



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

STATISTISCHE AUSWERTUNG UND ANALYSEN VON KLEIN-WÄRMEPUMPEN

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: 18.04.2012

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Bereich Umgebungswärme, 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

Fachspezialistin Erneuerbare Energien : Rita Kobler Rita.Kobler@bfe.admin.ch

Projektnummer: 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 Auswertungen von Normprüfungen.....	8
2.1 Luft-Wasser-Wärmepumpen.....	8
2.2 Sole-Wasser-Wärmepumpen	18
3 Referenzen.....	27

Zusammenfassung

Die Effizienz der Luft-Wasser-Wärmepumpe konnte sich gegenüber dem Vorjahr nicht erhöht werden. Der durchschnittliche COP beim Normpunkt A2 / W35 (nach EN 14511) liegt seit 2009 über 3.40. Der geforderte Mindest-COP für das Gütesiegel wurde von 3.00 auf 3.10 erhöht. Durch diese im Verhältnis zur Sole-Wasser-Wärmepumpe kleine Anhebung konnte keine signifikante Erhöhung der Effizienz an diesem Normpunkt festgestellt werden.

Bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen hingegen konnte eine signifikante durchschnittliche Erhöhung der Effizienz von etwa 5% gemessen werden. In den Jahren 2005 bis 2010 lag der durchschnittliche COP beim Normpunkt B0 / W35 (nach EN 14511) bei etwa 4.2. Im Betriebsjahr wurde ein durchschnittlicher COP bei diesem Prüfpunkt von über 4.4 gemessen. Dies wurde vor allem durch die Anhebung der Anforderung des Gütesiegelwertes von 4.00 auf 4.30 erreicht.

Abstract

In 2010, the energetic efficiency of air to water heat pumps could not increase compared to previous year. The average COP at the nominal point A2 / W35 (according to the EN 14511) is above 3.40 since 2009. The required minimum COP to obtain an EHPA quality label has been increased from 3.00 to 3.10. It could not determine a significant increase of efficiency at this nominal point because the increase of the minimum COP was small in compare to the brine to water heat pump.

The brine to water heat pumps could determine an increase of about 5% of the average COP in compare to 2010. In 2005 to 2010 the average COP at the nominal point B0 / W35 (according to EN 14511) was about 4.2. In year under report was measured an average COP of above 4.4 at this nominal point. This could be achieved as a result of increase of the minimum COP to obtain an EHPA quality label.

1 Projektziele

Durch die Auswertung der gewonnenen Messresultate wird der Entwicklungsstand der Wärmepumpen-Technik über die letzten 20 Jahre (seit 1993) abgebildet.

Das Projekt beinhaltet die folgenden Zielsetzungen:

- A) **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.
- B) **Statistische Grundlagen zur Erkennung von Entwicklungstrends** im Energie- und Umweltsektor. Durch diese Daten können z.B. seitens des Gesetzgebers entsprechende Massnahmen ergriffen werden.

2 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 162 Datensätze zur Auswertung zur Verfügung, bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen sind es 288.

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 2011 entwickelt haben. Ebenso soll versucht werden, für bestimmte Entwicklungstrends die Ursachen zu eruieren.

2.1 Luft-Wasser-Wärmepumpen

2.1.1 Leistungszahlverlauf Luft-Wasser-Wärmepumpen 1993 bis 2011

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 3.82 verbessert. Die ab dem Jahr 2005 gemessenen Werte streuen zwischen 3.03 und 4.83. 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 3.50 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 7.2 % voneinander ab.

In den letzten drei Jahren hat sich der COP-Wert bei A2 / W35 nicht mehr sonderlich verändert. Der letzte grössere Effizienzsprung wurde im Jahre 2009 notiert. Dies ist vor allem auf die hohe Anzahl von Wärmepumpen, die in den letzten drei Jahren einen 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 durchschnittlichen Sole-Wasser-Wärmepumpe.

Obwohl die Mindestanforderung des COP von 3.00 auf 3.10 angehoben wurde, konnte nur eine Wärmepumpe gemessen werden, die diesen Wert nach EN 14511 nicht erreichte. Dies entspricht einer Durchfallrate von etwa 5 %. Wobei vor 2011 etwa 22 % aller WPZ-Prüfungen den Mindestwert von 3.10 nicht erreichen konnte.

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.

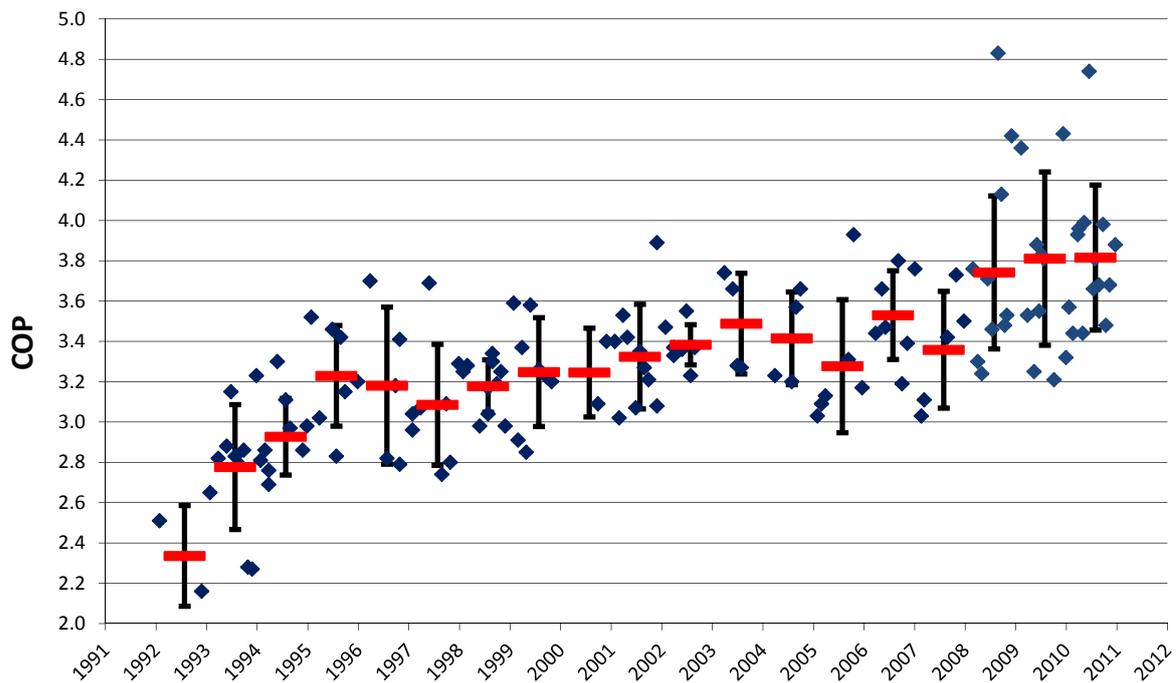


Abb. 3.1.1a: COP-Verlauf nach EN 255 von allen getesteten Luft-Wasser-WP seit 1993

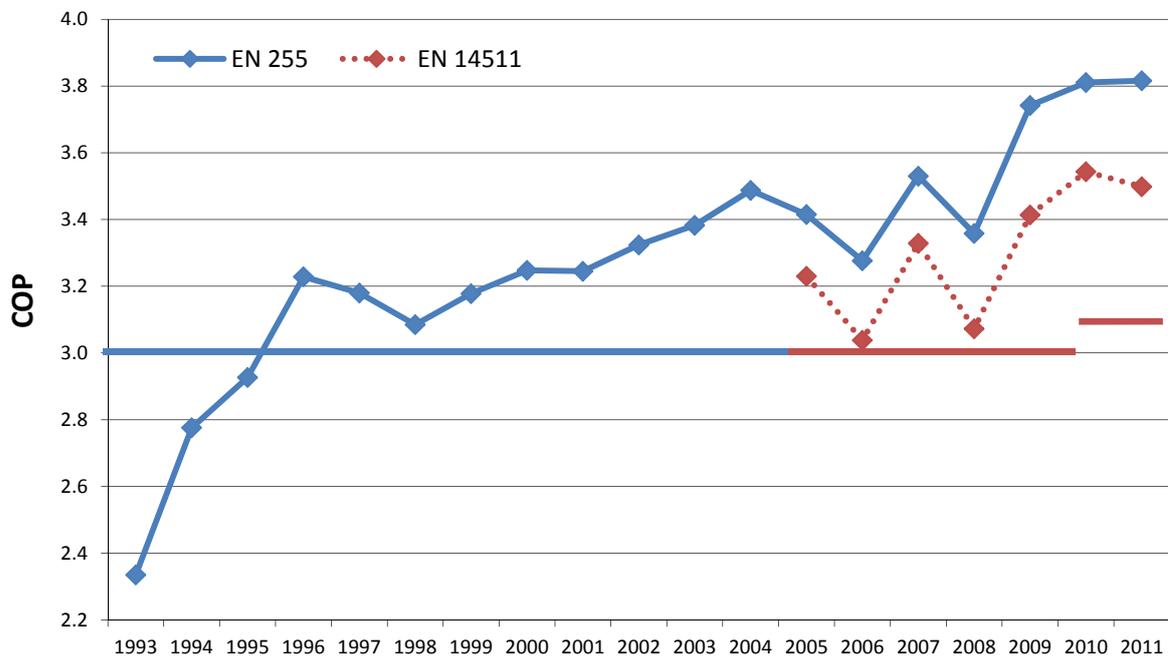


Abb. 3.1.1b: jährlicher mittlerer COP-Verlauf der beiden Prüfnormen mit den Grenzwerten

2.1.2 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 Prozessumkehr miteinander verglichen.

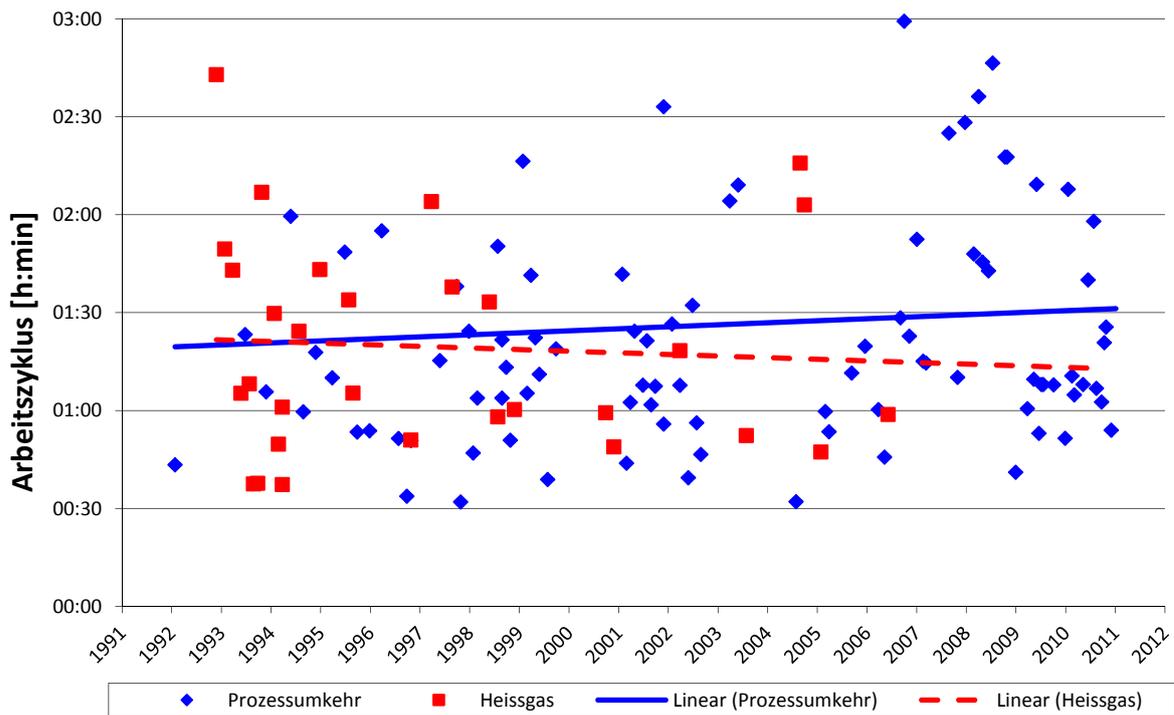


Abb. 3.1.2a: Dauer der Arbeitszyklen zwischen 2 Abtauerfahren je nach Abtauerfahren

Abb. 3.1.2a zeigt, dass sich der mittlere Arbeitszyklus zwischen 2 Abtauerfahren bei beiden Abtauerfahren 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. Zusätzlich wurden in den letzten 5 Jahre einige Wärmepumpen gemessen, die bei dieser Prüfbedingung keine Abtauung aufwiesen.

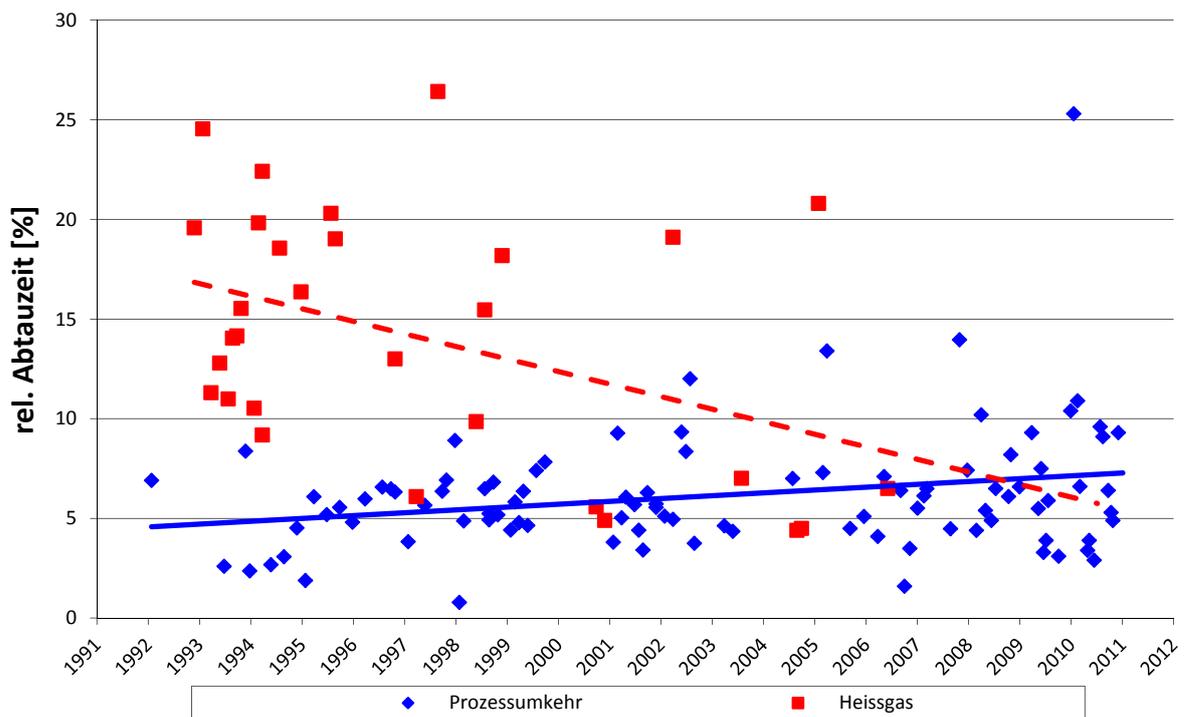


Abb. 3.1.2b: Entwicklung der relativen Abtauzeiten je nach Abtauerfahren

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 verringert. 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 13 Wärmepumpen mit Heissgasabtauung geprüft, mit zwei Ausnahmen liegen die relativen Abtadauern im Bereich der Werte mit Prozessumkehr.

Bei der Prozessumkehrvariante konnte keine Verminderung 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 2011 erhöht, dafür stieg aber auch die relative Abtauzeit um etwa den gleichen Betrag.

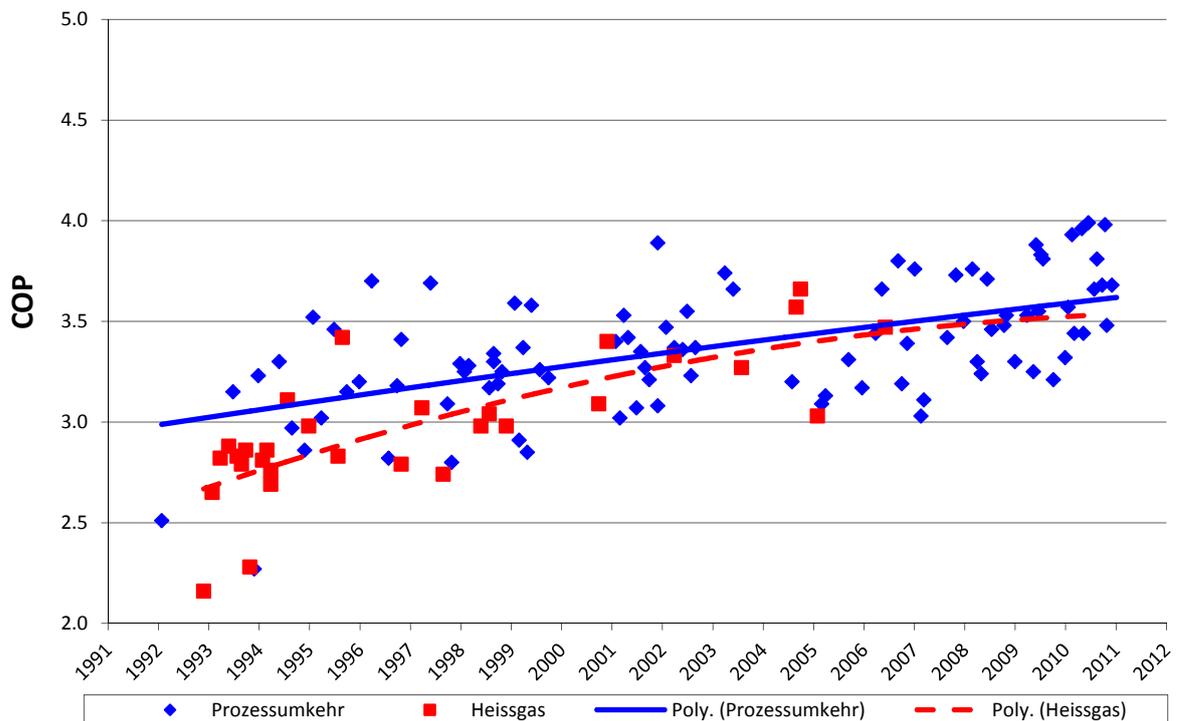


Abb. 3.1.2c: Entwicklung der COPs in Abhängigkeit der Abtauverfahren

In Abb. 3.1.2c ist ersichtlich, dass die Heissgasabtauung gegenüber der Prozessumkehr in den 90er-Jahren energetisch etwas 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.

2.1.3 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.

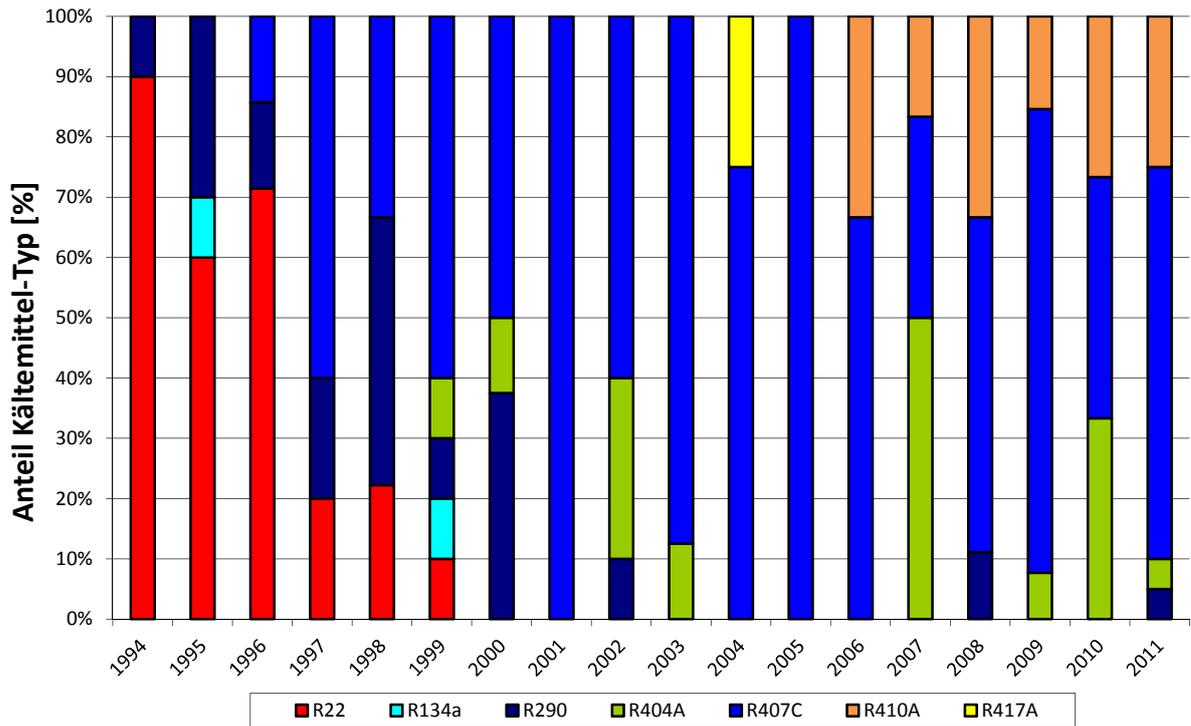


Abb. 3.1.3a: Verwendete Typen von Kältemitteln in Luft-Wasser-Wärmepumpen

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 bei den Kältemitteln R290 und R404A die absoluten und spezifischen Füllmengen über die Zeit etwa konstant geblieben sind und eine geringe Streuung aufweisen.

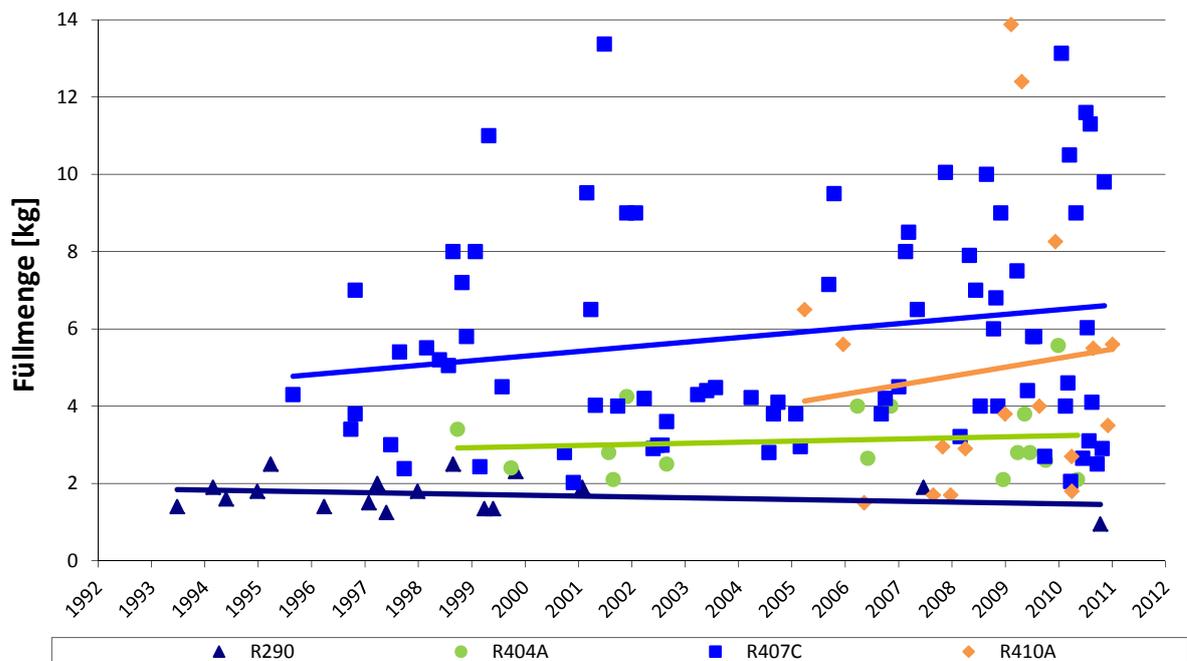


Abb. 3.1.3b: Entwicklung der absoluten Kältemittel-Füllmengen

Bei den Anlagen mit R407C sind die absoluten Füllmengen leicht angestiegen wobei die spezifische Füllmenge über die Jahre konstant blieben. Beim Kältemittel R410A wurde zwischen 2005 und 2009 eine Reduktion der beiden Grössen festgestellt. Dieser Trend konnte in den beiden letzten beiden Jahren nicht bestätigt werden. Die Streuung bei R407C und R410A sind im Verhältnis zu den anderen beiden Kältemittel gross, dies ist vor allem durch die vermehrte Anzahl Prüfungen an Splittanlagen mit den Kältemitteln R407C und R410A zurückzuführen.

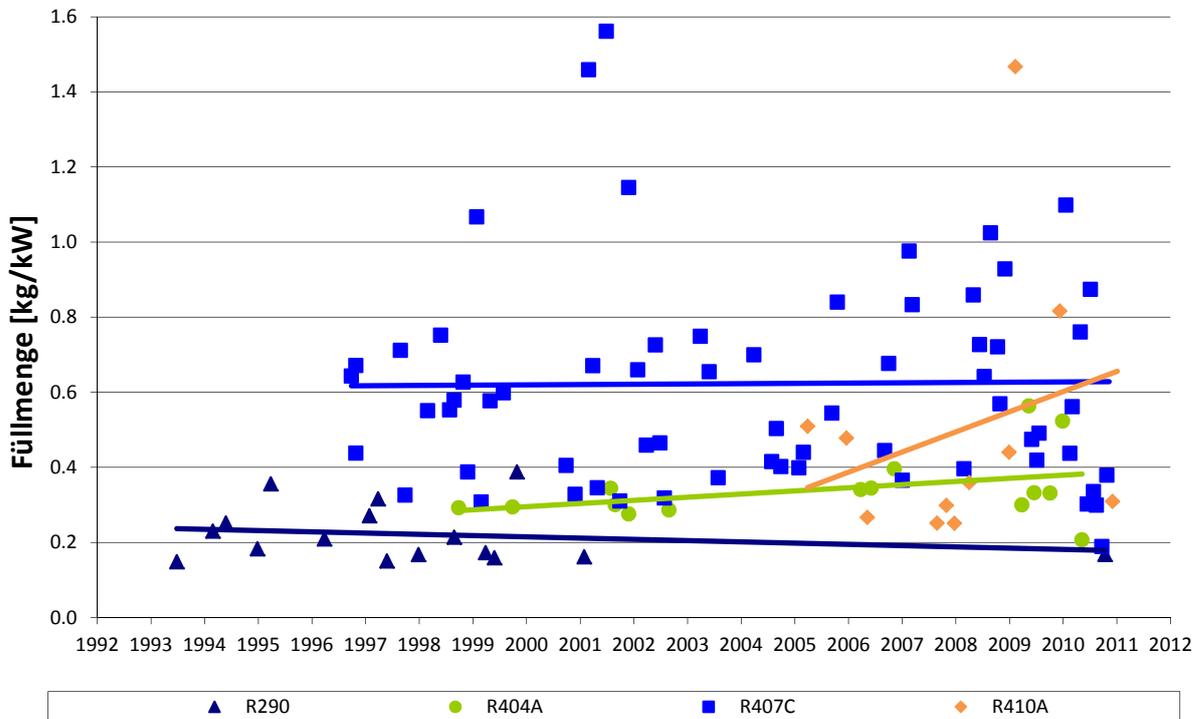


Abb. 3.1.3c: Entwicklung der spezifischen Kältemittel-Füllmengen

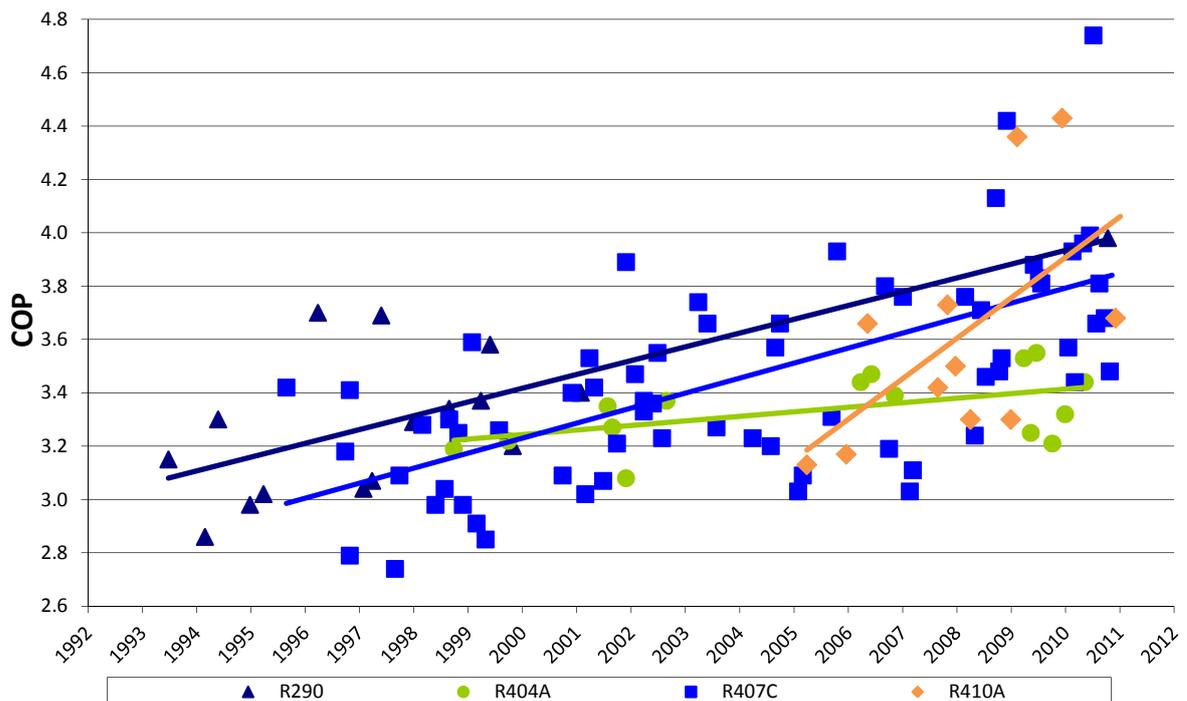


Abb. 3.1.3d: Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Kältemittel-Typen

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.

2.1.4 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 109 geprüften Wärmepumpen nur gerade noch 6 mit einem Hubkolben-Kompressor (ca. 6 %) und 8 mit einem Rollkolben-Kompressor (ca. 7%) ausgerüstet, die restlichen Wärmepumpen waren mit Scroll-Verdichtern (ca. 87 %) bestückt.

Abbildung 3.1.4a zeigt auch, dass Wärmepumpen mit den aktuellen Hubkolben- oder Rollkolben-Verdichtern (neue Bauweise nach Swing) ähnliche 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.

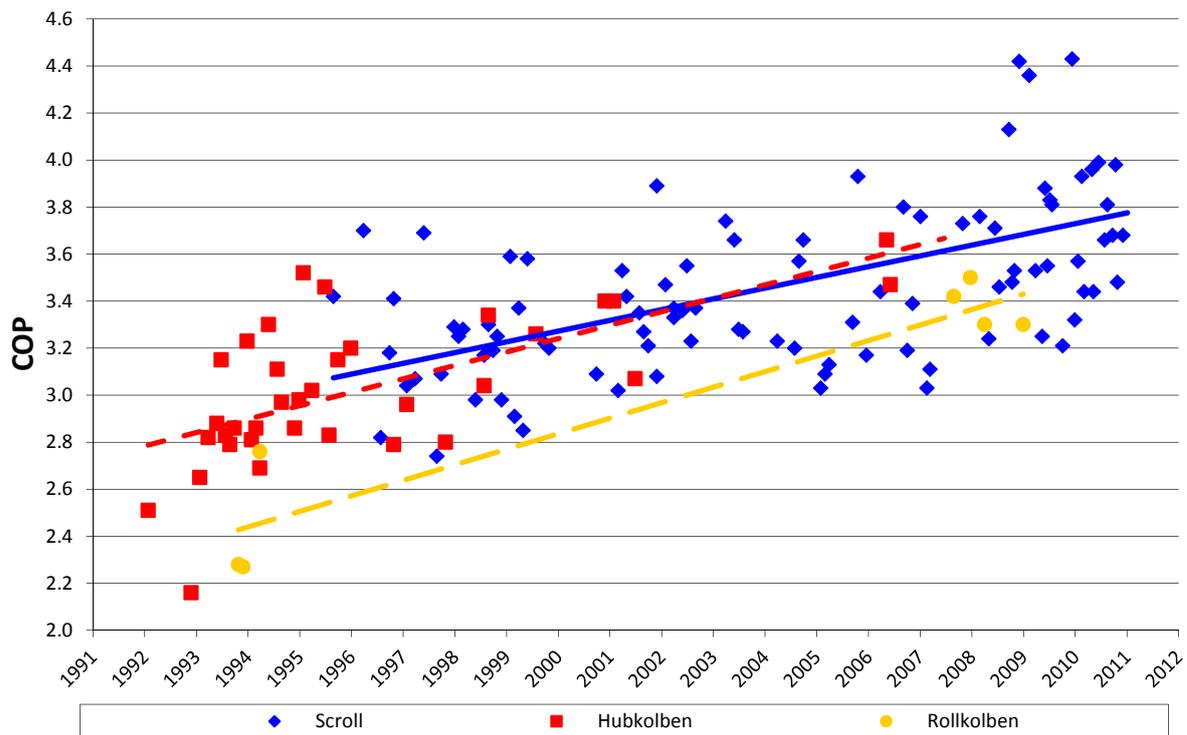


Abb. 3.1.4a: COP in Abhängigkeit des Kompressortyps

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 aus-

schliesslich 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 (vor allem in der Invertertechnologie) wieder etwas angestiegen, für eine aussagekräftige Auswertung ist die Datenmenge noch zu klein.

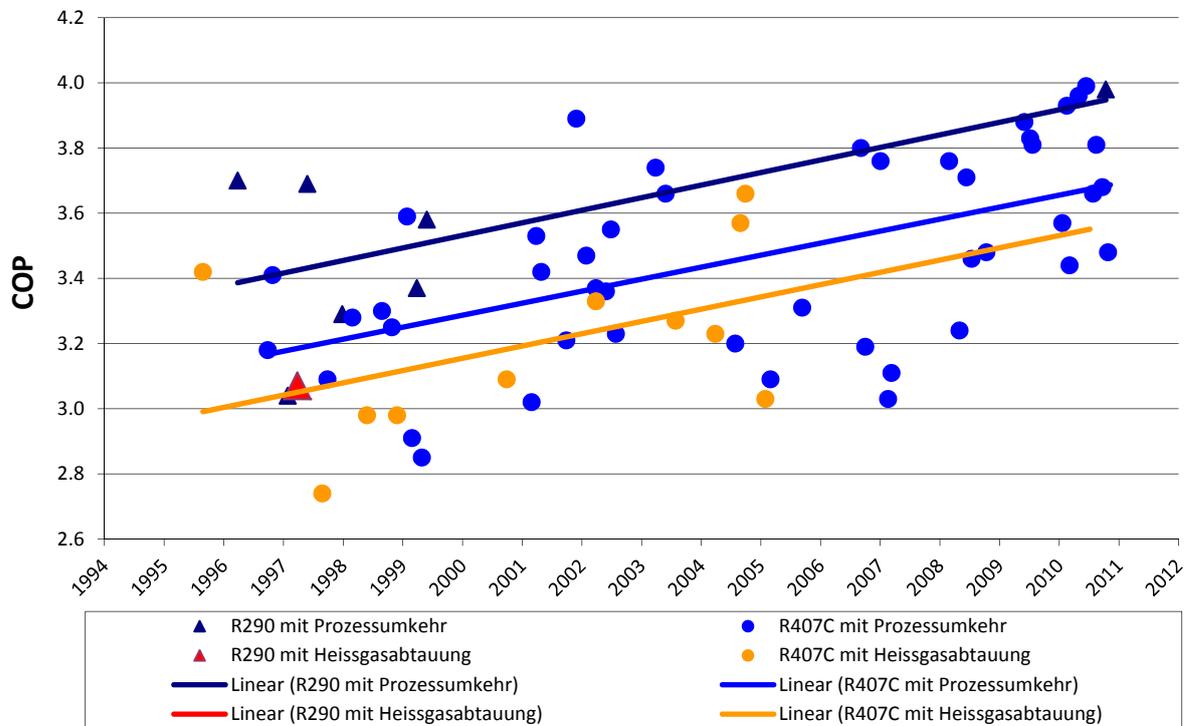


Abb. 3.1.4b: COP bei Wärmepumpen mit Scroll-Verdichtern in Abhängigkeit des Kältemittels und des Abtauverfahrens

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 (wobei keine statistische Aussage gemacht werden kann, da die vorhandene Datenmenge zu gering ist), 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.

2.1.5 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), im 2010 bei 64 dB(A) und im Berichtsjahr bei 62.4 dB(A). Die grösseren Schwankungen in diesen Jahren kommen daher, dass in den Jahren 2007, 2009 und 2011 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 Wärmepumpen und Klimageräten werden die Emissionen des Kompressors bei der Aussenmessung mit gemessen. Zusätzlich wird in dieser Abbildung deutlich, dass die Streuung in den letzten drei Jahren überdurchschnittlich gross war.

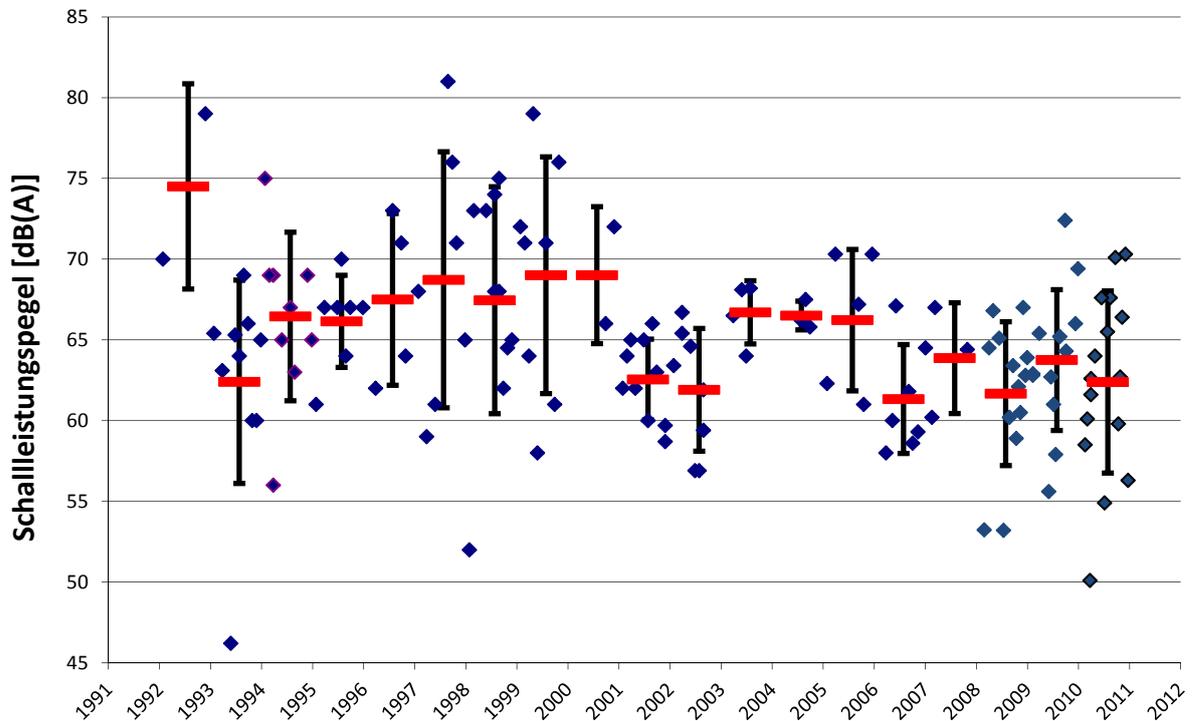


Abb. 3.1.5a: Schalleistungspegel bei Luft-Wasser-Wärmepumpen

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.

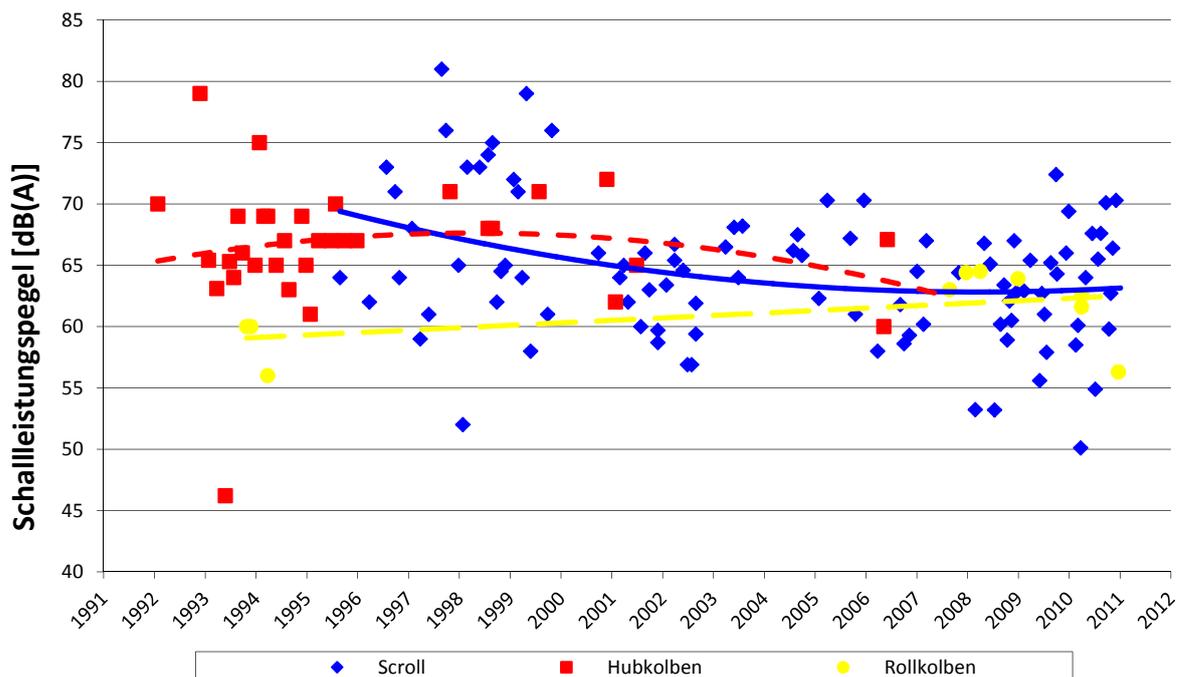


Abb. 3.1.5b: Schalleistungspegel bei Wärmepumpen mit verschiedenen Kompressortypen

2.1.6 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 2011 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. Aussen aufgestellte Wärmepumpen und Klimageräte sind im Mittel die lautereren Geräte.

2.2 Sole-Wasser-Wärmepumpen

2.2.1 Leistungszahlverlauf Sole-Wasser-Wärmepumpen 1993 bis 2011

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. Im Berichtsjahr konnte daher seit Jahren wieder eine signifikante Anhebung des COP ermittelt werden. Dieser Wert stieg auf 4.81.

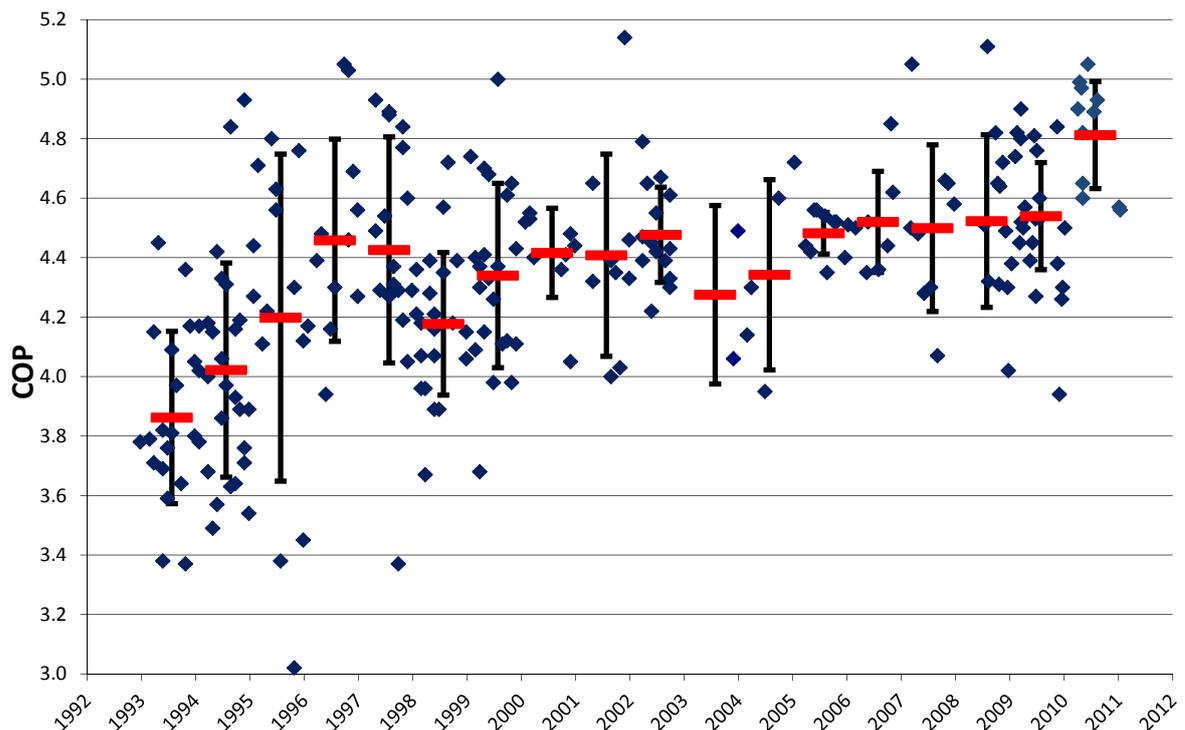


Abb. 3.2.1a: COP-Verlauf der getesteten Sole-Wasser-WP seit 1993

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 2010 bereits zwischen 3.94 und 4.90. Diese grosse Streuung konnte im 2011 nicht mehr bestätigt werden, sie lag zwischen 4.56 und 5.05.

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 2010 nur um gerade 1.4 % gesteigert hat. Durch die Anhebung des Grenzwertes ab 2011 von 4.00 auf 4.30 konnte der durchschnittliche COP von 4.25 (2010) auf 4.46 (2011) erhöht werden. Dies entspricht einem Anstieg von etwa 4.9%.

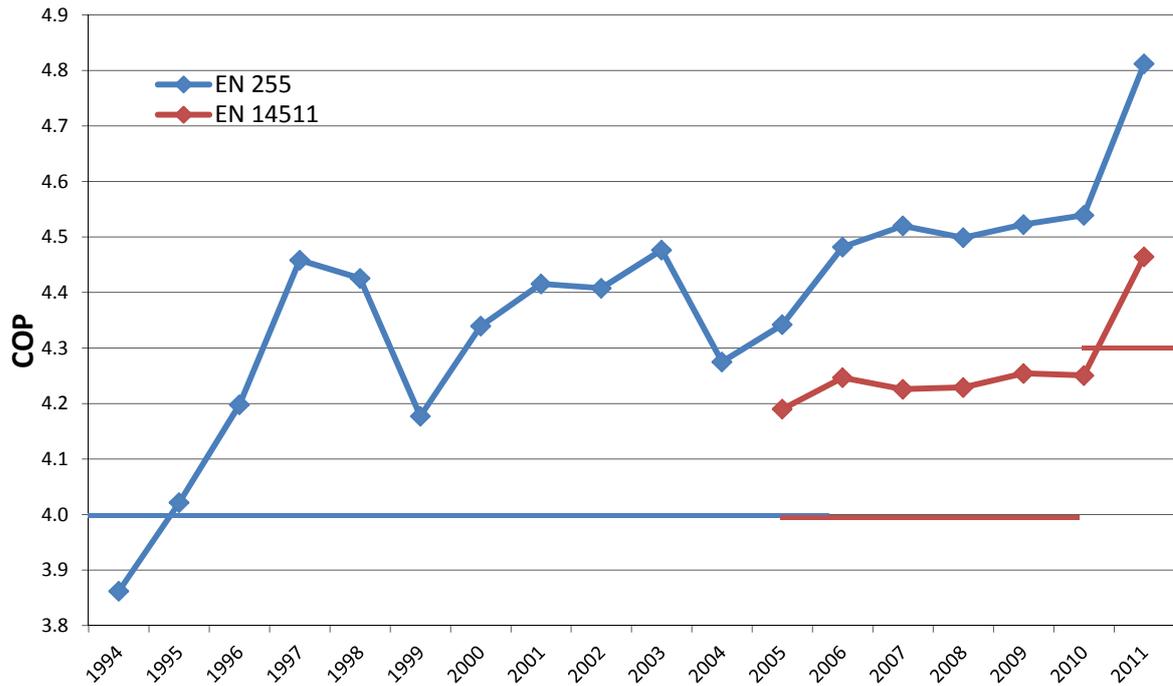


Abb. 3.2.1b: jährlicher mittlerer COP-Verlauf der beiden Prüfnormen mit den Grenzwerten

2.2.2 Verwendung von Kältemitteln in Sole-Wasser-Wärmepumpen

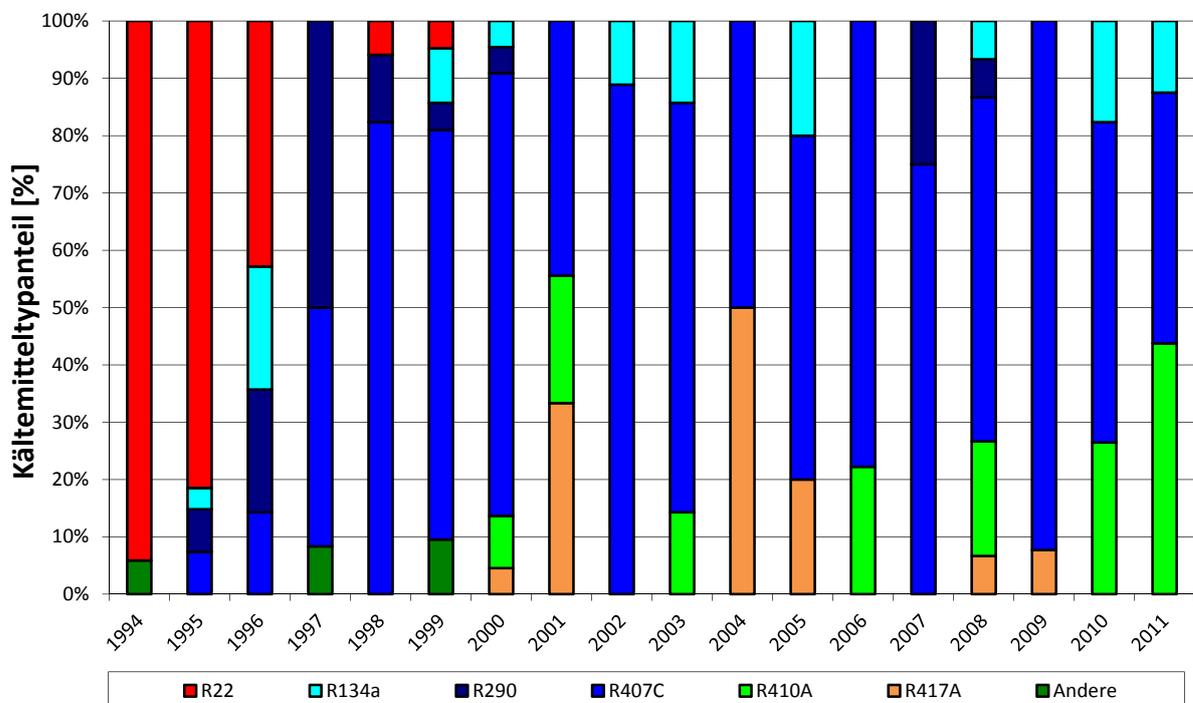


Abb. 3.2.2a: Verwendete Typen von Kältemitteln in Sole-Wasser-Wärmepumpen

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.

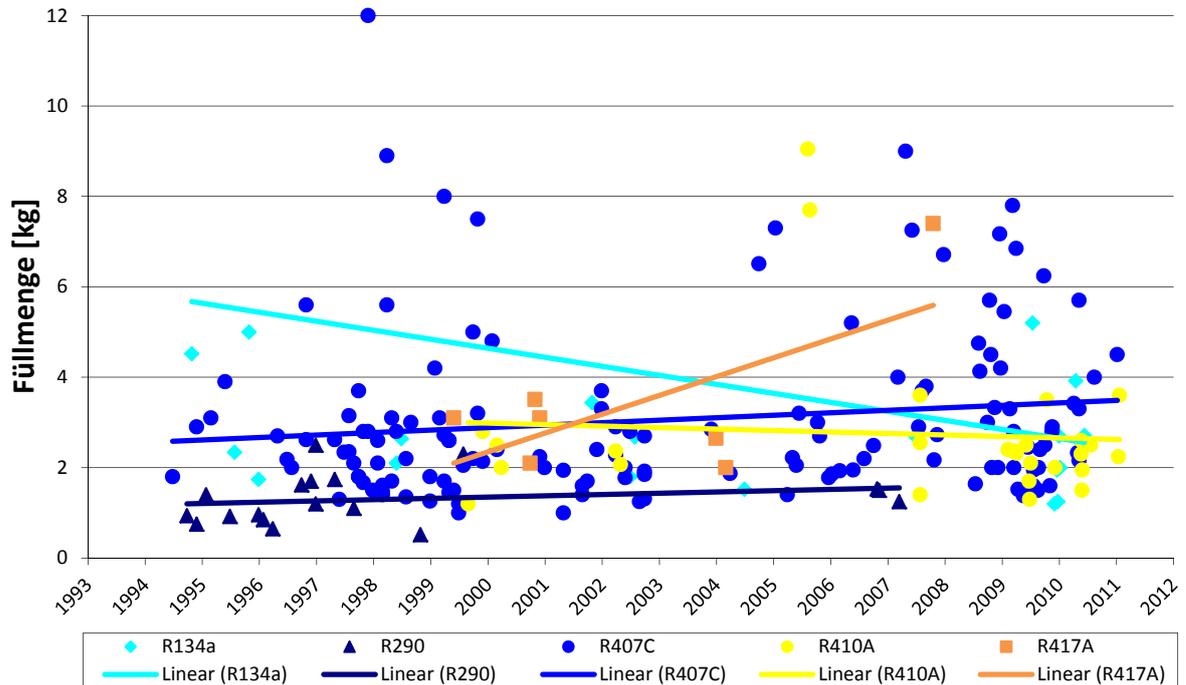


Abb. 3.2.2b: Entwicklung der absoluten Kältemittel-Füllmengen

In der Abbildung 3.2.2b wird ersichtlich, dass die absolute Füllmenge des eingesetzten Kältemittels tendenziell in Abhängigkeit der Jahre stabil blieb, wobei hier die Kältemittel R134a mit einer Reduktion und R417A mit einer Erhöhung die Ausnahme bilden. Beim Kältemittel R134a wurde im Jahr 2000 noch eine Wärmepumpe mit 26.0 kg Füllmenge gemessen, die in dieser Abbildung nicht ersichtlich ist. Die spezifische Füllmenge hingegen, konnte in Abhängigkeit der Zeit minimiert (siehe Abb. 3.2.2c) werden. Im Schnitt liegen die spezifischen Füllmengen im Jahr 2011 aller fünf ausgewerteten Kältemittel zwischen 0.15 und 0.30. 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.

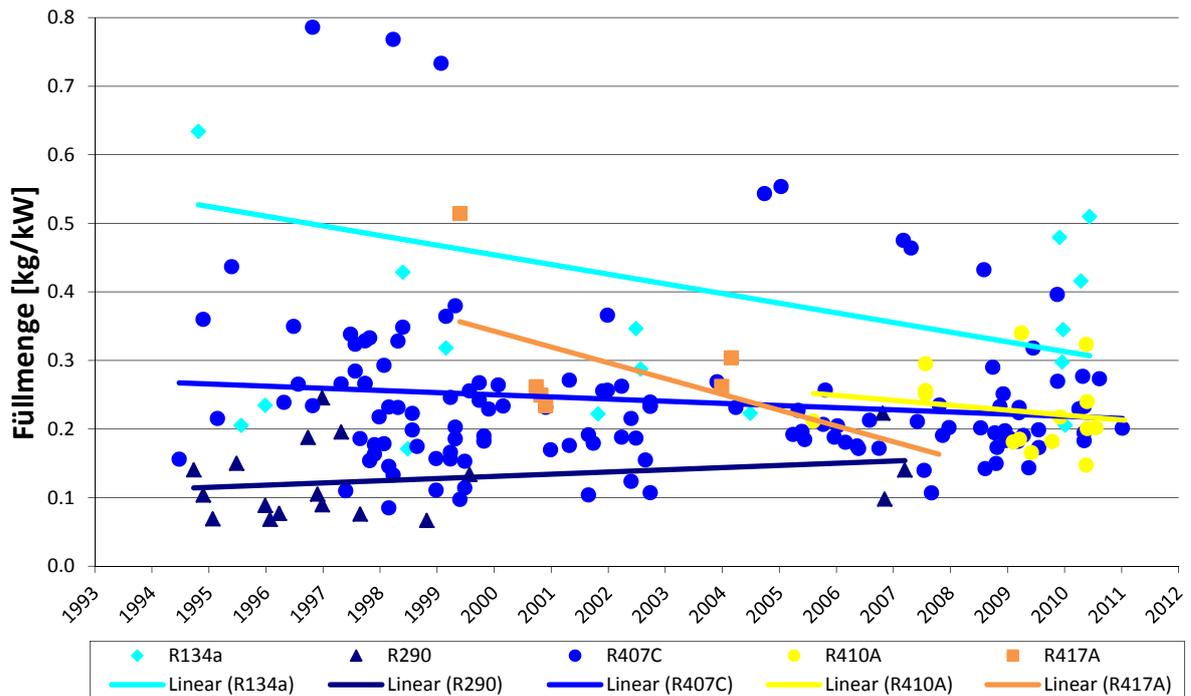


Abb. 3.2.2c: Entwicklung der spezifischen Kältemittel-Füllmengen

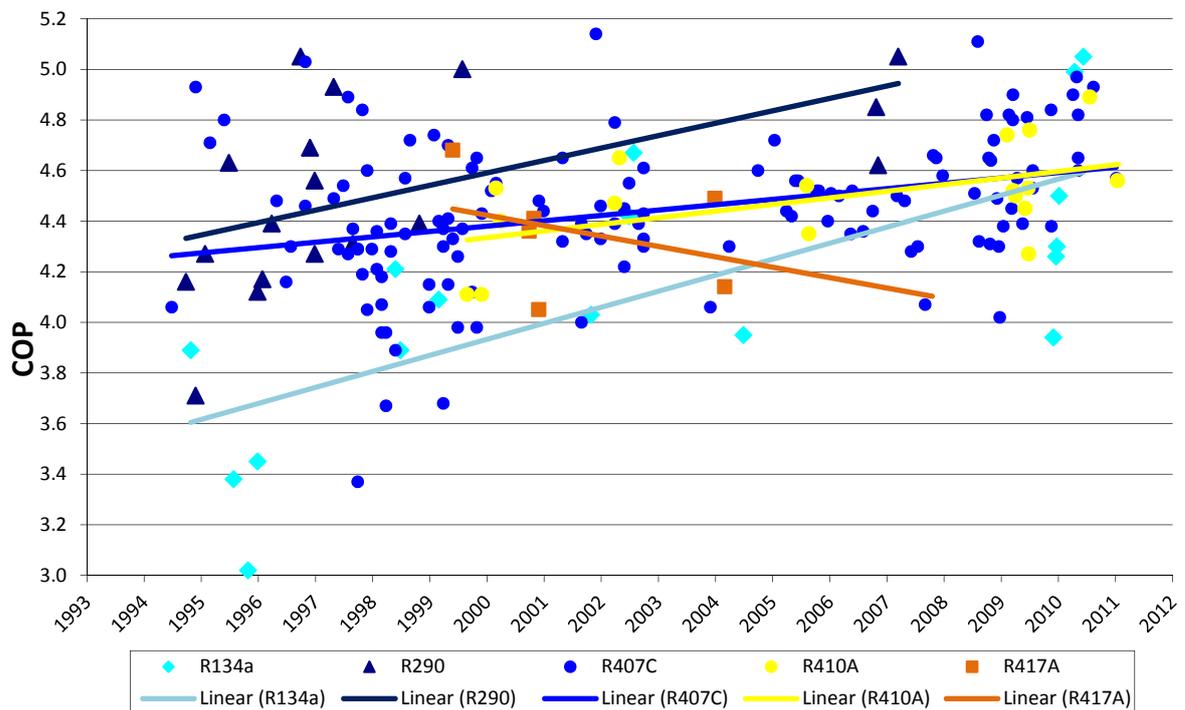


Abb. 3.2.2d: Entwicklung der COP in Abhängigkeit der Kältemittel-Typen

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. Im Berichtsjahr wurde keine Wärmepumpe mit diesem Kältemittel gemessen.

Wie bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen wurden auch hier bei Wärmepumpen mit R290 als Kältemittel im Mittel die besten COP-Werte gemessen.

2.2.3 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.

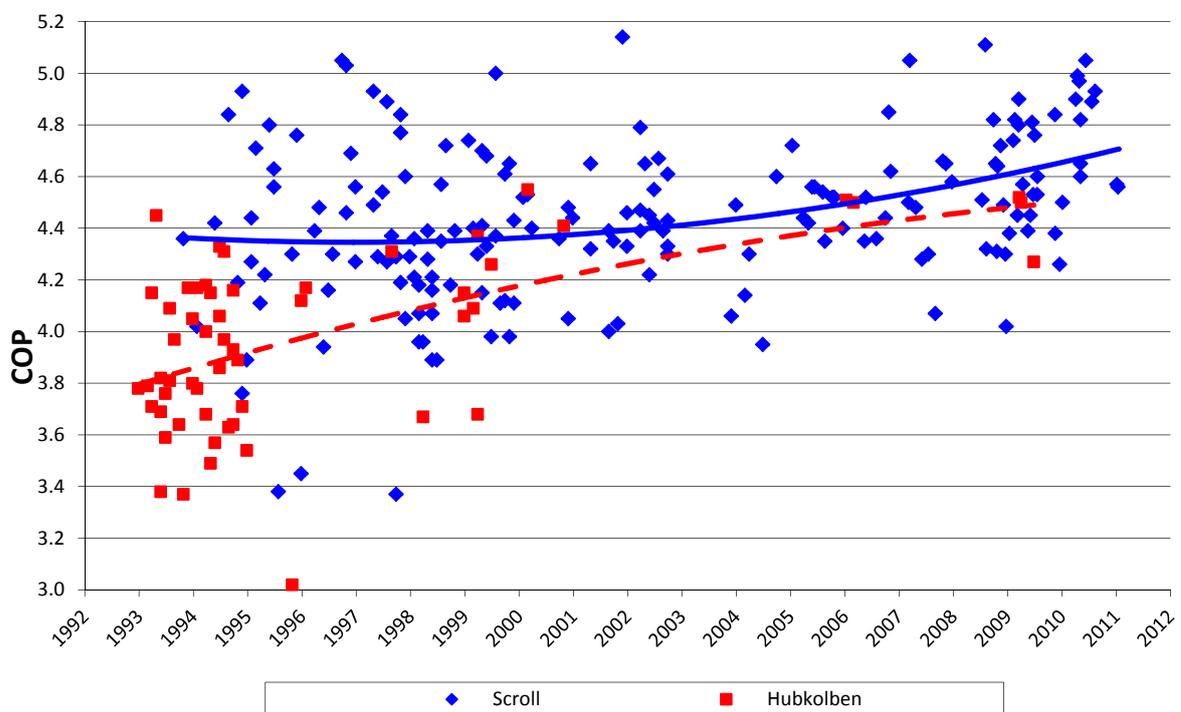


Abb. 3.2.3a: COP in Abhängigkeit des Kompressortyps

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.

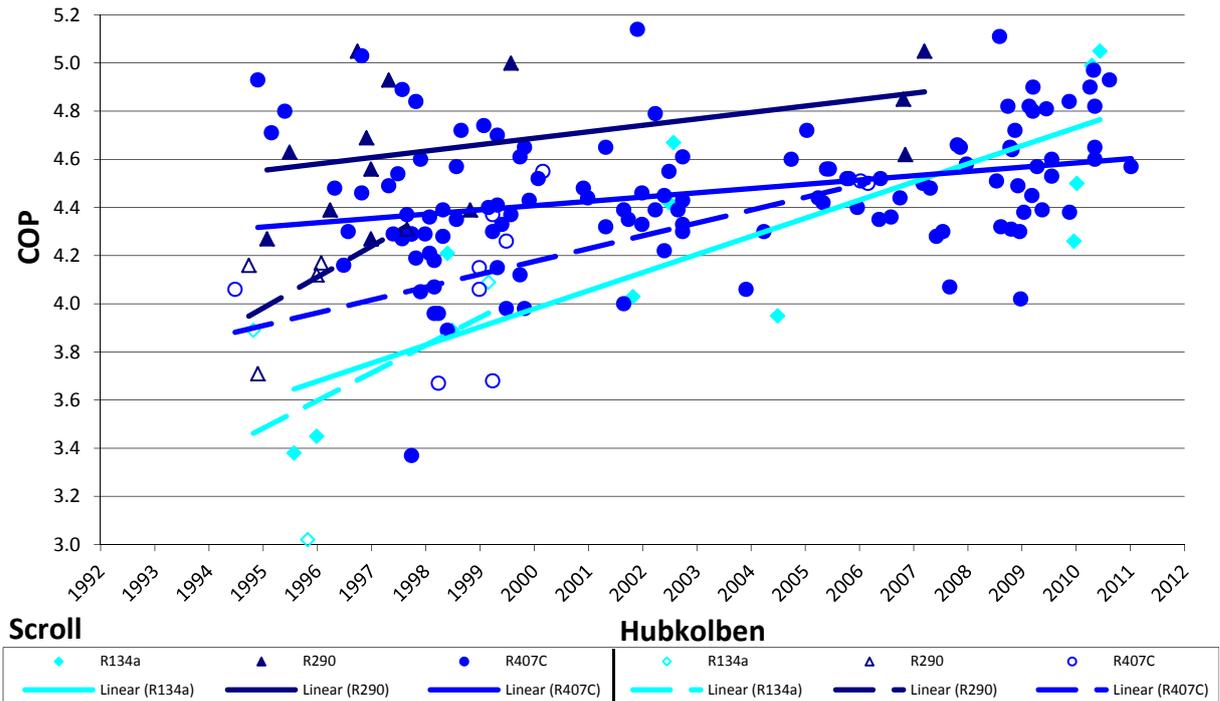


Abb. 3.2.3b: COP bei Wärmepumpen in Abhängigkeit des Kältemittels und des Kompressor-Typs

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, vor allem beim Kältemittel R134a wurde dieser Trend ersichtlich.

2.2.4 Schalleistungspegel bei Sole-Wasser-Wärmepumpen

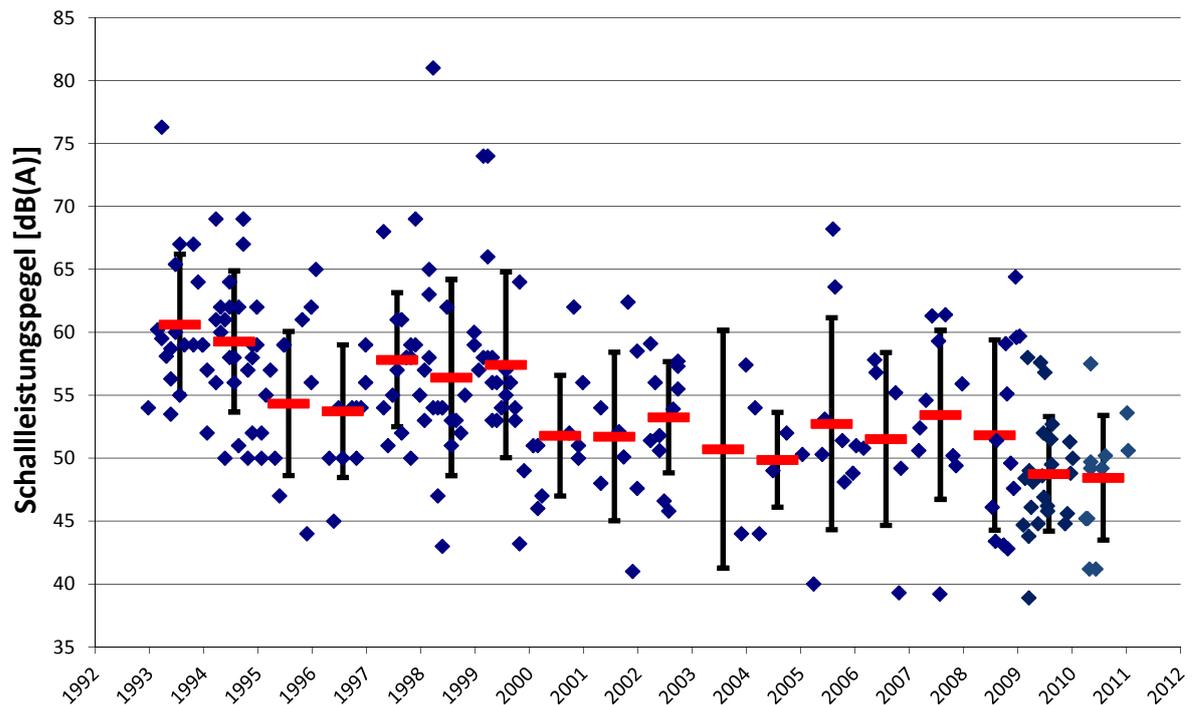


Abb. 3.2.4a: Schalleistungspegel bei Sole-Wasser-Wärmepumpen

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.

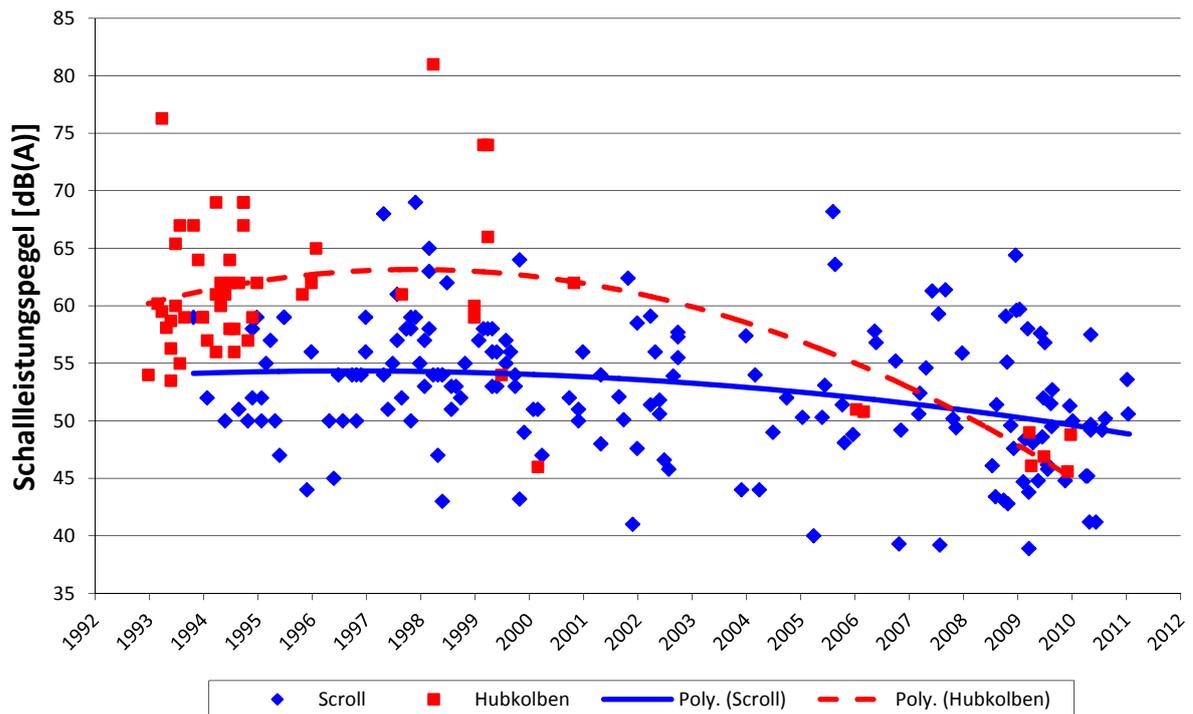


Abb. 3.2.4b: Schalleistungspegel nach Kompressorbauart

2.2.5 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 im 2011 der Grenzwert für das EHPA-Gütesiegel auf 4.30 angehoben wurde, konnte die Effizienz um fast 5% erhöht 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 Effizienzurückgang 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.

3 Referenzen

- [1] *EN 14511:2007 Teile 1 bis 4: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern; Begriffe, Prüfbedingungen, Prüfverfahren und Anforderungen*

- [2] *EN 16147:2011: Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern – Prüfungen und Anforderungen an die Kennzeichnung von Geräten zum Erwärmen von Brauchwarmwasser*

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

- [4] *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

- [5] *EHPA-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

- [6] *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;

- [7] *CH-Prüfreglement: Prüfung von Brauchwarmwasser-Wärmepumpen; Begriffe, Prüfbedingungen und Prüfverfahren basierend auf der EN 16147; Erweiterte Anforderung zur Erlangung des nationalen FWS-Zertifikats für Brauchwarmwasser-Wärmepumpen*
Version 1.0, Ausgabe 01.02.2012;
Beziehbar unter www.wpz.ch