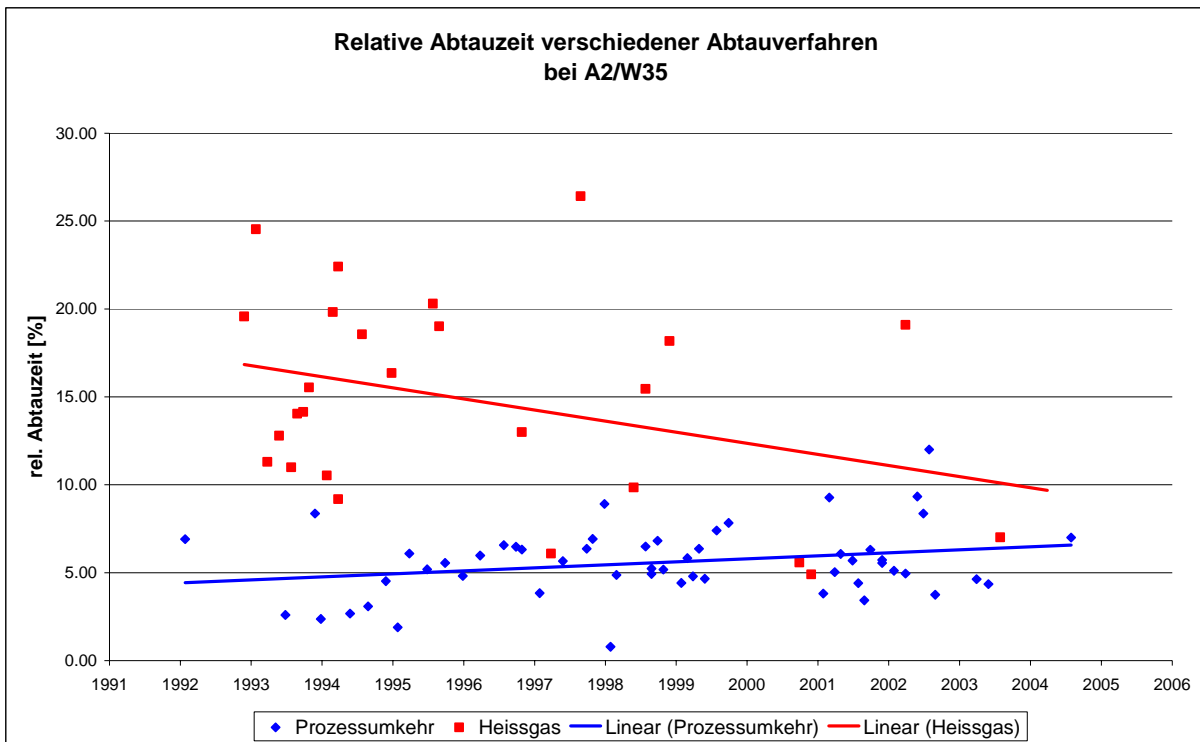


Abb. 5.1.2b: Entwicklung der relativen Abtauzeiten je nach Abtauverfahren

Abb. 5.1.2c zeigt, dass die Heissgasabtauung gegenüber der Prozessumkehr in den 90er-Jahren energetisch deutlich schlechter war. Die ab dem Jahr 2000 gemessenen Werte können fast als identisch angesehen werden.

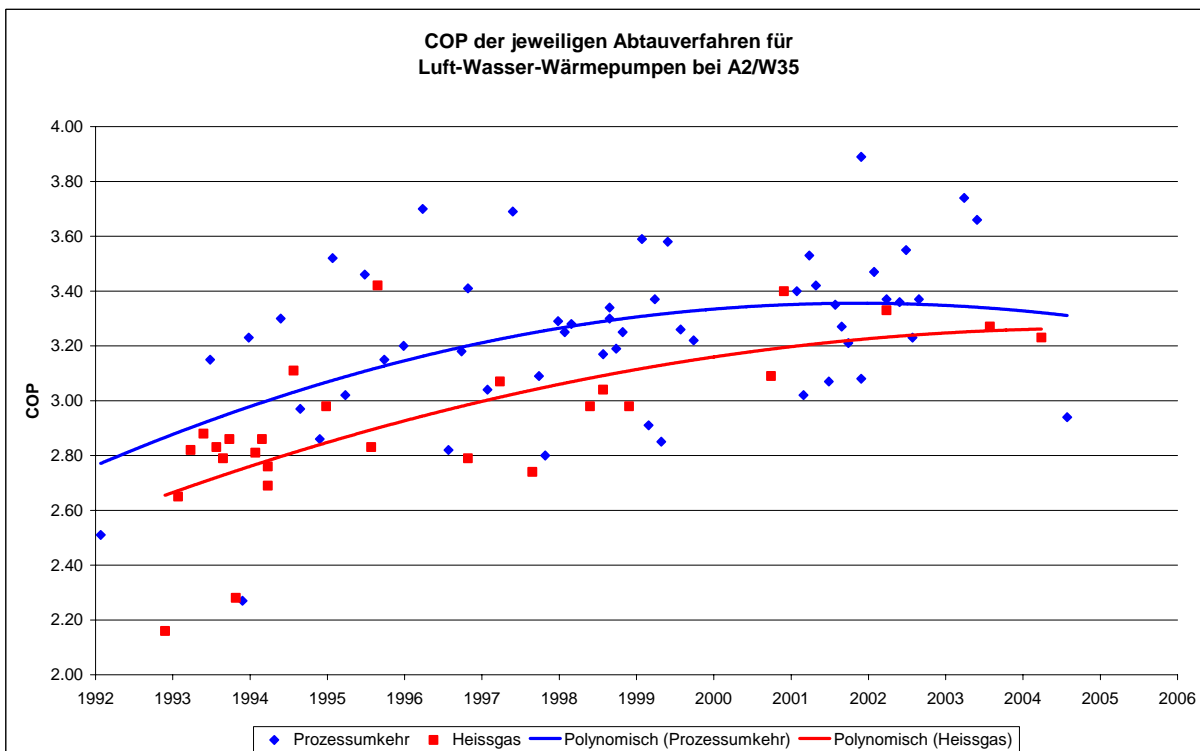


Abb. 5.1.2c: Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Abtauverfahren

### 5.1.3 Verwendung von Kältemitteln in Luft-Wasser-Wärmepumpen

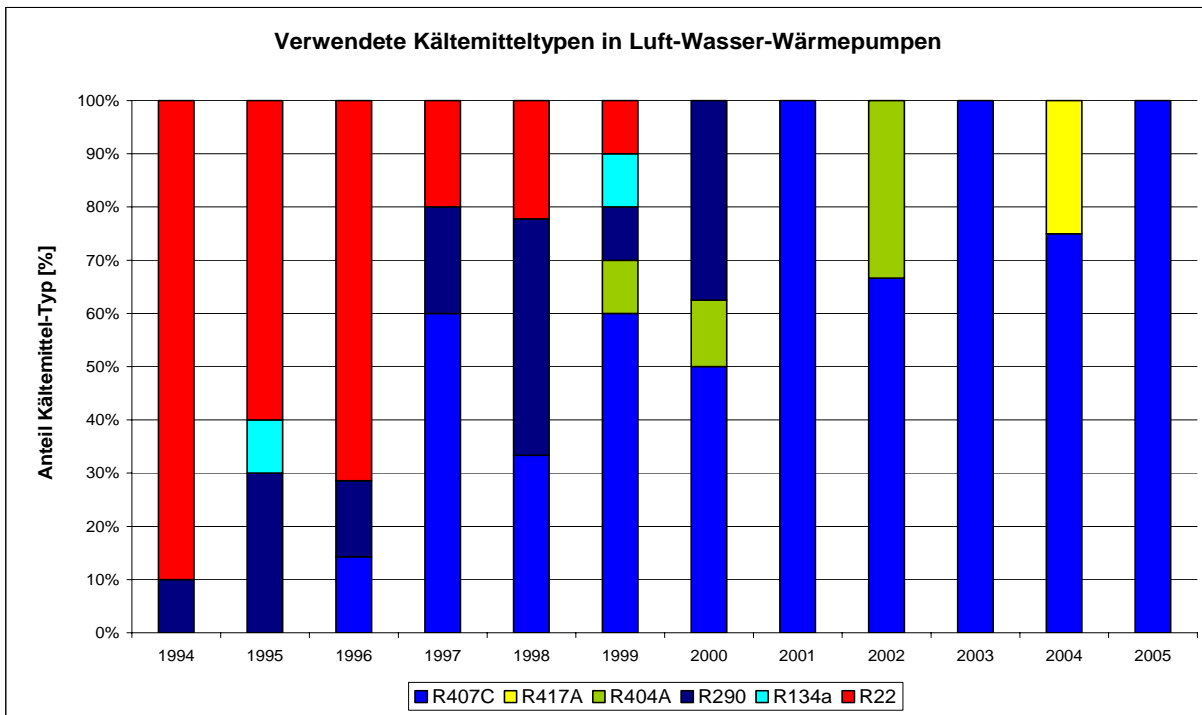


Abb. 5.1.3a: Verwendete Typen von Kältemitteln in Luft-Wasser-Wärmepumpen

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, Neben R407c, welches seit 1997 am häufigsten eingesetzt wird, wurden vereinzelt Wärmepumpen mit den Kältemitteln R404a, 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 und R404a eingegangen.

In den Abbildungen 5.1.3b 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. 5.1.3b) im Laufe der Zeit geschlossen werden könnte, zeigt sich, dass bei der spezifischen Füllmenge der Trend nach oben zeigt. Allerdings ist die Streuung der einzelnen Werte so gross, dass die Aussagen der Trendlinien zu relativieren sind.

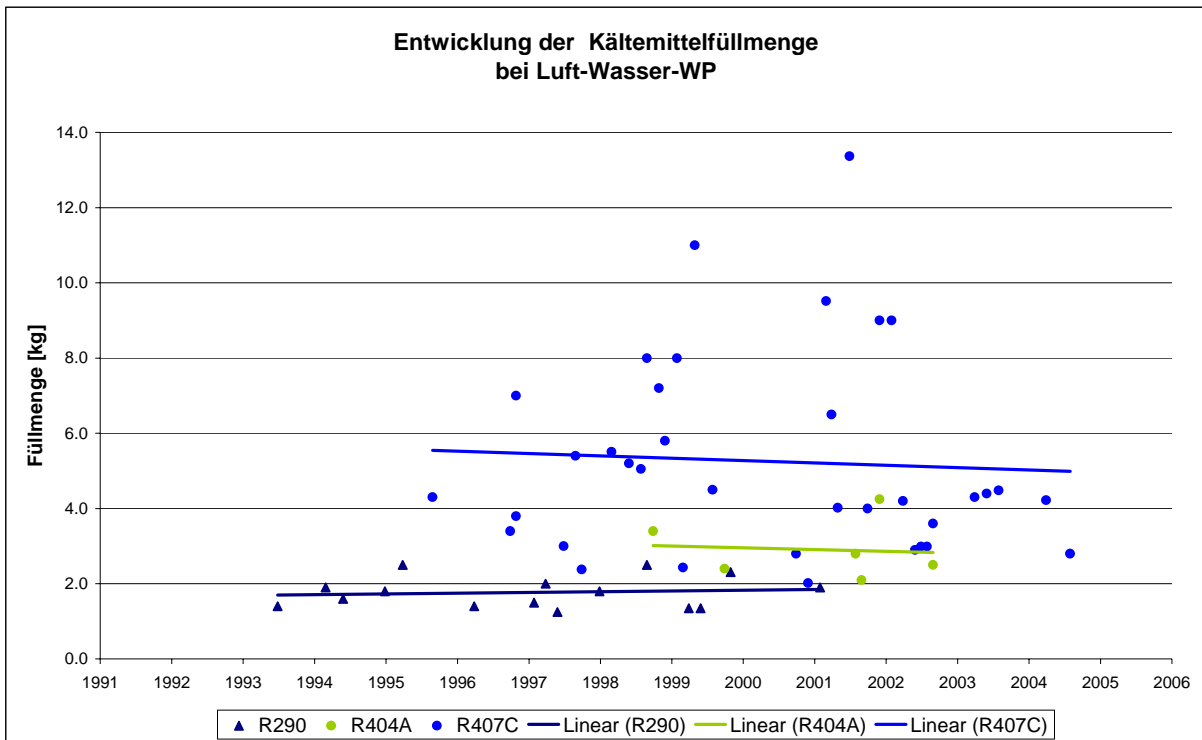


Abb. 5.1.3b: Entwicklung der absoluten Kältemittel-Füllmengen

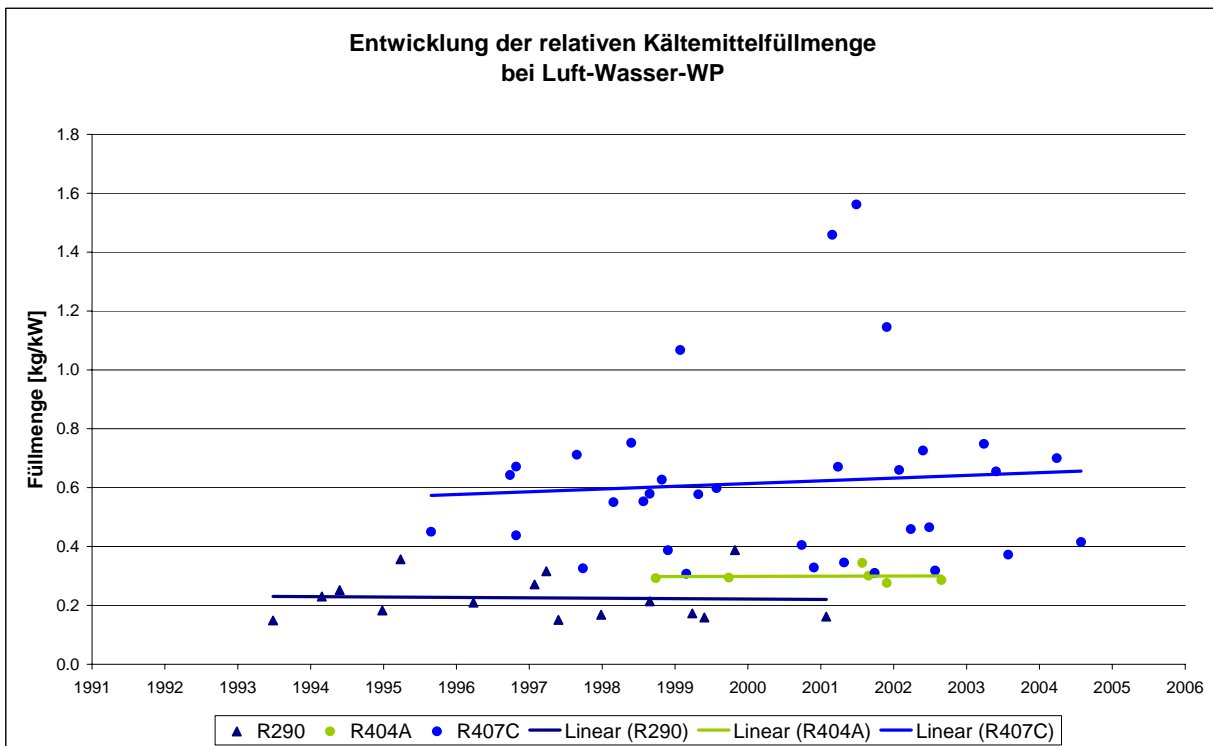


Abb. 5.1.3c: Entwicklung der relativen Kältemittel-Füllmengen

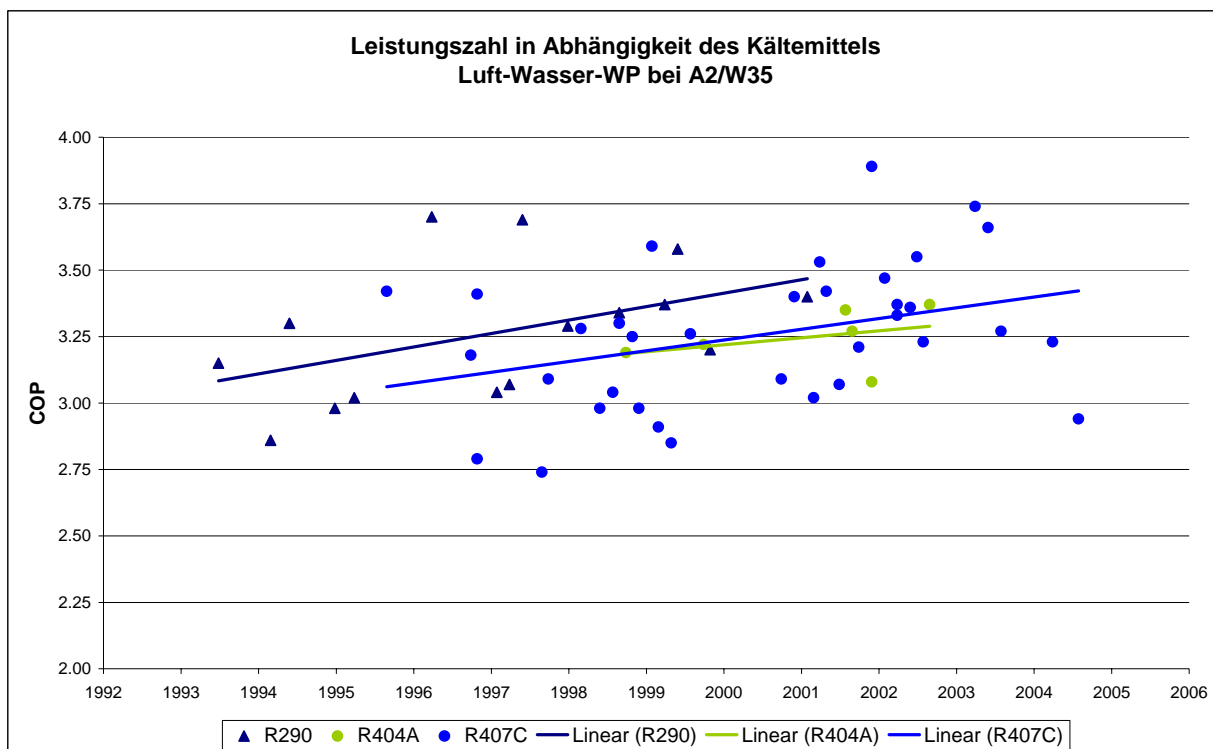


Abb. 5.1.3d: Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Kältemittel-Typen

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.

#### 5.1.4 Verwendete Kompressor-Bauarten in Luft-Wasser-Wärmepumpen

Die Abbildung 5.1.4a 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 im Folgenden verzichtet. Abbildung 5.1.4a 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 5.1.4b zeigt nun die zeitliche Entwicklung des COP für Scroll-Kompressoren in Abhängigkeit des Kältemittel-Typs und des Abtauverfahrens.

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.

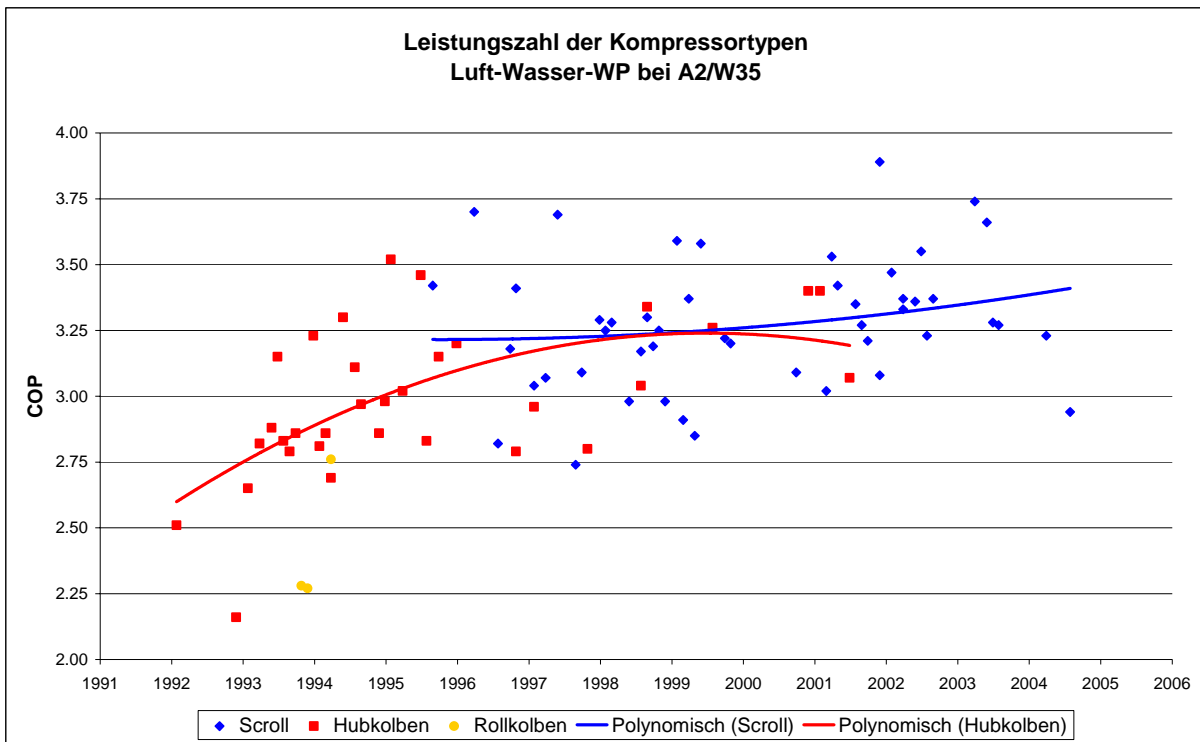


Abb. 5.1.4a: COP in Abhängigkeit des Kompressorartyps

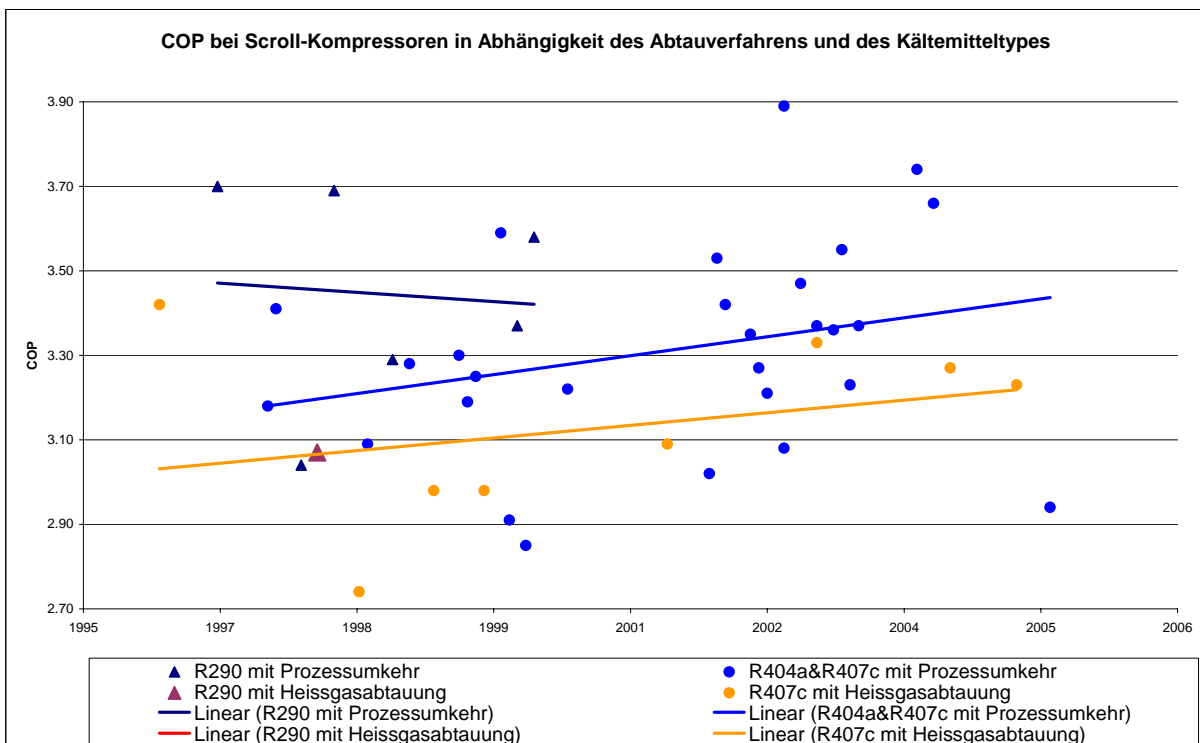


Abb. 5.1.4b: COP bei Wärmepumpen mit Scroll-Verdichtern in Abhängigkeit des Kältemittels und des Abtauverfahrens

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.

### 5.1.5 Schalleistungspegel bei Luft-Wasser-Wärmepumpen

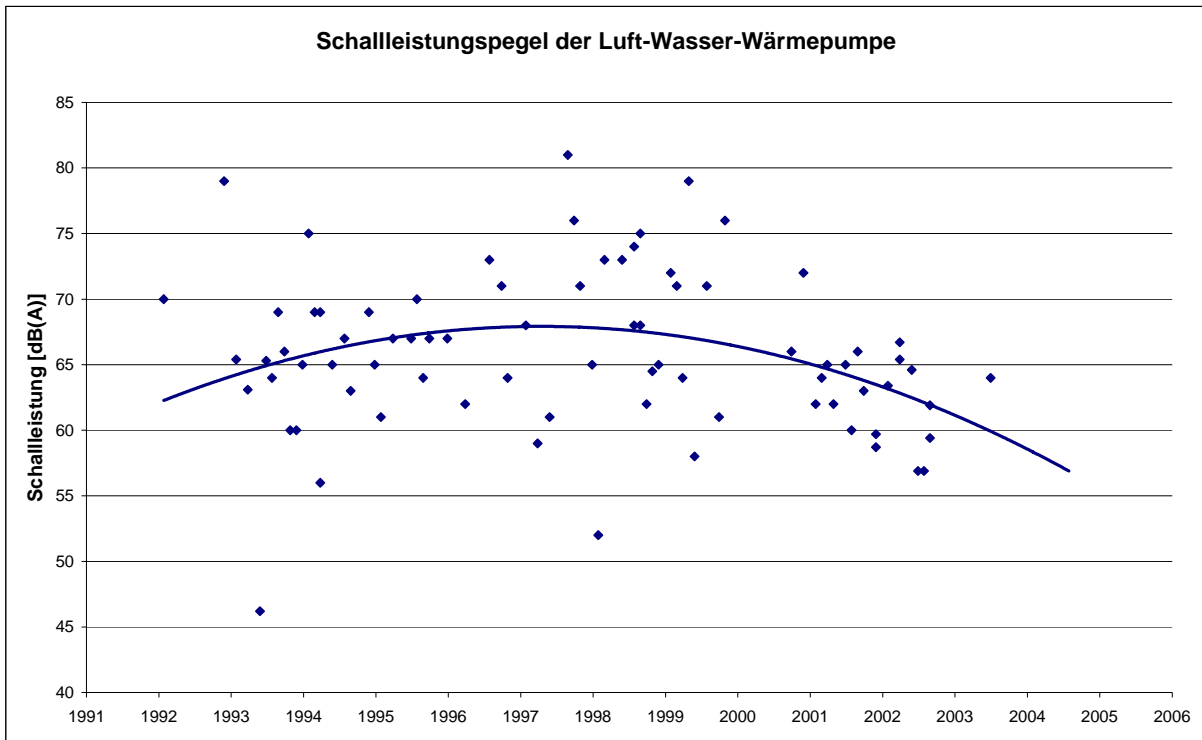


Abb. 5.1.5a: Schalleistungspegel bei Luft-Wasser-Wärmepumpen

Abbildung 5.1.5a zeigt, dass erst ab dem Jahr 1998 eine deutliche Reduktion der Schalleistungspegel erzielt werden konnte.

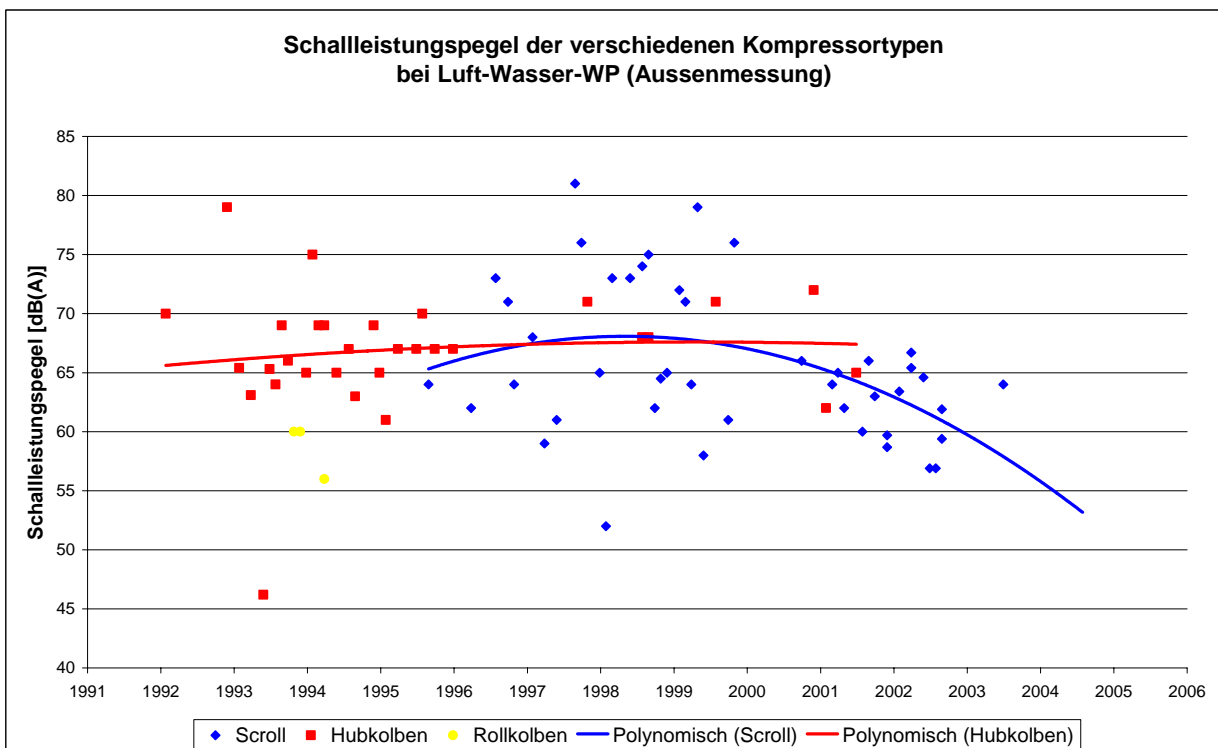


Abb. 5.1.5b: Schalleistungspegel bei Wärmepumpen mit verschiedenen Kompressortypen

Abbildung 5.1.5b zeigt auch, dass die Schalleistungsreduktion nicht mit der Einführung des Scroll-Kompressors zusammenfällt, sondern eher auf Optimierungen im Bereich der quellenseitigen Luftführung zurückzuführen sind.

### **5.1.6 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 kostenoptimiert 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 Abtaudauer 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 5.1.5b zeigt auch, dass die Schalleistungsreduktion bei Luft-Wasser-Wärmepumpen nicht mit der Einführung des Scroll-Kompressors zusammenfällt, sondern eher auf Optimierungen im Bereich der quellenseitigen Luftführung zurückzuführen sind.

## 5.2 Sole-Wasser-Wärmepumpen

### 5.2.1 Leistungszahlverlauf Sole-Wasser-Wärmepumpen 1993 bis 2005

Der Trend in Abb. 5.2.1 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. Seither 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.

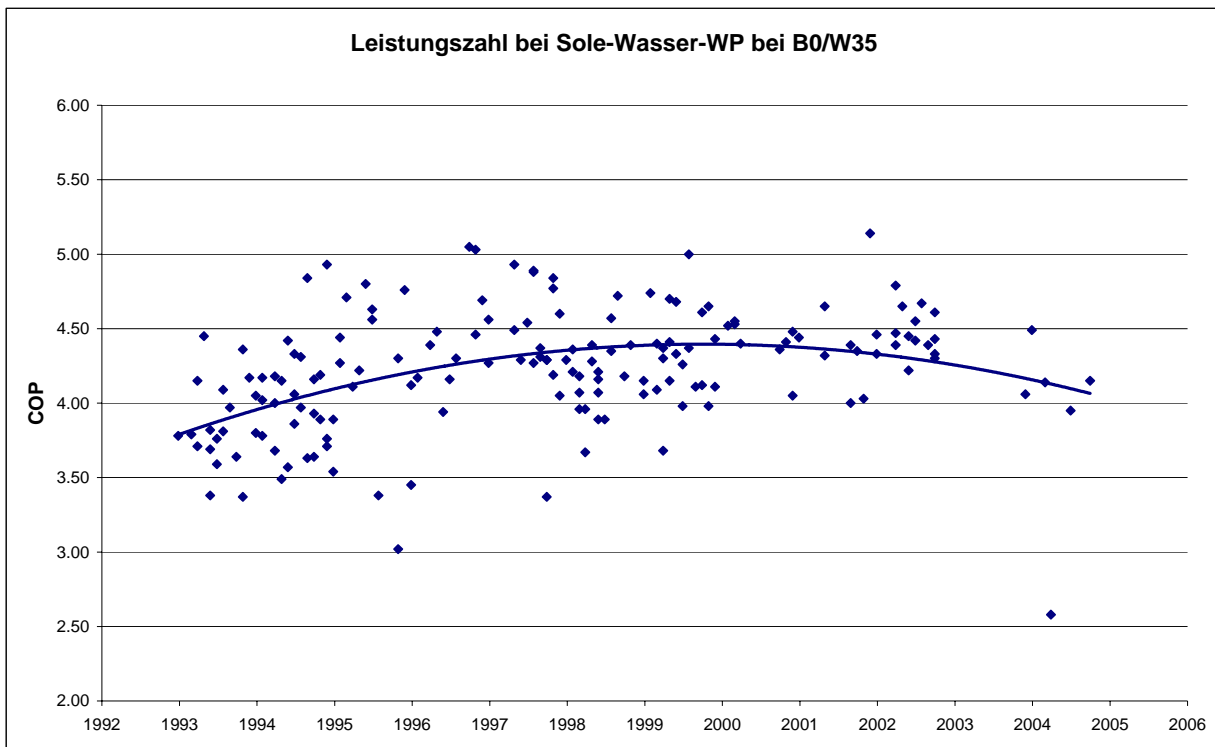


Abb. 5.2.1: COP-Verlauf der getesteten Sole-Wasser-WP seit 1993

### 5.2.2 Verwendung 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. Neben R407c, welches seit 1998 am häufigsten eingesetzt wird, wurden Wärmepumpen mit den Kältemitteln R417a und R134a geprüft, wobei R134a am seltensten verwendet wurde (Abbildung 5.2.2a).

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

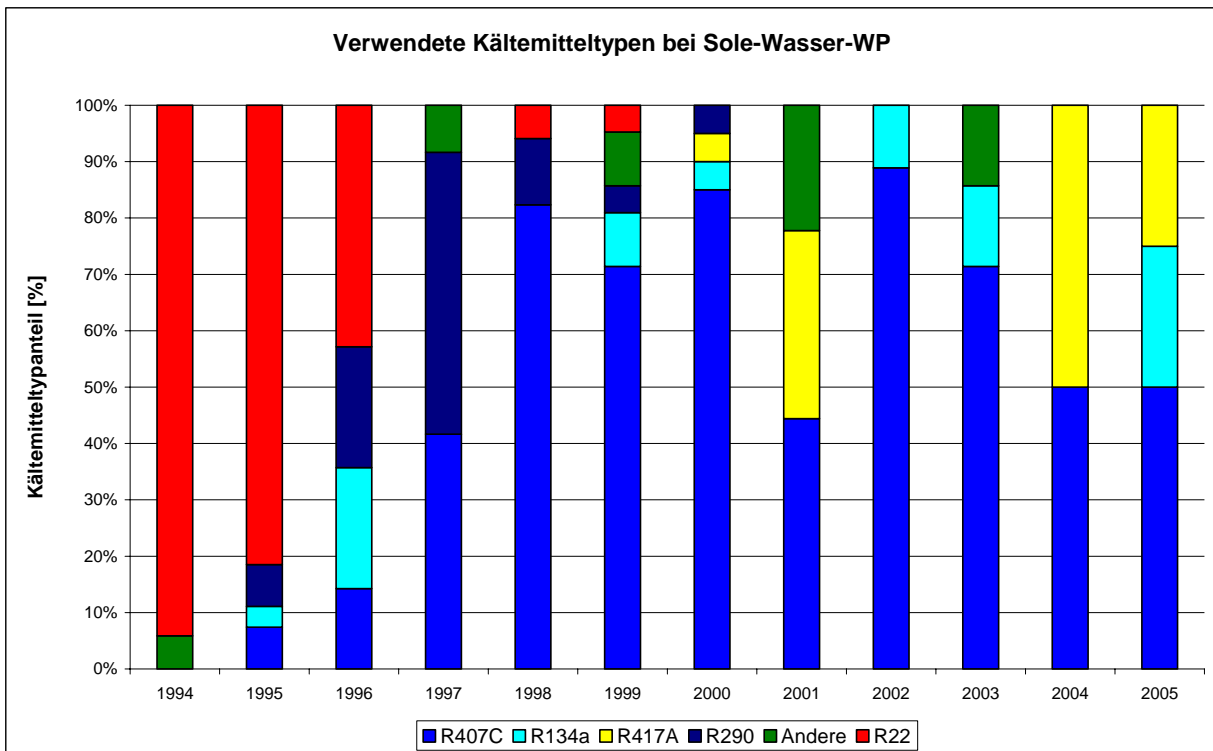


Abb. 5.2.2a: Verwendete Typen von Kältemitteln in Sole-Wasser-Wärmepumpen

In den Abbildungen 5.2.2b wird ersichtlich, dass die absolute Menge des eingesetzten Kältemittels mit der Zeit verringert worden ist, wobei hier R290 die Ausnahme mit einem geringfügigen Anstieg bildet.

Derselbe Trend wird auch bei den relativen Kältemittelmengen aus Abbildung 5.2.2c ersichtlich. Augenfällig sind die grossen Streuungen beim Kältemittel R407c.

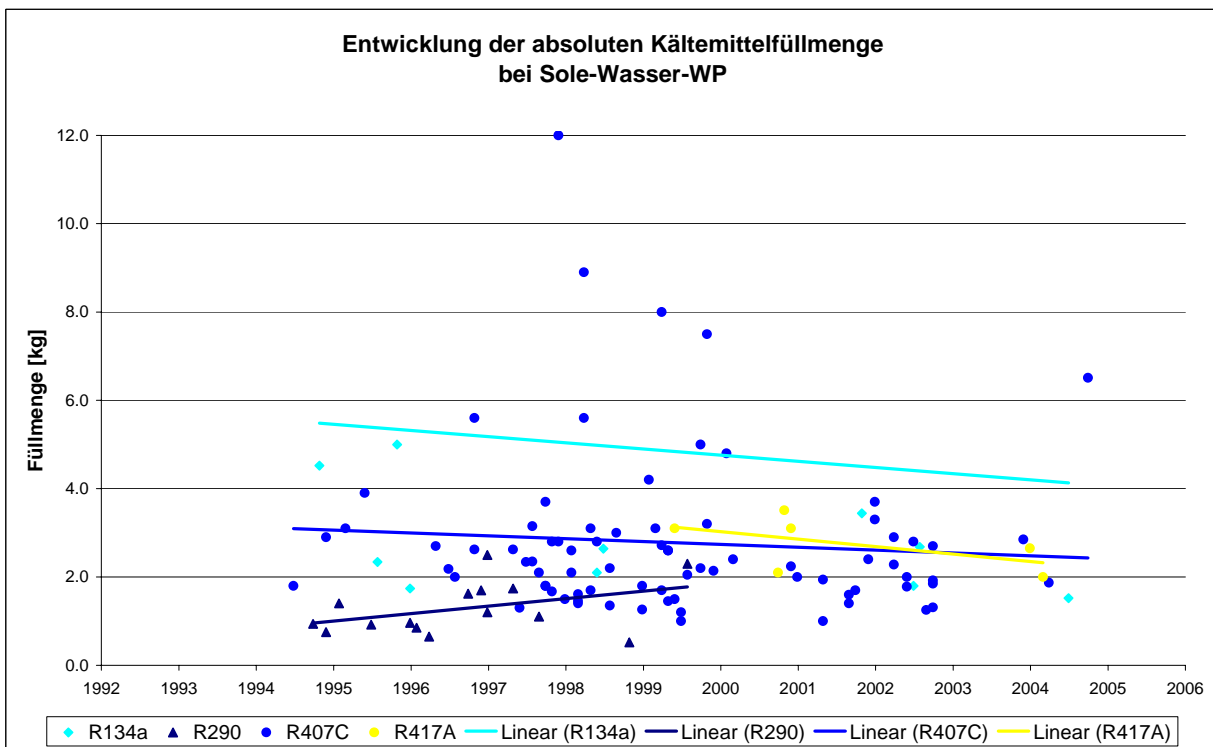


Abb. 5.2.2b: Entwicklung der absoluten Kältemittel-Füllmengen

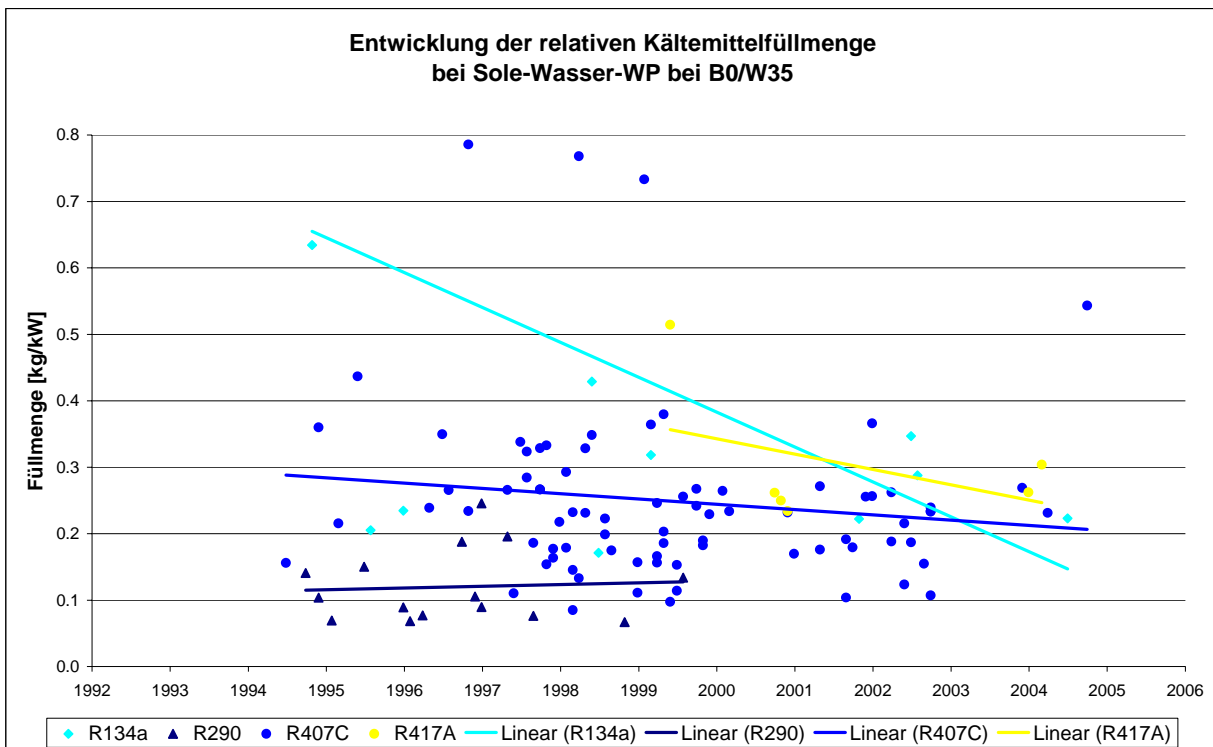


Abb. 5.2.2c: Entwicklung der relativen Kältemittel-Füllmengen

Die Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Zeit und des Kältemittel-Typs zeigt für R290 und R134a steigende Tendenz, diese ist jedoch bei R407c 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.

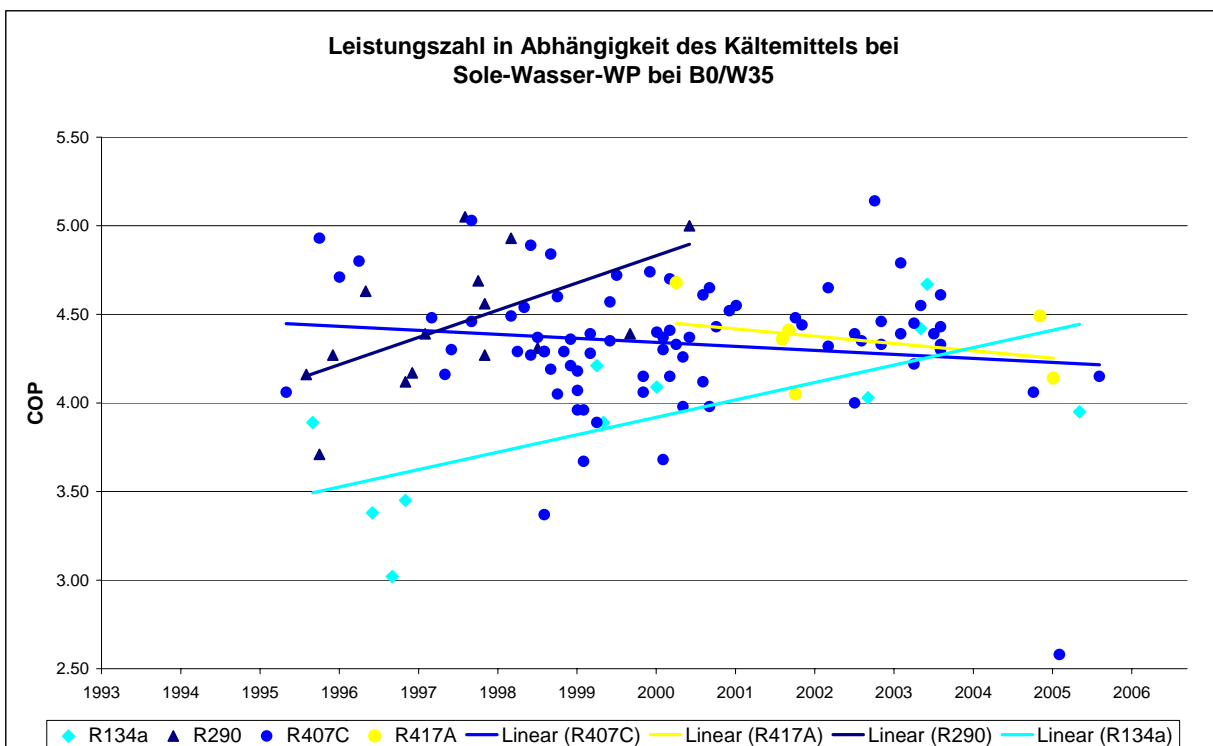


Abb. 5.2.2d: Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Kältemittel-Typen

### 5.2.3 Verwendete Kompressor-Bauarten in Sole-Wasser-Wärmepumpen

Die Abbildung 5.2.3a 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.

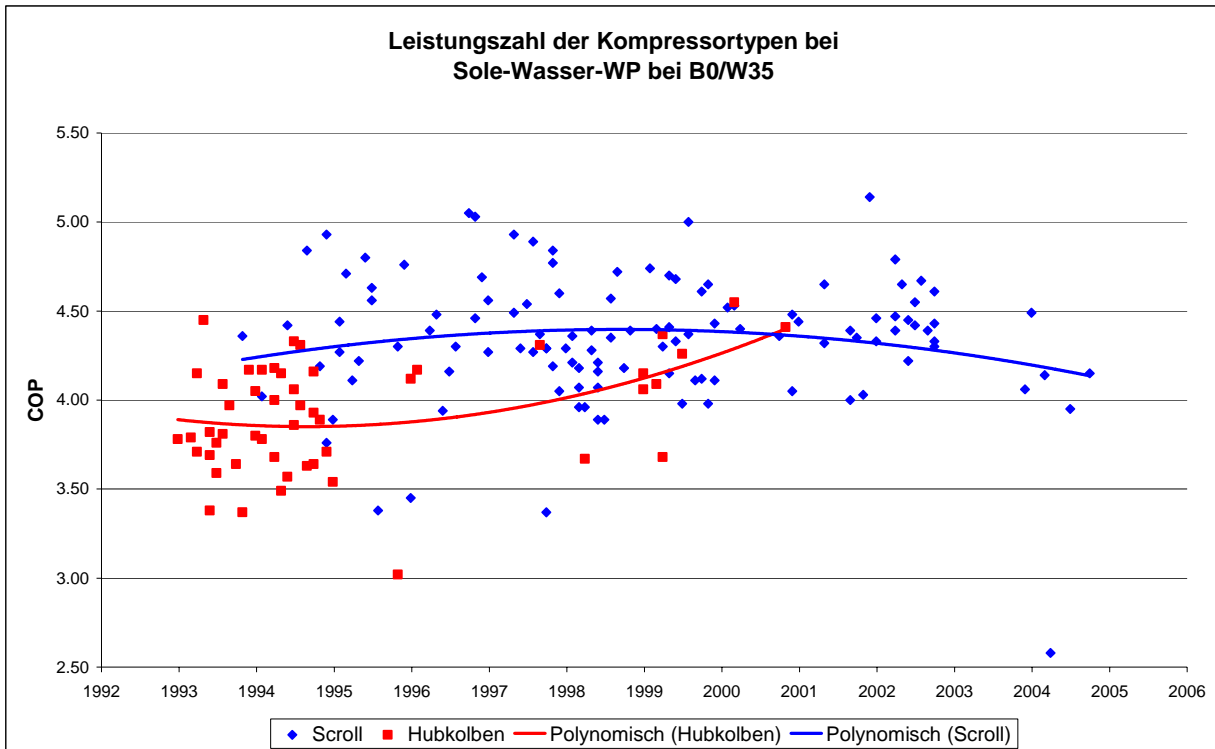


Abb. 5.2.3a: COP in Abhängigkeit des Kompressortyps

Abbildung 5.2.3a 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 sogar seit dem Jahr 2000 rückläufig. Alle Messwerte weisen einen relativ grossen Streubereich zu den Regressionskurven auf.

Abbildung 5.2.3b zeigt nun die zeitliche Entwicklung des COP in Abhängigkeit des Kältemittel-Typs und des eingesetzten Verdichter-Typs auf.

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 fallend, bei den anderen Kältemitteln ist der Trend jedoch steigend.

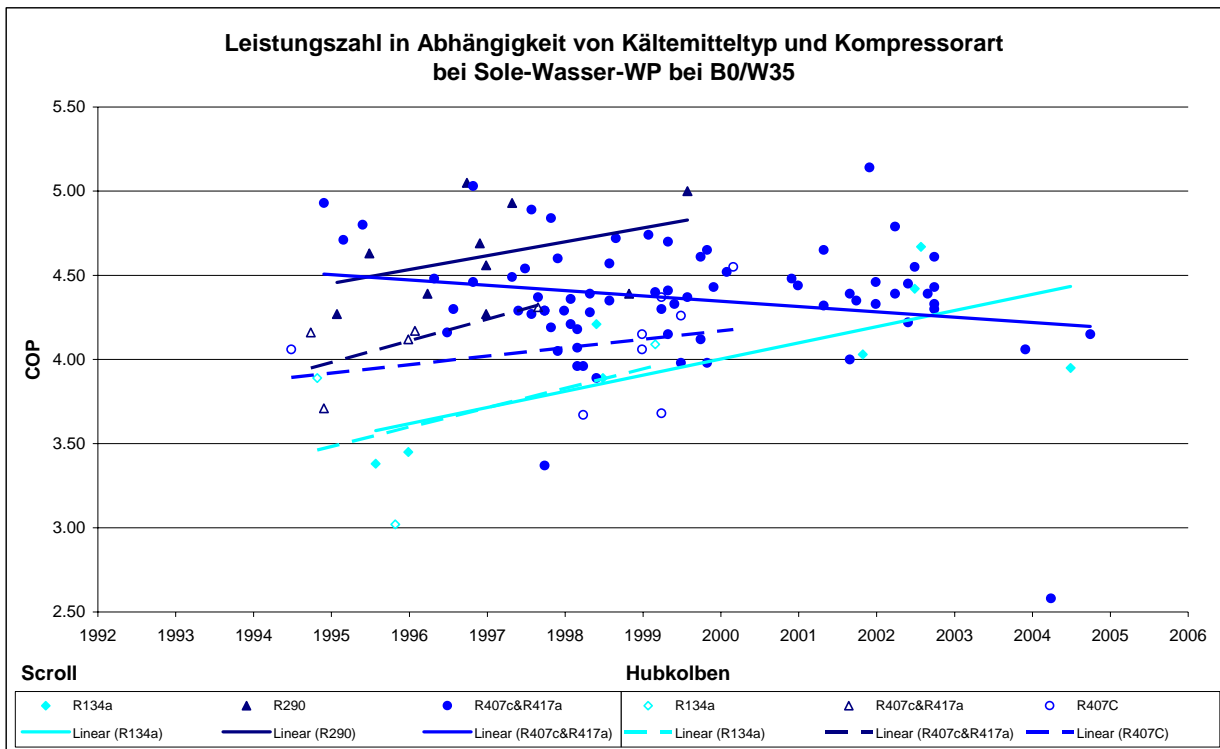


Abb. 5.2.3b: COP bei WP in Abhängigkeit des Kältemittels und des Kompressor-Typs

## 5.2.4 Schalleistungspegel bei Sole-Wasser-Wärmepumpen

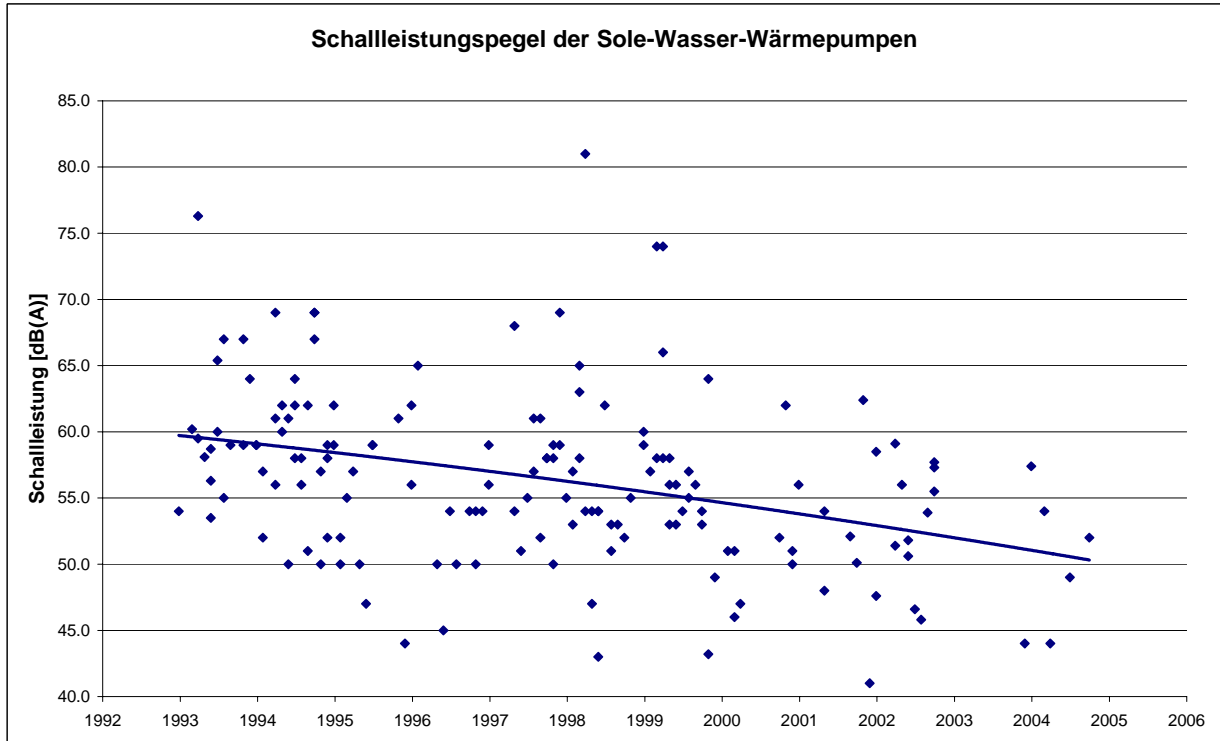


Abb. 5.2.4a: Schalleistungspegel bei Sole-Wasser-Wärmepumpen

Abbildung 5.2.4a zeigt, dass in den letzten 12 Jahren eine kontinuierliche Reduktion der Schalleistungspegel erzielt werden konnte.

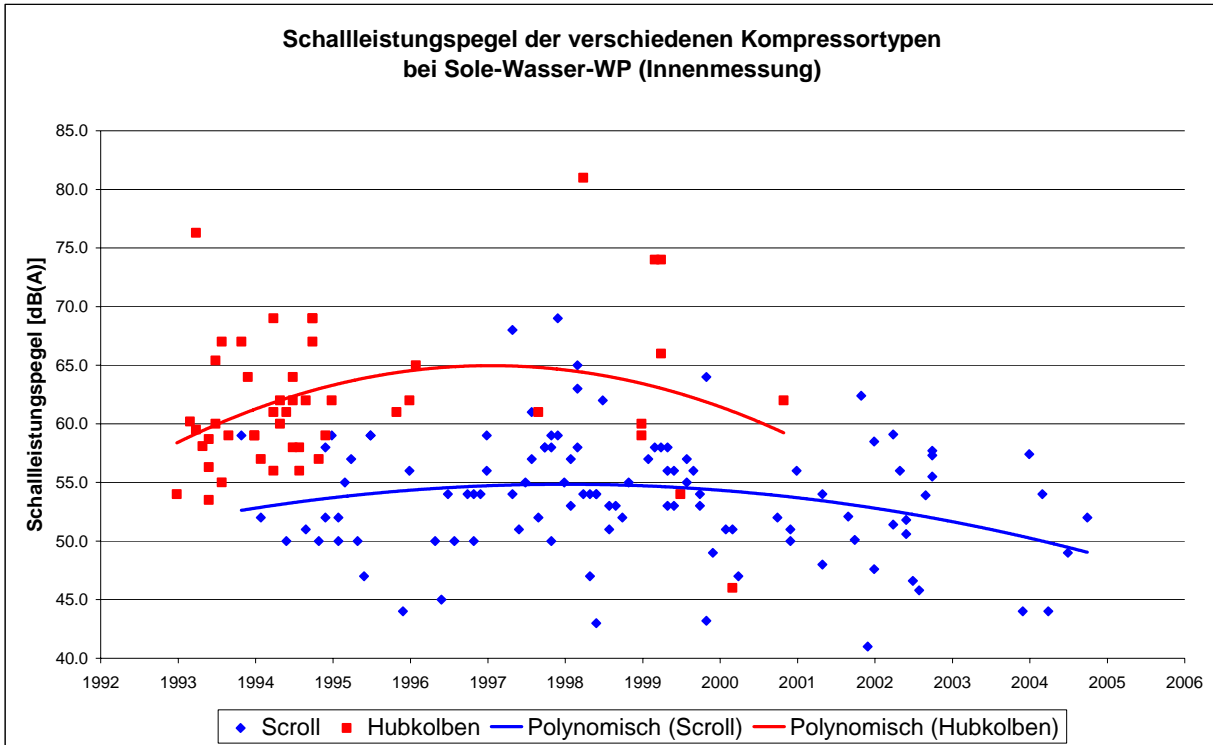


Abb. 5.2.4b: Schalleistungspegel bei Wärmepumpen mit verschiedenen Kompressortypen

Abb. 5.2.4b zeigt, dass vor allem mit der Einführung des Scroll-Kompressors die Schalleistungspegel entsprechend gesenkt werden konnten.

## 5.2.5 Schlussfolgerungen Sole-Wasser-Wärmepumpen

Die mittleren Leistungszahlen bei den Sole-Wasser-Pumpen sind seit dem Jahr 2000 fallend, 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 kostenoptimiert 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.

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 der Schalleistungspegel von im Mittel 10 dB konnten mit der Einführung der Scroll-Kompressoren erreicht werden. Die heute teilweise erreichten Werte unter 50 dB stellen im Heiztechnikbereich Spitzenwerte dar.

Marco Nani, 16.02.2006  
WärmepumpenTestzentrum WPZ

Peter Hubacher/Max Ehrbar, 22.02.2006 (Kap. 3 Bestanlagen)  
Hubacher Engineering