



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 2009

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 2010

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

Zusammenfassung.....	5
Abstract	6
1 Projektziele	7
2 Normprüfungen an Wärmepumpen.....	8
2.1 Durchgeführte Wärmepumpen-Prüfungen	8
2.2 Dauer der durchgeführten Normprüfungen 2009	9
2.3 Weitere Aktivitäten am WPZ.....	10
2.4 Ausblick, strategische Ausrichtung WPZ 2010ff.....	10
3 Auswertungen von Normprüfungen.....	12
3.1 Luft-Wasser-Wärmepumpen.....	12
3.2 Sole-Wasser-Wärmepumpen	21
4 EHPA -Gütesiegel	27
4.1 Luft-Wasser-Wärmepumpen.....	27
4.2 Sole-Wasser-Wärmepumpen	28
4.3 Schlussfolgerung	28
5 Referenzen	29

Zusammenfassung

Im Rahmen der systematischen Qualitätssicherungsstrategie des Bundesamtes für Energie (BFE) und der Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz (FWS) für Wärmepumpen bis 100 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 2009 konnten am WPZ Buchs insgesamt 52 Wärmepumpenprüfungen durchgeführt werden, so viele wie nie zuvor. Dies ist vor allem auf die verbesserte Auftragsabwicklung, Minimierung der Prüfstandstotzeit und eine weitere Erhöhung der Prüfkapazitäten durch den Umbau der Prüfstände zurückzuführen.

Im Berichtsjahr wurden die Prüfstände des Wärmepumpen-Testzentrum auf die Erhöhung der Prüfkapazität zielorientiert optimiert und umgebaut. Nun können die beiden Prüfstände (Sole-Wasser und Luft-Wasser) völlig unabhängig voneinander bedient werden. Dadurch konnte die Prüfzeit der einzelnen Norm-Prüfung bis zu 40% reduziert 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 nur zwei 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 die meisten Wärmepumpen den Mindest-COP zur Erteilung des internationalen EHPA/DACH-Gütesiegel erreichen; bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen sind dies 83 % der geprüften Geräte, bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen 71 % der Geräte. Eine Anhebung des Grenzwertes tritt ab Jahr 2011 in Kraft.

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 and EN 255 part 3.

During 2009 the WPZ has tested a total of 52 heat pumps, more than ever 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.

The WPZ was altered for better test quality and higher test capacity. Now, both test benches (brine-water and air-water) operate absolutely independent.

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 2009 2 measured air to water heat pumps showed a COP lower 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 exceptions. 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 shows that most of the measured heat pumps reach the minimum COP required for granting the international EHPA-DACH Quality Label; 83 % of the measured air to water units and 71 % of the brine-water fulfil these requirements. Therefore an increase of the lower limit comes into effect in 2011.

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 2009 wurden am WPZ Buchs insgesamt 152 Wärmepumpen-Prüfungen durchgeführt, davon fallen auf das Jahr 2009 allein 52 Prüfungen. Auffallend gegenüber dem Vorjahr war, dass nur zwei Wärmepumpen bei einer vollständigen EHPA-Prüfung die minimale Anforderung des COP nicht erreicht haben. Zusätzlich wurden sehr viele Kurzprüfungen an Sole-Wasser-Wärmepumpen durchgeführt, die ebenfalls zur Qualitätssicherung der Wärmepumpe beitragen.

Untenstehende Tabelle 2.1 zeigt die Aufgliederung der Prüfungen bis Ende 2009 nach ihrer Art, Abb. 2.1 zeigt die Entwicklung der durchgeführten Wärmepumpen-Prüfungen am WPZ Buchs über die letzten 6 Jahre.

Art der WP-Prüfung	Jahr 2009	Jahr 2008	WPZ Buchs Total bis Ende 2009
Luft-Wasser	11 + 2*	8	48
Sole-Wasser	8 + 2* + 20**	13	58
Wasser-Wasser	2 + 1**	-	4
Kombination Sole-Wasser & Wasser-Wasser	3 & 3	3 & 3	16 & 16
Warmwasser-WP	-	3	10
Total	52	28	152
* Abgebrochene Prüfungen			
** Prototypenprüfungen oder Nachprüfungen			

Tabelle 2.1: Art der durchgeführten Wärmepumpen-Prüfungen am WPZ

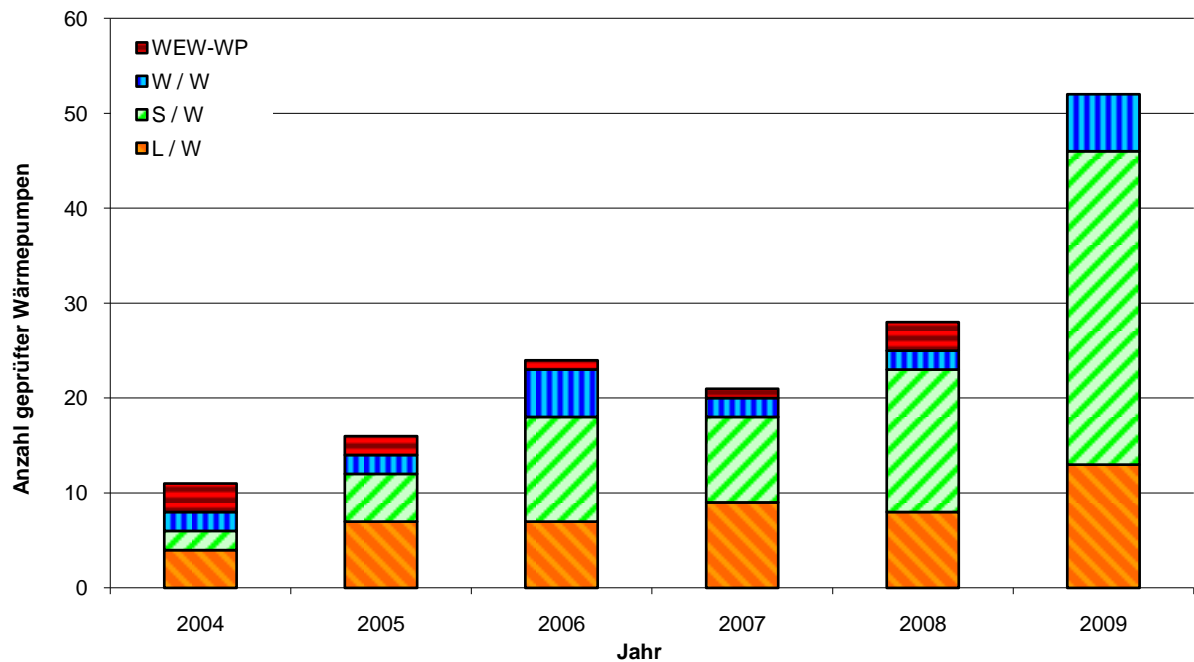


Abb 2.1: Entwicklung der Anzahl geprüfter Wärmepumpen in den letzten 6 Jahren

2.2 Dauer der durchgeführten Normprüfungen 2009

Die untenstehende Tabelle zeigt die Dauer der durchgeführten Normprüfungen 2009 in Arbeitstagen.

Art der WP-Prüfung	Anzahl	Dauer Normprüfung Arbeitstage 2009			Jahr 2008
		Min	Max	Mittelwert	Mittelwert
Luft-Wasser	11	10	21*	15	21
Sole-Wasser	8	4	10	7	10
Wasser-Wasser	2	4	5	5	-
Kombination S/W & W/W	3	6	11	9	13
Warmwasser-WP	-	-	-	-	11

* WP mit zusätzlichen Prüfpunkten

Tabelle 2.2: Dauer der Normprüfungen aufgeteilt nach ihrer Art

Die angegebenen Prüfdauern stellen reine Zeiten der Messung dar. Für die ganze Prüfungsdauer müssen 1 bis 2 Arbeitstage für den Auf- und Abbau der gemessenen Luft-Wasser-Wärmepumpe und 0.5 bis 1 Arbeitstag für den Auf- und Abbau der gemessenen Sole-Wasser-Wärmepumpe dazugerechnet werden. Die Aufbau- und Abbau-Arbeitstage konnten

durch „Einheitsmontage“ der Prüflinge gegenüber dem Vorjahr stark reduziert werden. Zudem konnte durch eine gezielte Optimierung der Auftragsplanung die Totzeit der Prüfstände minimiert werden.

Die Prüfdauern einer vollständigen EHPA-Normprüfung bei den 11 Luft-Wasser-Wärmepumpen haben sich im Berichtsjahr gegenüber dem Vorjahr um etwa 28% reduziert. Vor dem Umbau betrug die mittlere Prüfzeit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe 17 Arbeitstage im Berichtsjahr und nach dem Umbau nur noch 11 Tage. Beim SW-Prüfstand konnte eine Verminderung der Prüfdauer im Berichtsjahr um 20% für Sole-Wasser bzw. 30% für kombinierte Prüfungen erzielt werden.

2.3 Weitere Aktivitäten am WPZ

Umbau der Prüfstände zur Kapazitäts- und Leistungserhöhung

Die Wartefristen für die Luft-Wasser-Wärmepumpen-Prüfungen betragen anfangs 2009 etwa 2 Jahren bei einem Auftragsvolumen von 18 Wärmepumpen. Damit unsere Kunden erhalten bleiben, mussten unsere Prüfstände vor allem auf die Kapazität hin optimiert werden.

Im August 2009 wurden die Prüfstände des WPZ umgebaut, wodurch auch eine 20%-Leistungserhöhung beim Sole-Wasser-Prüfstand erzielt wurde.

Die Prüfdauerersparnis mit dem neuen LW-Prüfstand beträgt beachtliche 35%. Das entspricht bei einer vollständigen EHPA-Prüfung eine Reduktion von rund 6 Arbeitstagen (mehr als eine Arbeitswoche). Beim Sole-Wasser-Prüfstand konnte eine Prüfdauerminde rung nach dem EHPA-Prüfreglement von etwa 1 Arbeitstag ermittelt werden. Zusätzlich kann der Sole-Wasser-Prüfstand seit Juli 2009 von zu Hause bedient werden, wodurch nochmals einen Prüftag eingespart werden konnte.

2.4 Ausblick, strategische Ausrichtung WPZ 2010ff

Stichprobenprüfungen an SW- und LW-WP

Im Jahr 2010 möchte das WPZ mit der Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz FWS vermehrt Stichprobenprüfungen an Gütesiegelwärmepumpen durchführen. Bei einer Stichprobenprüfung handelt es sich um eine verkürzte EHPA-Prüfung an einem Serienprodukt aus einer Gütesiegelbaureihe.

Mit dieser Massnahme wird kontrolliert, ob auch die Wärmepumpentypen, die nicht an einer anerkannten akkreditierten Prüf stelle getestet wurden, den Mindestanforderung nach dem EHPA-Gütesiegelreglement genügen. Zusätzlich wird diese Massnahme auch zur Verbesserung der Qualitätssicherung der Wärmepumpe beitragen.

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-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 123 Datensätze zur Auswertung zur Verfügung, bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen sind es 216.

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. 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 2009 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 2009

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 4.42.

Es ist eine enorme Steigerung der ermittelten Leistungszahlen im Berichtsjahr 2009 gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen. 8 von 11 gemessenen Wärmepumpen liegen sogar über dem gemessenen Mittelwert im Jahr 2008. Mit zwei Wärmepumpen konnten sogar die magische 4er-Marke durchbrochen werden. Zusätzlich wurde im Berichtsjahr keine Wärmepumpe gemessen, die die Mindest-COP-Anforderung von 3.00 ($dT=5K$) nicht erfüllt hat. Im Allgemeinen ist eine kontinuierliche Effizienzsteigerung der Wärmepumpen seit dem Jahr 2000 erkennbar.

Auffallend ist, dass sich die Streuung der COP über die Jahre nicht sonderlich verändert hat. Allein im Jahr 2009 betrug die Differenz der besten und der schlechtesten Wärmepumpe auf den COP bezogen beinahe 1.2, dies entspricht einer relativen Differenz von 36%.

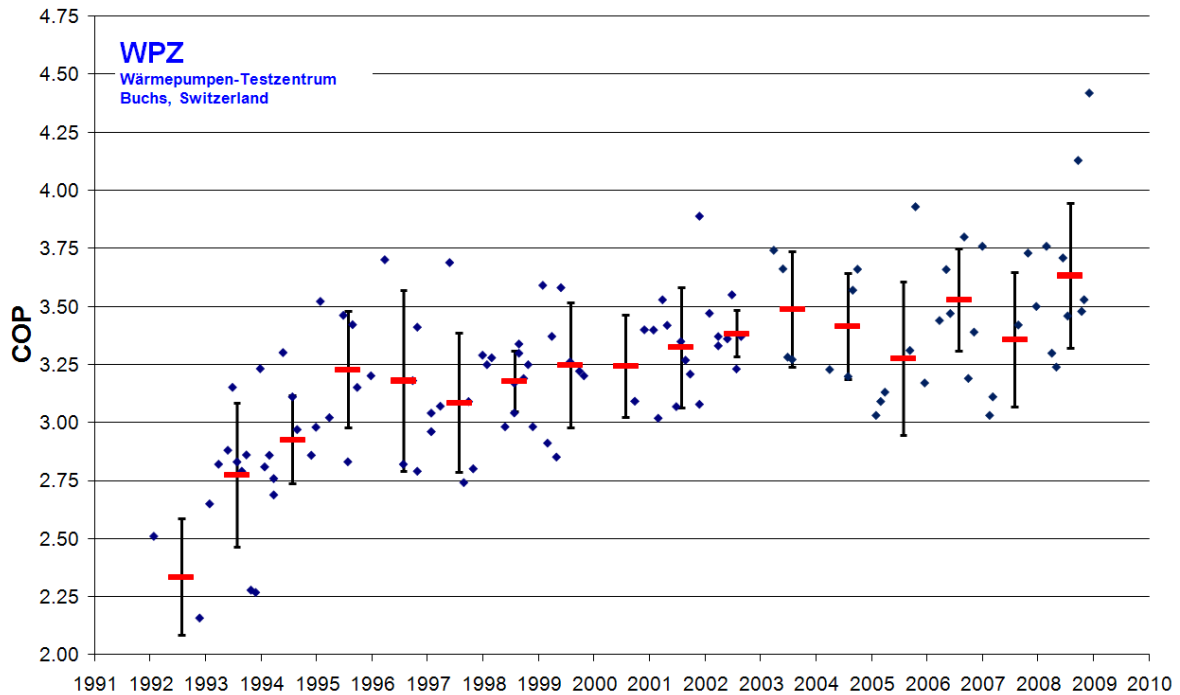


Abb. 3.1.1: COP-Verlauf von allen getesteten Luft-Wasser-WP seit 1993

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 miteinander verglichen.

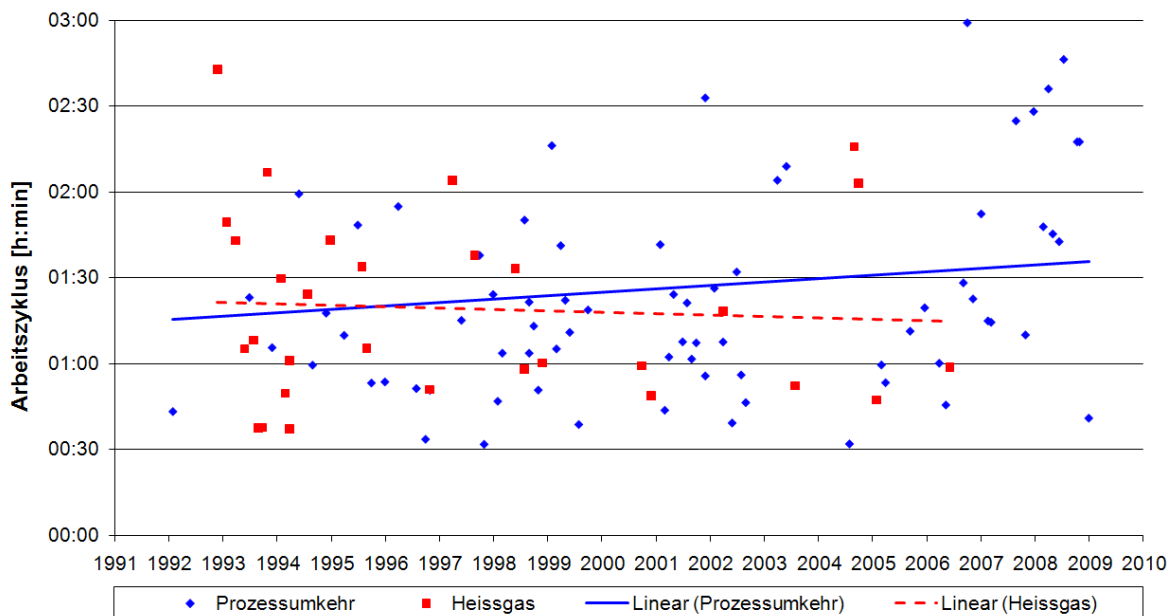


Abb. 3.1.2a: Dauer der Arbeitszyklen zwischen 2 Abtauungen je nach Abtauverfahren

Abb. 3.1.2a zeigt deutlich, dass sich die mittleren Betriebsdauer zwischen 2 Abtauungen bei beiden Abtauverfahren von 1993 bis 2009 etwas verändert haben. Bei der Heissgasabtauung ist die Zyklusdauer über die Jahre etwas reduziert worden, bei der Prozessumkehr ist sie dagegen etwas angestiegen. Zudem wurden in den Jahren 2008 und 2009 mehrere Wärmepumpen ohne Abtauungen bei der Prüfbedingung A2 / W35-25 gemessen, die in die-

ser Abbildung nicht ersichtlich sind. 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.

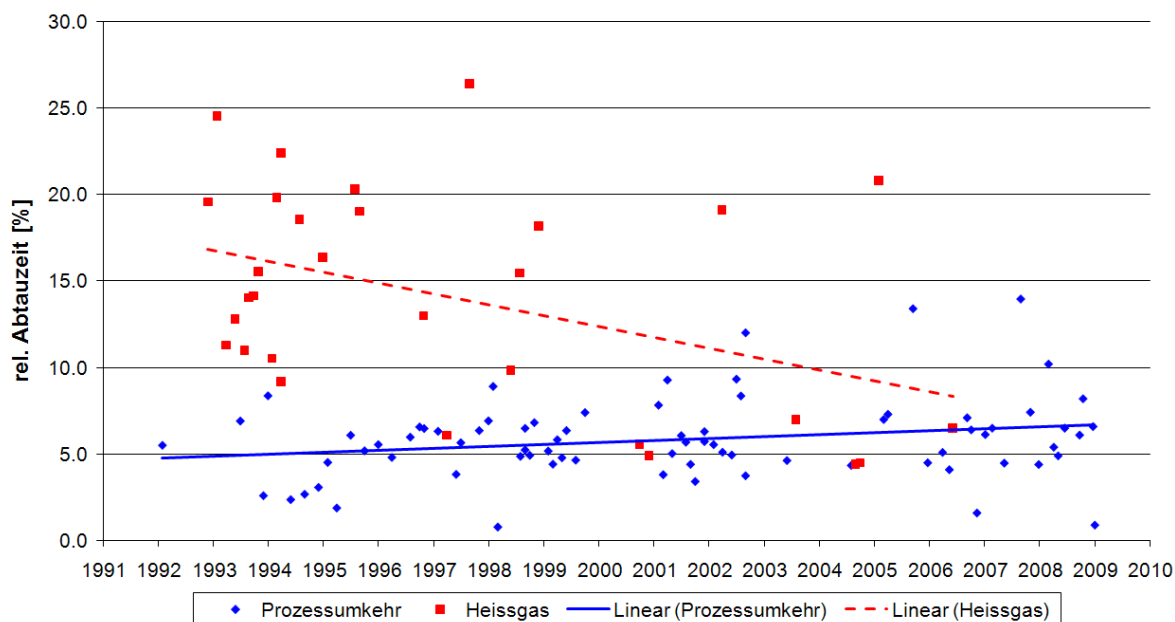


Abb. 3.1.2b: Entwicklung der relativen Abtauzeiten je nach Abtauverfahren

Abb. 3.1.2b zeigt nun die relativen Abtauzeiten der beiden Abtauverfahren. Bei direktem Vergleich zwischen den beiden Abb. 3.1.2a und 3.1.2b hat sich die Heissgasabtauungsvariante in den Jahren zwischen 1993 und 2007 stark verbessert. Die mittleren Arbeitszyklen haben sich in dieser Zeitperiode um etwa 12% und die mittleren relativen Abtauzeiten um fast 50% reduziert. Seit dem Jahr 2000 wurden nur noch 8 Wärmepumpen mit Heissgasabtauung geprüft, mit zwei Ausnahmen liegen die relativen Abtauzeiten im Bereich der Werte mit Prozessumkehr.

Bei der Prozessumkehrvariante konnte keine Verbesserung zwischen mittlerer Arbeitszeit und mittlerer relativer Abtauzeit festgestellt werden. Zwar hat sich die mittlere Arbeitszeit von anfänglich 75 min auf etwa 95 min im Jahr 2009 erhöht, dafür stieg aber auch die relative Abtauzeit um etwa den gleichen Betrag.

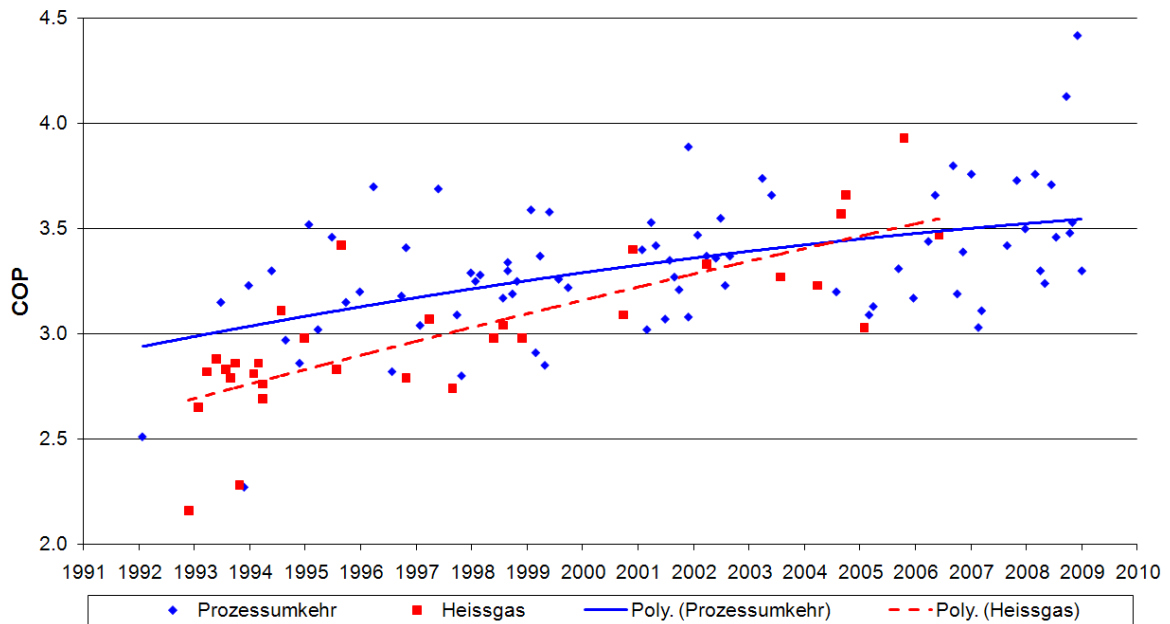


Abb. 3.1.2c: Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Abtauverfahren

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.

3.1.3 Verwendung 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.

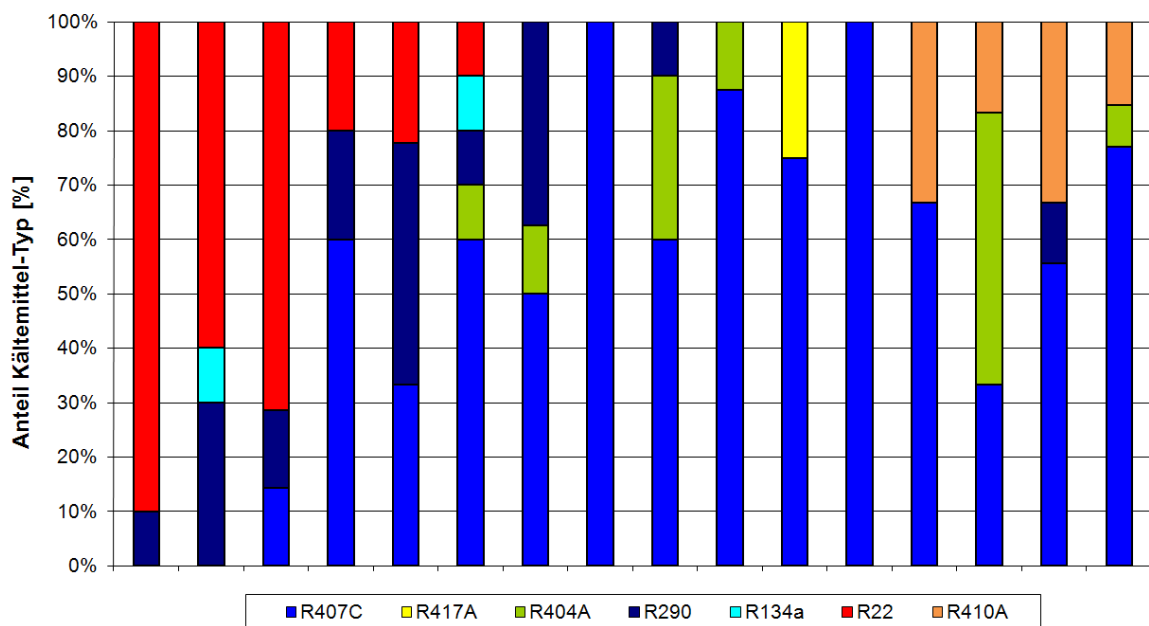


Abb. 3.1.3a: Verwendete Typen von Kältemitteln in Luft-Wasser-Wärmepumpen

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.

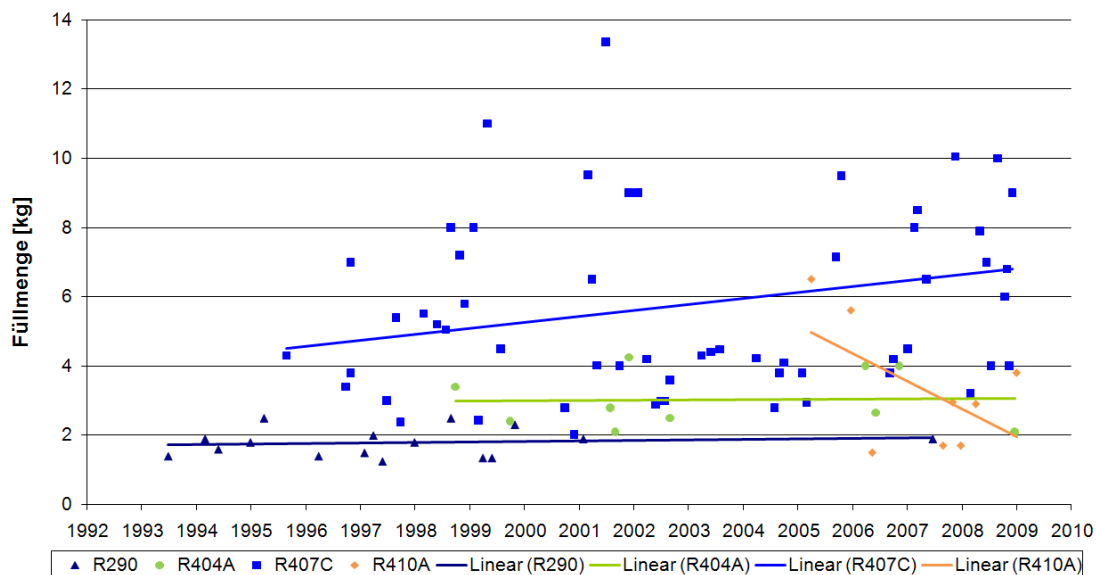


Abb. 3.1.3b: Entwicklung der absoluten Kältemittel-Füllmengen

Beim am häufigsten verwendeten Kältemittel R407C sind die Füllmengen als auch die spezifische Füllmenge in den letzten Jahren stark angestiegen. Dies ist zum Teil durch die angestiegene Anzahl Prüfungen von Splittgeräten in den letzten Jahren erklärbar. Beim Kältemittel R410A ist genau der gegenläufige Trend ersichtlich. Die absolute und spezifische Füllmenge hat sich vom Jahr 2006 bis 2009 stark reduziert. Allerdings sind die Streuungen der einzelnen Werte so gross, dass die Aussagen der Trendlinien bei beiden Kältemittel zu relativieren sind.

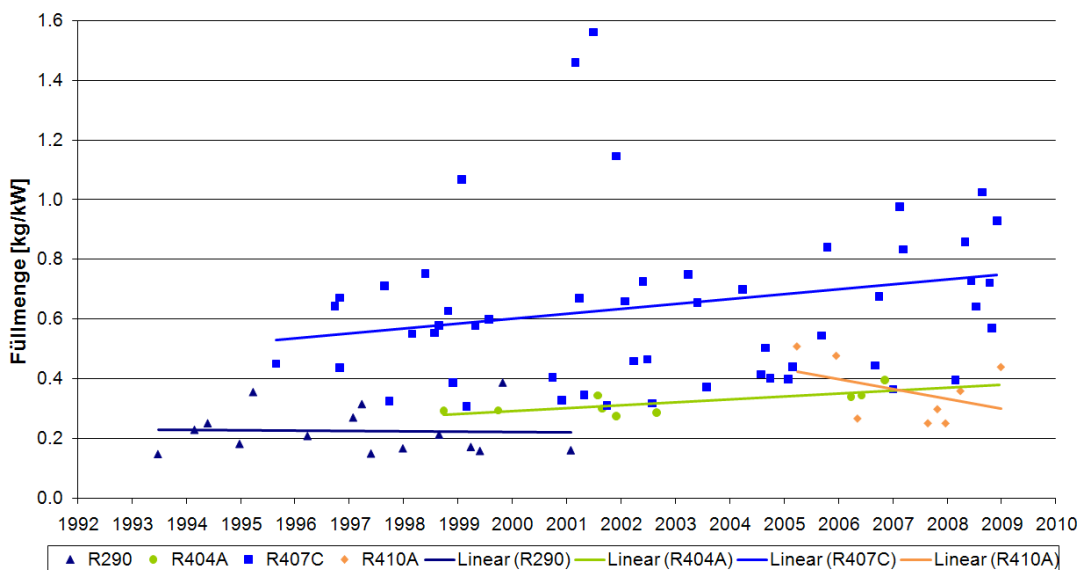


Abb. 3.1.3c: Entwicklung der relativen Kältemittel-Füllmengen

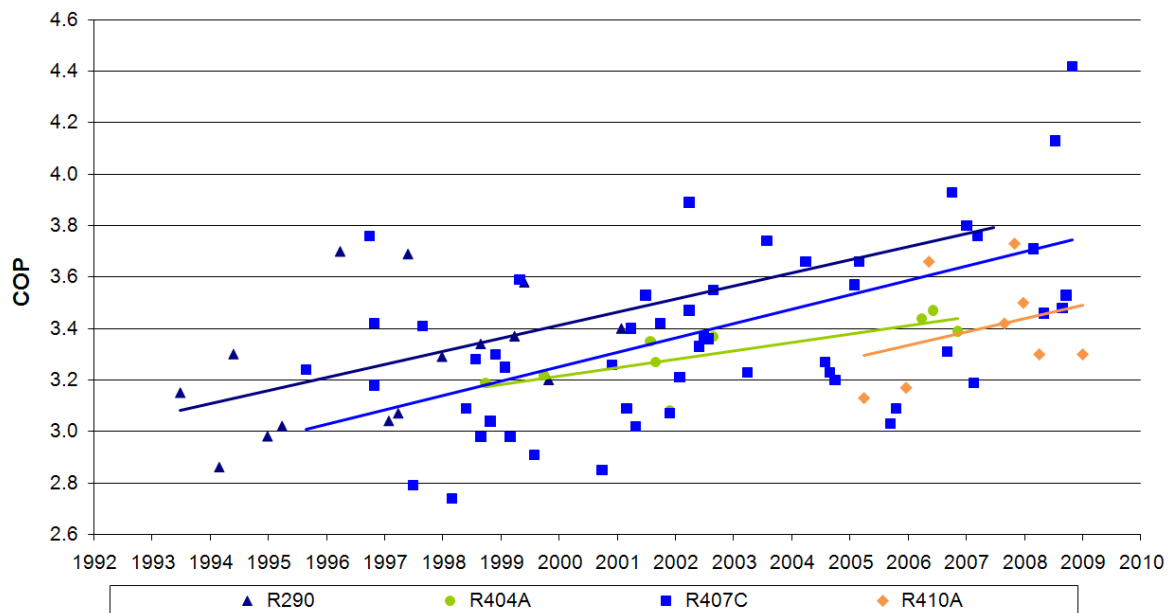


Abb. 3.1.3d: Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Kältemittel-Typen

Die Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Zeit und des Kältemittel-Typs zeigt für alle Kältemittel-Typen steigende Tendenz. Unter den Kältemitteln weist der zeitliche Mittelwert von R290 gegenüber den anderen verglichenen Kältemitteln den höchsten COP auf. Gegenüber den Anlagen mit dem gängigen Kältemittel R407C weist die Propan-Anlage einen um ca. 5% effizienteren COP auf. Die mit R410A befüllten Anlage weisen im Schnitt sogar einen um ca.10% verminderten COP auf, verglichen mit den R290er Anlagen.

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.

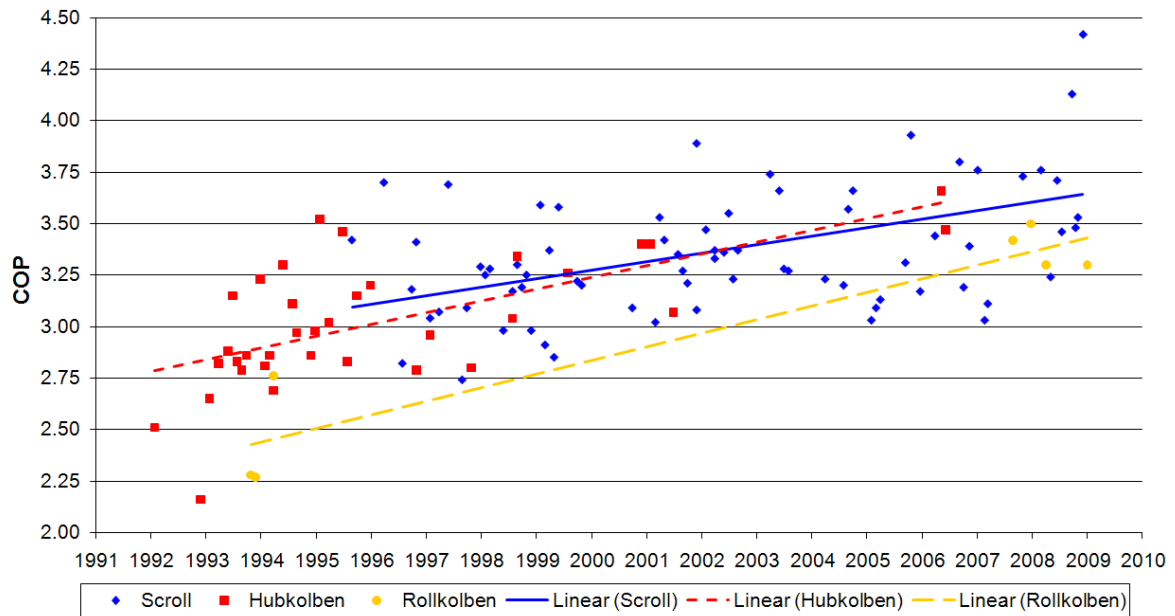


Abb. 3.1.4a: COP in Abhängigkeit des Kompressortyps

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. 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. Zwar ist in den letzten Jahren die Nachfrage nach Rollkolben (Invertertechnologie) stark angestiegen, für eine aussagekräftige Auswertung ist die Datenmenge noch zu klein.

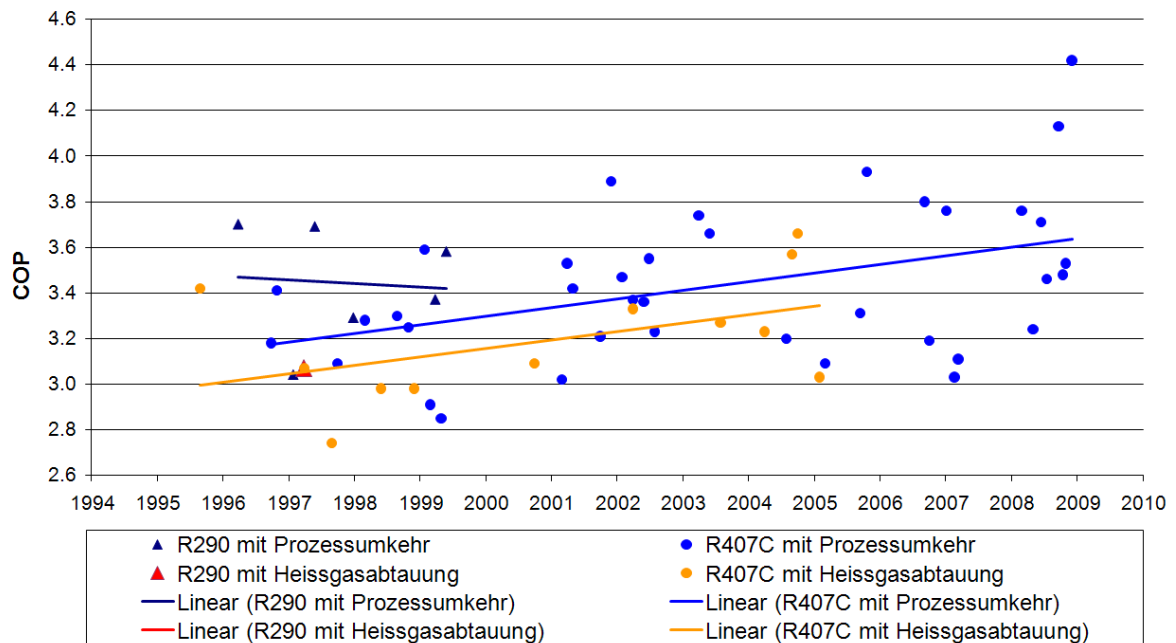


Abb. 3.1.4b: COP bei Wärmepumpen mit Scroll-Verdichtern in Abhängigkeit des Kältemittels und des Abtauverfahrens

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) und im Berichtsjahr bei 62 dB(A). Diese grosse Abweichung zwischen nur einem Jahr kommt daher, dass in den Jahren 2007 und 2009 viele Splitanlagen geprüft wurden, wo die Kompressoreinheit nicht mit gemessen wird. Bei diesen Anlagen ist die Kompressoreinheit separat in einem Raum (z.B. Keller). Bei aussen- und innenaufgestellten Wärmepumpen werden die Emissionen des Kompressors bei der Ausmessung mit gemessen.

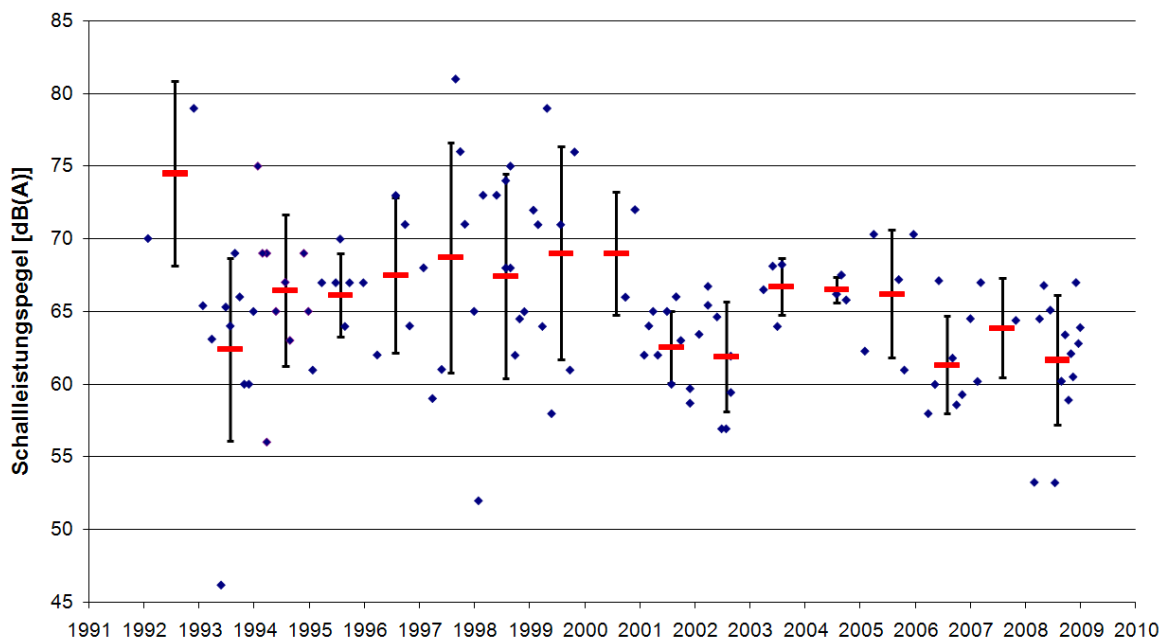


Abb. 3.1.5a: Schalleistungspegel bei Luft-Wasser-Wärmepumpen

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.

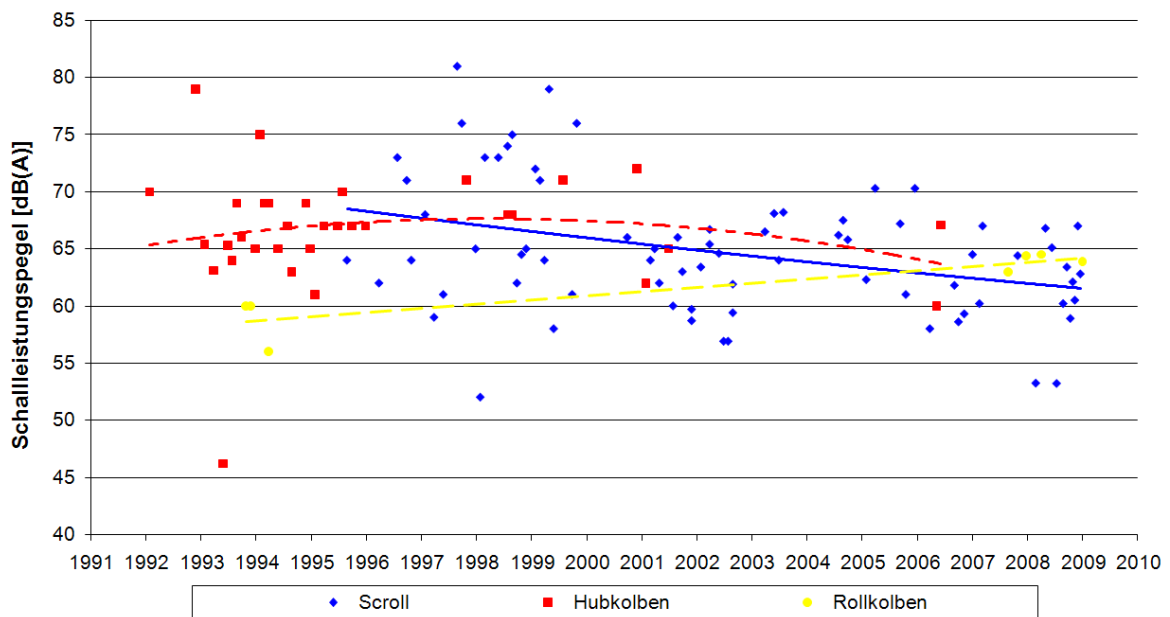


Abb. 3.1.5b: Schallleistungspegel bei Wärmepumpen mit verschiedenen Kompressortypen

3.1.6 Schlussfolgerungen Luft-Wasser-Wärmepumpen

Die kontinuierliche Effizienzsteigerung der Luft-Wasser-Wärmepumpen ist einerseits dem nationalen Gütesiegel und andererseits der intakten Konkurrenzsituation zu verdanken. Bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen-Herstellern wurden im Jahr 2009 zwei Typen ersichtlich, die einen entwickeln ihre Wärmepumpe auf Kostenoptimierung und die anderen auf die maximal mögliche energetische Effizienz.

Es zeigt sich, dass die Heissgasabtauung anfänglich der Prozessumkehr deutlich unterlegen war. Durch konsequente Verbesserung konnte die relative Abtaudauer 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 und zum Teil übertroffen. Die Bestanlagen heutzutage werden mit R407C betrieben.

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, R407C und R410A ersetzt, wobei heute vor allem die beiden Kältemittel R407C und R410A eingesetzt werden. Trotz bester energetischer Effizienz in den 90er-Jahren 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.

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 signifikant verändert, die jährlichen Mittelwerte liegen zwischen 4.3 und 4.5.

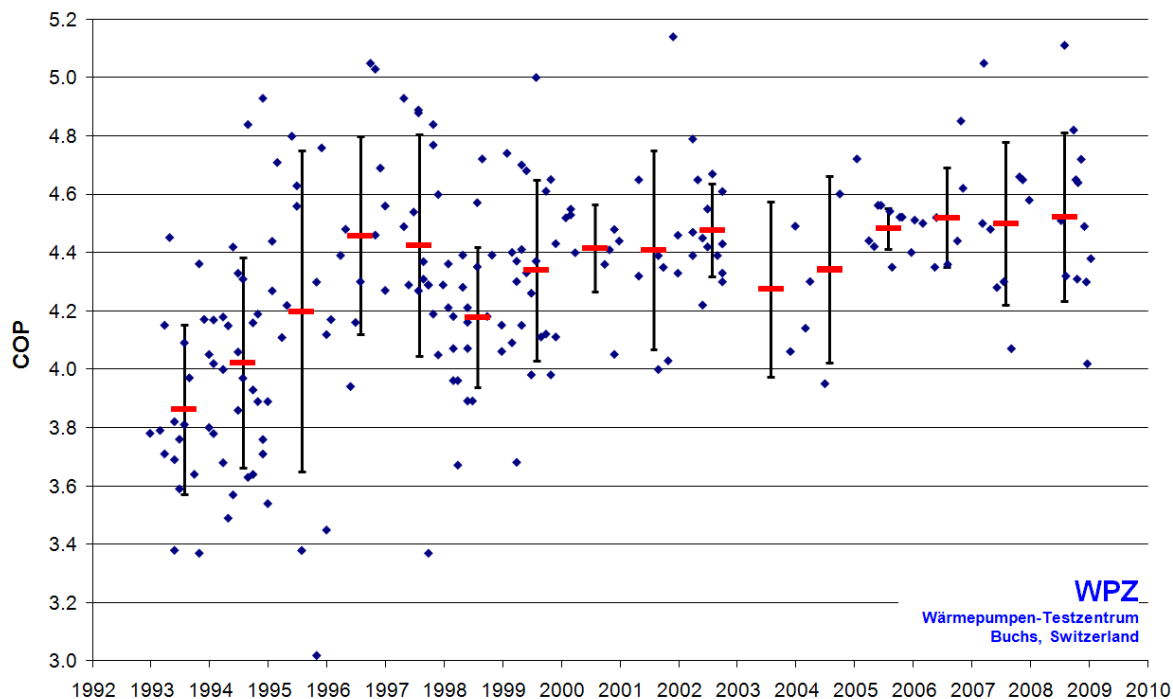


Abb. 3.2.1: COP-Verlauf der getesteten Sole-Wasser-WP seit 1993

In dieser Abbildung ist sehr schön ersichtlich, dass sich zwar der mittlere COP seit 2006 nicht mehr verändert hat, aber die Spreizung von den besten zu den niedrigsten COPs seit dieser Zeitspanne stark zugenommen hat. Im Jahr 2006 lag die Streuung der einzelnen COP-Messwerte zwischen 4.35 und 4.56 und im Berichtsjahr zwischen 4.02 und 5.11.

3.2.2 Verwendung von Kältemitteln in Sole-Wasser-Wärmepumpen

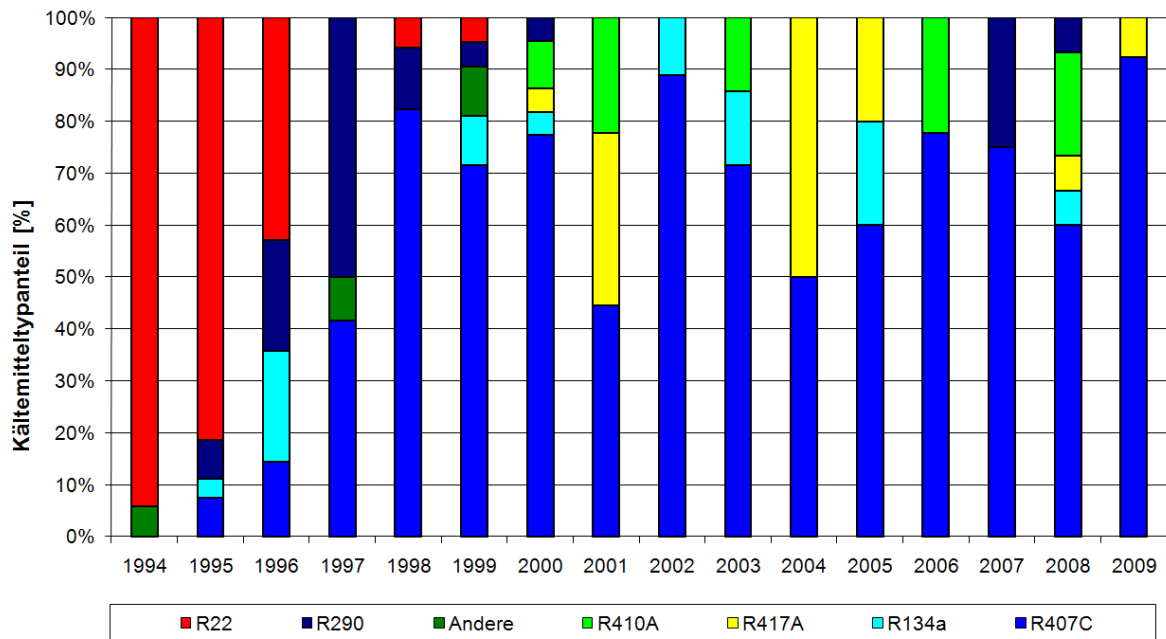


Abb. 3.2.2a: Verwendete Typen von Kältemitteln in Sole-Wasser-Wärmepumpen

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, R410A, R134a und R417A eingegangen.

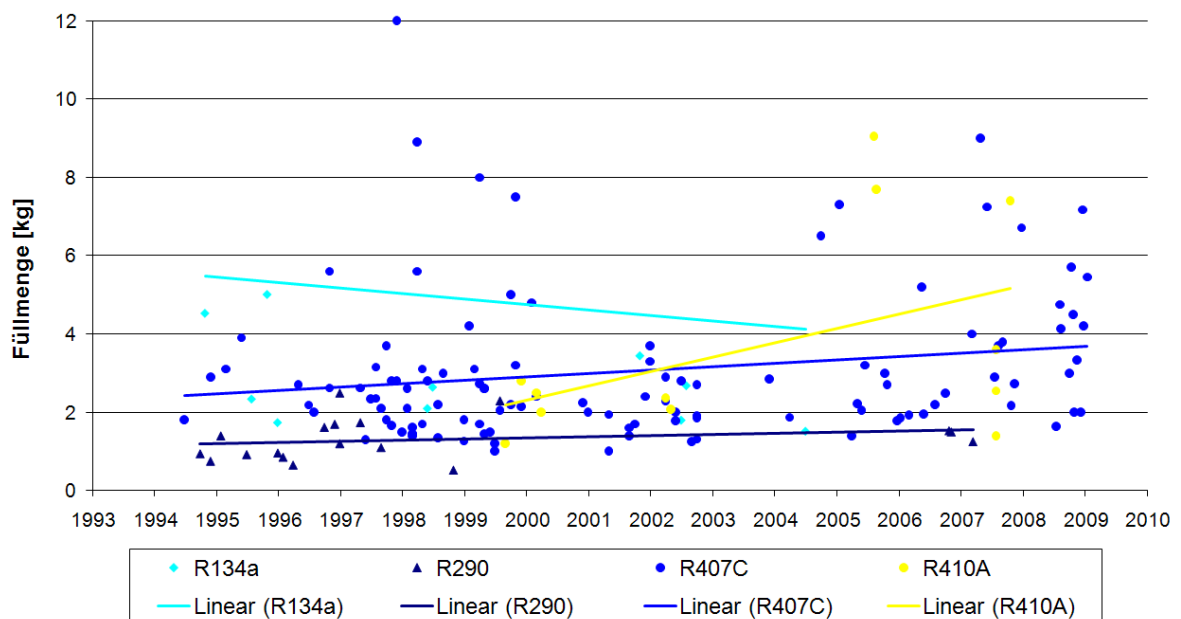


Abb. 3.2.2b: Entwicklung der absoluten Kältemittel-Füllmengen

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 bil-

det. Die relative Füllmenge hingegen, konnte mit der Zeit reduziert (siehe Abb. 3.2.2c) werden. Augenfällig sind die grosse Streuung beim Kältemittel R407C.

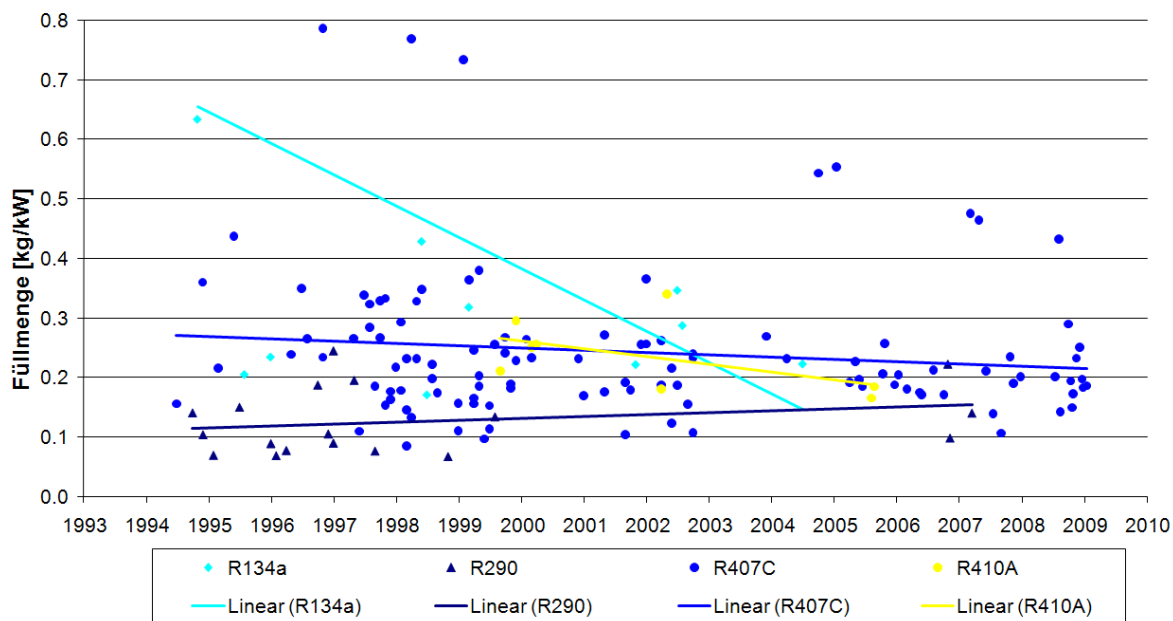


Abb. 3.2.2c: Entwicklung der relativen Kältemittel-Füllmengen

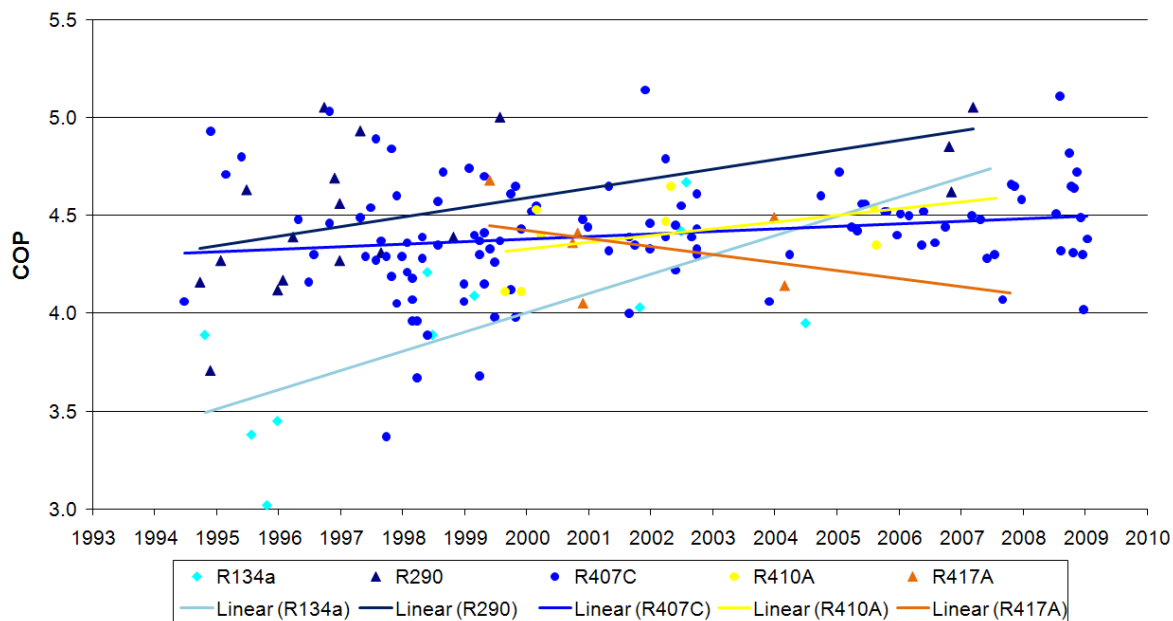


Abb. 3.2.2d: Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Kältemittel-Typen

Die Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Zeit zeigt für die Kältemittel R290 und R134a eine stark steigende Tendenz. Bei den Kältemitteln R407C und R410A konnten sich die COP-Werte nur marginal erhöhen. Eine negative Tendenz ist mit dem Kältemittel R417A zu verzeichnen, so hat sich der mittlere COP-Wert von anfänglich 4.5 (1999) auf 4.3 (2006) vermindert.

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.

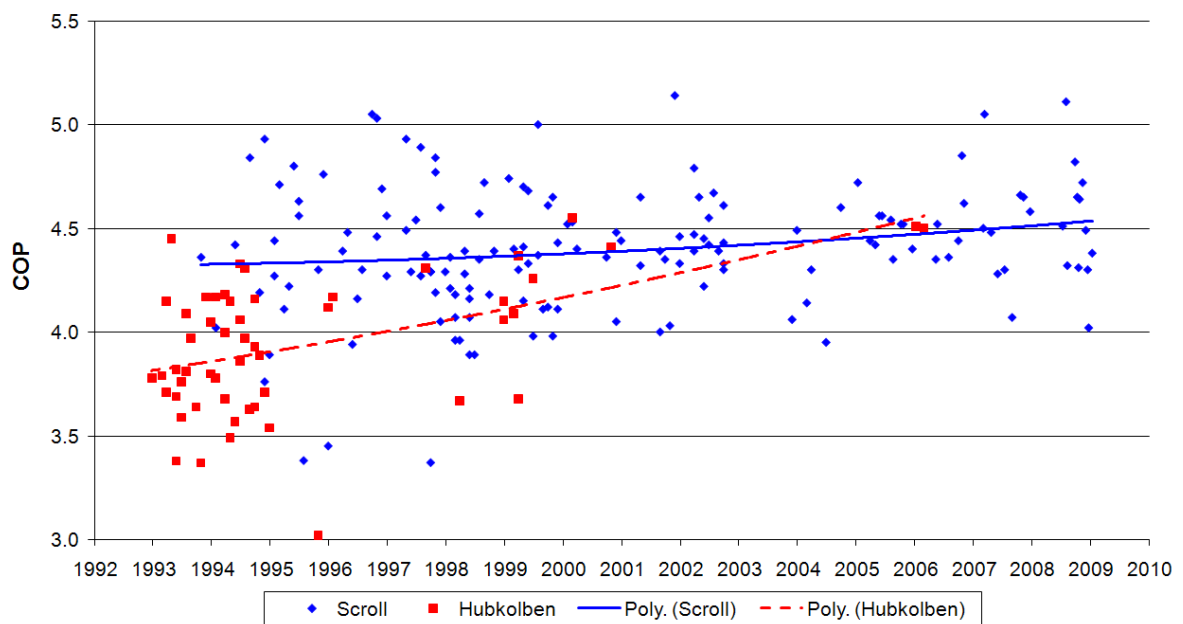


Abb. 3.2.3a: COP in Abhängigkeit des Kompressortyps

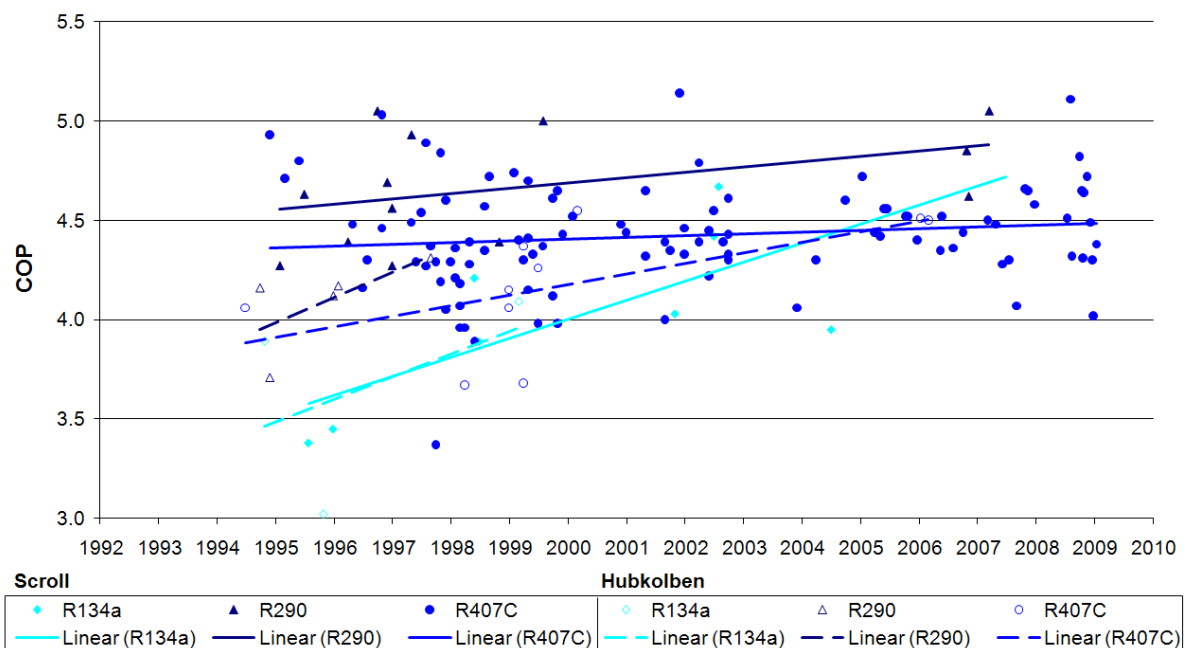


Abb. 3.2.3b: COP bei Wärmepumpen in Abhängigkeit des Kältemittels und des Kompressor-Typs

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. Dabei ist augenfällig, dass sich die COP-Werte der Wärmepumpen mit Hubkolbenverdichtern in den letzten Jahren stark erhöht haben. Die Effizienz der Wärmepumpen mit Scrollverdichtern hat sich diesbezüglich nicht so stark entwickelt.

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 ziemlich konstant, bei den anderen Kältemitteln ist der Trend jedoch steigend.

3.2.4 Schalleistungspegel bei Sole-Wasser-Wärmepumpen

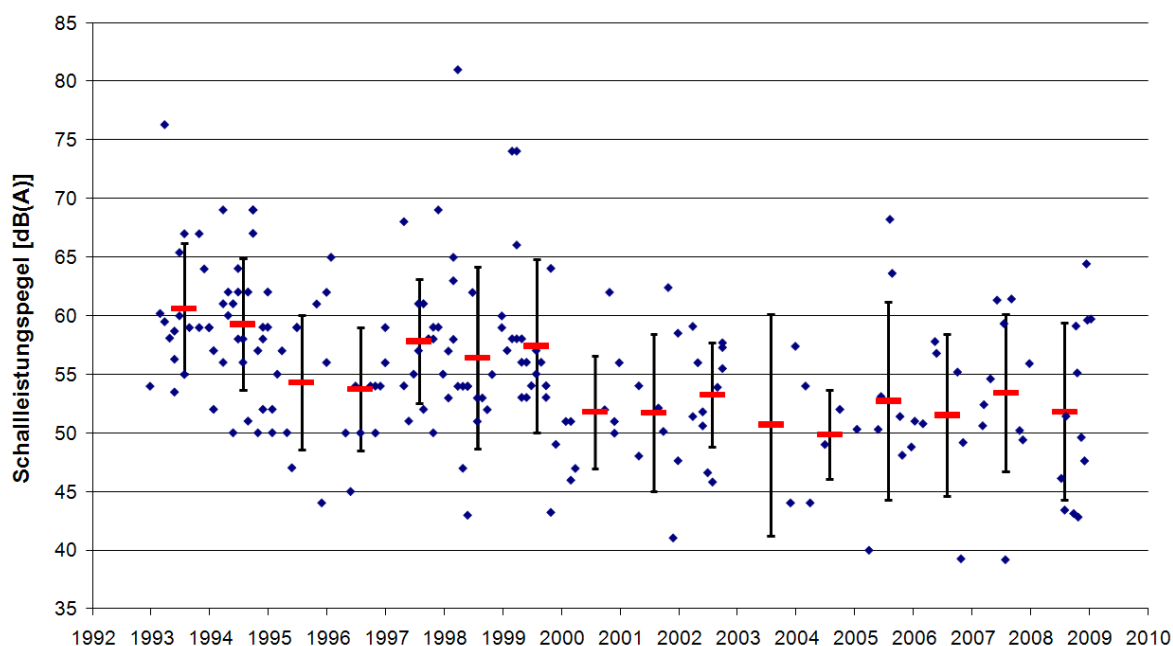


Abb. 3.2.4a: Schalleistungspegel bei Sole-Wasser-Wärmepumpen

Abb. 3.2.4a zeigt, dass in den letzten 9 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 gleichauf mit den Scroll-Verdichtern, dies ist in Abb. 3.2.4b ersichtlich.

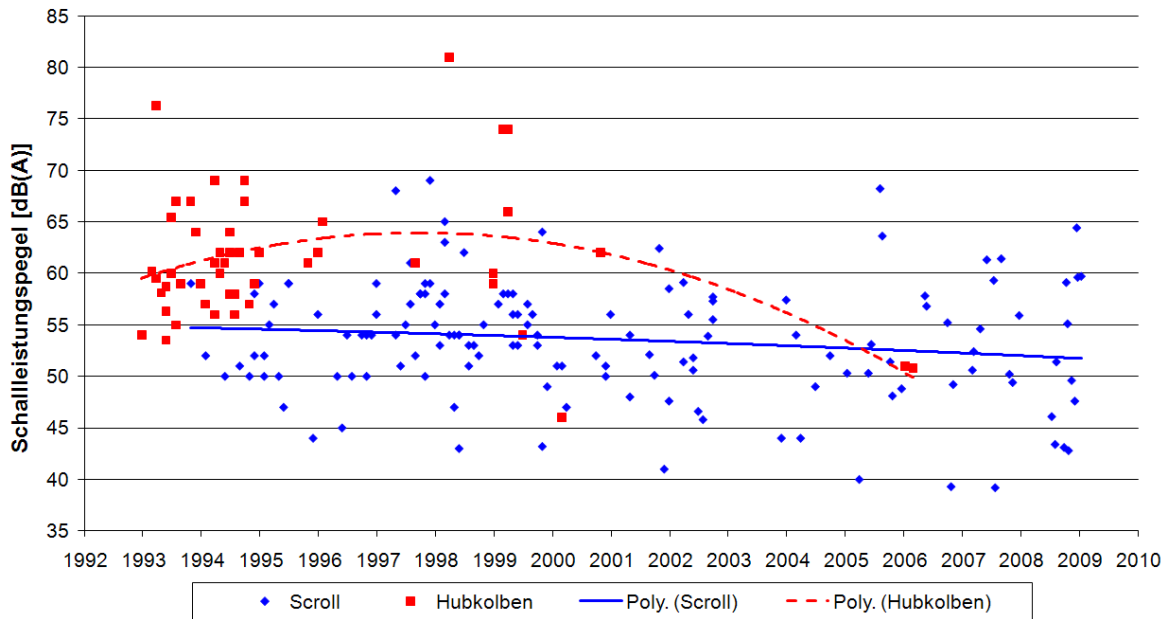


Abb. 3.2.4b: Schalleistungspegel nach Kompressorbauart

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 kostenoptimiert 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, R410A, 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 WP-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 -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.**

Veröffentlichte Auswertungen im WPZ-Bulletin [6] haben gezeigt, dass die COPs mit einer senkenseitigen Temperaturspreizung von 10 K im Durchschnitt 7% höher ausfallen als jene mit 5 K Temperaturspreizung.

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:

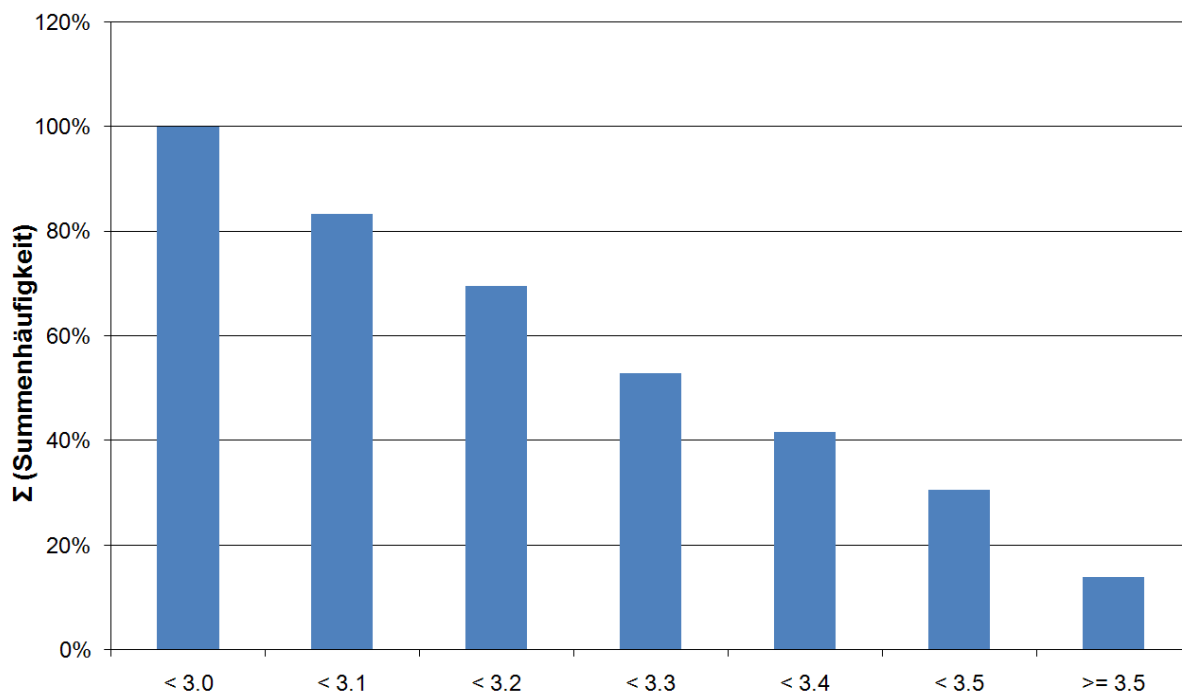


Abb. 4.1: Summenhäufigkeitsverteilung COP-Werte Luft-Wasser-Wärmepumpe seit 2005

Die Grafik zeigt, dass 83 % der seit 2005 gemessenen Luft-Wasser-Wärmepumpen das geforderte Mindest-COP von 3.0 erreichen. Über die Hälfte der Wärmepumpen erreichen beim Arbeitspunkt A2 / W35-30 sogar ein COP von 3.3.

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:

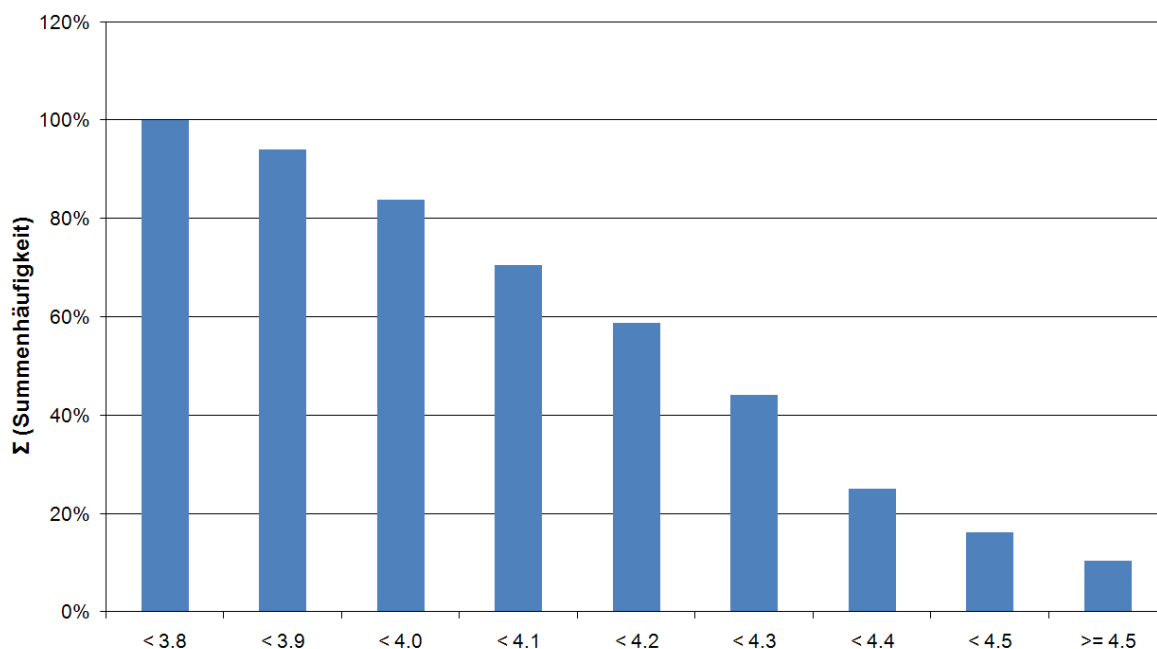


Abb. 4.2: Summenhäufigkeitsverteilung COP-Werte Sole-Wasser-Wärmepumpe seit 2005

Die Grafik zeigt, dass 71 % der gemessenen Sole-Wasser-Wärmepumpen das geforderte Mindest-COP von 4.0 erreichen.

4.3 Schlussfolgerung

Die Auswertungen zeigen, dass über 80% aller am WPZ geprüften Luft-Wasser-Wärmepumpen den für das internationale EHPA/DACH-Gütesiegel notwendige Mindest-COP von 3.0 erreichen. Bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen erreichen zurzeit etwa 70% aller am WPZ geprüften Geräte das Mindest-COP von 4.0.

Ab Januar 2011 werden die Grenzwerte (Mindest-COP beim Normpunkt) zur Erteilung des internationalen EHPA-Gütesiegels an das EcoLabel bei Luft-Wasser-, Sole-Wasser- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen angepasst. Die neuen Grenzwerte lauten:

Luft-Wasser-Wärmepumpen bei A2/W35-30:	3.1	(+ 3.3%)
Sole-Wasser-Wärmepumpen bei B0/W35-30:	4.3	(+ 7.5%)
Wasser-Wasser-Wärmepumpen bei A10/W35-30:	5.1	(+ 13.3%)

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
- [6] *WPZ-Bulletin; Ausgabe 01-2009*
Beziehbar unter www.wpz.ch