



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 2010

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: 14. März 2011

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: SI/400297 und SI/400298

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 2010.....	9
2.3 Weitere Aktivitäten am WPZ.....	10
2.4 Ausblick, strategische Ausrichtung WPZ 2011ff.....	10
3 Auswertungen von Normprüfungen.....	11
3.1 Luft-Wasser-Wärmepumpen.....	11
3.2 Sole-Wasser-Wärmepumpen.....	21
4 EHPA Quality Label.....	29
4.1 Luft-Wasser-Wärmepumpen.....	29
4.2 Sole-Wasser-Wärmepumpen.....	30
5 Referenzen.....	31

Zusammenfassung

Im Rahmen der systematischen Qualitätssicherungsstrategie des Bundesamtes für Energie (BFE) und der Fachvereinigung 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 2010 konnten am WPZ Buchs insgesamt 68 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 systematische Optimierung der Prüfstände zurückzuführen.

Im Berichtsjahr wurden die Prüfstände des Wärmepumpen-Testzentrum auf die Erhöhung der Prüfkapazität zielorientiert optimiert.

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

Die Effizienz der Luft-Wasser-Wärmepumpe konnte gegenüber dem Vorjahr nochmals um 3 % erhöht werden. Bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen hingegen konnte keine signifikante durchschnittliche Erhöhung der Effizienz gemessen werden. Die Stagnation der energetischen Effizienz bei der Sole-Wasser-Wärmepumpe in den letzten Jahren zeigt, dass der COP bei der Entwicklung von Wärmepumpen nicht mehr erste Priorität hat. Dies könnte sich jedoch durch die ab 2011 gültige Anhebung der Mindest-Anforderung für das Gütesiegel ändern.

Weitere Auswertungen der am WPZ durchgeführten Messungen, zeigen, dass die meisten Wärmepumpen den Mindest-COP zur Erteilung des internationalen Gütesiegel (EHPA Quality Label) erreichen; bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen sind dies 90 % der geprüften Geräte, bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen 71 % der Geräte.

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 2010, the energetic efficiency of air to water heat pumps could increase of 3 % compared with previous year. The brine-water heat pumps just reached the same energetic efficiency as the heat pumps in the years before. After initial improvement of the brine to water heat pumps in the last years, the COP values have stagnated. 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 Quality Label; 90 % of the measured air to water units and 80 % 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 2010 wurden am WPZ Buchs insgesamt 220 Wärmepumpen-Prüfungen aller Art durchgeführt, davon fallen auf das Jahr 2010 allein 68 Prüfungen. Dies entspricht einer Prüfsteigerung von 30.8 % gegenüber dem Vorjahr. Auffallend war, dass alle Wärmepumpen bei einer vollständigen EHPA-Prüfung die minimale Anforderung des COP (LW: 3.0; SW: 4.0 und WW: 4.5) erreicht haben.

Zusätzlich wurden 7 Stichprobenprüfungen an Luft-Wasser- und Sole-Wasser-Wärmepumpen durchgeführt, die ebenfalls zur Qualitätssicherung der Wärmepumpe beitragen. Mit dieser Massnahme wird kontrolliert, ob auch die Wärmepumpentypen, die nicht an einer anerkannten akkreditierten Prüfstelle getestet wurden, den Mindestanforderung nach dem EHPA-Gütesiegelreglement genügen.

Untenstehende Tabelle 2.1 zeigt die Aufgliederung der Prüfungen bis Ende 2010 nach ihrer Art, Abb. 2.1 zeigt die Entwicklung der durchgeführten Wärmepumpen-Prüfungen am WPZ Buchs über die letzten 7 Jahre.

Art der WP-Prüfung	Jahr 2010	Jahr 2009	WPZ Buchs Total bis Ende 2010
Luft-Wasser	10 + 2 ¹ + 6 ² + 1 ³ + 1 ⁴	13	68
Sole-Wasser	14 + 5 ¹ + 2 ² + 1 ⁴ + 4 ⁵	30	84
Wasser-Wasser	2	3	6
Kombination Sole-Wasser & Wasser-Wasser	7 & 7 + 3 & 3 ⁴	3 & 3	26 & 26
Warmwasser-WP	-	-	10
Total	68	52	220

¹ Stichprobenmessung

² Kurzprüfung

³ Abbruch

⁴ anderes Prüfreglement

⁵ Prototypenmessung

Tabelle 2.1: Art der durchgeführten Wärmepumpen-Prüfungen am WPZ

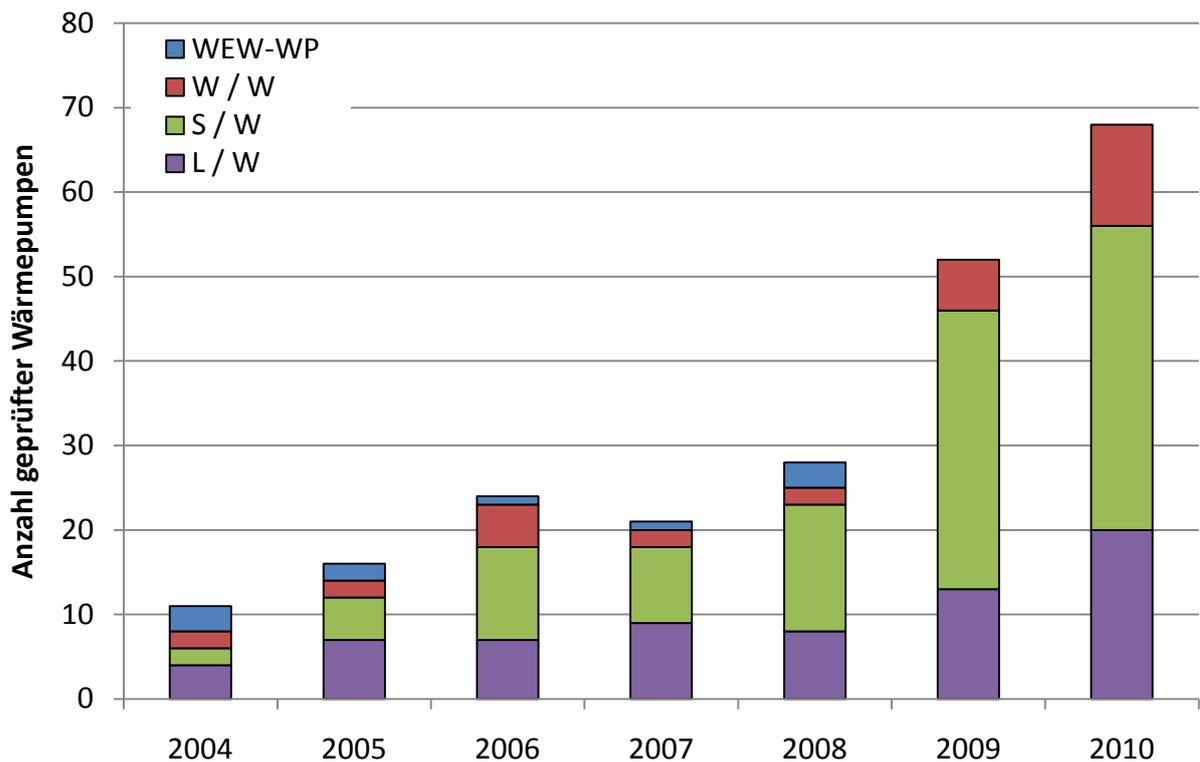


Abb 2.1: Entwicklung der Anzahl geprüfter Wärmepumpen in den letzten 7 Jahren

Wie in Abb. 2.1 ersichtlich ist, wurden in den letzten beiden Jahre keine Warmwasser-Wärmepumpe (WEW-WP) geprüft. Das Interesse an Warmwasser-Wärmepumpen-Prüfungen kann sich im Jahr 2011 und folgende durch eine neue Prüfnorm (EN 16147) und dem dazugehörigen Prüfreglement wieder steigern. Zurzeit sind 2 WEW-WP-Prüfungen für das Jahr 2011 angemeldet.

2.2 Dauer der durchgeführten Normprüfungen 2010

Die untenstehende Tabelle zeigt die Dauer der durchgeführten EHPA-Normprüfungen 2010 in Arbeitstagen.

Art der WP-Prüfung	Anzahl	Dauer EHPA-Normprüfung Arbeitstage 2010			Jahr 2009
		Min	Max	Mittelwert	Mittelwert
Luft-Wasser	10	8	14	10.5	15
Sole-Wasser	14	3	5	4.1	7
Wasser-Wasser	2	3	3	3.0	5
Kombination S/W & W/W	7	6	9	6.6	9
Warmwasser-WP	-	-	-	-	-

* 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 Prüfdauern einer vollständigen EHPA-Normprüfung bei den 10 Luft-Wasser-Wärmepumpen haben sich im Berichtsjahr gegenüber dem Vorjahr um etwa 30 % reduziert. Diese Verbesserung ist vor allem durch eine optimierte und angepasste Regelungssoftware des Prüfstandes zurückzuführen.

Beim Sole-Wasser-Prüfstand (SW, WW und Kombination) konnte die durchschnittliche Prüfdauer um etwa 40% reduziert werden, da die Prüfungen auch am Wochenende durchfahren.

2.3 Weitere Aktivitäten am WPZ

Optimierung der Kapazitätserhöhung und Messgenauigkeit

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, müssen vor allem unsere Prüfstände auf die Kapazität hin optimiert werden.

Im August 2009 wurden die Prüfstände des WPZ umgebaut, wodurch eine Prüfdauerersparnis beim Luft-Wasser-Prüfstand von beachtlichen 35 % erzielt wurde. Im Laufe des Jahres 2010 wurde die Regelungssoftware des Prüfstandes optimiert, mit der ebenfalls eine Prüfzeitreduzierung von etwa 30 % erzielt werden konnte.

Durch noch bessere Anordnung der Temperaturfühler an die Messstrecke, konnte die Messunsicherheit von etwa 3.0 % auf 2.5 % reduziert werden.

2.4 Ausblick, strategische Ausrichtung WPZ 2011ff

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 zurzeit noch relativ klein.

Nach Rücksprache mit der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS wird das Wärmepumpen-Testzentrum in den nächsten Jahren Werksprüfungen bei verschiedenen Schweizer Herstellern durchführen, die diese Anforderungen erfüllen.

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 Luft-Wasser- und Sole-Wasser-Wärmepumpen durchgeführt. Bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen stehen zum Zeitpunkt der Berichterstellung 136 Datensätze zur Auswertung zur Verfügung, bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen sind es 272.

Zur Auswertung der Leistungszahlen werden die bei den Prüfpunkten A2 / W35 resp. B0 / W35 gemessenen Daten verwendet. Die Auswertungen der Leistungszahlen werden nach zwei Prüfnormen (alt: EN255 und aktuell: EN14511) durchgeführt, wobei sich die meisten Auswertungen nach der alten Norm beziehen. Die alte Prüfnormauswertung dient zum Vergleich der Entwicklung der Wärmepumpe seit 1993, die aktuelle zur Beurteilung des EHPA-Gütesiegels.

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 2010

Der Trend in Abb. 3.1.1a 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 der Einführung der aktuellen Norm EN 14511 im Jahre 2005 hat sich der durchschnittliche jährliche COP-Wert nach EN 255 von 3.42 auf 3.72 verbessert. Die ab dem Jahr 2005 gemessenen Werte streuen zwischen 3.03 und 4.43. In der Abb. 3.1.1b ist zusätzlich zur alten Norm EN 255 auch der jährliche COP-Verlauf der aktuellen Norm EN 14511 ersichtlich. Mit dieser Testmethode hat sich der durchschnittliche COP-Wert von 3.23 auf 3.55 verbessert, wobei in den Jahren 2006 (3.04) und 2008 (3.07) eher tiefe durchschnittliche COP-Werte gemessen wurden. Die beiden COP-Werte weichen zwischen den beiden Prüfnormen durchschnittlich um 7.1 % ab.

In den letzten beiden Jahren ist eine enorme Steigerung der ermittelten Leistungszahlen ersichtlich. Dies ist vor allem auf die hohe Anzahl von Wärmepumpen, die ein COP von über 4.0 erreichten, zurückzuführen. Luft-Wasser-Wärmepumpen, die beim Betriebspunkt A2 / W35 eine Leistungszahl von 4 erreichen, liegen schon beinahe auf dem Niveau einer Sole-Wasser-Wärmepumpe.

Zusätzlich wurde im Berichtsjahr keine Wärmepumpe gemessen, die nach der aktuellen Norm EN 14511 die Mindest-COP-Anforderung von 3.00 nicht erreicht hat. Ab 2011 erhöht sich die Mindest-COP-Anforderung auf 3.10, wonach etwa 22 % aller WPZ-Prüfungen seit 2005 dies nicht erfüllen könnten.

Der Effizienznachlass in den Jahren 1997 und 1998 ist vor allem auf die Umstellung von R22 zu R407C zu erklären. In den Jahren 2005 und 2006 ist ebenfalls einen Schwund der mittleren Effizienz ersichtlich. Dies kann auf den hohen Preisdruck unter den vielen Herstellern zurückzuführen sein.

Im Allgemeinen ist eine kontinuierliche Effizienzsteigerung der Wärmepumpen seit dem Jahr 1998 erkennbar.

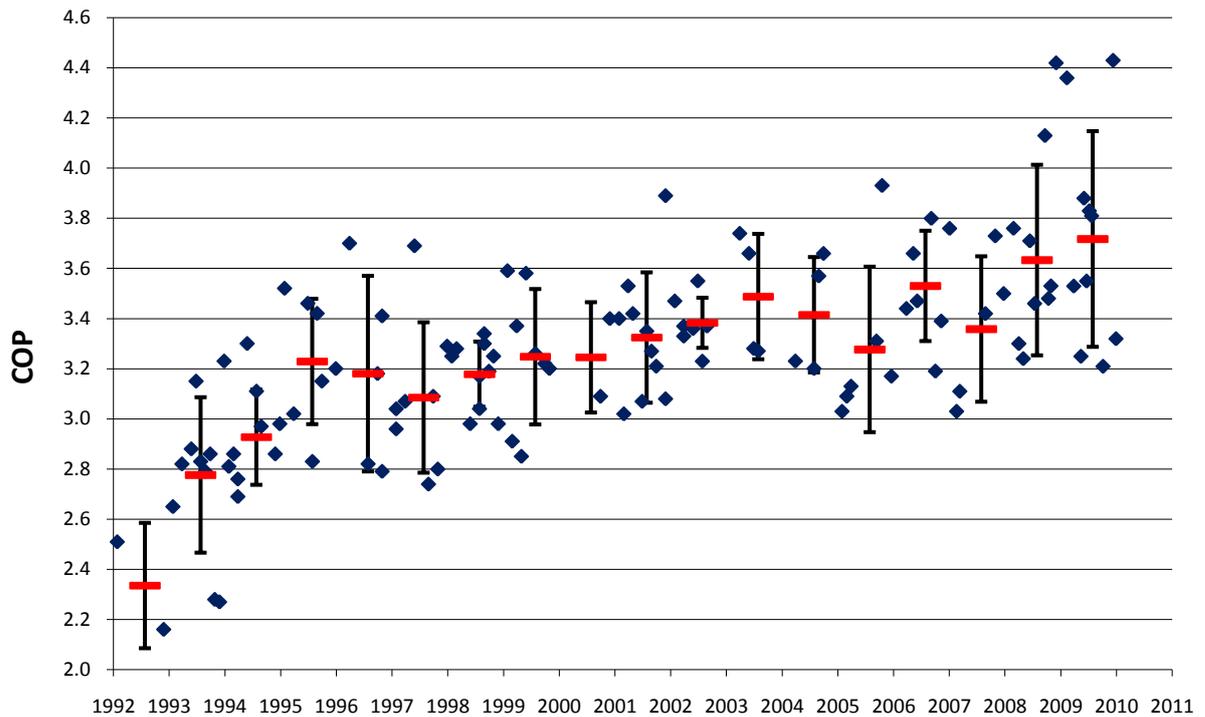


Abb. 3.1.1a: COP-Verlauf nach EN 255 von allen getesteten Luft-Wasser-WP seit 1993

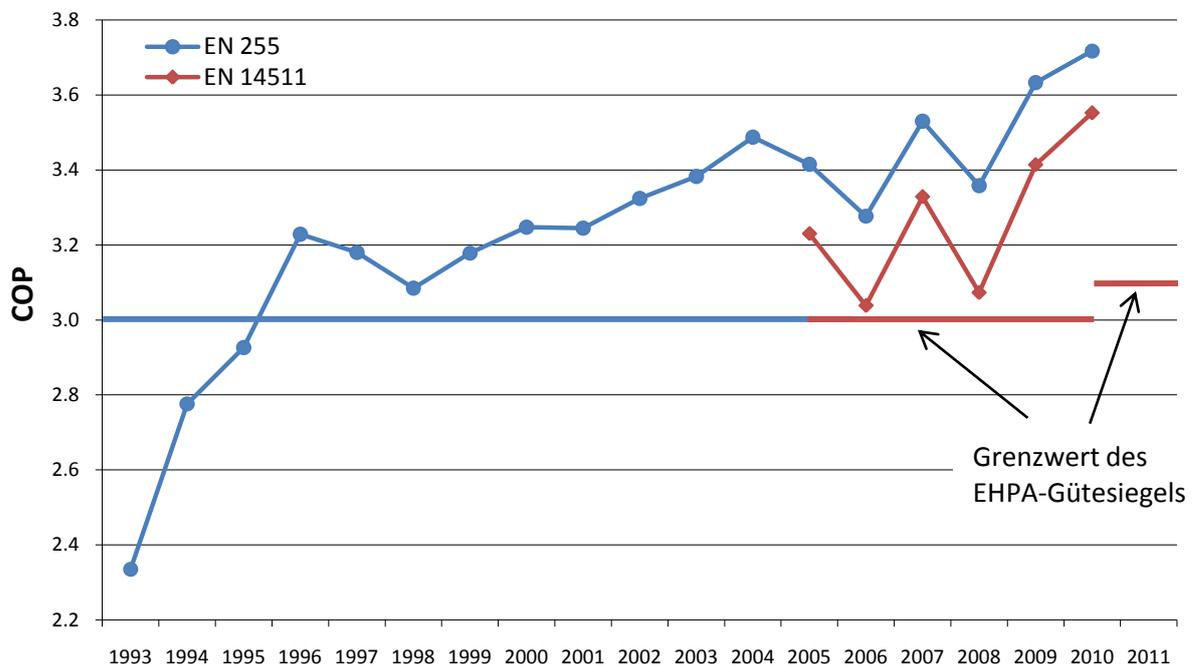


Abb. 3.1.1b: jährlicher mittlerer COP-Verlauf der beiden Prüfnormen mit den Grenzwerten

3.1.2 Abtauverfahren bei Luft-Wasser-Wärmepumpen

Die Abtauung des Verdampfers hat einen grossen Einfluss auf die energetische Effizienz von Luft-Wasser-Wärmepumpen. In diesem Kapitel werden ausschliesslich die beiden meistverwendeten Abtauverfahren Heissgasabtauung und Prozesumkehr miteinander verglichen.

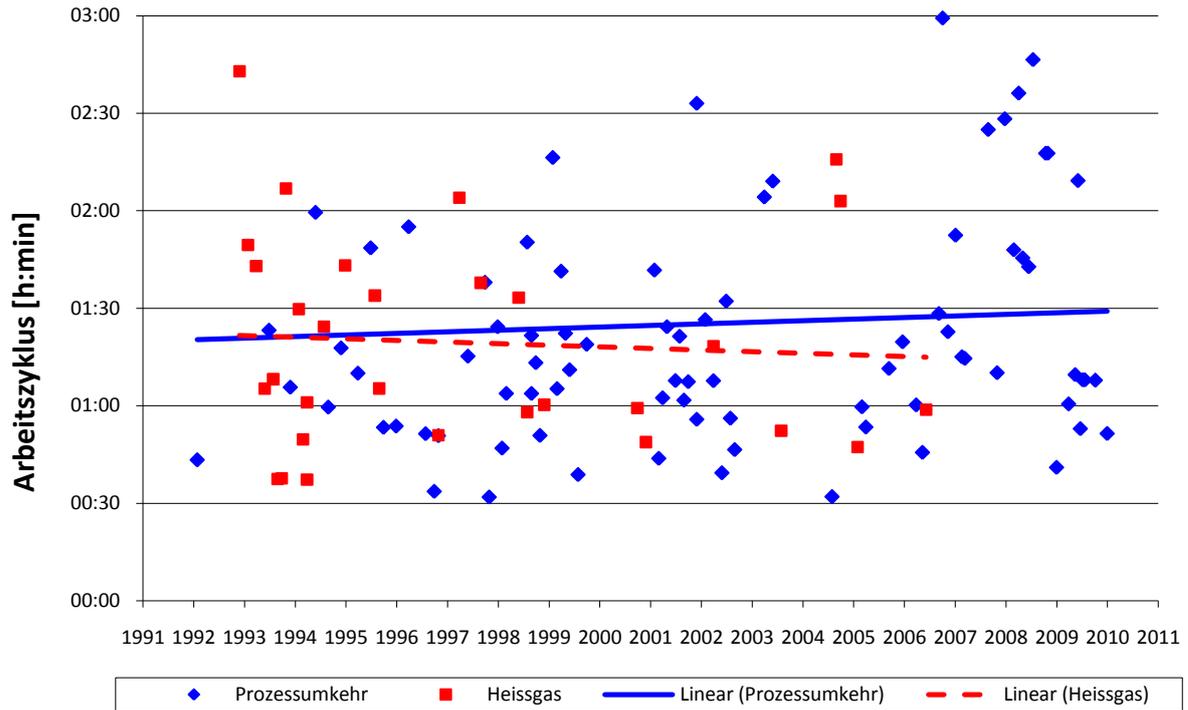


Abb. 3.1.2a: Dauer der Arbeitszyklen zwischen 2 Abtauverfahren je nach Abtauverfahren

Abb. 3.1.2a zeigt, dass sich der mittlere Arbeitszyklus zwischen 2 Abtauverfahren bei beiden Abtauverfahren von 1993 bis 2010 etwas verändert hat. Bei der Heissgasabtauung hat sich der mittlere Arbeitszyklus eher reduziert und bei der Prozessumkehr ist sie dagegen etwas angestiegen. 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 und im Jahr 2010 wurde sie gar nicht verwendet.

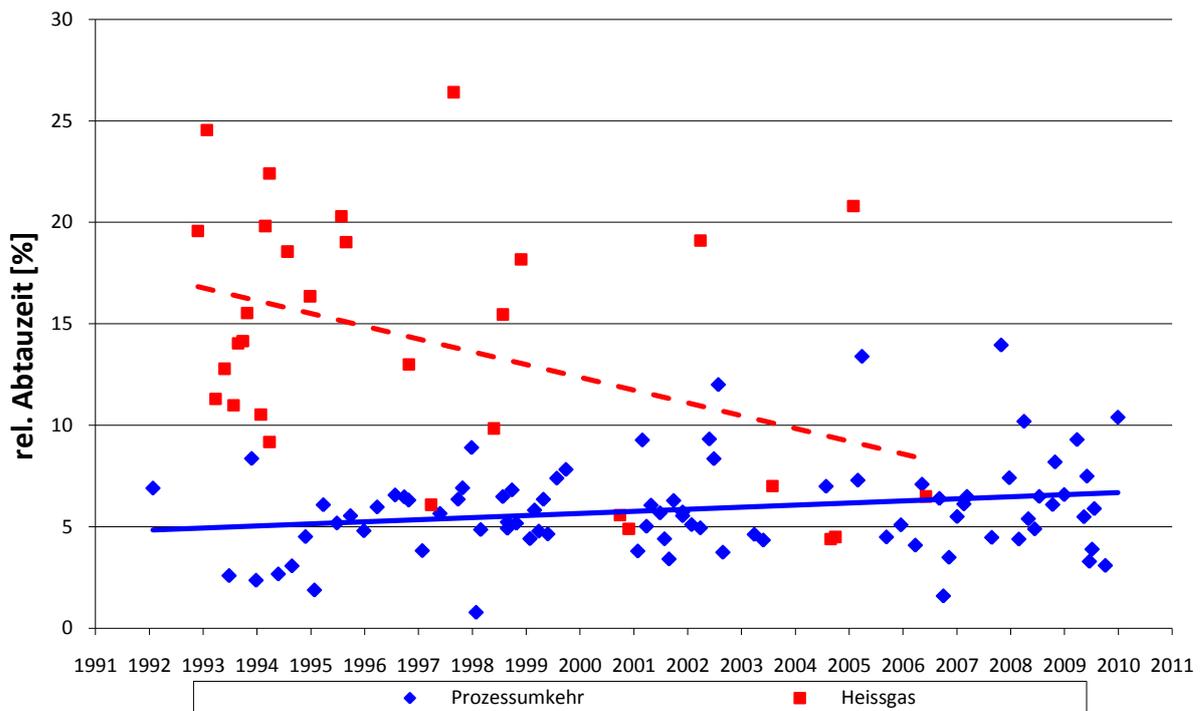


Abb. 3.1.2b: Entwicklung der relativen Abtauzeiten je nach Abtauverfahren

Abb. 3.1.2b zeigt nun die relativen Abtadauern 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 7% und die mittleren relativen Abtauzeiten um über 50% reduziert. Seit dem Jahr 2000 wurden nur noch 12 Wärmepumpen mit Heissgasabtauung geprüft, mit zwei Ausnahmen liegen die relativen Abtadauern 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 80 min auf etwa 90 min im Jahr 2010 erhöht, dafür stieg aber auch die relative Abtauzeit um etwa den gleichen Betrag.

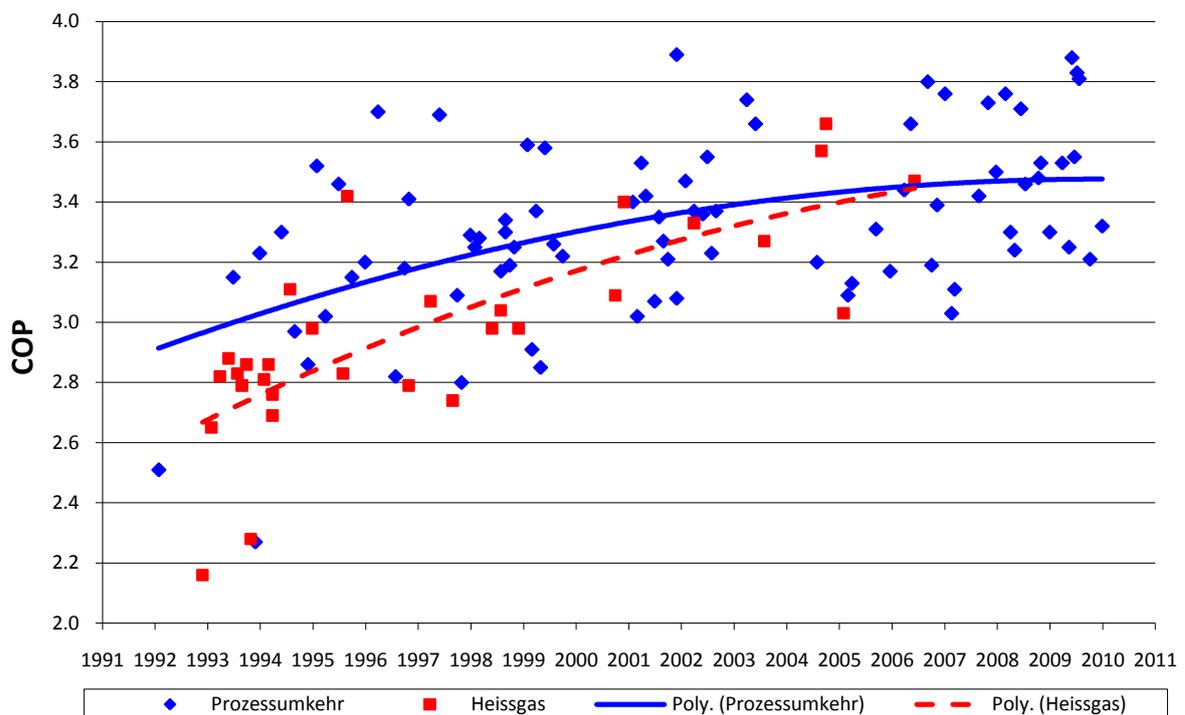


Abb. 3.1.2c: Entwicklung der COPs in Abhängigkeit der Abtauverfahren

In Abb. 3.1.2c ist ersichtlich, dass die Heissgasabtauung gegenüber der Prozessumkehr in den 90er-Jahren energetisch deutlich im Nachteil lag. Die ab dem Jahr 2000 gemessenen Werte können im Mittel mit denen der Prozessumkehr verglichen werden. Zudem wurden in den letzten Jahren vermehrt Wärmepumpen ohne Abtauungen beim Prüfpunkt A2 / W35 nach EN 255 ausgemessen, die in dieser Abbildung nicht ausgewertet 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 (Propan) wurde bis ins Jahr 2000 im Verhältnis häufig verwendet. Seit 1997 wird vor allem das Kältemittel R407C verwendet, wobei die Kältemittel R404A und R410A immer häufiger eingesetzt werden.

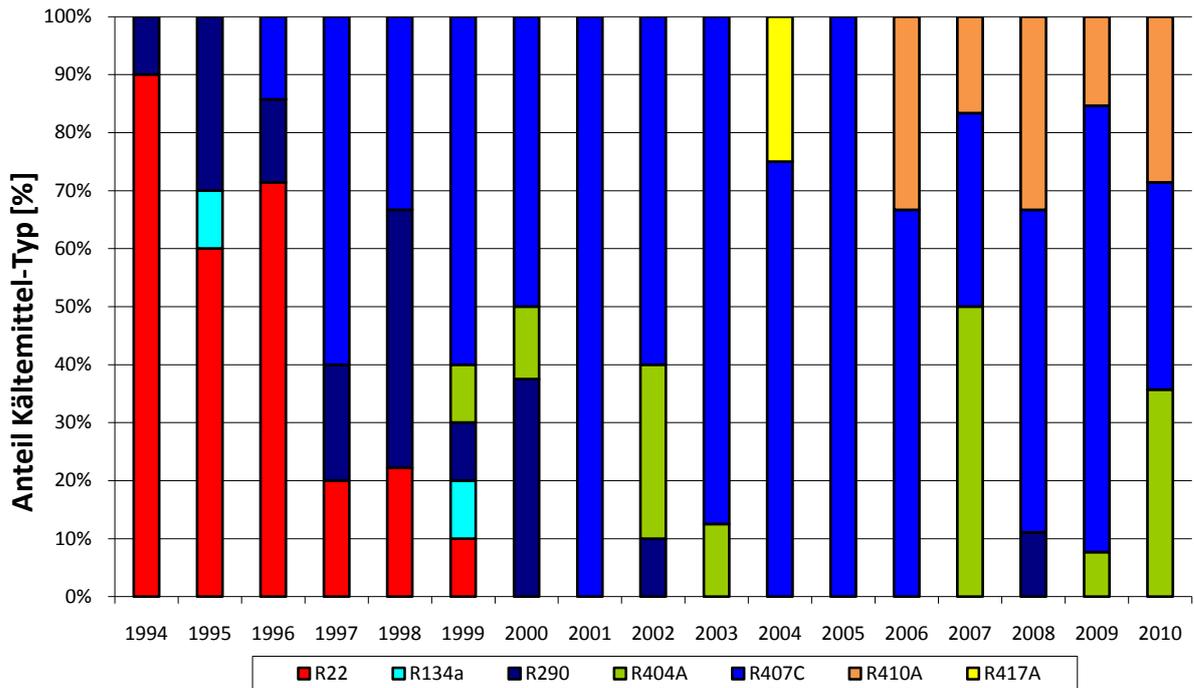


Abb. 3.1.3a: Verwendete Typen von Kältemitteln in Luft-Wasser-Wärmepumpen

In den nachfolgenden Betrachtungen werden nur auf die in den letzten Jahren am häufigsten verwendeten Kältemittel R290, R404A, R407C und R410A eingegangen.

In den Abbildungen 3.1.3b und 3.1.3c wird ersichtlich, dass beim Kältemitteln R290 die absoluten und spezifischen Füllmengen über die Zeit etwa konstant geblieben sind und eine geringe Streuung aufweisen. Ebenfalls eine geringe Streuung weisen die Anlagen mit R404A auf, wobei hier die absoluten und spezifischen Füllmengen im gleichen Zeitraum etwas angestiegen sind.

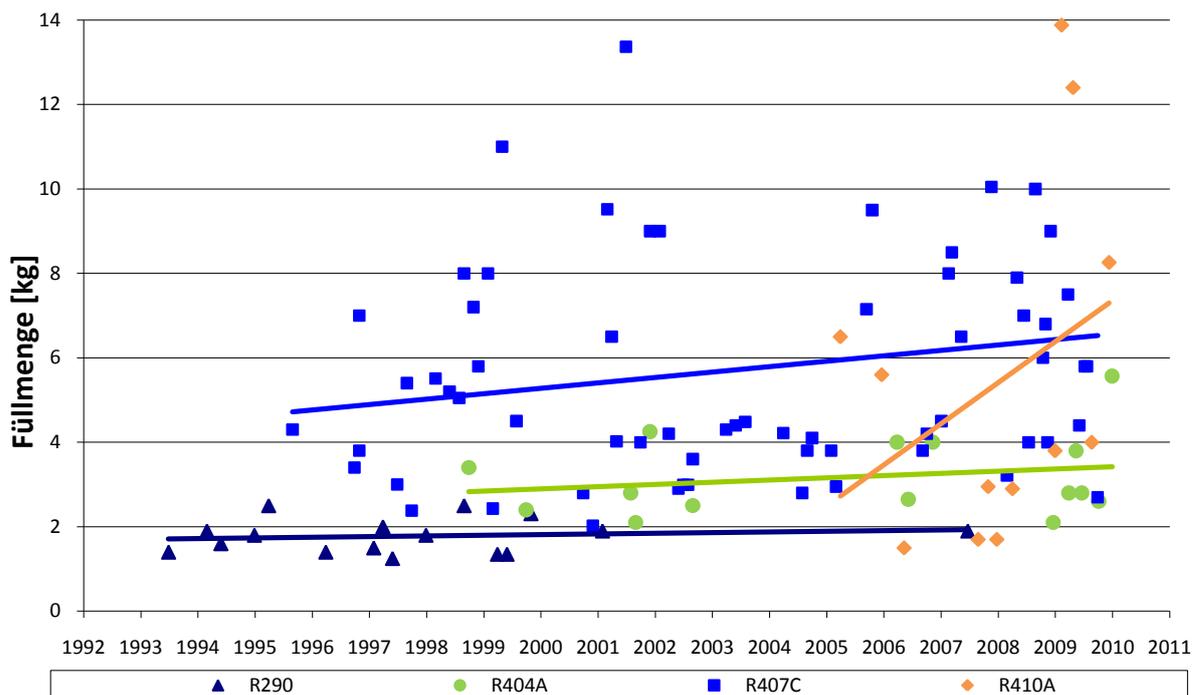


Abb. 3.1.3b: Entwicklung der absoluten Kältemittel-Füllmengen

Wie beim R404A ist auch bei den Anlagen mit R407C die absoluten und spezifischen Füllmengen nur leicht angestiegen. Beim Kältemittel R410A wurde zwischen 2005 und 2009 eine Reduktion der beiden Grössen festgestellt. Dieser Trend konnte im Jahr 2010 nicht bestätigt werden. Die Streuung bei R407C und R410A sind im Verhältnis zu den anderen beiden Kältemitteln gross, dies ist vor allem durch die vermehrte Anzahl Prüfungen an Splittanlagen mit den Kältemitteln R407C und R410A zurückzuführen.

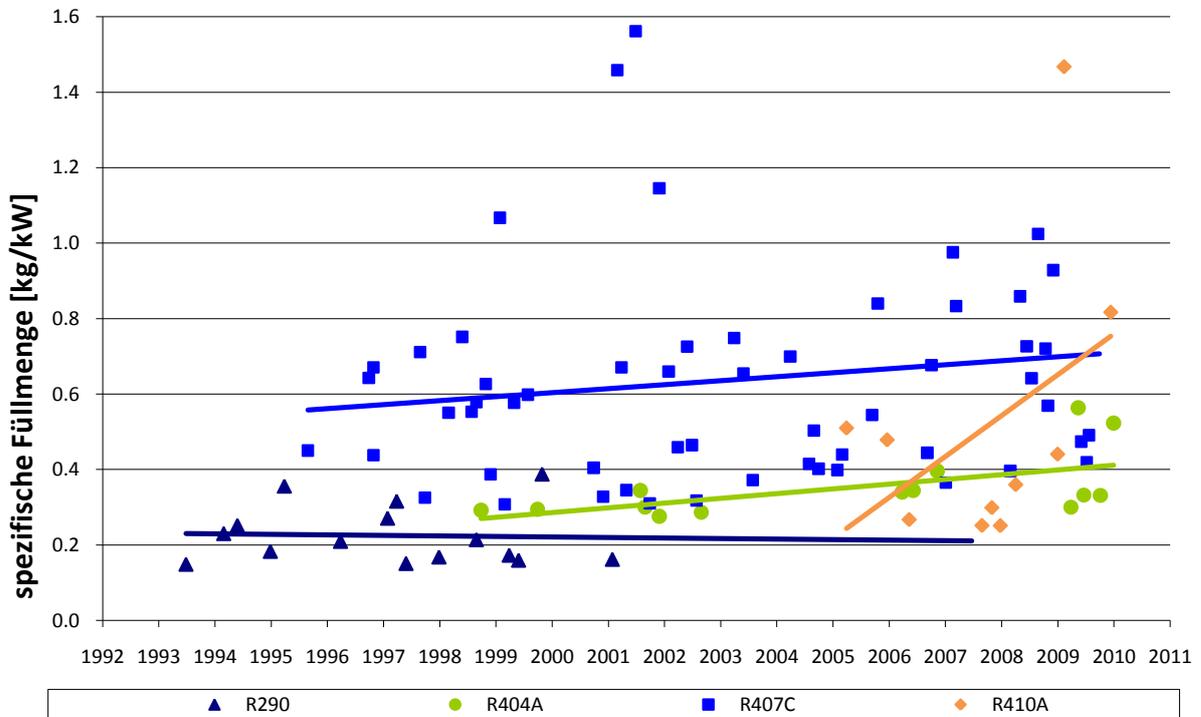


Abb. 3.1.3c: Entwicklung der spezifischen Kältemittel-Füllmengen

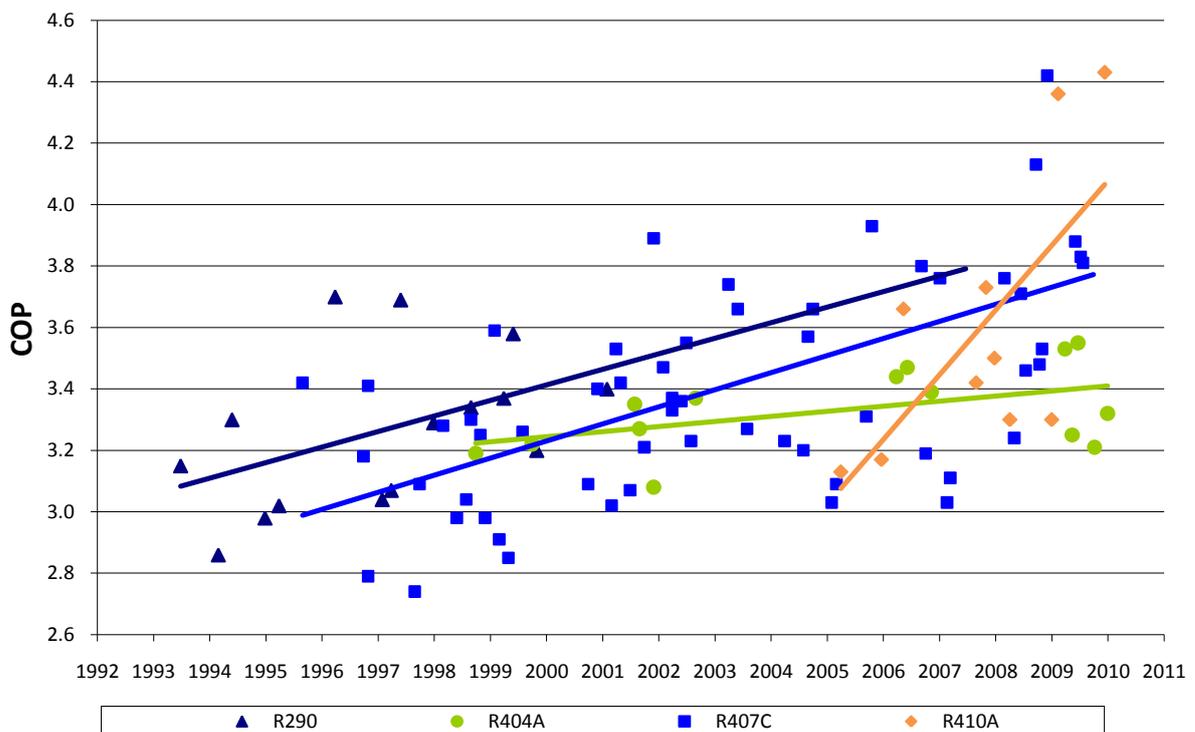


Abb. 3.1.3d: Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Kältemittel-Typen

Die Entwicklung der COPs in Abhängigkeit der Zeit und des Kältemitteltyps zeigt für alle Kältemitteltypen eine steigende Tendenz. In den Jahren zwischen 1993 und 2008 wurden im Schnitt mit dem Kältemittel R290 die effizientesten Anlagen erzielt. Die COPs dieser Wärmepumpen lagen im Schnitt etwa um 5% höher als jene, die mit R407C betrieben wurden. Die Wärmepumpen mit R410A durften in den letzten Jahren die grösste Effizienzsteigerung erfahren. Von anfänglich eher niedrigen COP-Werten, liegen sie heute überdurchschnittlich hoch. Demgegenüber konnten mit R404A befüllten Anlagen nur geringfügig weiterentwickeln. In den

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.

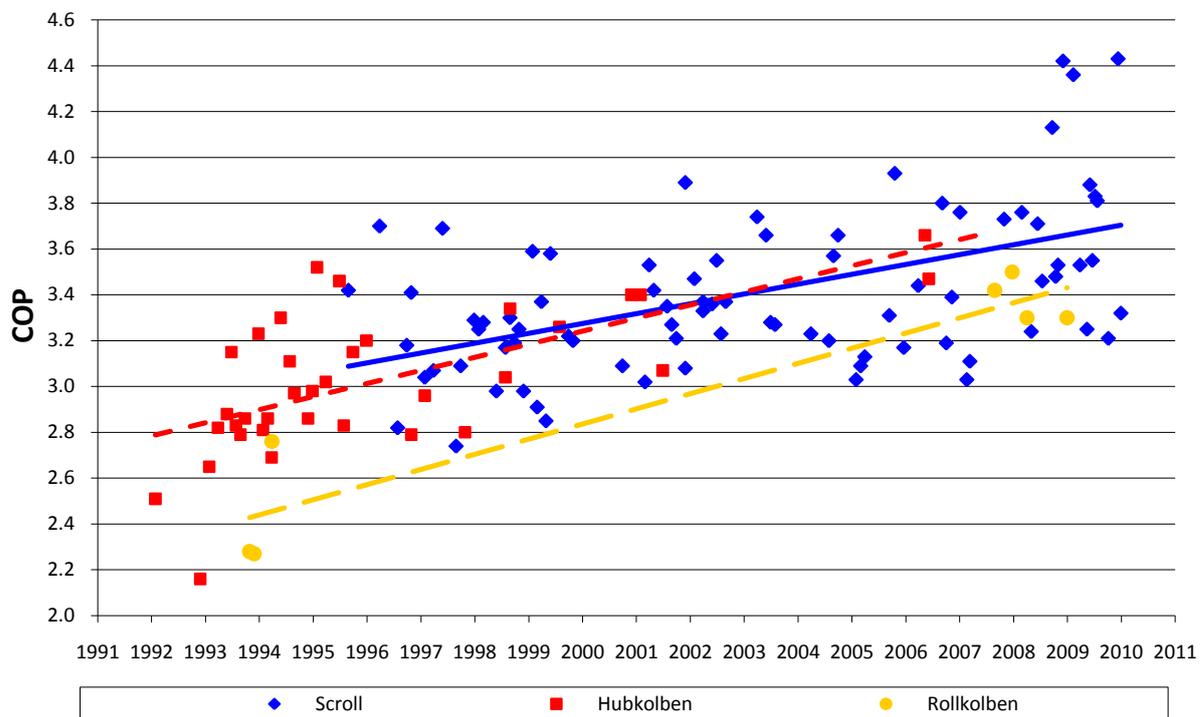


Abb. 3.1.4a: COP in Abhängigkeit des Kompressortyps

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) wieder etwas angestiegen, für eine aussagekräftige Auswertung ist die Datenmenge noch zu klein.

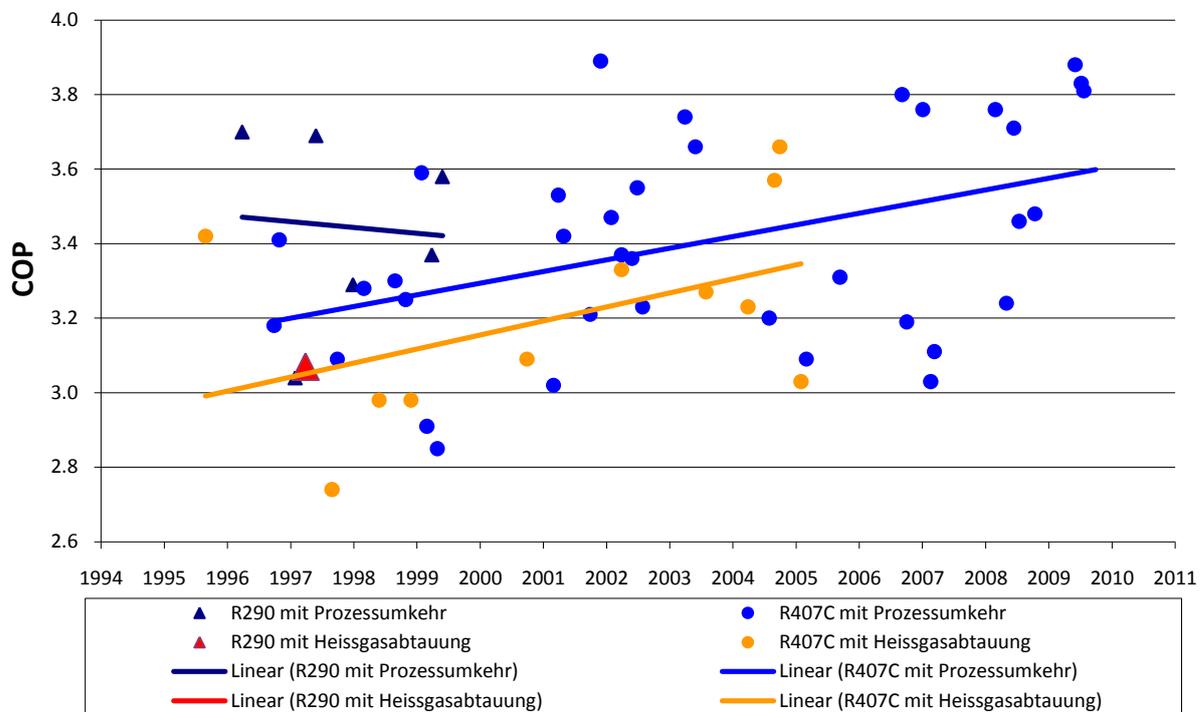


Abb. 3.1.4b: COP bei Wärmepumpen mit Scroll-Verdichtern in Abhängigkeit des Kältemittels und des Abtauverfahrens

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.

Anlagen, bei denen beim Prüfpunkt A2 / W35-25 keine Abtauung auftreten, wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

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), im 2009 bei 62 dB(A) und im Berichtsjahr bei 63.7 dB(A). Diese grosse Abweichungen zwischen diesen Jahren kommen daher, dass in den Jahren 2007 und 2009 viele Splitanlagen mit aussenliegendem Verdampfer 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 Wärme-

pumpen und Klimageräten werden die Emissionen des Kompressors bei der Aussenmessung mit gemessen.

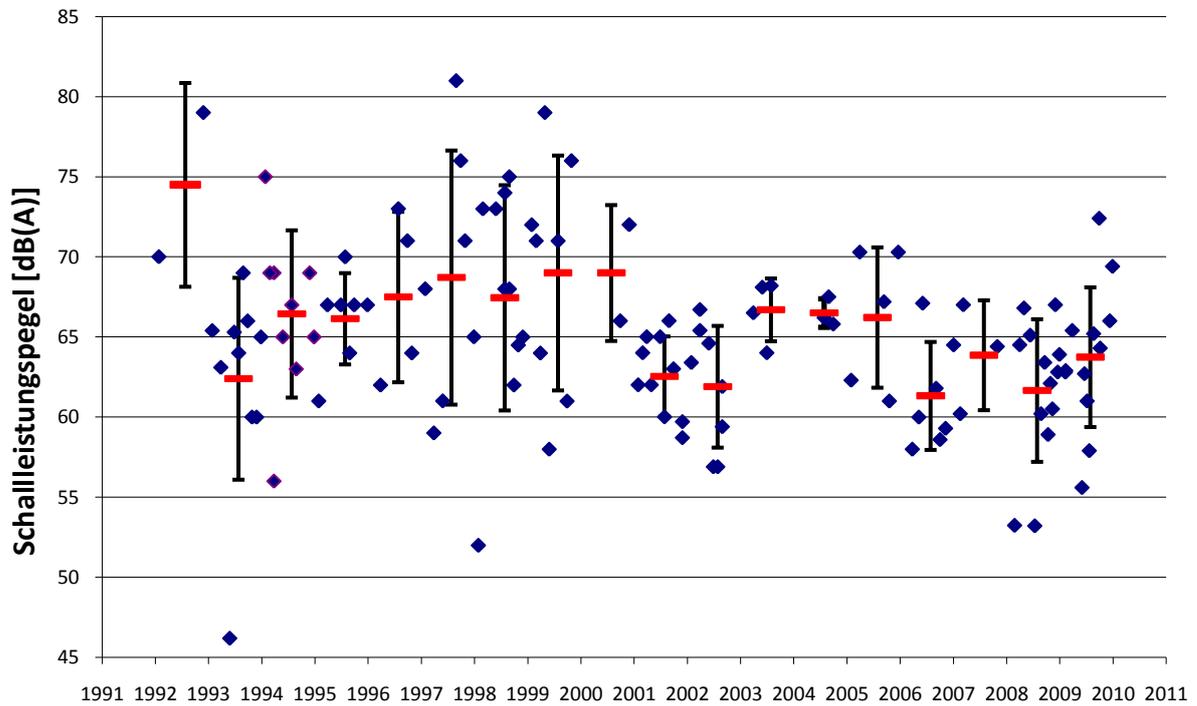


Abb. 3.1.5a: Schalleistungspegel bei Luft-Wasser-Wärmepumpen

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.

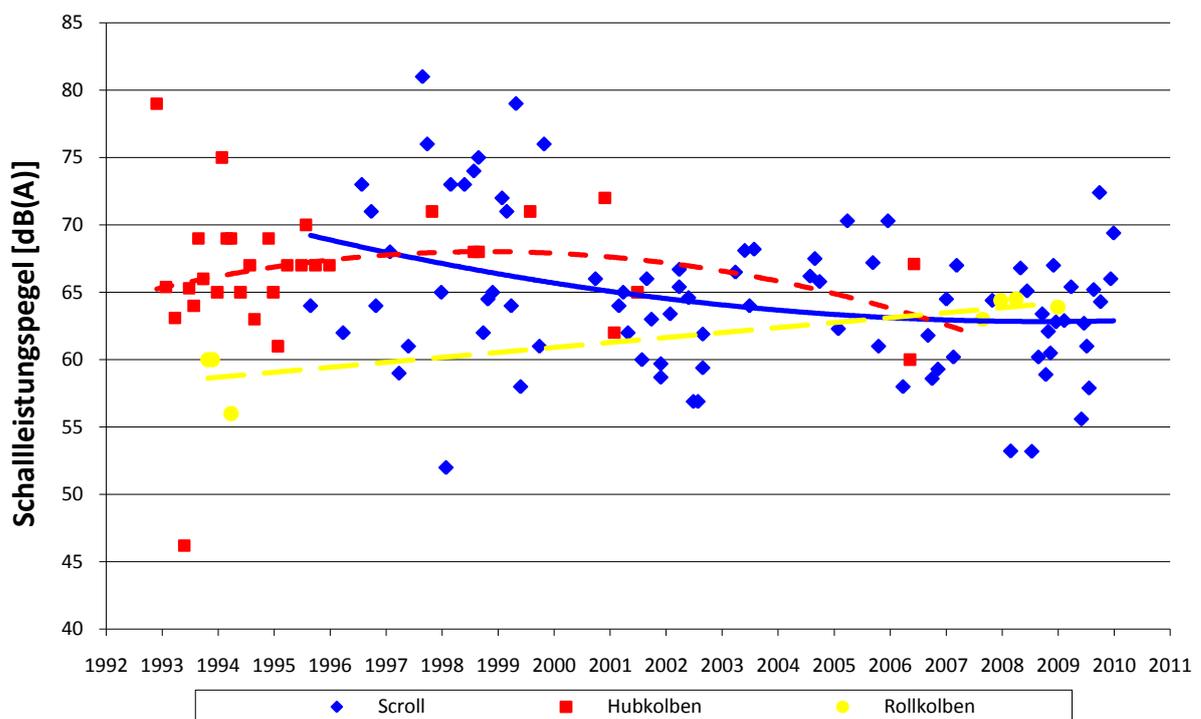


Abb. 3.1.5b: Schalleistungspegel bei Wärmepumpen mit verschiedenen Kompressortypen

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 konnten im Jahr 2010 drei Philosophien erkannt werden. Die einen entwickeln ihre Wärmepumpe auf Kostenoptimierung, andere wiederum auf durchschnittliche solide Geräte und die dritten 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 als fast gleichwertig angesehen werden können. Im Berichtsjahr wurden trotzdem nur Wärmepumpen mit Prozessumkehr geprüft.

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 und R410A erreicht und zum Teil übertroffen. Die Bestanlagen heutzutage werden überwiegend mit R410A 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 und Zuverlässigkeitsmängeln 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.

Beim Schalleistungspegel ist auffallend, dass es einzelnen Wärmepumpenherstellern gelingt, sehr leise Produkte auf den Markt zu stellen. Heutzutage gehören die Splitwärmepumpen mit aussenliegendem Verdampfer zu den leisesten Varianten. Aussenaufgestellte Wärmepumpen und Klimageräte sind im Mittel die lauterer Geräte.

3.2 Sole-Wasser-Wärmepumpen

3.2.1 Leistungszahlverlauf Sole-Wasser-Wärmepumpen 1993 bis 2008

Der Trend in den Abb. 3.2.1a und Abb. 3.2.1b 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 4.28 und 4.54.

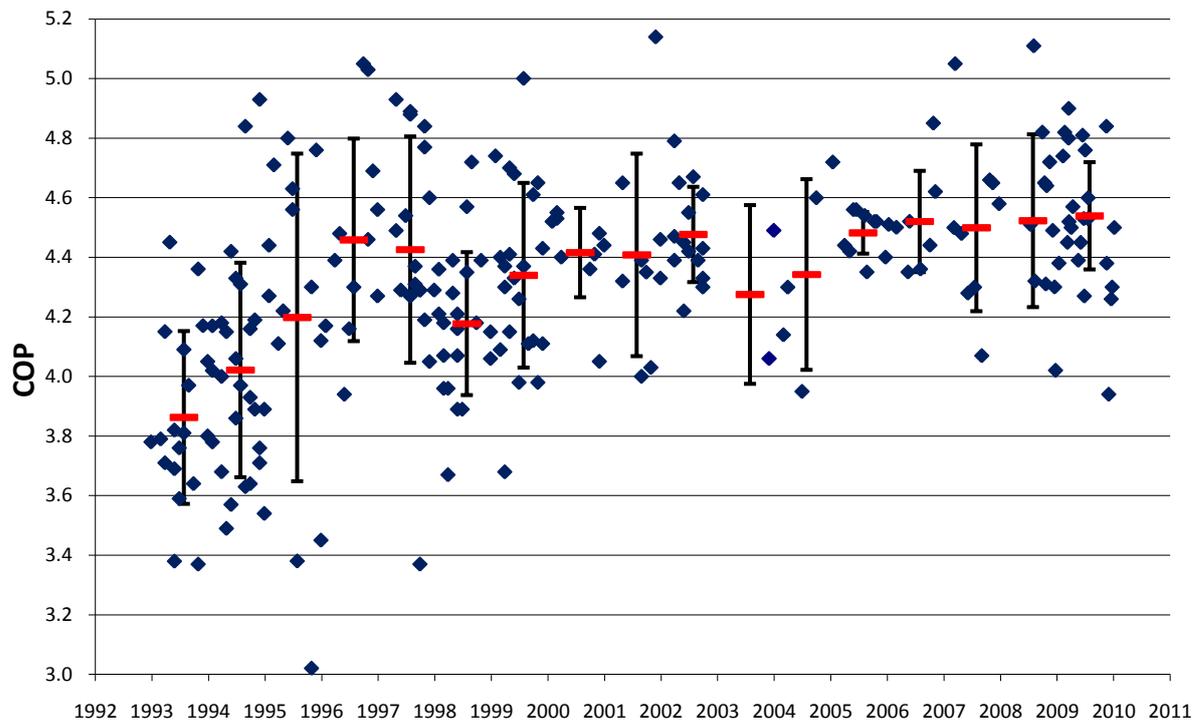


Abb. 3.2.1a: COP-Verlauf der getesteten Sole-Wasser-WP seit 1993

Zudem ist in Abb. 3.2.1a 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 3.94 und 4.90.

In der nachfolgenden Abbildung ist zusätzlich die mittlere jährliche COP-Entwicklung nach der aktuellen Norm EN 14511 ersichtlich. Dadurch wird es nochmals verdeutlicht, dass sich die Effizienz dieser Wärmepumpentechnologie in den Jahren von 2005 bis 2011 nur um gerade 7.4 % gesteigert hat. Durch die Anhebung des Grenzwertes ab 2011 von 4.00 auf 4.30 werden in Zukunft über die Hälfte aller geprüften Sole-Wasser-Wärmepumpen diesen Wert nicht mehr erreichen, ausser die Hersteller investieren in neue effizientere Wärmepumpen. In Kapitel 4 wird noch näher auf diese Thematik eingegangen.

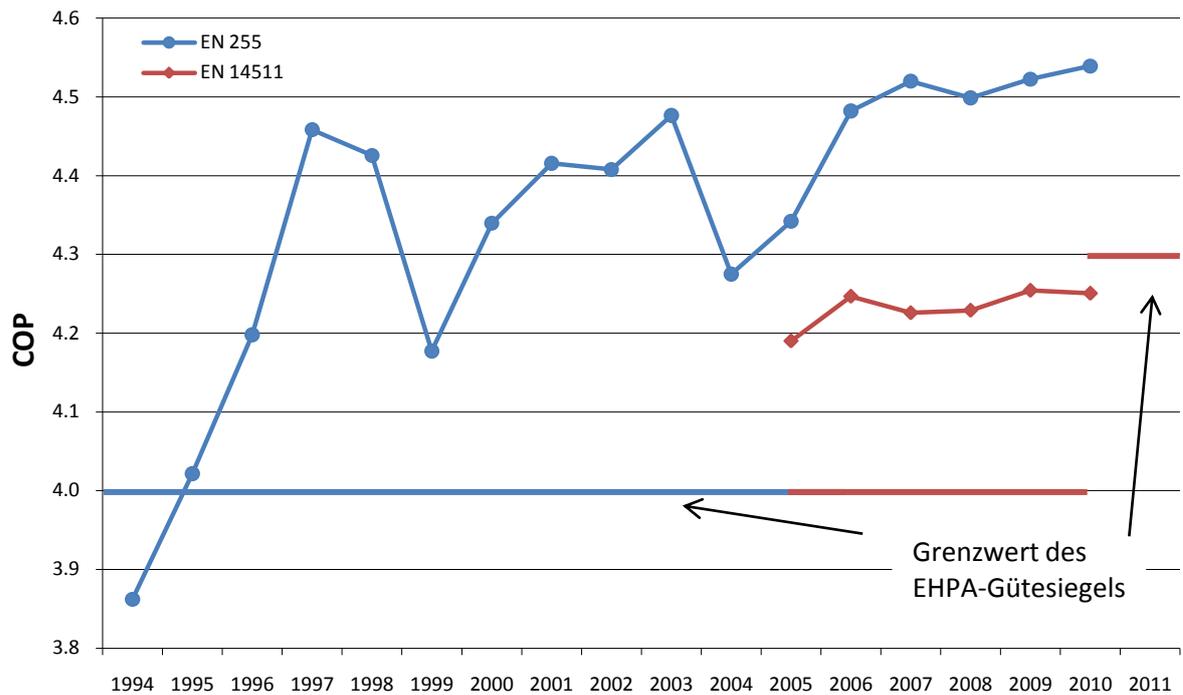


Abb. 3.2.1b: jährlicher mittlerer COP-Verlauf der beiden Prüfnormen mit den Grenzwerten

3.2.2 Verwendung von Kältemitteln in Sole-Wasser-Wärmepumpen

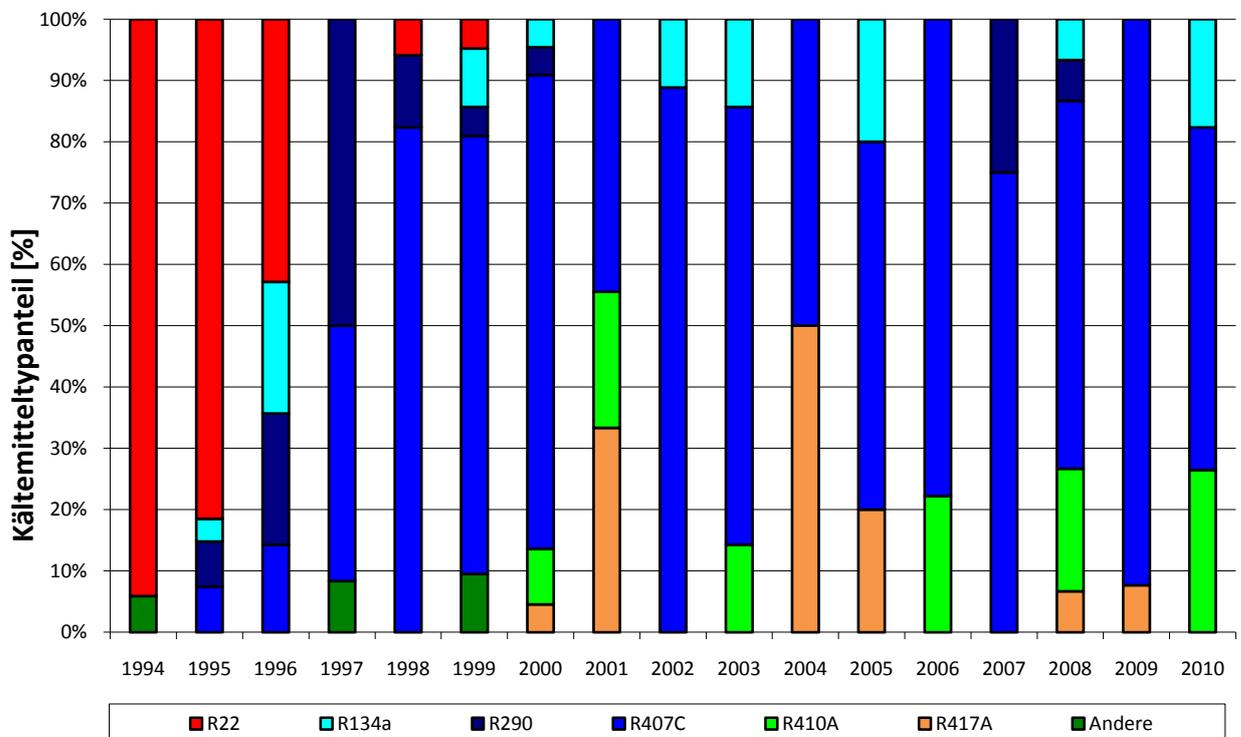


Abb. 3.2.2a: Verwendete Typen von Kältemitteln in Sole-Wasser-Wärmepumpen

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 auch Wärmepumpen mit den Kältemitteln R134a, R410A und R417A geprüft.

In den nachfolgenden Betrachtungen werden nur auf die in den letzten Jahren am häufigsten verwendeten Kältemittel R134a, R290, R407C, R410A und R417A eingegangen.

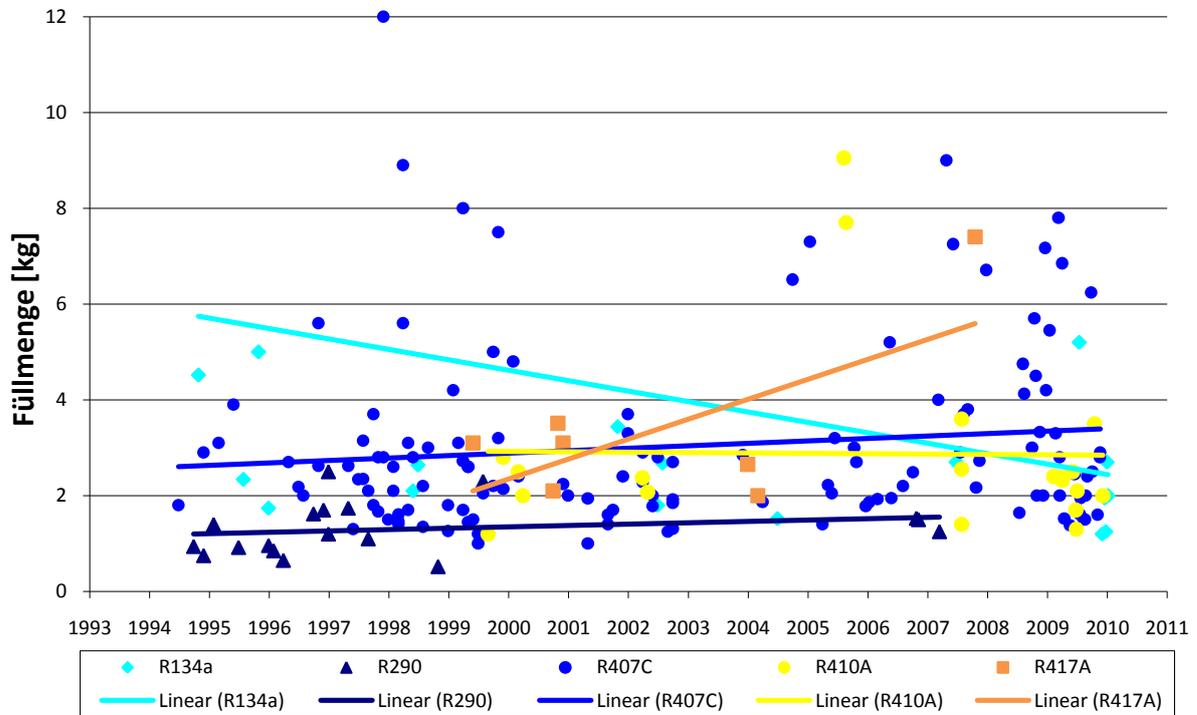


Abb. 3.2.2b: Entwicklung der absoluten Kältemittel-Füllmengen

In der Abbildung 3.2.2b wird ersichtlich, dass die absolute Füllmenge des eingesetzten Kältemittels mit der Zeit tendenziell erhöht wurde, wobei hier R134a die Ausnahme mit einer Reduktion bildet. Die spezifische Füllmenge hingegen, konnte in Abhängigkeit der Zeit minimiert (siehe Abb. 3.2.2c) werden. Im Schnitt liegen die spezifischen Füllmengen im Jahr 2010 aller fünf ausgewerteten Kältemittel zwischen 0.15 und 0.25. Augenfällig ist, dass die spezifische Füllmenge als auch der COP (siehe Abb. 3.2.2d) bei den Kältemitteln R407C und R410A praktisch identisch sind. Diese Erkenntnis kann nur bei der Sole-Wasser-Wärmepumpe gewonnen werden.

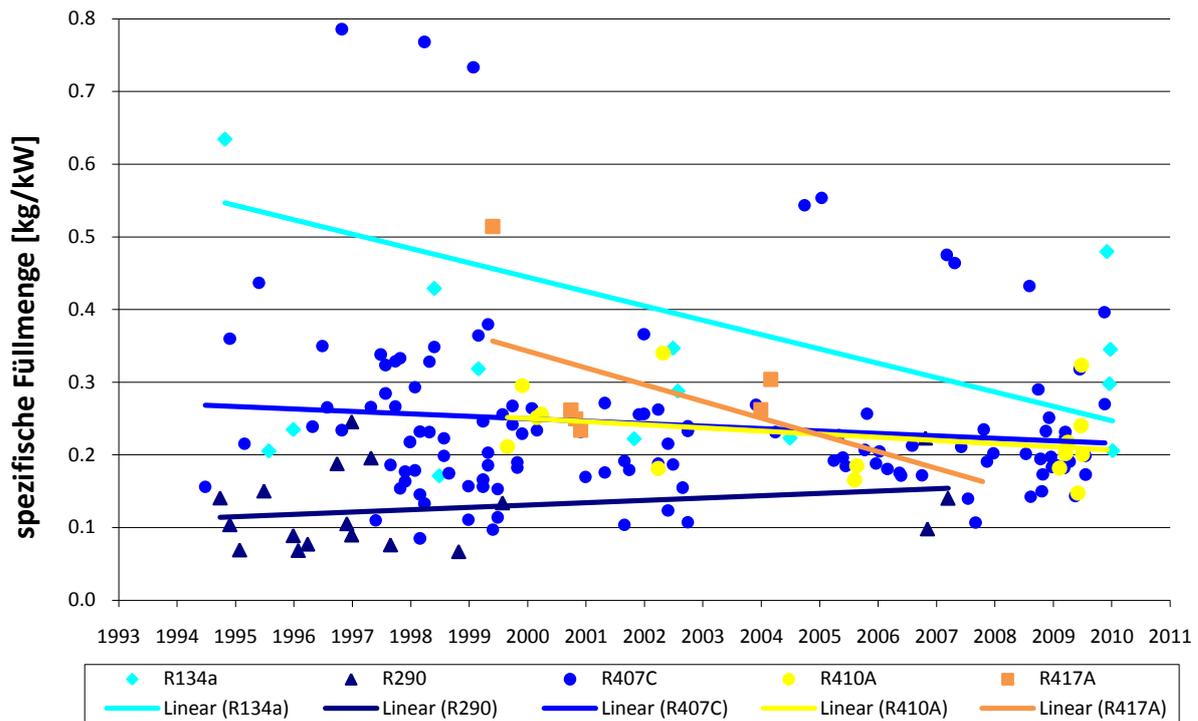


Abb. 3.2.2c: Entwicklung der spezifischen Kältemittel-Füllmengen

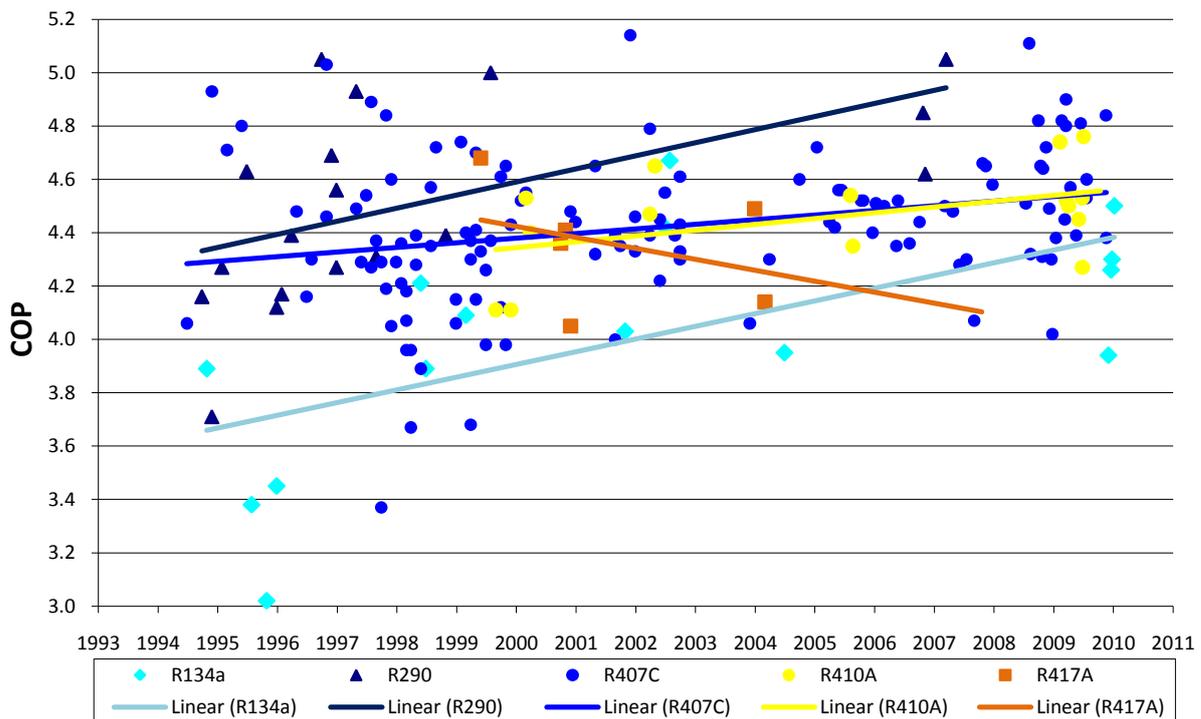


Abb. 3.2.2d: Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Kältemittel-Typen

Die Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Zeit zeigt für die Kältemittel R134a und R290 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 sieben mit Hubkolben-Kompressoren ausgerüstete Wärmepumpen gemessen.

Zurzeit wurden erst zwei Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Rollkolbenverdichtern am WPZ gemessen, daher werden diese für die Auswertung noch nicht berücksichtigt.

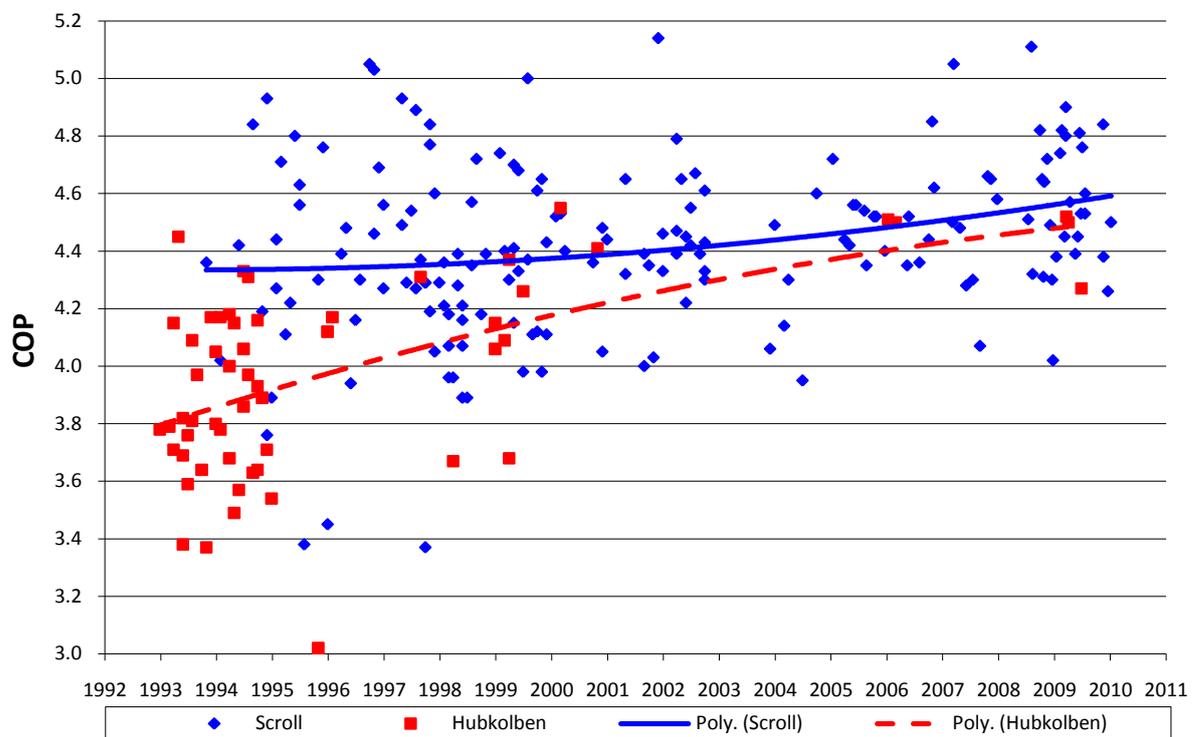
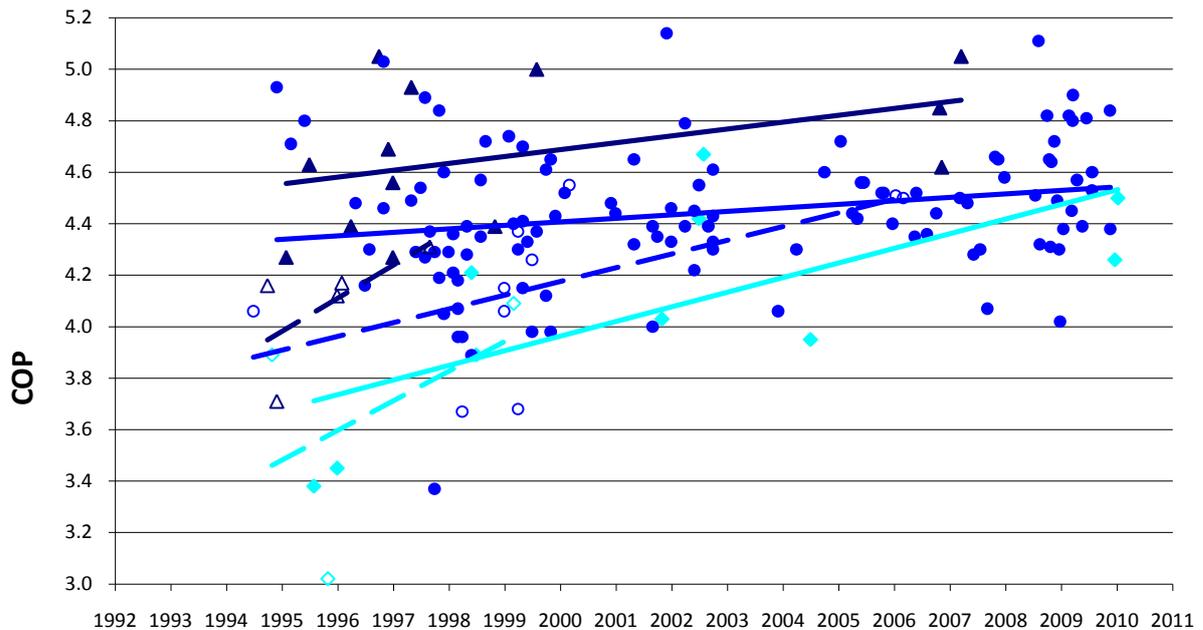


Abb. 3.2.3a: COP in Abhängigkeit des Kompressortyps

In Abb. 3.2.3a wird ersichtlich, 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 in Abhängigkeit der Zeit keine signifikante Verbesserung des COP erzielt. Erfreulicherweise werden immer weniger Wärmepumpen mit einer Leistungszahl um die 4.0 am WPZ gemessen.



Scroll

Hubkolben

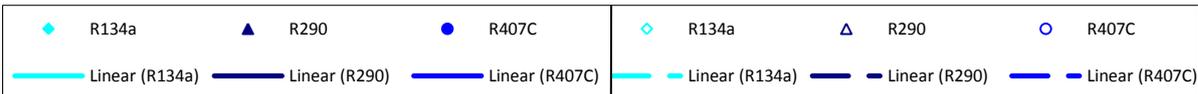


Abb. 3.2.3b: COP bei Wärmepumpen in Abhängigkeit des Kältemittels und des Kompressor-Typs

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

Auch hier werden zurzeit die besten COP-Werte 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 Kältemittel R134a und R407C konnte anfänglich in den 90er-Jahren durch den Einsatz von Scroll-Verdichtern eine Effizienzsteigerung erzielt werden. Diesen Effizienzvorteil bieten die Scroll- gegenüber den Hubkolbenkompressoren heute nicht mehr. Bei Wärmepumpen mit R407C und Scroll-Verdichtern sind die COP-Werte im zeitlichen Verlauf ziemlich konstant geblieben, bei den anderen Kältemitteln ist der Trend jedoch steigend.

3.2.4 Schalleistungspegel bei Sole-Wasser-Wärmepumpen

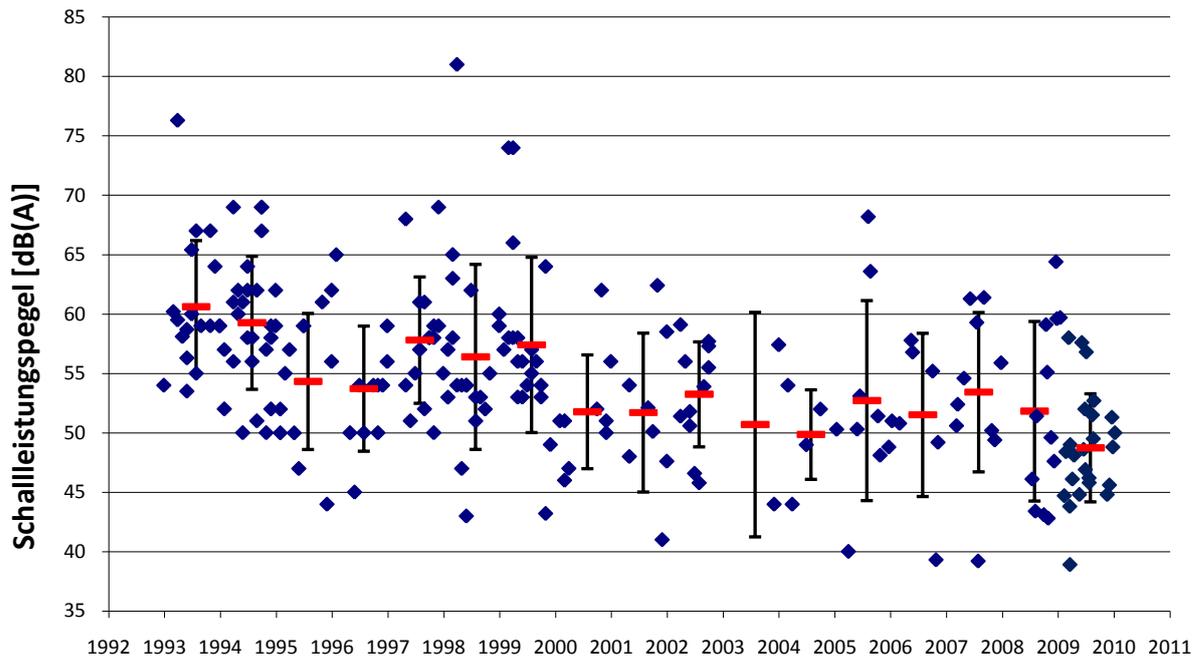


Abb. 3.2.4a: Schalleistungspegel bei Sole-Wasser-Wärmepumpen

Abb. 3.2.4a zeigt, dass in den letzten 10 Jahren keine signifikante Reduktion des Schalleistungspegels erzielt werden konnte, wobei ein kleiner Trend zu leiseren Geräten ersichtlich wird. Zwischen den Jahren 2000 und 2001 konnte ein letzter grosser Reduktionssprung von beinahe 6 dB(A) erreicht werden. Dass vor allem mit der Einführung des Scroll-Kompressors diese Reduktion erreicht wurde, wird in Abb. 3.2.4b ersichtlich. Zwischen 2001 und 2005 wurden keine Schallmessungen an Wärmepumpen mit Hubkolben-Kompressoren durchgeführt. Die aktuellen Hubkolben-Verdichter liegen bei der Schallemission tendenziell sogar unter den Werten mit den Scroll-Verdichtern.

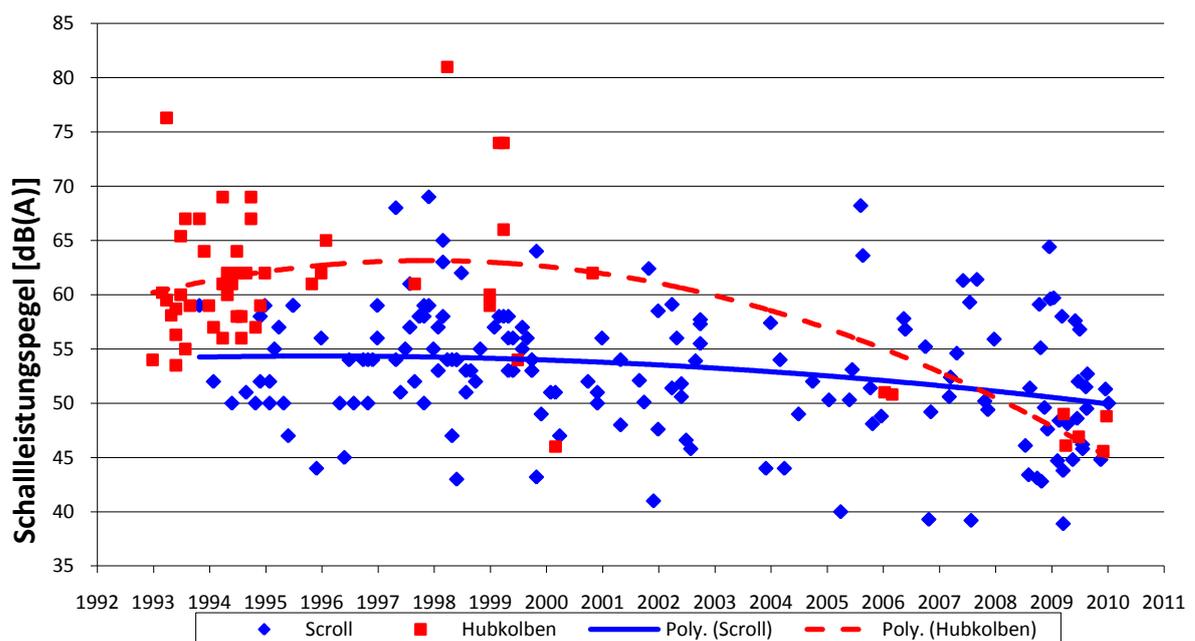


Abb. 3.2.4b: Schalleistungspegel nach Kompressorbauart

3.2.5 Schlussfolgerungen Sole-Wasser-Wärmepumpen

Die jährlichen mittleren Leistungszahlen haben sich bei der Sole-Wasser-Wärmepumpe seit 2000 nur marginal verbessert. Dabei wäre auch bei dieser Technologie eine kontinuierliche Steigerung der Effizienz zu erwarten. Gegenüber der Luft-Wasser-Wärmepumpe fallen hier keine drei Firmenphilosophien (kostenoptimiert, durchschnittlich oder höchste Effizienz) auf. In den letzten Jahren hat sich gezeigt, dass vor allem kostenoptimierte Produkte entwickelt werden. Da ab 2011 der Grenzwert für das EHPA-Gütesiegel auf 4.30 (siehe Kapitel 4) angehoben wird, könnte eventuell wieder einen Trend zu höherer Effizienz ersichtlich werden.

Offensichtlich ist, dass die genannten Steigerungen (1994 bis 1997) bei den COP-Werten hauptsächlich auf die Einführung der Scroll-Kompressoren zurückzuführen sind. Der leichte Effizienzrückgang in den folgenden zwei Jahren geschah durch die Umstellung von R22 zu alternativen Kältemitteln (wie z.B. R407C). Das zweite Effizienztal in den Jahren 2004 und 2005 ist auf die geringe Prüfanzahl von sieben Stück zurückzuführen.

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 werden können.

In den 90er-Jahren wurde hauptsächlich das Kältemittel R22 eingesetzt. Durch dessen Verbot ab dem Jahr 2000 wurde es vor allem durch die Kältemittel R134a, R290, R407C, R410A und R417A ersetzt, wobei heute vor allem R407C eingesetzt wird. Trotz bester energetischer Effizienz konnten sich die Propan-Anlagen (R290) im Markt wiederum nicht durchsetzen.

Die relativen Kältemittel-Füllmengen konnten bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen im Laufe der Zeit reduziert werden. Auffallend sind hier wiederum die grossen Streuungen vor allem beim meist eingesetzten Kältemittel R407C. 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 durch die Umstellung von Hubkolben- zu Scrollkompressoren in den 90er-Jahren erreicht werden. Die aktuellen Hubkolbenkompressoren sind dagegen eher leiser als die zeitgemässen Scrollkompressoren. Vor allem die hohen grellen Frequenzen sind beim Hubkolbenkompressor weniger stark ausgeprägt, aber auch vibrationstechnisch liegen sie gegenüber dem Scrollkompressor heutzutage im Vorteil. Im Berichtsjahr wurden überdurchschnittlich viele Wärmepumpen mit einem Schalleistungspegel unter 50 dB(A) gemessen, was in der Heiztechnik Spitzenwerte sind.

4 EHPA Quality Label

Der Hersteller kann auf der Basis der am WPZ Buchs durchgeführten Wärmepumpen-Prüfungen das nationale aber auch internationale Gütesiegel (EHPA Quality Label) beantragen. Dabei müssen ab 2011 folgenden COP-Grenzwerte eingehalten werden:

LW-WP bei A2 / W35-30 :	3.10
SW-WP bei B0 / W35-30:	4.30
WW-WP bei A10 / W35-30:	5.10

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, ausser Abb. 3.1.1b und Abb. 3.2.1b, beziehen sich auf diese alte Prüfnorm und sind somit nur beding relevant, um eine Beurteilung hinsichtlich des Gütesiegels vorzunehmen. Im Schnitt fallen die COP-Werte mit einer senkenseitigen Temperaturspreizung von 5 K bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe um 7.1% und bei der Sole-Wasser-Wärmepumpe um 6.5%.

4.1 Luft-Wasser-Wärmepumpen

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

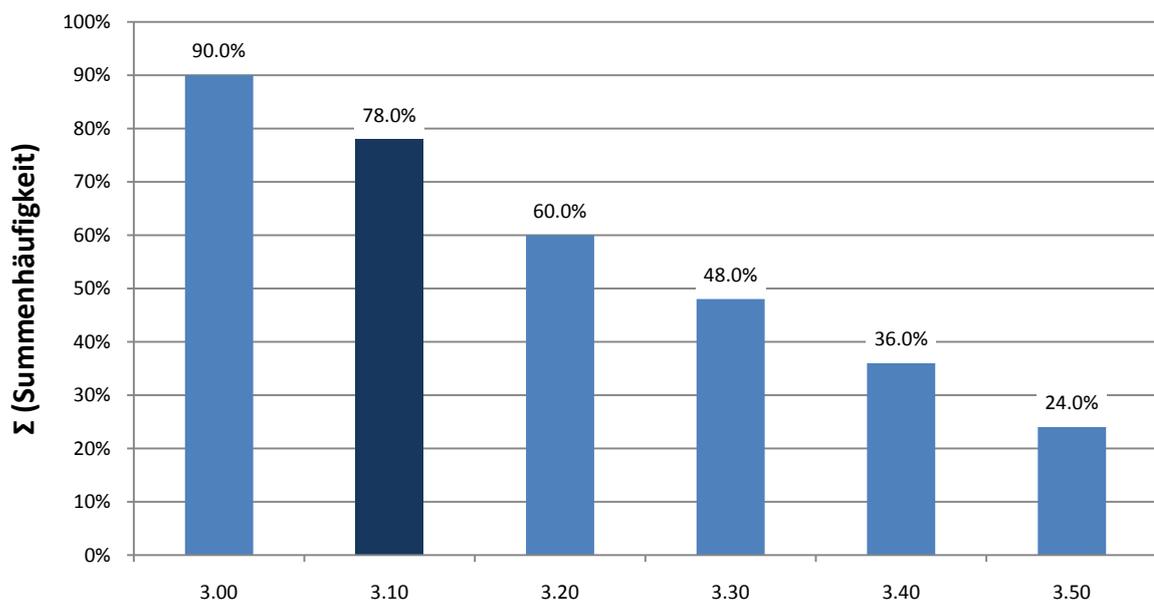


Abb. 4.1: Summenhäufigkeitsverteilung COP-Werte Luft-Wasser-Wärmepumpe seit 2005

Dieser Abbildung ist zu entnehmen, dass 78% der seit 2005 gemessenen LW-WPs den minimalen COP-Wert von 3.10 (Gültig ab 2011) erreichen würden. Zurzeit erreichen 90% der geprüften Wärmepumpen die Mindest-Anforderung von 3.00 (Gültig bis Ende 2010). Zusätzlich ist ersichtlich, dass fast die Hälfte aller Wärmepumpen-Prüfungen einen COP von mindestens 3.30 erreicht.

4.2 Sole-Wasser-Wärmepumpen

In der folgenden Abb. 4.2 wird die Summenhäufigkeits-Verteilung, der seit 2005 gemessenen COP-Werte, bei der für das Gütesiegel relevanten Prüfbedingung B0/W35-30 für Sole-Wasser-Wärmepumpen gezeigt:

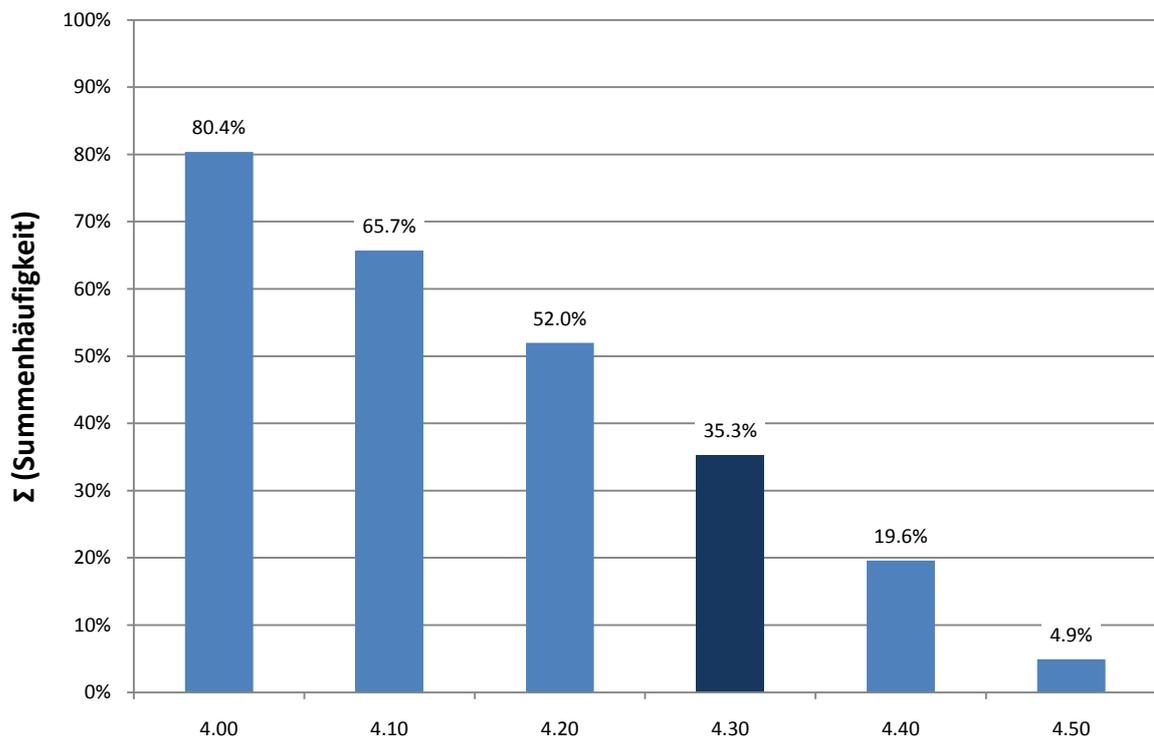


Abb. 4.2: Summenhäufigkeitsverteilung COP-Werte Sole-Wasser-Wärmepumpe seit 2005

Im Gegensatz zur Luft-Wasser-Wärmepumpe fällt hier die Anhebung der minimalen COP-Anforderung stark ins Gewicht. Zurzeit erfüllen mehr als 80% aller geprüften Wärmepumpen den geforderten Wert von 4.00. Den ab 2011 gültigen Grenzwert von 4.30 würden zurzeit nur rund einen Drittel aller geprüften Wärmepumpen bestehen, was schon die Abb 3.2.1b angedeutet hat. Damit auch in Zukunft viele Sole-Wasser-Wärmepumpen das Gütesiegel erlangen können, müssen die Hersteller neue effizientere Wärmepumpen entwickeln.

5 Referenzen

- [1] *EN 14511:2007 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