



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

MONITORING VON KLEIN-WÄRMEPUMPEN MITTELS NORMPRÜFUNGEN 2008

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch:

Michael Eschmann, Interstaatliche Hochschule für Technik NTB
Werdenbergstrasse 4, CH – 9471 Buchs SG
michael.eschmann@ntb.ch, www.ntb.ch

Impressum

Datum: 12. Februar 2009

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Bereich 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-Markt-Bereichsleiter: Richard Phillips richard.phillips@bfe.admin.ch

Projektnummer: 102062

Bezugsort der Publikation: www.bfe.admin.ch

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

Inhaltsverzeichnis

1	Projektziele.....	6
2	Normprüfungen an Wärmepumpen	7
2.1	Durchgeführte Wärmepumpen-Prüfungen	7
2.2	Dauer der durchgeführten Normprüfungen 2008	8
2.3	Weitere Aktivitäten am WPZ	9
2.4	Ausblick, strategische Ausrichtung WPZ 2008ff	10
3	Auswertungen von Normprüfungen	11
3.1	Luft-Wasser-Wärmepumpen	11
3.1.1	Leistungszahlverlauf Luft-Wasser-Wärmepumpen 1993 bis 2008	11
3.1.2	Abtauverfahren bei Luft-Wasser-Wärmepumpen.....	12
3.1.3	Verwendung von Kältemitteln in Luft-Wasser-Wärmepumpen	14
3.1.4	Verwendete Kompressor-Bauarten in Luft-Wasser-Wärmepumpen.....	16
3.1.5	Schalleistungspegel bei Luft-Wasser-Wärmepumpen	18
3.1.6	Schlussfolgerungen Luft-Wasser-Wärmepumpen	19
3.2	Sole-Wasser-Wärmepumpen	20
3.2.1	Leistungszahlverlauf Sole-Wasser-Wärmepumpen 1993 bis 2008	20
3.2.2	Verwendung von Kältemitteln in Sole-Wasser-Wärmepumpen	20
3.2.3	Verwendete Kompressor-Bauarten in Sole-Wasser-Wärmepumpen	22
3.2.4	Schalleistungspegel bei Sole-Wasser-Wärmepumpen	24
3.2.5	Schlussfolgerungen Sole-Wasser-Wärmepumpen	25
4	EHPA-DACH-Gütesiegel.....	26
4.1	Luft-Wasser-Wärmepumpen	26
4.2	Sole-Wasser-Wärmepumpen	27
4.3	Wasser-Wasser-Wärmepumpen	27
5	Referenzen.....	29

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 oder nach EN 255-3 und werden im Wärmepumpen-Testzentrum WPZ in Buchs durchgeführt.

Im Betriebsjahr 2008 konnten am WPZ Buchs insgesamt 28 Wärmepumpenprüfungen durchgeführt werden, so viele wie nie zuvor. Dies ist auf die gute Auftragslage und eine weitere Erhöhung der Prüfkapazitäten durch die konsequente Optimierung der Prüfstände zurückzuführen.

Im Berichtsjahr wurde das Wärmepumpen-Testzentrum WPZ in Buchs nach EN 17025 akkreditiert. Dies bedeutet, dass der Prüfbetrieb nun nicht nur von der Akkreditierungsstelle her qualitativ überwacht wird, sondern auch, dass die WPZ-Wärmepumpenprüfungen nun international vollständig anerkannt werden.

Durch den Einsitz in das internationale EHPA/DACH Gütesiegel Komitee und die Besetzung des Vize-Präsidiums durch das WPZ konnten wichtige Erfahrungen in den Aufbau und die Reglementierung dieses Gremiums mit eingebracht werden.

Die gemessenen COP bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen lagen bei 3 von 5 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, wobei es 2 Ausreisser gab. Die Stagnation der energetischen Effizienz in den letzten Jahren zeigt, dass der COP bei der Entwicklung von Wärmepumpen nicht mehr erste Priorität hat.

Weitere Auswertungen der am WPZ durchgeführten Messungen, zeigen, dass hinsichtlich den Mindest-COP zur Erteilung des internationalen EHPA-DACH-Gütesiegels die meisten Wärmepumpen die Grenzwerte erreichen; bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen sind dies 81 % der geprüften Geräte, bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen 87 % und bei den Wasser-Wasser-Wärmepumpen gar 100 % der Geräte. Eine eventuelle Entscheidung zur Anhebung des Grenzwertes durch die internationale Gütesiegel-Kommission kann auf die hier gemachten Häufigkeitsverteilungen der gemessenen COP abgestützt werden.

Abstract

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. The procedures for the standard tests are defined in the EHPA/DACH testing regulations which are based on the international standard EN 14511 or EN 255 part 3.

During 2008 the WPZ has tested totally 28 heat pumps, as many as never before. Due to the excellent order situation and the increase of the testing capacity by consequent advancement of the test facility this result was possible.

In 2008 the Heat Pump Test Center WPZ has been accredited according the international standard EN 17025. This means that the testing procedures are monitored by the Swiss Accreditation Society SAS, further the tests of WPZ are fully accepted in all European countries.

WPZ is member of the international quality label committee of the EHPA (European Heat Pump Association). The head of the Heat Pump Test Center is the vice chair of this committee.

Due to the measurements at the WPZ different development trends have been determined. In 2008 3 of the 5 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, except for 2 outliers. 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.

Further analysis of WPZ show, that the most of the measured heat pumps reach the minimum COP required for the granting of the international EHPA-DACH Quality Label; so 81 % of the measured air to water units, 87 % of the brine-water and all water-water heat pumps fulfil these requirements. A decision for an increase of the minimum COPs to be taken by the international EHPA-DACH Quality Label Committee can rely on the measured values and determined cumulative frequency distributions.

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 EHPA-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.

2 Normprüfungen an Wärmepumpen

2.1 Durchgeführte Wärmepumpen-Prüfungen

Sämtliche Luft-Wasser- und Sole-Wasser- resp. Wasser-Wasser-Wärmepumpen für Heizbetrieb werden nach den auf der EN 14511 basierenden EHPA-DACH-Prüfreglementen durchgeführt. Die Prüfung der Warmwasser-Wärmepumpen erfolgt nach dem auf der EN 255-3 basierenden DACH-Prüfreglement.

Bis Ende 2008 wurden am WPZ Buchs insgesamt 102 Wärmepumpen-Prüfungen durchgeführt, davon fallen auf das Jahr 2008 allein 28 Prüfungen. Auffallend war, dass häufig die Anforderungen der Hersteller für das COP von den Prüflingen nicht erreicht wurden. Das hat dazu geführt, dass verschiedenste Prüfungen frühzeitig von den Auftraggebern abgebrochen wurden.

Untenstehende Tabelle 2.1 zeigt die Aufgliederung der Prüfungen bis Ende 2008 nach ihrer Art, Grafik 2.1 zeigt die Entwicklung der durchgeführten Wärmepumpen-Prüfungen am WPZ Buchs über die letzten 5 Jahre.

Art der WP-Prüfung	Jahr 2008	Jahr 2007	WPZ Buchs Total bis Ende 2008
Luft-Wasser	3 + 4* + 1**	8	36
Sole-Wasser	6 + 4* + 3**	7	28
Wasser-Wasser	-	-	1
Kombination Sole-Wasser & Wasser-Wasser	2 & 2	2 & 2	13 & 13
Warmwasser-WP	3	1	11
Total	28	20	102

* Abgebrochene Prüfungen

** Prototypenprüfungen oder Nachprüfungen

Tabelle 2.1: Art der durchgeführten Wärmepumpen-Prüfungen am WPZ

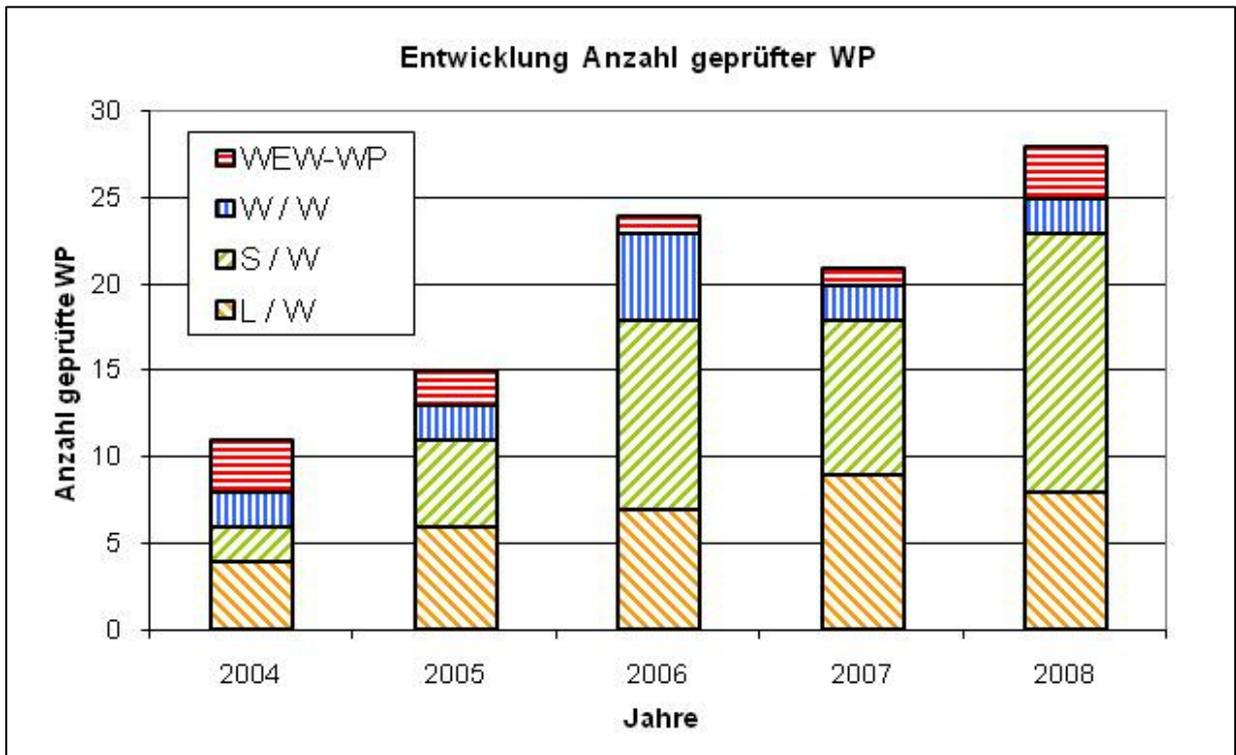


Abb 2.1: Entwicklung der Anzahl geprüften Wärmepumpen in den letzten 5 Jahren

2.2 Dauer der durchgeführten Normprüfungen 2008

Die untenstehende Tabelle zeigt die Dauer der durchgeführten Normprüfungen 2008 in Arbeitstagen.

Art der WP-Prüfung	Anzahl	Dauer Normprüfung Arbeitstage 2008			Jahr 2007
		Min	Max	Mittelwert	Mittelwert
Luft-Wasser	3	17	24	21	16
Sole-Wasser	6	6	15	10	14
Kombination S/W & W/W	2	10	12	11	13
Warmwasser-WP	3	10	12	11	12

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 dazu gerechnet werden.

Die Prüfdauern bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen haben sich im Berichtsjahr erhöht. Da sich für diese Prüfung auch immer die grössten Streuungen bei den Dauern ergeben und der Stichprobenumfang nur bei 3 ist, kann es sich um einen statistischen Ausreisser handeln.

Die Prüfdauern bei allen anderen Prüfungen konnten wiederum leicht bis deutlich gesenkt werden. Dies ist auf die konsequente Weiterentwicklung der Prüfstände zurück zu führen.

2.3 Weitere Aktivitäten am WPZ

Akkreditierung nach EN 17025

Um die Prüfqualität weiter zu verbessern und eine bessere Anerkennung der Prüfungen im internationalen Markt zu erlangen, wurde das am Testzentrum angewandte Qualitätsmanagement-System durch die Schweizerische Akkreditierungsstelle SAS überprüft, wobei als Basis für diese Überprüfung die EN 17025 „Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien“ angewendet wurde. Bereits im ersten Audit Ende April wurde das Q-Management-System des WPZ für gut befunden, die Akkreditierung wurde dem WPZ Ende Juni dieses Jahres gewährt.

Durch die Akkreditierung ist gewährleistet, dass eine ständige Weiterentwicklung und Optimierung der Qualität der Prüfungen und der Prüfverfahren sichergestellt ist. Ein weiterer Vorteil für die Kunden ist, dass eine WPZ-Prüfung nun in ganz Europa vollumfänglich anerkannt wird.

Vertretung des WPZ im internationalen Gütesiegel-Komitee der EHPA (EHPA-QLC)

Im September 2007 wurde der lose Interessensverbund DACH der nationalen Gütesiegelkommissionen aus der Schweiz, Deutschland und Österreich in die EHPA (European Heat Pump Association) integriert. Erstmals wurden die Kompetenzen und Pflichten der einzelnen Mitgliedsländer geregelt. Als weiterer Staat konnte bisher Schweden dazu gewonnen werden, weiter interessierte Länder sind Frankreich, Finnland, Holland und Italien. Durch den Schritt in die EHPA wurde die Wichtigkeit des Gütesiegels in Deutschland und Österreich noch einmal verstärkt.

Das WPZ ist im Komitee vertreten und hat den Sitz als Vize-Präsident inne. Dadurch konnten wichtige Erfahrungen des WPZ in das Komitee mit eingebracht werden.

2.4 Ausblick, strategische Ausrichtung WPZ 2008ff

Umbau der Prüfstände zur Leistungs- und Kapazitätserhöhung 2009

Um die Kapazitäten der Prüfstände zu erhöhen und somit die wirtschaftliche Situation des WPZ zu verbessern sollen die Prüfstände umgebaut werden, wodurch auch eine geringfügige Leistungserhöhung beim Sole-Wasser-Prüfstand erzielt werden kann. Die Planung des Umbaus ist abgeschlossen und der Umbau soll 2009 vollzogen werden.

Durchführung von reglementierten Werksprüfungen (osm)

Erste Angebote wurden bereits ausgearbeitet und mit potentiellen Kunden besprochen. Es hat sich aber gezeigt, dass nur ein paar wenige Hersteller auch über die notwendige Qualität und Kapazität an Prüfständen verfügen, der Markt ist also relativ klein.

Erste Konzepte des WPZ haben auch aufgezeigt, dass die Wirtschaftlichkeit nicht gegeben ist, wenn der die Prüfung begleitende WPZ-Mitarbeiter während der ganzen Prüfdauer vor Ort bleiben muss; eben dies wird jetzt aus Gründen der Qualitätssicherung vom EHPA Komitee verlangt. Die Durch- und Weiterführung dieses Projektes ist ungewiss.

Elektrische Sicherheitsprüfung zur CE-Zulassung

Um das Dienstleistungsangebot am WPZ weiter auszubauen, soll mit der Prüfung nach dem EHPA-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 110 Datensätze zur Auswertung zur Verfügung, bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen sind es 204.

Zur Auswertung der Leistungszahlen wurden die bei den Prüfpunkten A2 / W35 resp. B0 / W35 gemessenen Daten verwendet, die Senkentemperaturspreizung beträgt wie von der Prüfnorm EN 255 vorgegeben 10K. *Die hier aufgeführten Auswertungen beziehen sich auf diese alte Prüfbedingung und sind somit nur bedingt relevant, um eine Beurteilung hinsichtlich des EHPA-DACH-Gütesiegels vorzunehmen; eine solche Beurteilung wird in Kapitel 4 vorgenommen.*

Aus den Auswertungen soll ersichtlich sein, wie sich die energetischen und qualitativen Aspekte der geprüften Wärmepumpen in den Jahren 1993 bis 2008 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 2008

Der Trend in Abb. 3.1.1 zeigt für die Entwicklung der Leistungszahlen bis Ende 2002 einen fortlaufenden Anstieg. Der Durchschnittswert von anfänglich etwa 2.3 hat sich bis Ende 2004 auf etwa 3.5 verbessert. Seit 2005 konnte sich die Leistungszahl durchschnittlich auf dem Wert von 3.4 halten. Die ab dem Jahr 2000 gemessenen Werte streuen zwischen 3.02 und 3.93.

Es ist keine Steigerung der im Berichtsjahr 2008 ermittelten Leistungszahlen gegenüber den Vorjahren zu verzeichnen, 3 der 5 gemessenen Wärmepumpen liegen sogar unter den im Zeitraum 2004 bis 2007 gemessenen Mittelwerten. Mit einer einzigen Wärmepumpe konnte ein überdurchschnittlich gutes COP von 3.93 erzielt werden.

Auffallend ist, dass sich die Streuung der COP über die Jahre nicht sonderlich verändert hat. Allein im Jahr 2008 betrug die Differenz der besten und der schlechtesten Wärmepumpe auf den COP bezogen mehr als 0.7.

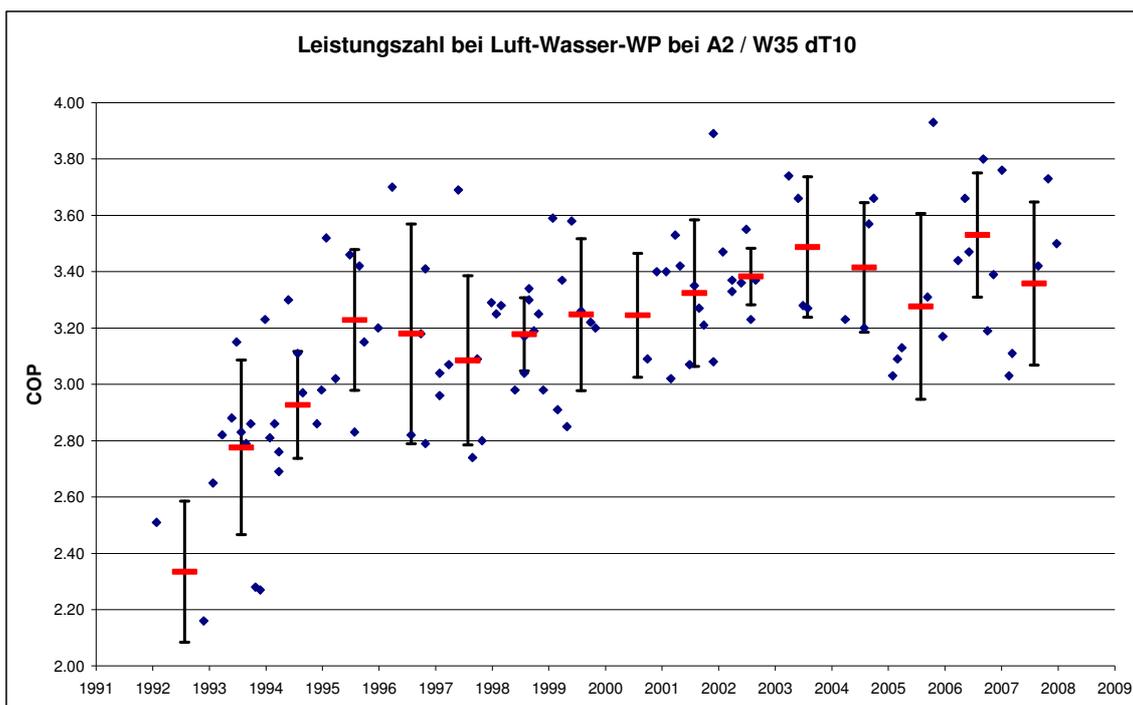


Abb. 3.1.1: COP-Verlauf von allen getesteten Luft-Wasser-WP seit 1993

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.

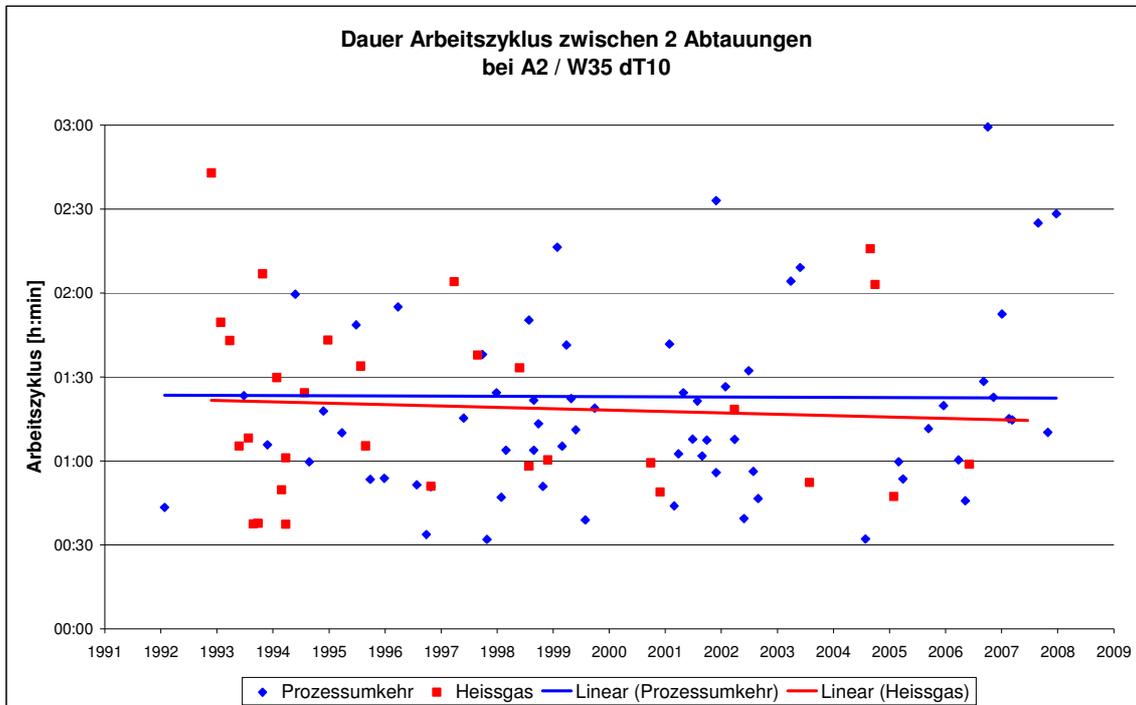


Abb. 3.1.2a: Dauer der Arbeitszyklen zwischen 2 Abtauungen je nach Abtauverfahren

Abb. 3.1.2a zeigt deutlich, dass sich die mittleren Betriebsdauer zwischen 2 Abtauungen bei beiden Abtauverfahren von 1993 bis 2008 kaum verändert haben. Bei der Heissgasabtauung ist die Zyklusdauer über die Jahre etwas reduziert worden, bei der Prozessumkehr ist sie stabil geblieben. Aus dieser 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 keine Veränderung der relativen Abtaudauer zu erwarten. Dies wird mit einem Anstieg der relativen Abtaudauer zwischen 1993 und 2008 nicht bestätigt. Bei näherer Betrachtung der Abb. 3.1.2b wird ersichtlich, dass für die Erhöhung der mittleren relativen Abtaudauer 3 Ausreisser mitverantwortlich sind, sonst wäre die relative Abtaudauer stabil geblieben oder sogar reduziert worden.

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 8 Wärmepumpen mit Heissgasabtauung geprüft, mit zwei Ausnahmen liegen die relativen Abtaudauern im Bereich der Werte mit Prozessumkehr.

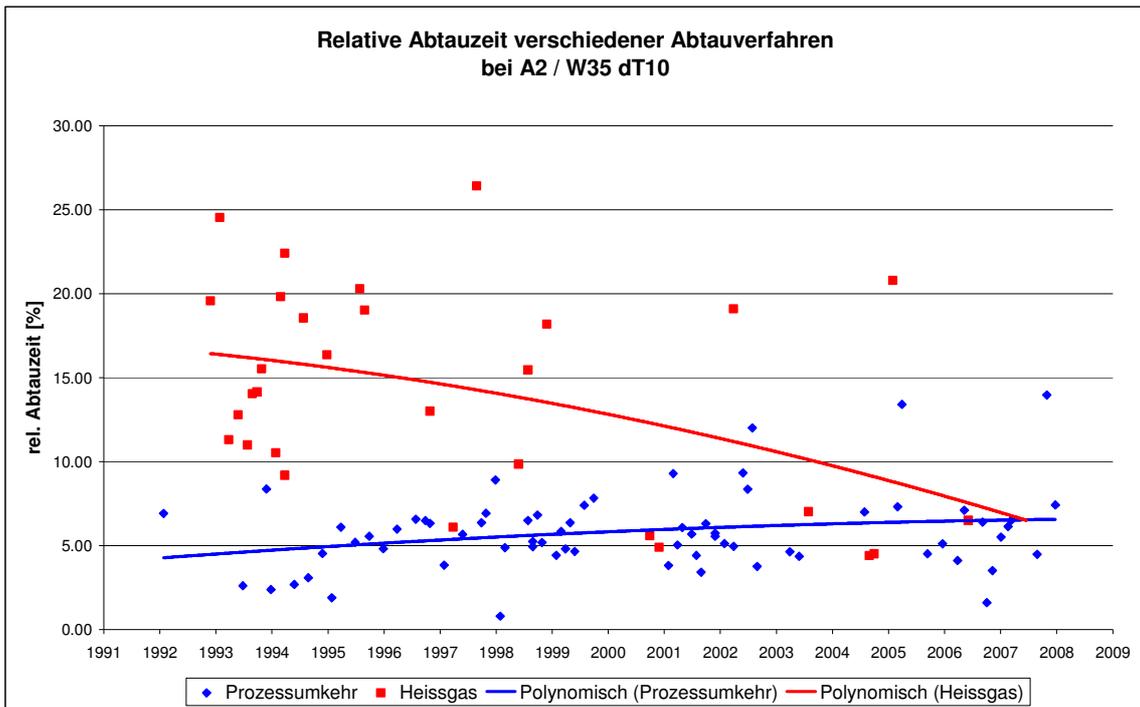


Abb. 3.1.2b: Entwicklung der relativen Abtauzeiten je nach Abtauverfahren

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.

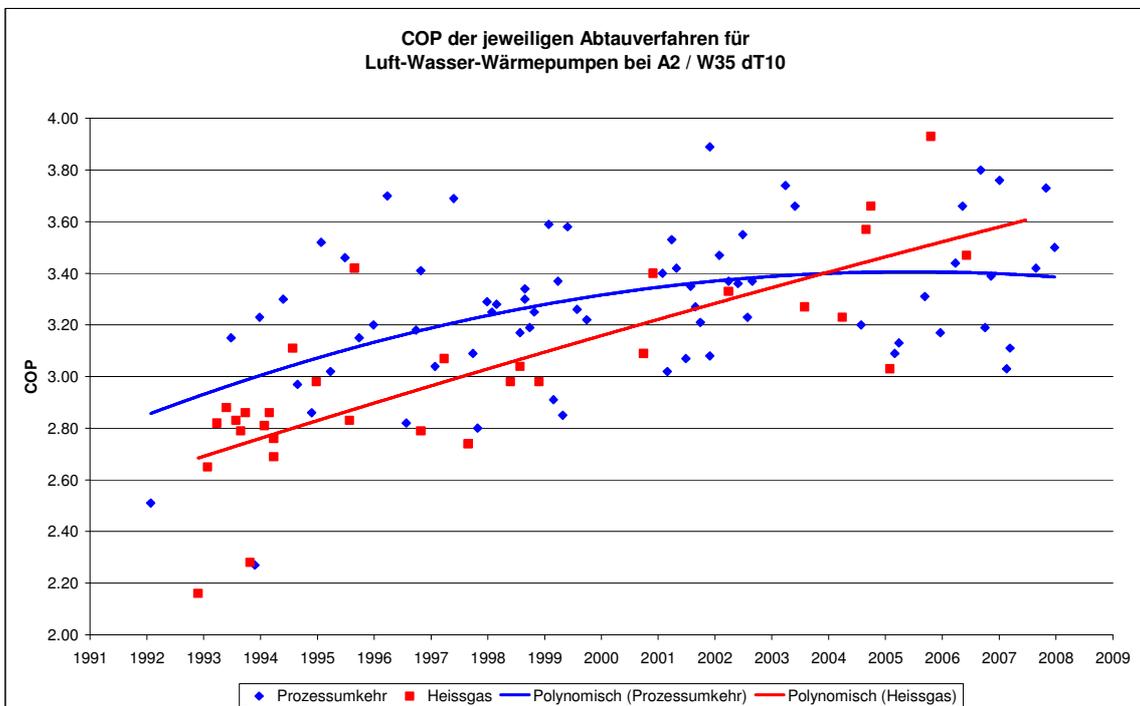


Abb. 3.1.2c: Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Abtauverfahren

3.1.3 Verwendung von Kältemitteln in Luft-Wasser-Wärmepumpen

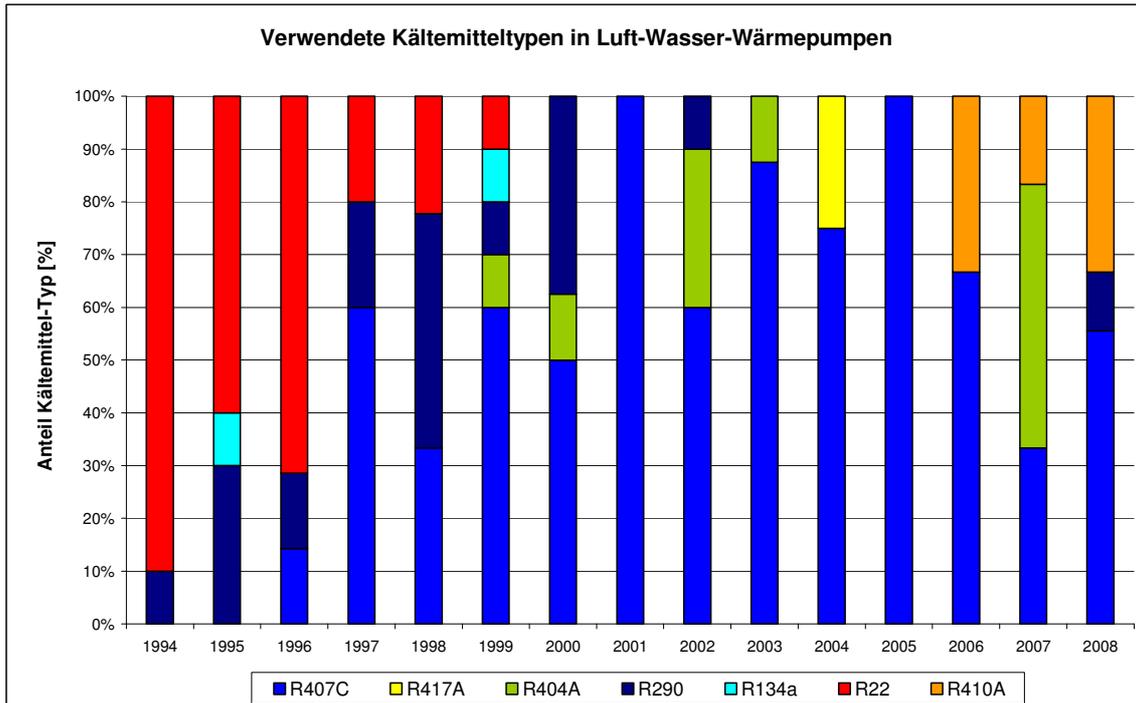


Abb. 3.1.3a: Verwendete Typen von Kältemitteln in Luft-Wasser-Wärmepumpen

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 die absoluten und spezifischen Füllmengen mit der Zeit etwa konstant geblieben sind und eine geringe Streuung aufweisen. Beim Kältemittel R404a sind die absoluten und spezifischen Füllmengen etwas angestiegen, weisen aber ebenfalls eine geringe Streuung auf.

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.

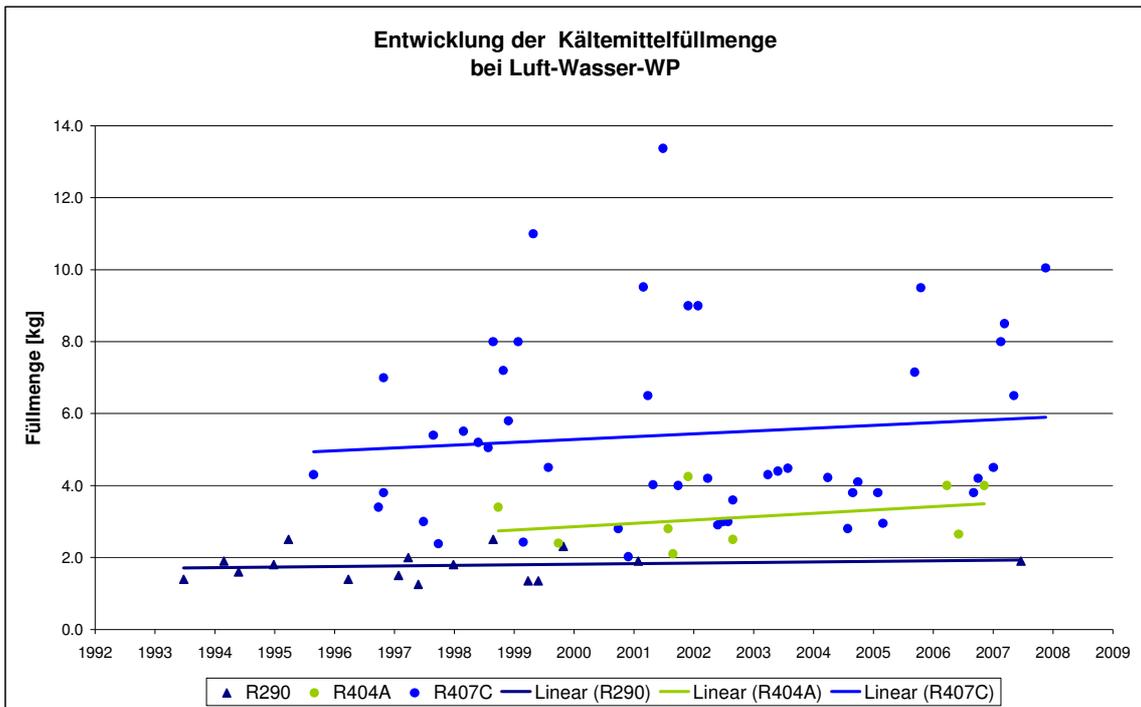


Abb. 3.1.3b: Entwicklung der absoluten Kältemittel-Füllmengen

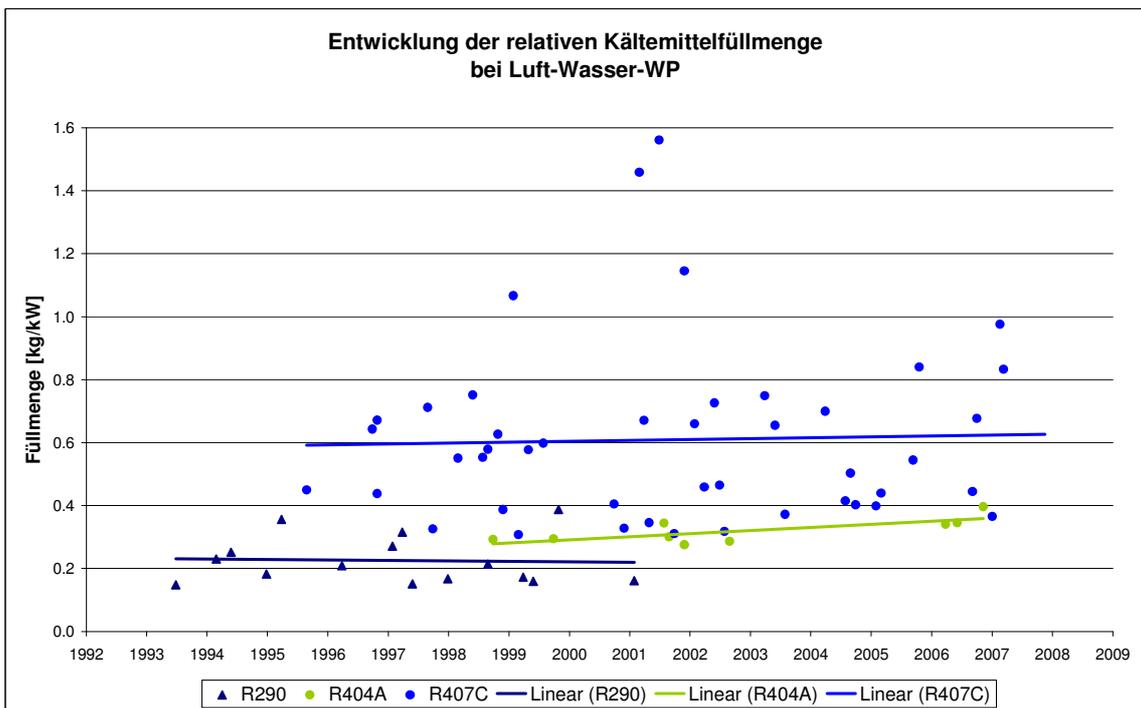


Abb. 3.1.3c: Entwicklung der relativen Kältemittel-Füllmengen

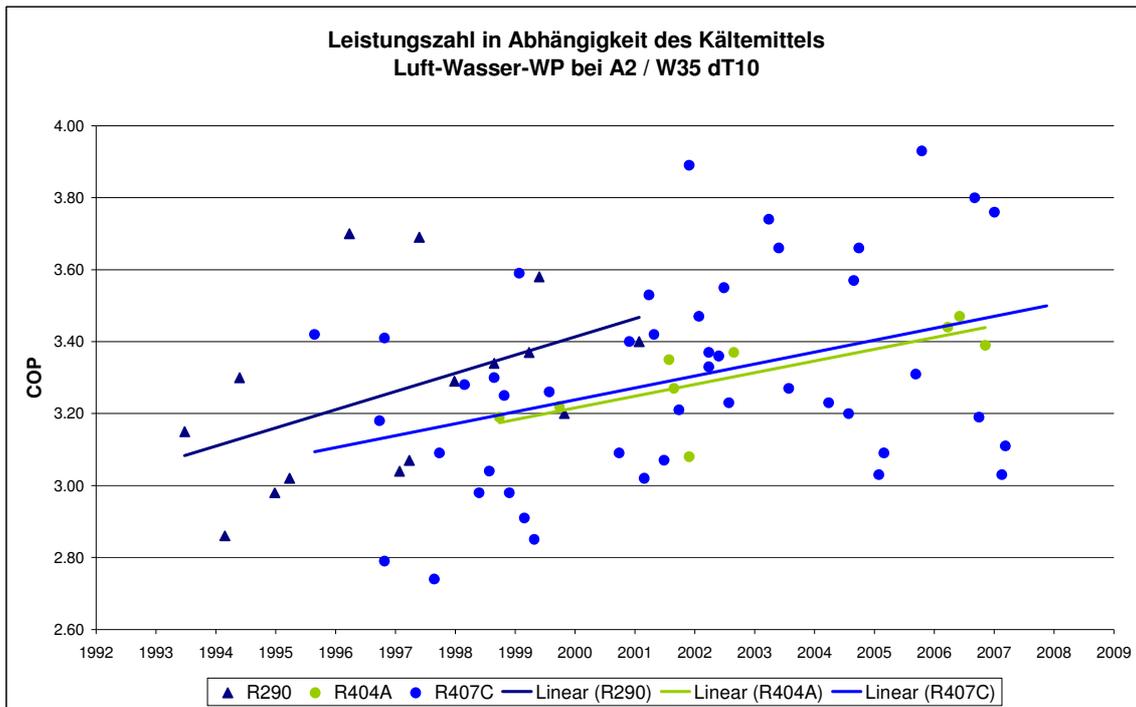


Abb. 3.1.3d: Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Kältemittel-Typen

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 – 0.20 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 57 geprüften Wärmepumpen nur gerade noch 7 mit einem Hubkolben-Kompressor und 2 mit einem Rollkolben-Kompressor ausgerüstet, die restlichen Wärmepumpen waren mit Scroll-Verdichtern bestückt.

Abbildung 3.1.4a zeigt auch, dass Wärmepumpen mit den aktuellen Hubkolben- oder Rollkolben-Verdichtern (neue Bauweise nach Swing) dieselben COP-Werte aufweisen wie die mit den Scroll-Kompressoren. Die einzelnen Messwerte, vor allem bei den Scrolls, weisen einen relativ grossen Streubereich zu den Regressionsgeraden 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 Wärmepumpen mit Scroll-Kompressoren in Abhängigkeit des Kältemittel-Typs und des Abtauverfahrens.

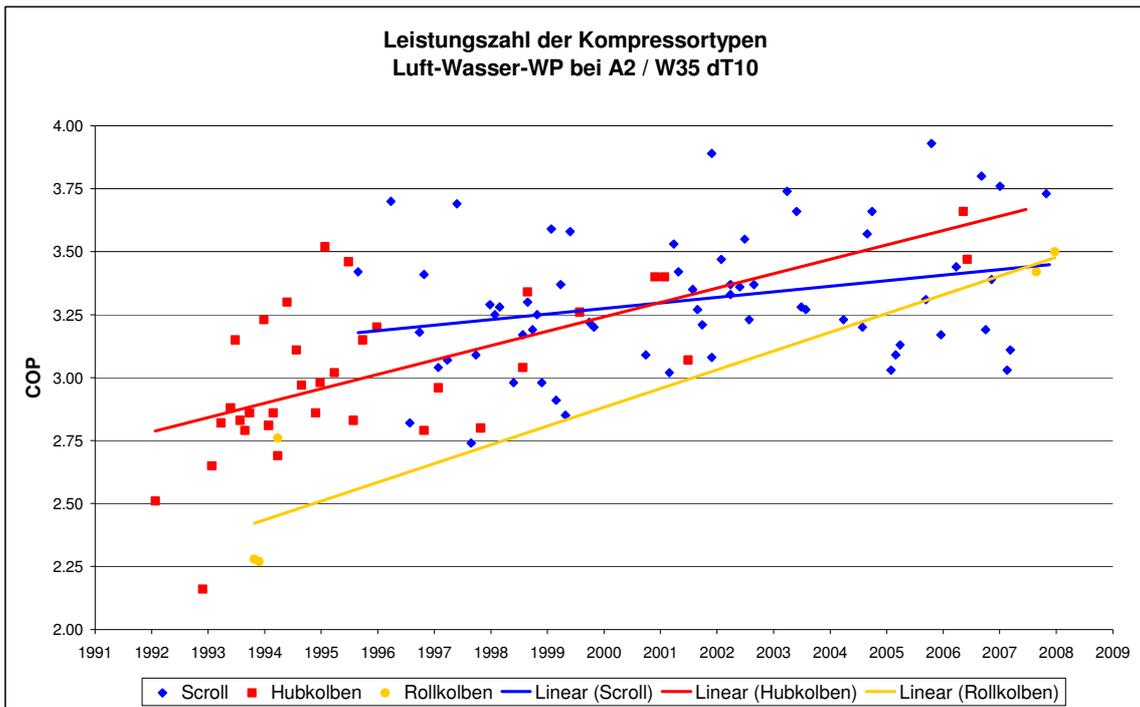


Abb. 3.1.4a: COP in Abhängigkeit des Kompressortyps

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.

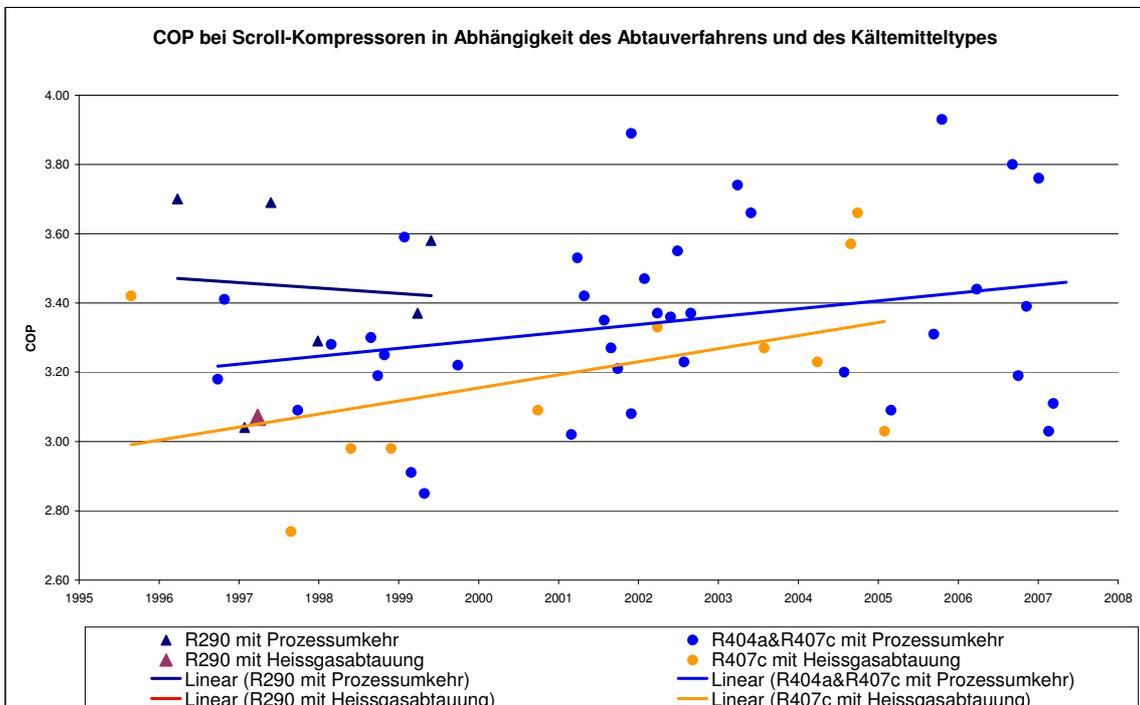


Abb. 3.1.4b: COP bei Wärmepumpen mit Scroll-Verdichtern in Abhängigkeit des Kältemittels und des Abtauverfahrens

Hier zeigt sich, dass mit der Prozessumkehr im Mittel 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 die Schallemission im Mittel seit 2001 um etwa 5 dB(A) abgenommen hat. Zuvor lagen die Schalleistungspegel-Werte bei den Anschlusskanälen (Ansaug- und Ausblasöffnung logarithmisch addiert) zwischen 66 und 69 dB(A). Im Jahr 2007 lag der mittlere Schalleistungspegel (arithmetischer Mittelwert) noch bei 61 dB(A), ein Jahr später bei 64 dB(A). Diese grosse Abweichung zwischen nur einem Jahr kommt daher, dass im letzten Jahr viele „ausen aufgestellte“ Anlagen und Splitanlagen geprüft wurden. Bei den „innen aufgestellten“ Wärmepumpen wird einerseits ein grosser Teil der Schallemission des Kompressors nicht mit gemessen und andererseits wird ein Teil des Strömungsgeräusches bei den Kanalöffnungen zurück in den Aufstellraum reflektiert.

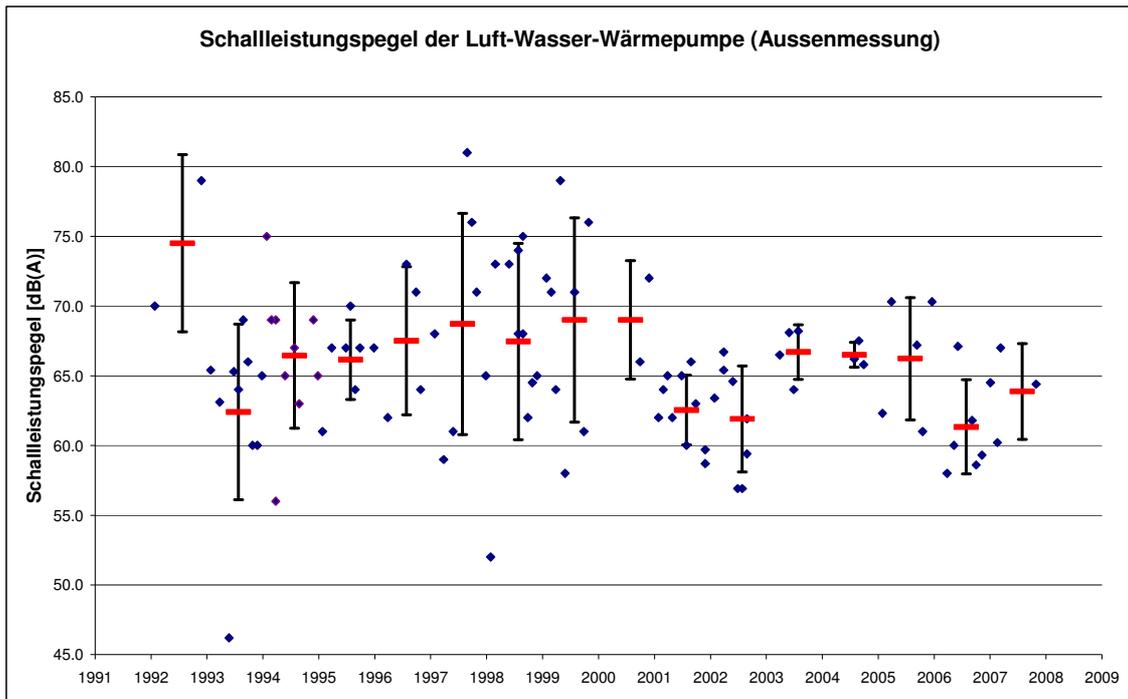


Abb. 3.1.5a: Schalleistungspegel bei Luft-Wasser-Wärmepumpen

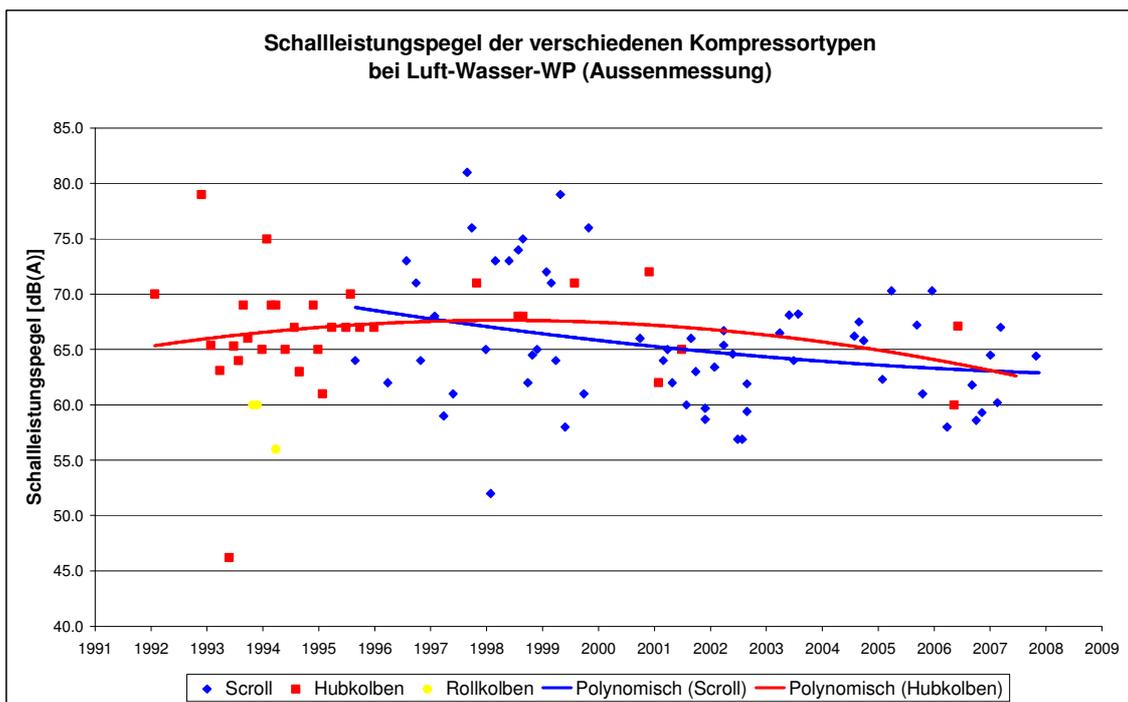


Abb. 3.1.5b: Schalleistungspegel bei Wärmepumpen mit verschiedenen Kompressortypen

Die Abbildung 3.1.5b zeigt, dass die Schalleistungspegelreduktion 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 kostenoptimiert und nicht mehr hinsichtlich der maximal möglichen energetischen Effizienz.

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 90er-Jahren die besten COP-Werte erreicht wurden. Diese Werte werden aber heute ebenfalls von Wärmepumpen gleicher Bauweise mit R407c erreicht oder sogar übertroffen.

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 2008

Der Trend in Abb. 3.2.1 zeigt für die Entwicklung der Leistungszahlen bis ins Jahr 2000 einen fortlaufenden Anstieg, wobei sich der Durchschnittswert von anfänglich etwa 3.9 auf etwa 4.4 verbessert hat. Seit 2000 haben sich die mittleren COP-Werte bei B0 / W35 dT10 nicht gross verändert, die jährlichen Mittelwerte liegen zwischen 4.3 und 4.5. Die im Jahr 2008 gemessenen COP-Werte streuen zwischen 4.07 und 5.05.

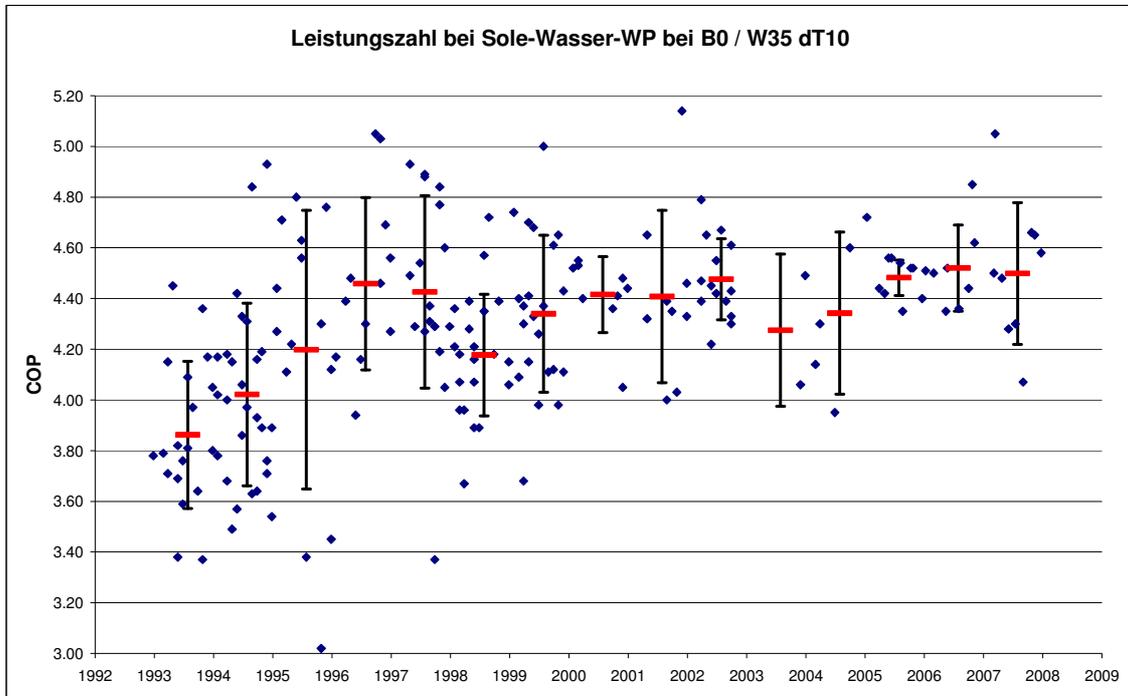


Abb. 3.2.1: COP-Verlauf der getesteten Sole-Wasser-WP seit 1993

3.2.2 Verwendung von Kältemitteln in Sole-Wasser-Wärmepumpen

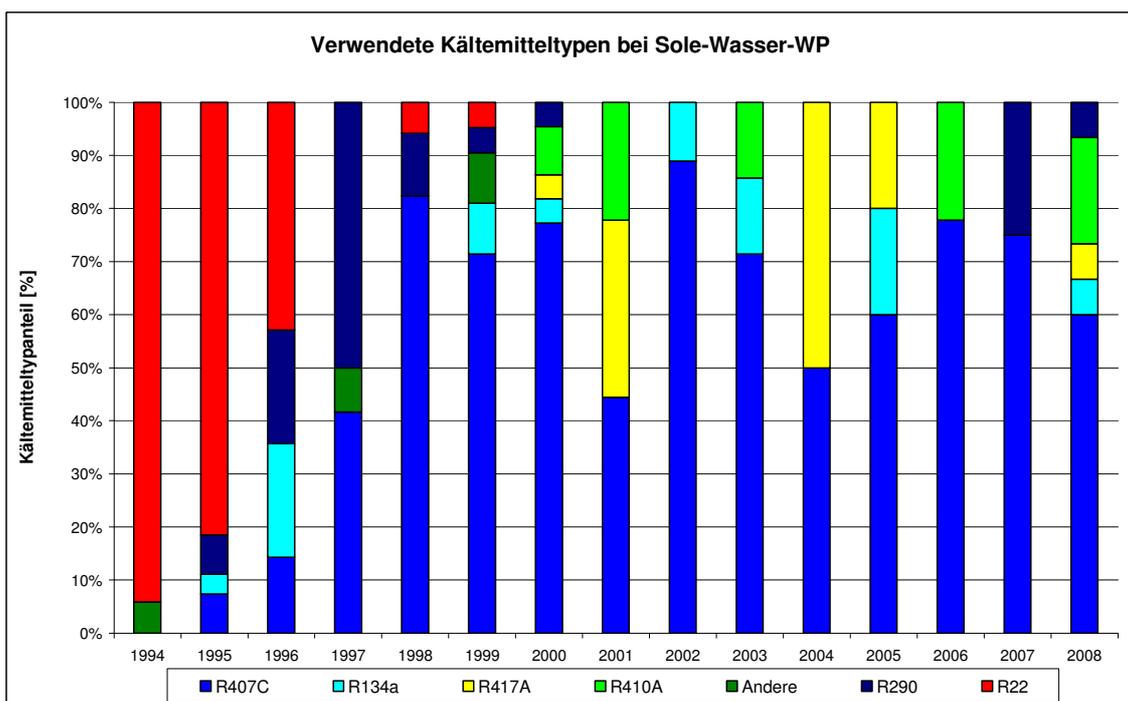


Abb. 3.2.2a: Verwendete Typen von Kältemitteln in Sole-Wasser-Wärmepumpen

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 R410a, R417a und R134a geprüft.

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

In der Abbildung 3.2.2b wird ersichtlich, dass die absolute Füllmenge des eingesetzten Kältemittels mit der Zeit erhöht wurde, wobei hier R134a die Ausnahme mit einer Reduktion bildet. Die relative Füllmenge hingegen, konnte mit der Zeit reduziert (siehe Abb. 3.2.2c) werden. Augenfällig sind die grosse Streuung beim Kältemittel R407c.

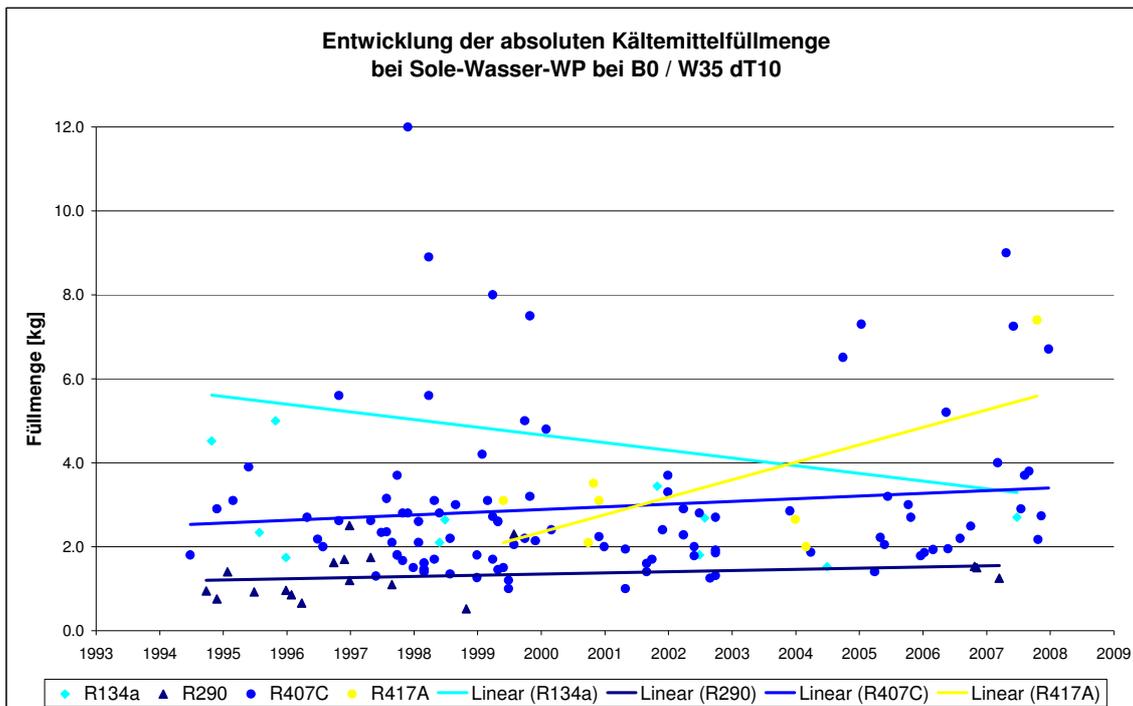


Abb. 3.2.2b: Entwicklung der absoluten Kältemittel-Füllmengen

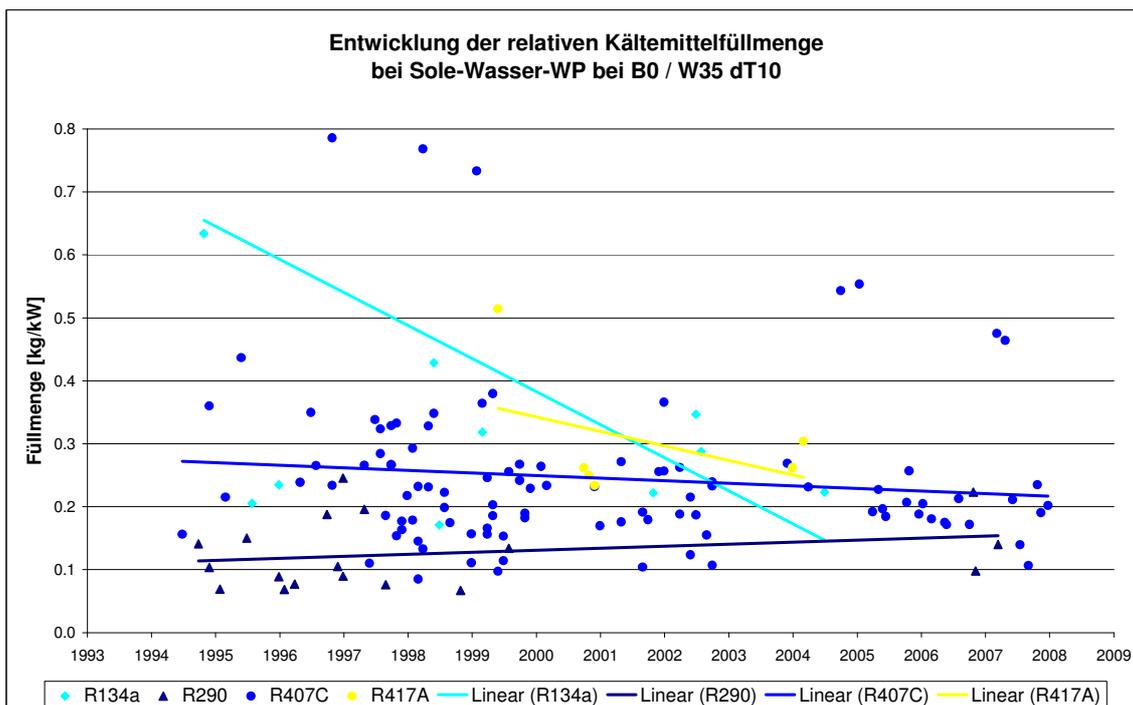


Abb. 3.2.2c: Entwicklung der relativen Kältemittel-Füllmengen

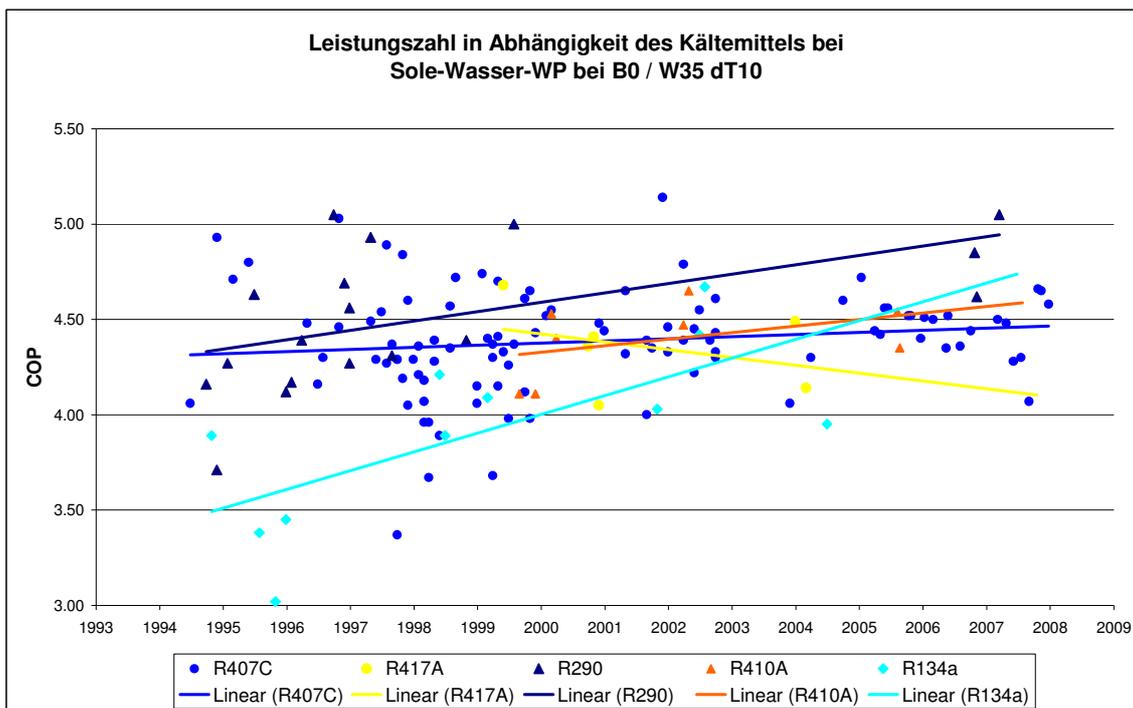


Abb. 3.2.2d: Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Kältemittel-Typen

Die Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Zeit und des Kältemittel-Typs zeigt für R290, R410A und R134a steigende Tendenz, diese ist jedoch bei R407c konstant und bei R417a sogar 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 2001 wurden nur gerade noch 4 mit Hubkolben-Kompressoren ausgerüstete Wärmepumpen gemessen.

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

Abbildung 3.2.3a zeigt auch, dass Wärmepumpen, die mit aktuellen Hubkolben-Verdichtern ausgerüstet sind, ähnliche COP-Werte liefern wie jene mit Scroll-Verdichtern. Mit dem Einsatz von Scroll-Verdichtern wurde im zeitlichen Verlauf keine entscheidende Verbesserung des COP erzielt. Die COPs sind seit dem Jahr 2000 stabil. 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.

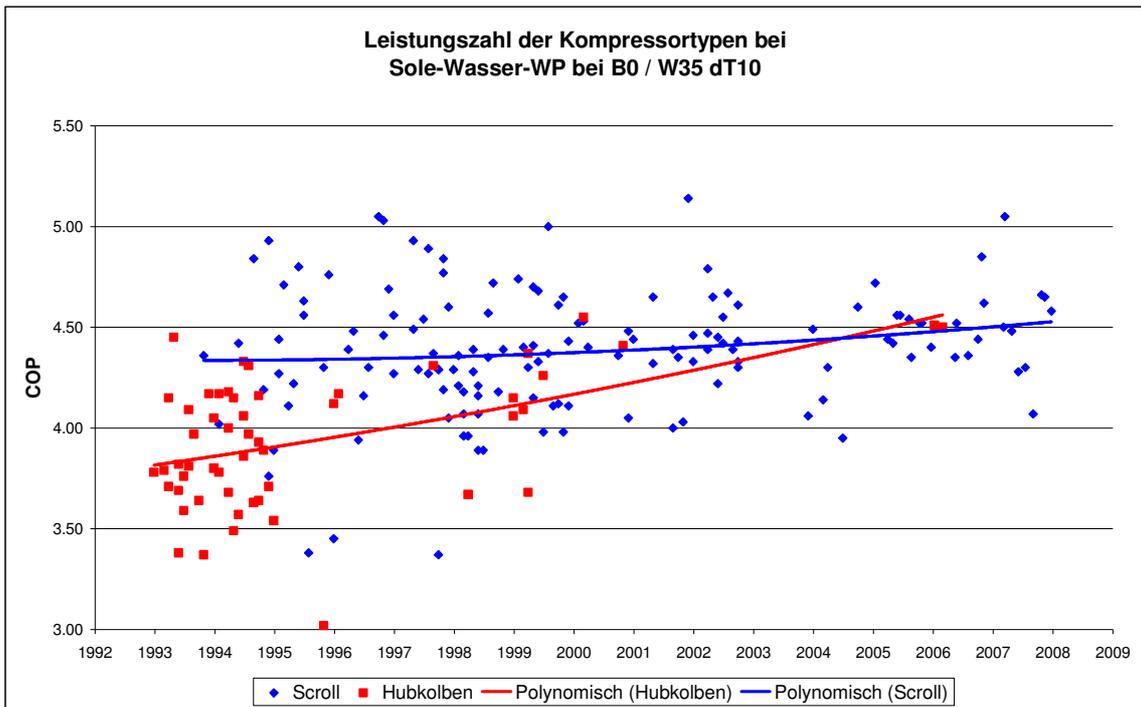


Abb. 3.2.3a: COP in Abhängigkeit des Kompressortyps

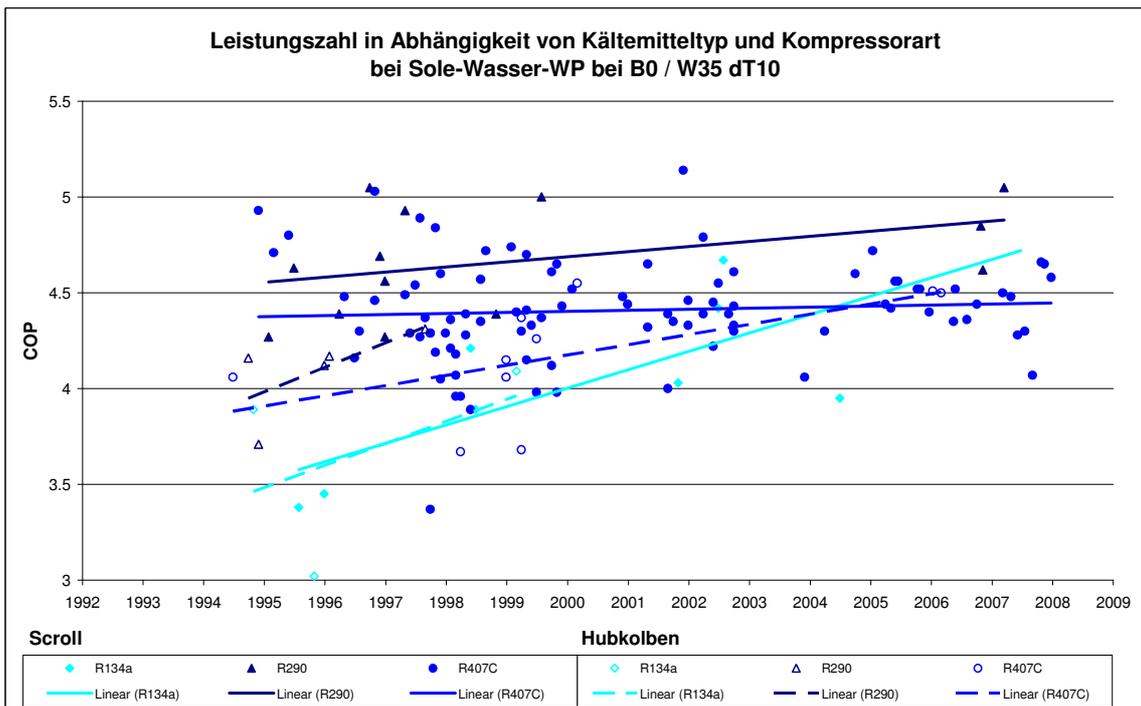


Abb. 3.2.3b: COP bei Wärmepumpen in Abhängigkeit des Kältemittels und des Kompressor-Typs

Die besten COP-Werte werden wiederum von Wärmepumpen mit Scroll-Verdichtern und R290 als Kältemittel erzielt. Beim Kältemittel R290 ist der Vorteil des Scroll-Verdichters gegenüber dem Hubkolben-Verdichter deutlich ersichtlich. Bei den Kältemitteln R407c und 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 konstant, bei den anderen Kältemitteln ist der Trend jedoch steigend.

3.2.4 Schalleistungspegel bei Sole-Wasser-Wärmepumpen

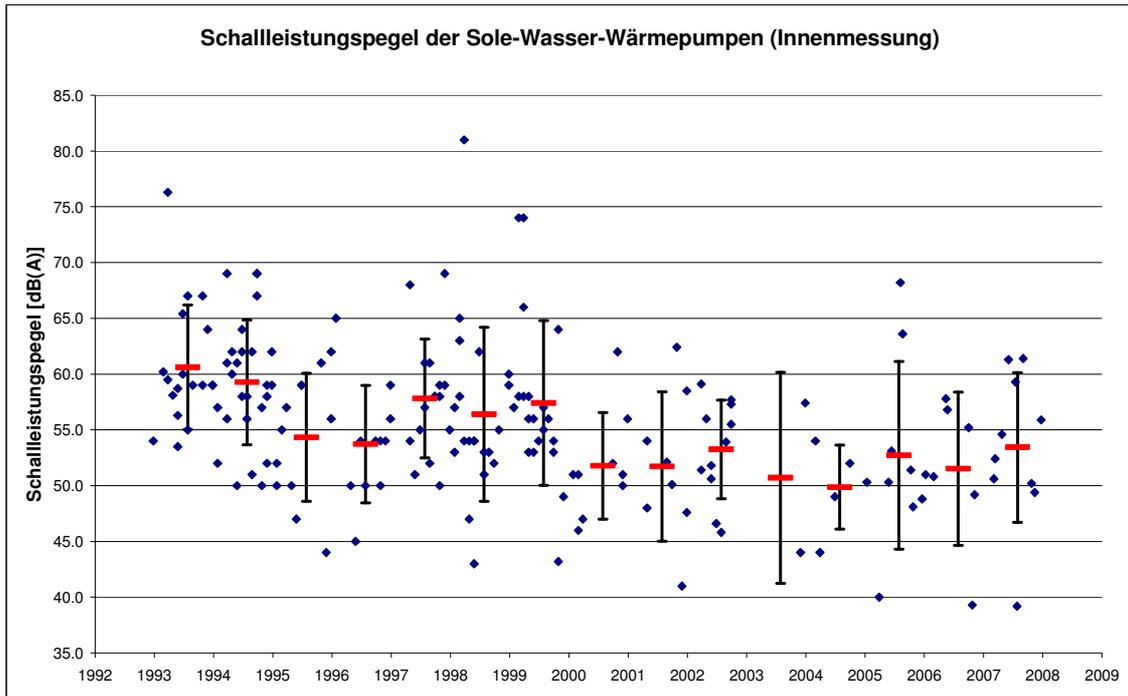


Abb. 3.2.4a: Schalleistungspegel bei Sole-Wasser-Wärmepumpen

Abb. 3.2.4a zeigt, dass in den letzten 8 Jahren keine gezielte Reduktion der Schalleistungspegel erzielt werden konnte. Zwischen den Jahren 2000 und 2001 konnte ein letzter grosser Reduktionssprung von beinahe 6 dB(A) erreicht werden. Abb. 3.2.4b zeigt, dass vor allem mit der Einführung des Scroll-Kompressors diese Reduktion erreicht wurde. Zwischen 2001 und 2005 wurden keine Schallmessungen an Wärmepumpen mit Hubkolben-Kompressoren durchgeführt. Die aktuellen Hubkolben-Verdichter liegen bei der Schallemission gleich auf mit den Scroll-Verdichtern, dies ist in Abb. 3.2.4b ersichtlich.

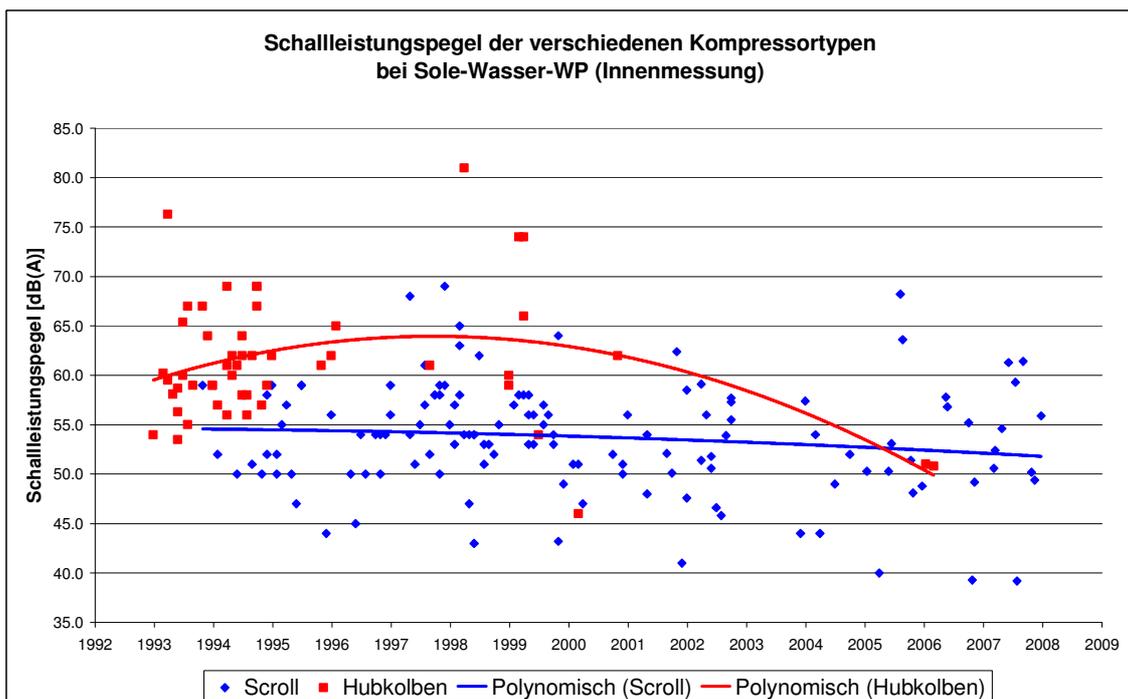


Abb. 3.2.4b: Schalleistungspegel nach Kompressorbauart

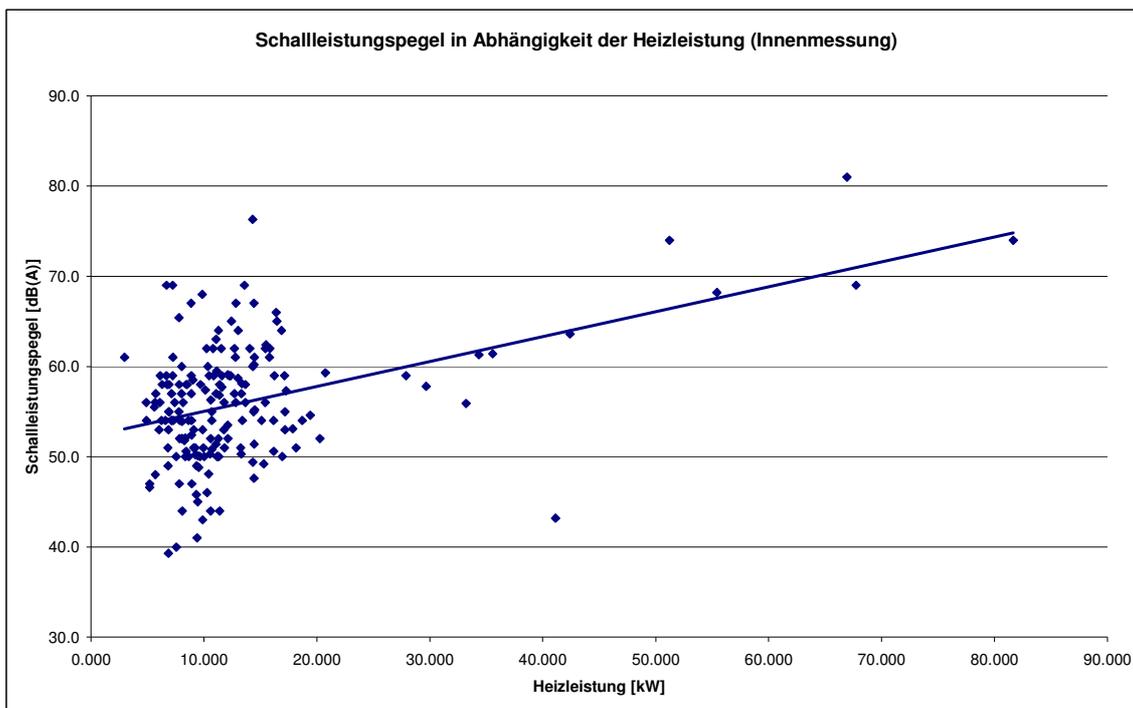


Abb. 3.2.4c: Schalleistungspegel in Abhängigkeit der Wärmeleistung

Die Abbildung 3.2.4c zeigt auf, dass zwar eine Abhängigkeit des Schalleistungspegels zur Heizleistung besteht, die Streuung der Messwerte bei Heizleistungen bis 18 kW aber erheblich sind.

3.2.5 Schlussfolgerungen Sole-Wasser-Wärmepumpen

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

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 beinahe im Mittel 10 dB(A) konnte mit der Einführung der Scroll-Kompressoren erreicht werden. Die heute teilweise erreichten Werte unter 50 dB(A) stellen im Heiztechnikbereich Spitzenwerte dar.

4 EHPA-DACH-Gütesiegel

Auf der Basis der am WPZ Buchs durchgeführten Wärmepumpen-Prüfungen kann von den Herstellern das internationale EHPA-DACH-Gütesiegel erlangt werden. Dabei müssen die folgenden COP-Grenzwerte erreicht werden:

Luft-Wasser-Wärmepumpen bei A2/W35-30 : 3.0

Sole-Wasser-Wärmepumpen bei B0/W35-30: 4.0

Wasser-Wasser-Wärmepumpen bei A10/W35-30: 4.5

Diese Grenzwerte beziehen sich auf eine Messung mit einer senkenseitigen Temperaturdifferenz von ca. 5 K, welche durch die Prüfnorm EN 14511 vorgegeben ist. Nach dieser Prüfnorm werden die Messungen am WPZ seit 2005 durchgeführt, davor wurden die Messungen nach der alten EN 255 vollzogen, wobei eine senkenseitige Temperaturspreizung von 10 K bei der Prüfung eingestellt wurde. **Sämtliche im Kapitel 3 aufgeführten Auswertungen beziehen sich auf diese alte Prüfbedingung und sind somit nur bedingt relevant, um eine Beurteilung hinsichtlich des Gütesiegels vorzunehmen.**

Auswertungen am WPZ haben gezeigt, dass die COP mit der höheren senkenseitigen Temperaturspreizung von 10 K um ca. 5 bis 10 % besser ausfallen.

4.1 Luft-Wasser-Wärmepumpen

Die untenstehende Grafik 4.1 zeigt eine Summenhäufigkeits-Verteilung der seit 2005 gemessenen COP-Werte bei der für das Gütesiegel relevanten Prüfbedingung A2/W35-30 für Luft-Wasser-Wärmepumpen:

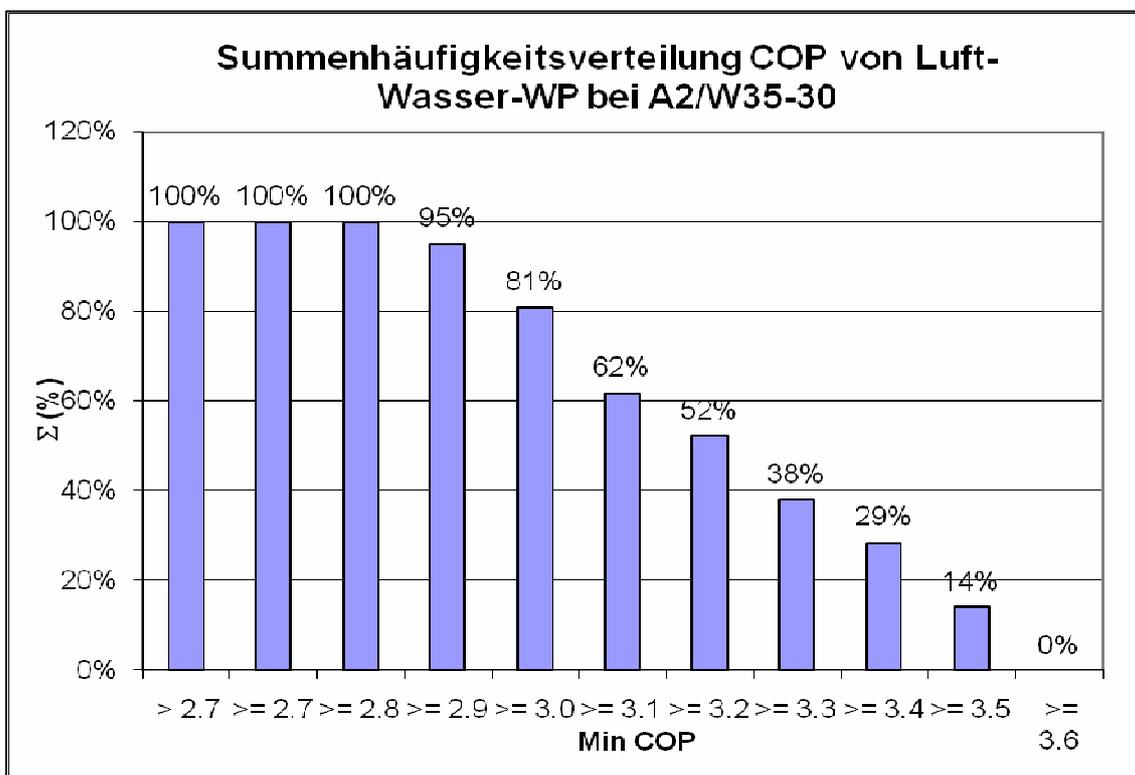


Abb. 4.1: Summenhäufigkeitsverteilung COP-Werte Luft-Wasser-Wärmepumpe

Die Grafik zeigt, dass 81 % der gemessenen Luft-Wasser-Wärmepumpen das geforderte Mindest-COP von 3.0 erreichen.

4.2 Sole-Wasser-Wärmepumpen

Die untenstehende Grafik 4.2 zeigt eine Summenhäufigkeits-Verteilung der seit 2005 gemessenen COP-Werte bei der für das Gütesiegel relevanten Prüfbedingung B0/W35-30 für Sole-Wasser-Wärmepumpen:

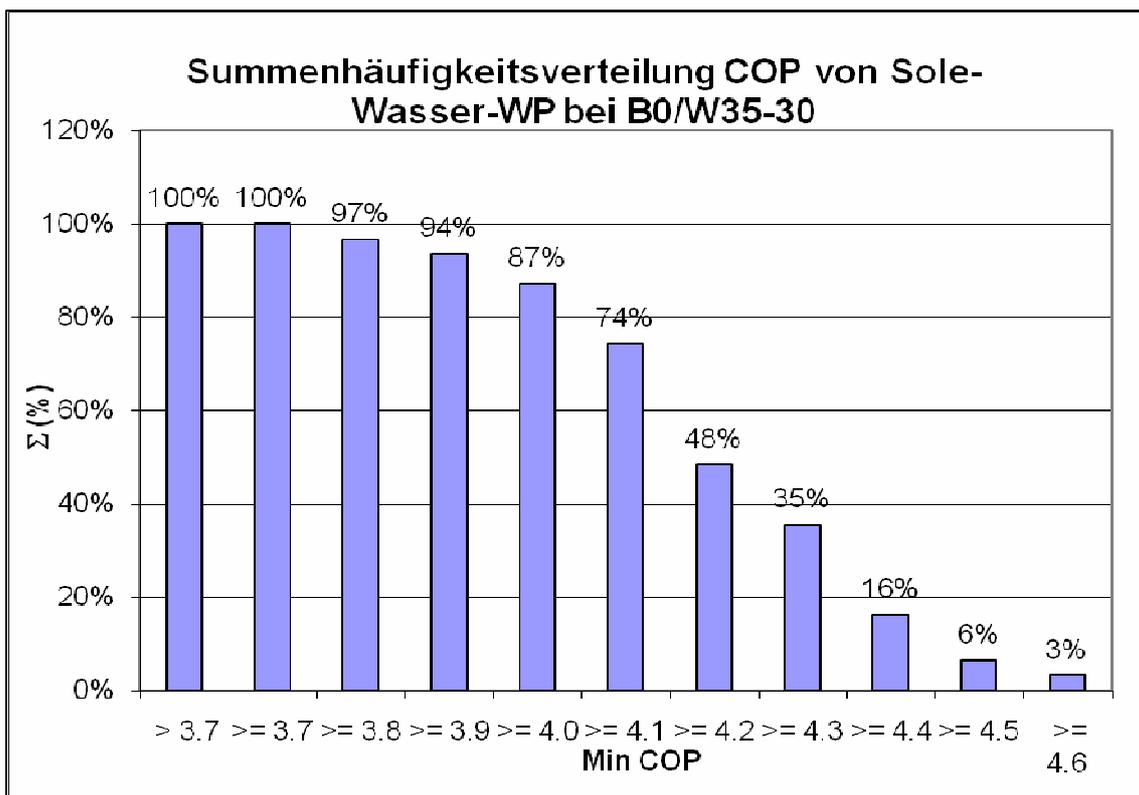


Abb. 4.2: Summenhäufigkeitsverteilung COP-Werte Sole-Wasser-Wärmepumpe

Die Grafik zeigt, dass 87 % der gemessenen Sole-Wasser-Wärmepumpen das geforderte Mindest-COP von 4.0 erreichen.

4.3 Wasser-Wasser-Wärmepumpen

Die untenstehende Grafik 4.3 zeigt eine Summenhäufigkeits-Verteilung der seit 2005 gemessenen COP-Werte bei der für das Gütesiegel relevanten Prüfbedingung W10/W35-30 für Wasser-Wasser-Wärmepumpen:

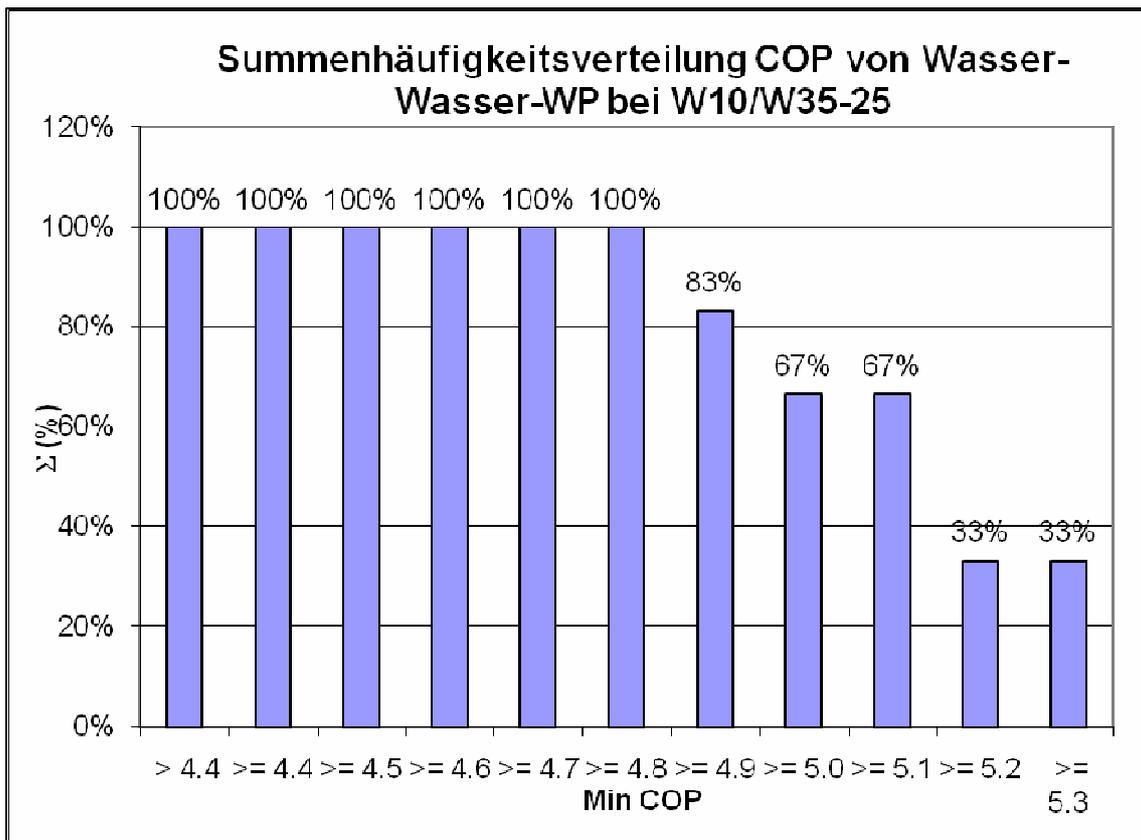


Abb. 4.3: Summenhäufigkeitsverteilung COP-Werte Sole-Wasser-Wärmepumpe

Die Grafik zeigt, dass alle der gemessenen Wasser-Wasser-Wärmepumpen das geforderte Mindest-COP von 4.5 erreichen. Allerdings muss gesagt werden, dass der *Stichprobenumfang mit nur 6 Messungen* relativ klein ist und eine statistisch zuverlässige Aussage nicht möglich ist.

5 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] *EHPA-DACH-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 1.2, Ausgabe 20.08.2008;
Beziehbar unter www.wpz.ch
- [4] *EHPA-DACH-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 1.2, Ausgabe 20.08.2008;
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 1.1, Ausgabe 21.08.2007;
Beziehbar unter www.wpz.ch