



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

QUALITÄTSSICHERUNG VON KLEINWÄRMEPUMPEN UND STATISTISCHE AUSWERTUNG DER PRÜFRE- SULTATE 2012

Jahresbericht

Ausgearbeitet durch:

Mick Eschmann, Interstaatliche Hochschule für Technik NTB
Werdenbergstrasse 4, CH – 9471 Buchs SG

michael.eschmann@ntb.ch, www.ntb.ch / www.wpz.ch

Impressum

Datum: 29.04.2013

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/4007983-01

Bezugsort der Publikation: www.bfe.admin.ch

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

Inhaltsverzeichnis

Projektziele.....	6
1 Wärmepumpentypen.....	7
1.1 Allgemeine Effizienz-Entwicklung der Luft/Wasser-Wärmepumpe.....	7
1.2 Bauarten von Luft/Wasser-Wärmepumpen	9
1.3 Verwendete Expansionsventile bei Luft/Wasser-Wärmepumpen.....	12
1.4 Verwendete Kältemitteltypen bei Luft/Wasser-Wärmepumpen	14
1.5 Allgemeine Effizienz-Entwicklung der Sole/Wasser-Wärmepumpe	15
1.6 Verwendete Expansionsventile bei Sole/Wasser-Wärmepumpen	15
1.7 Verwendete Kältemitteltypen bei Sole/Wasser-Wärmepumpen.....	17
1.8 Schlussfolgerung	18
2 Energieeffizienz in Abhängigkeit der Quellen- oder Senktemperatur.....	20
2.1 Effizienzabhängigkeit der Vorlauftemperatur bei Luft/Wasser-Wärmepumpen	20
2.2 Effizienzabhängigkeit der Quelltemperatur bei Luft/Wasser-Wärmepumpen.....	22
3 Brauchwarmwasser-Wärmepumpen.....	23
3.1 COP-Werte	23
3.2 Bezugswarmwasser-Temperatur	24
3.3 Schlussfolgerung	25
4 Referenzen	26

Zusammenfassung

Seit 2005 wurden insgesamt 82 Luft/Wasser-Wärmepumpen beim Betriebspunkt A2/W35 (Aussentemperatur 2°C und Vorlauftemperatur 35°C) und 137 Sole/Wasser-Wärmepumpen beim Betriebspunkt B0/W35 (Quellentemperatur 0°C und Vorlauftemperatur 35°C) beim akkreditierten Wärmepumpen-Testzentrum WPZ geprüft. Dabei wurden bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen zwischen drei unterschiedlichen Bauarten (Split-Anlage, Aussenaufstellung und Innenaufstellung) unterschieden. In diesem Zeitraum wurden 30 Split-Anlagen, 24 Aussenaufstellungen und 28 Innenaufstellungen am WPZ geprüft. Im Berichtsjahr waren vor allem innenaufgestellte Wärmepumpen auf dem Prüfstand (über 50%). Dies könnte u.a. auf die vermehrte Sensibilisierung der Schallthematik zurückzuführen sein. Bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen wurde nur die Variante Innenaufstellung gemessen.

Bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen ist seit Jahren eine Effizienzsteigerung ersichtlich. Seit 2005 steigt die Effizienz beim Normpunkt jährlich durchschnittlich um 1.8%. Dies ist u.a. auf die längeren Heizzyklen zwischen zwei Abtauungen zurückzuführen (nicht alle Wärmepumpen werden mit einem Abtauzyklus ausgewertet). Bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen konnte durch die erhöhten Anforderungen seitens des EHPA-Gütesiegels eine Erhöhung des COPs erreicht werden.

Ein eindeutiger Trend ist hingegen bei den eingesetzten Expansionsventilen ersichtlich. Hier wurden in den letzten Jahren vermehrt elektronische Expansionsventile verbaut. Im Berichtsjahr wurden sowohl bei Luft/Wasser- als auch bei Sole/Wasser-Wärmepumpen mehr elektronische als thermische Expansionsventile eingesetzt.

Die Brauchwarmwasser-Wärmepumpen, auch Wärmepumpen-Boiler genannt, werden seit Januar 2012 nach der neuen Norm EN 16147 geprüft (abgelöste Norm ist die EN 255-3). Die Prüfung kann an zwei unterschiedlichen Betriebsbedingungen durchgeführt werden (bei Aussenluft = 7°C oder Umgebungsluft = 15°C). Hierzu wurden insgesamt vier Boiler bei 7°C (vor allem für den Südeuropäischen Markt) und zwölf bei 15°C (bezieht sich vor allem für den deutschsprachigen Raum) getestet. In diesem Bericht wird, aufgrund der wenigen Messungen bei 7°C, nur auf die Messungen bei 15°C eingegangen. Der COP-Mittelwert liegt bei diesen zwölf Messungen bei rund 2.7. Um das schweizerische Gütesiegel beantragen zu können, muss ein COP von mindestens 2.30 erreicht werden. Elf von zwölf Brauchwarmwasser-Wärmepumpen erfüllen diese Anforderung. Insgesamt erreichen drei von vier Wärmepumpen-Boiler den zukünftigen Mindest-COP-Wert von 2.50 (gültig ab 01.01.2013) schon heute.

Projektziele

Es sollen, anhand der Erfahrung von verschiedenen Wärmepumpenmessungen am Wärmepumpen-Testzentrum WPZ, folgende drei Punkte in diesem Zwischenbericht angesprochen werden:

1. Welche Wärmepumpentypen wurden hauptsächlich in den letzten Jahren geprüft und wohin geht der Trend
2. Welchen Einfluss hat die Quellen- und Senktemperatur auf die Effizienz der Luft/Wasser-Wärmepumpe (durchschnittliche Betrachtung)
3. Es werden die neuen Erkenntnisse von Brauchwarmwasser-Wärmepumpen aufgezeigt, die durch die neue Norm EN 16147 entstanden sind

1 Wärmepumpentypen

In diesem Kapitel werden alle Effizienz-Messungen, die nach der Prüfnorm EN 14511 [1][2] durchgeführt wurden, berücksichtigt. Zur Auswertung der Leistungszahlen (COP) werden die Ergebnisse verwendet, die bei den Prüfnormpunkten A2 / W35 (Luft/Wasser-Wärmepumpen) resp. B0 / W35 (Sole/Wasser-Wärmepumpen) durchgeführt wurden. Neu werden auch die Ergebnisse verwendet, die beim Betriebspunkt A-7 / W55 (Luft/Wasser-Wärmepumpe) ermittelt wurde. Bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen werden zwischen drei Bauarten unterschieden:

- Innenaufgestellte Wärmepumpe (ganze Wärmepumpe wird im Haus, z.B. im Keller installiert)
- Aussenaufgestellte Wärmepumpe (ganze Wärmepumpe wird ausserhalb des Hauses installiert)
- Split-Wärmepumpe (ein Teil der Wärmepumpe wird im Haus und der andere Teil wird ausserhalb des Hauses installiert)

Bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen wurden nur die innenaufgestellte Variante für Erdsonde oder Erdregister geprüft.

Aus den Auswertungen soll ersichtlich werden, wie sich die verschiedenen Wärmepumpentypen in den letzten Jahren entwickelt und verhalten haben und wohin der Trend (sofern einer ersichtlich ist) in Zukunft führen kann.

1.1 Allgemeine Effizienz-Entwicklung der Luft/Wasser-Wärmepumpe

Die Energieeffizienz der Luft/Wasser-Wärmepumpe hat sich beim Normpunkt A2 / W35 (mit einer Temperaturdifferenz von 10 K und 5 K) stetig verbessert. In der Abb. 1.1 ist die Entwicklung des COPs ersichtlich.

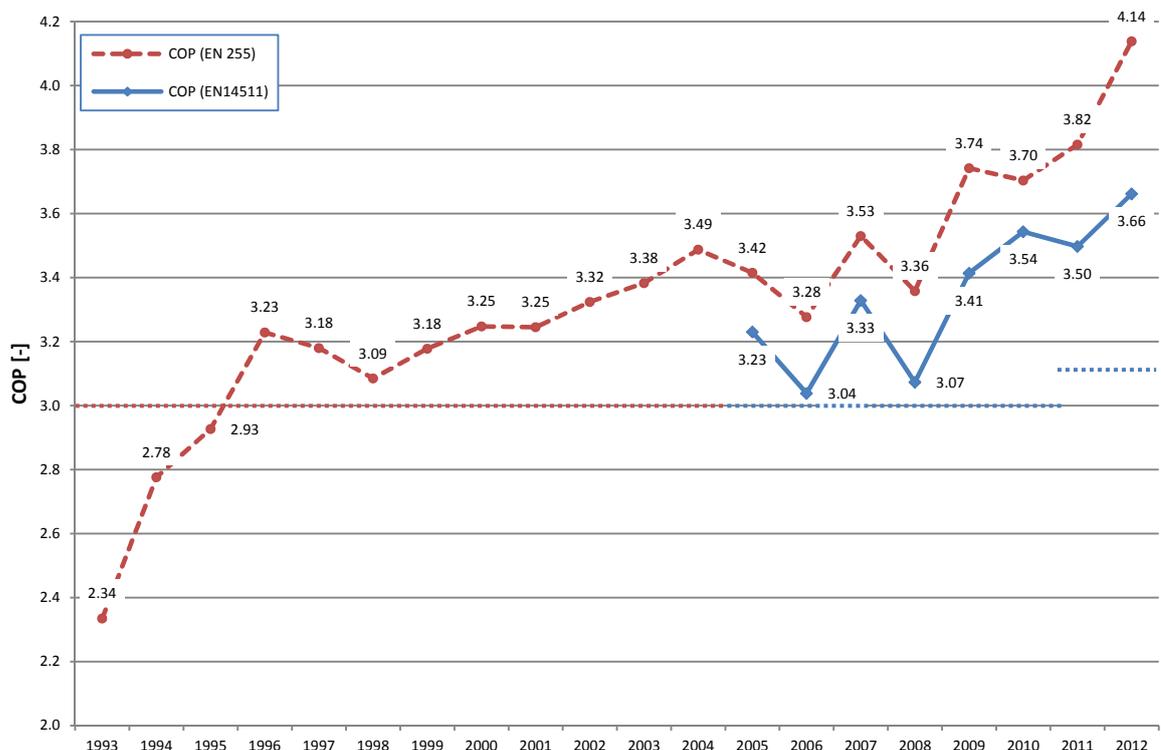


Abb. 1.1: COP-Entwicklung der Luft/Wasser-Wärmepumpe seit 1993

Der COP-Mittelwert der gemessenen Wärmepumpen liegt im Berichtsjahr bei 3.66 (nach der aktuellen Norm EN 14511). Dies entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Effizienz-Steigerung von 1.8% seit 2005 (COP-Mittelwert = 3.23). Einen Hauptgrund für diese Effizienzsteigerung ist sicherlich auf die durchschnittlich längeren Heizzyklen zwischen zwei Abtauwungen zurückzuführen. Es ist auffallend, dass vermehrt Wärmepumpen ohne Abtauung ausgewertet werden können. Im Berichtsjahr wurde bei jeder vierten Luft/Wasser-Wärmepumpe keine Abtauung beim Normpunkt berücksichtigt. In der nächsten Abbildung wird diese Thematik grafisch dargestellt.

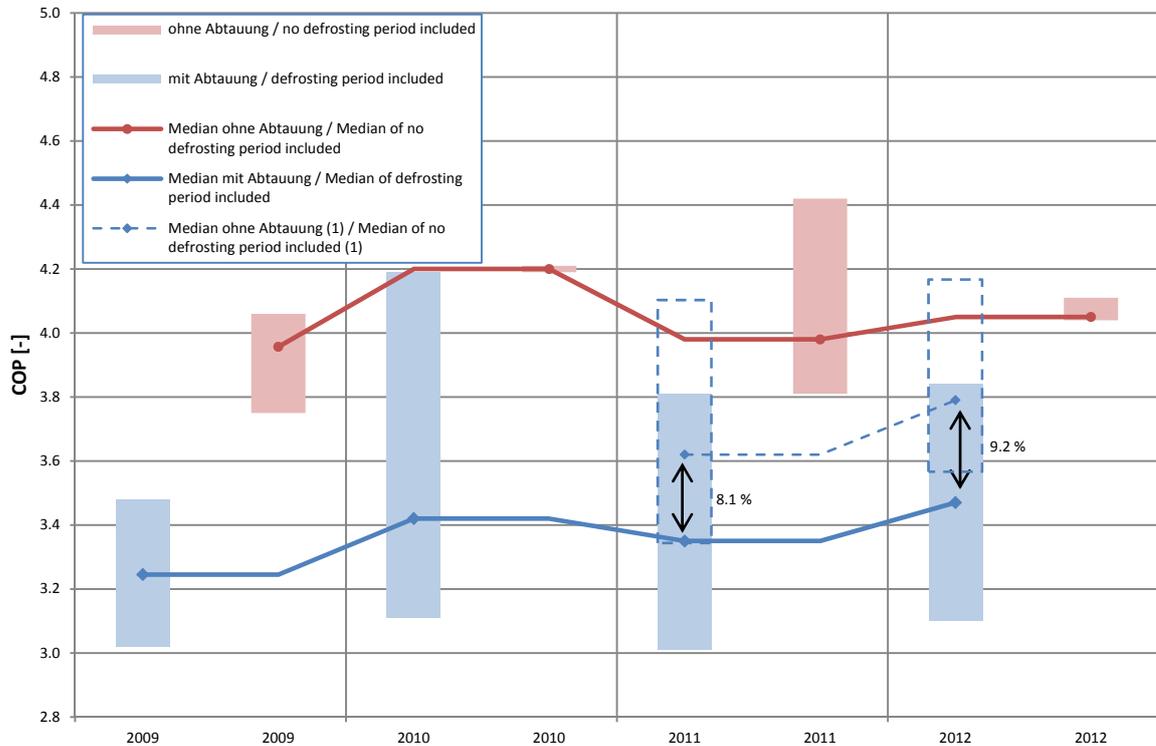


Abb. 1.2: COP-Vergleich zwischen Wärmepumpen mit und ohne Abtauung

In dieser Grafik ist sehr schön ersichtlich, dass vor allem bei den effizienten Wärmepumpen keine Abtauung berücksichtigt werden kann. Aber wie würde dies aussehen, wenn bei allen Luft/Wasser-Wärmepumpen keine Abtauung berücksichtigt würde? Die Wärmepumpen, bei denen die Abtauung berücksichtigt wird, würden im Schnitt etwa um 8 bis 9% höheren COP aufweisen. Mit anderen Worten die Abtauung schmälert die Effizienz der Wärmepumpe um beinahe 10% beim Normpunkt.

Da stellt sich natürlich die Frage, weshalb nicht bei allen Wärmepumpen die Abtauung mitausgewertet wird. Die Abtauung wurde bis September 2012 nur dann berücksichtigt, wenn der Heizzyklus zwischen zwei Abtauwungen kürzer als 4 Stunden war. In Zukunft werden wahrscheinlich noch mehr Wärmepumpen ohne Abtauung gemessen, da seit September 2012 diese Zeit auf 140 Minuten, mit Einhaltung von einigen Kriterien, verkürzt wurde. Diese Änderung wurde deshalb durchgeführt, da diese nun 1:1 der EN 14511 entspricht.

In der nächsten Abbildung wird die COP-Entwicklung beim Betriebspunkt A-7 / W55 seit 2005 (Einführung dieses Normpunktes) ersichtlich. Die durchschnittlich jährliche COP-Erhöhung liegt bei etwa 1.9% (gegenüber 1.8% bei A2 / W35). 2005 wurde noch einen COP-Mittelwert von 1.77 und 2012 bereits einen mittleren COP von 2.02 gemessen.

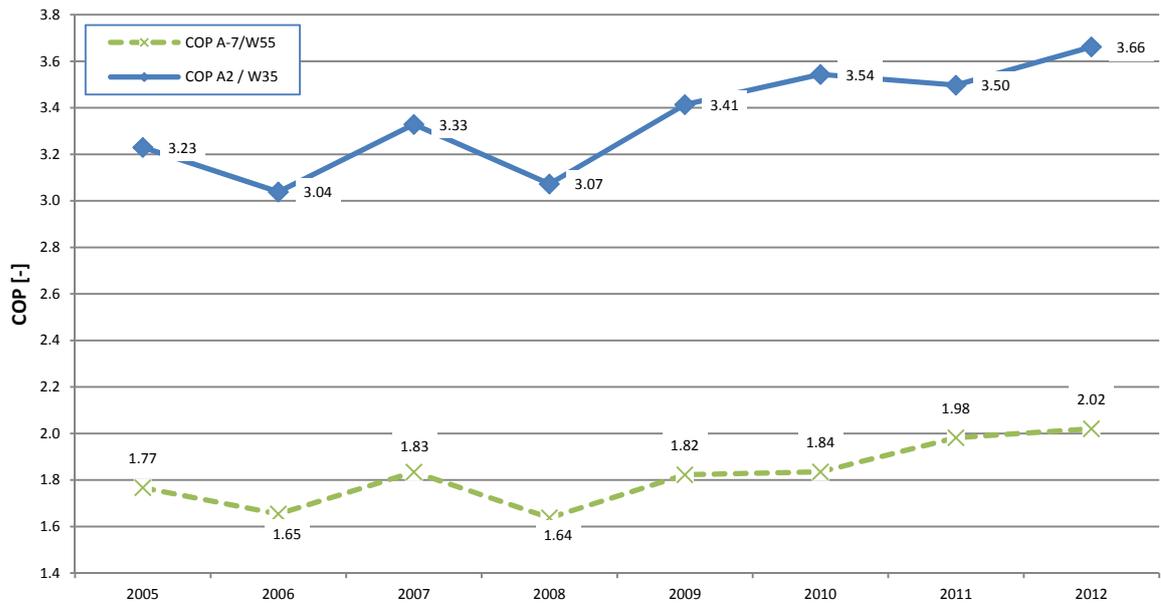


Abb. 1.3: COP-Entwicklung bei A-7/W55 und A2 / W35 (beide nach EN 14511) seit 2005

Die Wärmepumpe läuft bei A-7 / W55 durchschnittlich um etwa 45% ineffizienter als bei A2 / W35.

1.2 Bauarten von Luft/Wasser-Wärmepumpen

Die Verteilung von Prüfungen in Split-, aussenaufgestellten und innenaufgestellten Wärmepumpen ist nahezu gleich. Seit 2005 wurden insgesamt 30 Splitanlagen, 24 aussenaufgestellte und 28 innen- aufgestellte Wärmepumpen beim genannten Normpunkt geprüft.

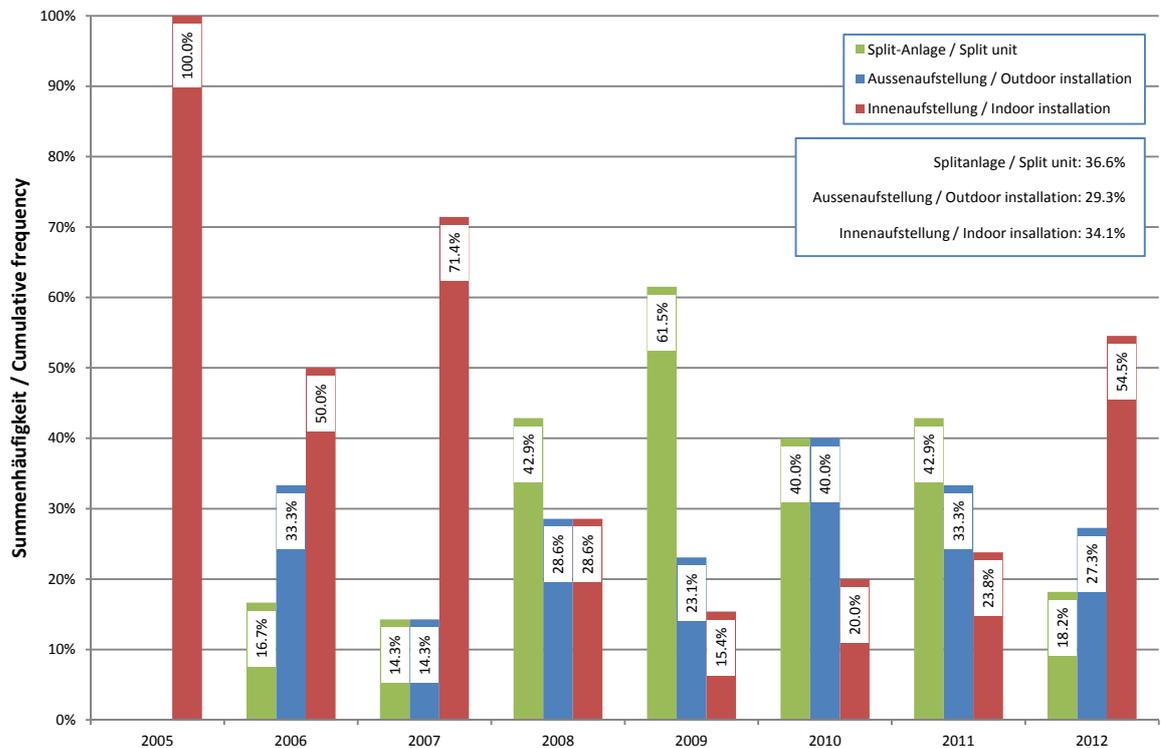


Abb. 1.4: Wärmepumpentypen auf dem WPZ-Prüfstand seit 2005

Ein eindeutiger Trend zu welchen Wärmepumpentypen es sich in Zukunft führt, ist nicht sicher auszumachen. In den Jahren zwischen 2008 und 2011 wurden vor allem die Splitanlagen geprüft. Die innenaufgestellte Wärmepumpe spielte in dieser Zeitspanne eher eine Aussenseiterrolle. Aber genau bei diesem Wärmepumpentyp ist seit 2010 einen Aufwärtstrend ersichtlich. Im Berichtsjahr (bis Ende Oktober) wurden sogar mehr als die Hälfte aller Luft-Wasser-Wärmepumpen-Prüfungen als innenaufgestellt durchgeführt. Die Aussenaufstellung liegt seit 2006 mehrheitlich im Mittelfeld.

Weshalb die innenaufgestellte Wärmepumpe in den letzten Jahren ein Revival erlebt und die Split-Wärmepumpe eher aus dem Trend kommt, kann aufgrund den Annahmen in den folgenden drei Diagramme erklärt werden.

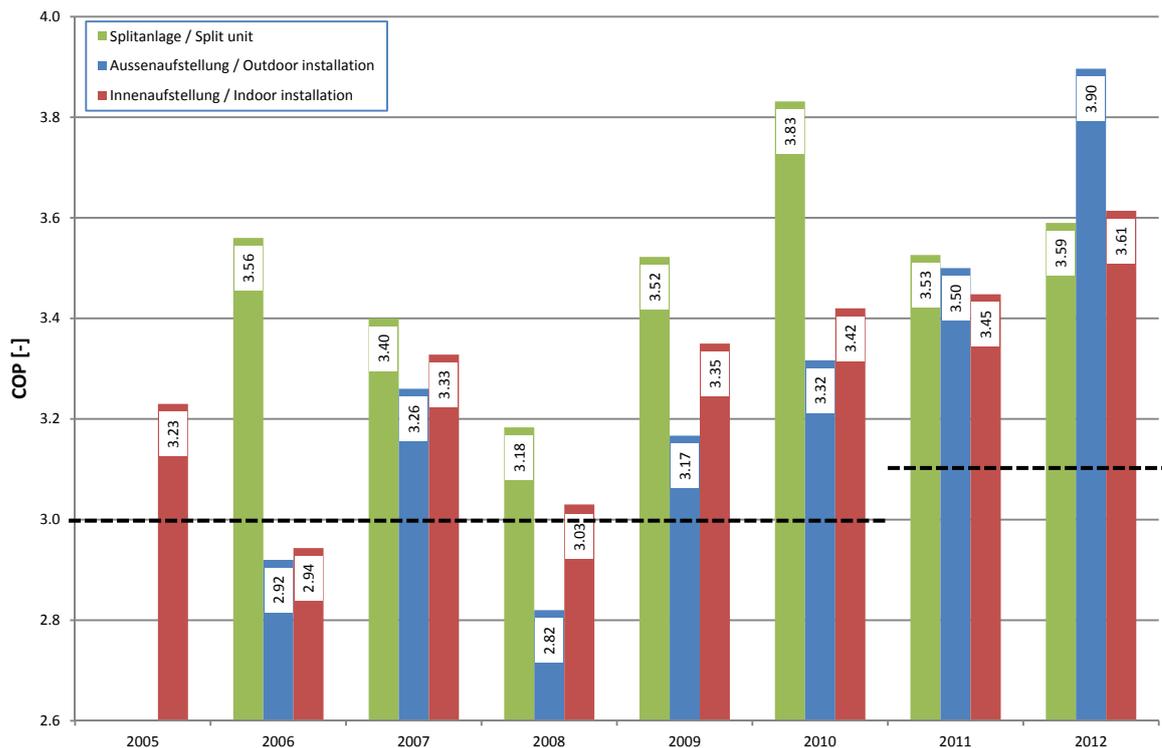


Abb. 1.5: COP-Entwicklung von den verschiedenen Wärmepumpen-Bauarten seit 2005

In Abb. 1.5 ist ersichtlich, dass die Splitwärmepumpe bis ins Jahr 2010 einen mittleren Effizienzvorteil gegenüber den beiden anderen Wärmepumpentypen hatte. Bei den Splitwärmepumpen ist noch hinzuzufügen, dass die Streuung der einzelnen Messungen dieses Wärmepumpentypes sehr gross ist, da es unterschiedliche Ansätze gibt. Die einen Splitgeräte sind sehr kompakt gebaut, andere hingegen sehr grosszügig dimensioniert. Die mittlere Effizienz der anderen beiden Wärmepumpentypen (aussen- und innenaufgestellte Wärmepumpen) hat sich seit 2008 stetig verbessert. So konnte die aussenaufgestellte Wärmepumpenvariante den durchschnittlichen COP-Wert von 2.82 im Jahr 2008 auf 3.90 (+ 38.3%) im Berichtsjahr erhöhen. Die innenaufgestellte Wärmepumpe konnte diesen Wert im gleichen Zeitraum immerhin von 3.03 auf 3.61 (+ 19.1%) erhöhen. Die schwarzgestrichelte Linie entspricht der Mindest-COP-Anforderung für das EHPA-Gütesiegel (European Heat Pump Association – Europäischer Wärmepumpen-Verband) im entsprechenden Jahr.

Vor allem bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen spielt der Lärm immer mehr eine bedeutende Rolle. Deshalb sind viele Hersteller bemüht, möglichst schallarme Wärmepumpen auf den Markt zu bringen. In der nächsten Abb. 1.6 wird auf diese Schallthematik eingegangen. Hier werden die innenaufgestellten Wärmepumpen direkt mit den anderen beiden Wärmepumpenbauarten (aussenaufge-

stellte und Split-Wärmepumpen) verglichen. Der jährliche Medianwert (50% der gemessenen Schallleistungspegel liegen entweder oberhalb oder unterhalb dieses Wertes) liegt bei der innenaufgestellten Wärmepumpe (mit Ausnahme von 2011) immer tiefer als jener der aussenaufgestellten Wärmepumpe oder Split-Anlage. Die Streuung der Schallleistungspegel in den einzelnen Jahren können bis zu 20 dB betragen (siehe 2011 bei den Aussenaufstellung und Split). Nach der LSV (Lärmschutzverordnung) [3] müsste die um 20 dB lautere Wärmepumpe um mehr als 20 Meter weiter vom Nachbarn entfernt installiert werden, ohne zusätzliche Schalloptimierungen durchführen zu müssen. In den meisten Fällen jedoch stehen kaum solche Distanzen zur Verfügung.

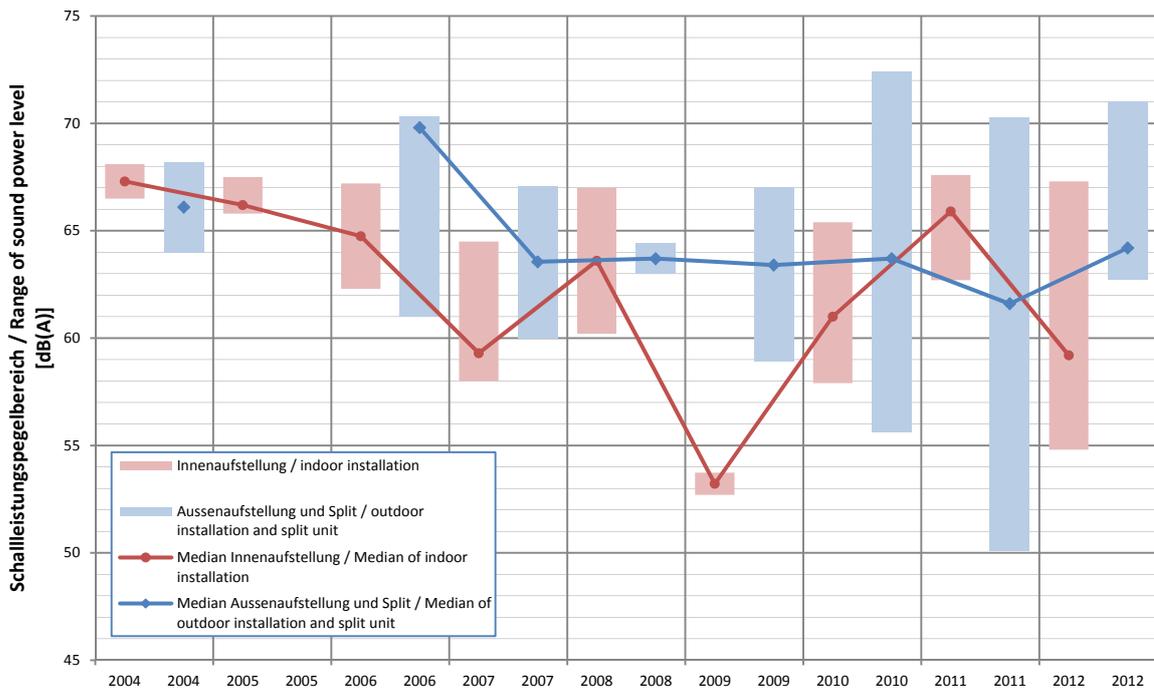


Abb. 1.6: Schallleistungspegelentwicklung zwischen innenaufgestellt und aussaufgestellt bzw. Split

Bei innenaufgestellten Wärmepumpen können die Schalloptimierungen im Allgemeinen etwas einfacher durchgeführt werden als bei den anderen beiden Bauarten. Bei der Innenaufstellung kann z.B. der Kanal oder der Lichtschacht als Schalloptimierung genutzt werden. Bei den anderen beiden Varianten müssen entweder bauliche oder gerätespezifische Massnahmen zur Schallreduzierung vorgenommen werden.

In der nächsten Abbildung ist die Schallleistungspegelverteilung der verschiedenen Wärmepumpenbauarten seit 2009 ersichtlich. Der Schallemissionsvorteil der innenaufgestellten Wärmepumpe ist vor allem im Bereich kleiner als 62 dB(A) deutlich sichtbar. Diesen Wert haben mehr als die Hälfte dieser Bauart unterboten. Bei den Splitanlagen konnte nur jede dritte und bei den Aussenaufstellung sogar nur jede vierte Messung diesen Wert unterbieten.

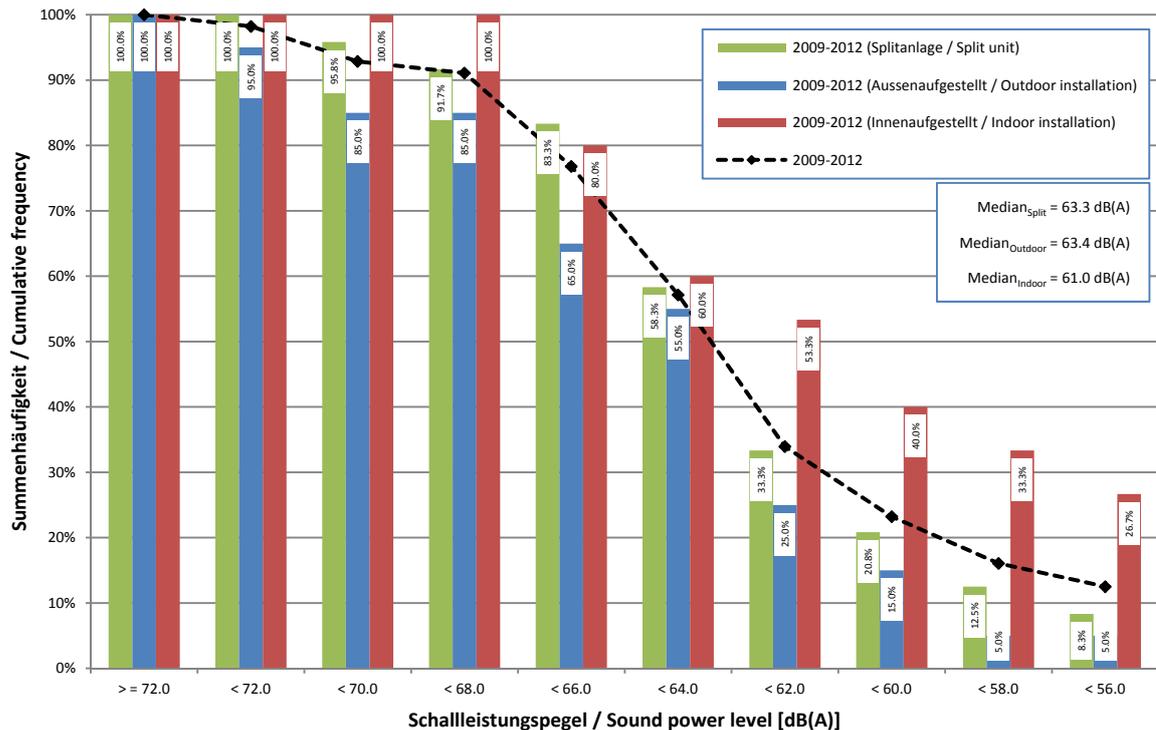


Abb. 1.7: Schalleistungspegelverteilung der verschiedenen Bauarten

1.3 Verwendete Expansionsventile bei Luft/Wasser-Wärmepumpen

In den letzten Jahren wurden bei Luft/Wasser-Wärmepumpen nur die thermischen und elektronischen Expansionsventile bei den Prüflingen eingesetzt. Die letzte Luft/Wasser-Wärmepumpe, die ein Kapillarrohr zur Expansion des Druckes verwendete, geht bis ins Jahr 1994 zurück. In der folgenden Abbildung ist ersichtlich, dass das thermische Expansionsventil bis ins Jahr 2008 die gängigere der beiden Varianten war. Seit 2008 hat sich aber das elektronische Expansionsventil etabliert und wird seit 2011 sogar häufiger eingesetzt.

Die elektronischen Expansionsventile werden vor allem bei modulierenden Wärmepumpen eingesetzt, kommen aber immer häufiger auch bei den kommerziellen Wärmepumpen zum Einsatz. Bei den Expansionsventilen führt der Trend zurzeit zu den elektronischen Expansionsventilen. Das elektronische Expansionsventil besitzt gegenüber dem thermischen Expansionsventil mehrere Vorteile (z.B. feinere Regulierung und grösserer Regelbereich).

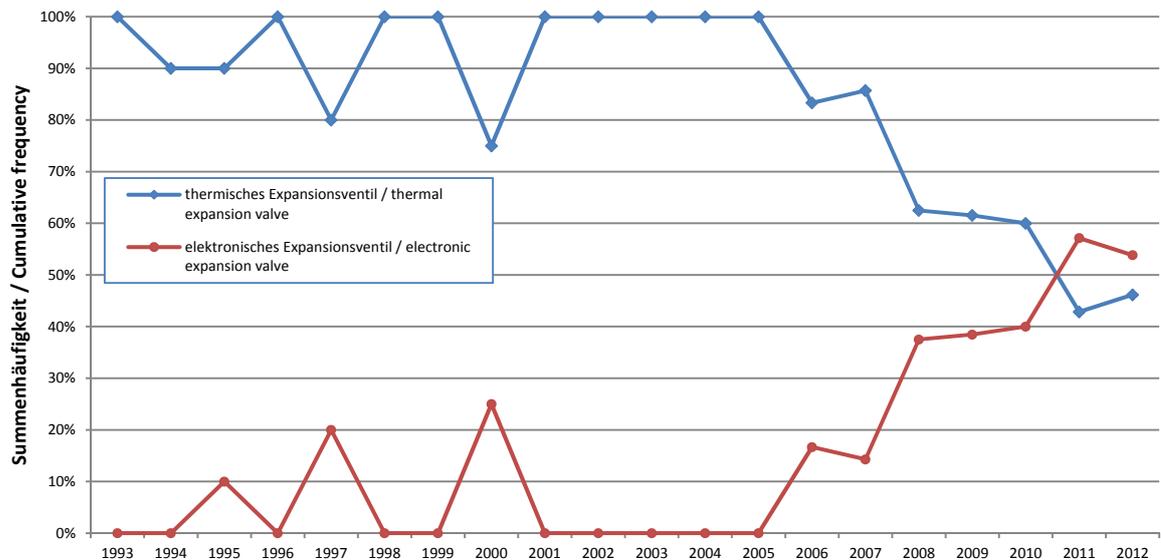


Abb. 1.8: Summenhäufigkeitsverteilung der Expansionsventile

Die jährliche Effizienzentwicklung (siehe Abb. 1.9) zeigt, dass im Schnitt höhere COP-Werte mit dem elektronischen Expansionsventil zu erwarten sind. Der Best-Wert von 4.42 wurde dennoch mit einem thermischen Expansionsventil im Jahr 2011 erzielt. Grundsätzlich kann jedoch nicht gesagt werden, dass Wärmepumpen mit einem elektronischen Expansionsventil effizienter sind als jene mit einem thermischen Expansionsventil.

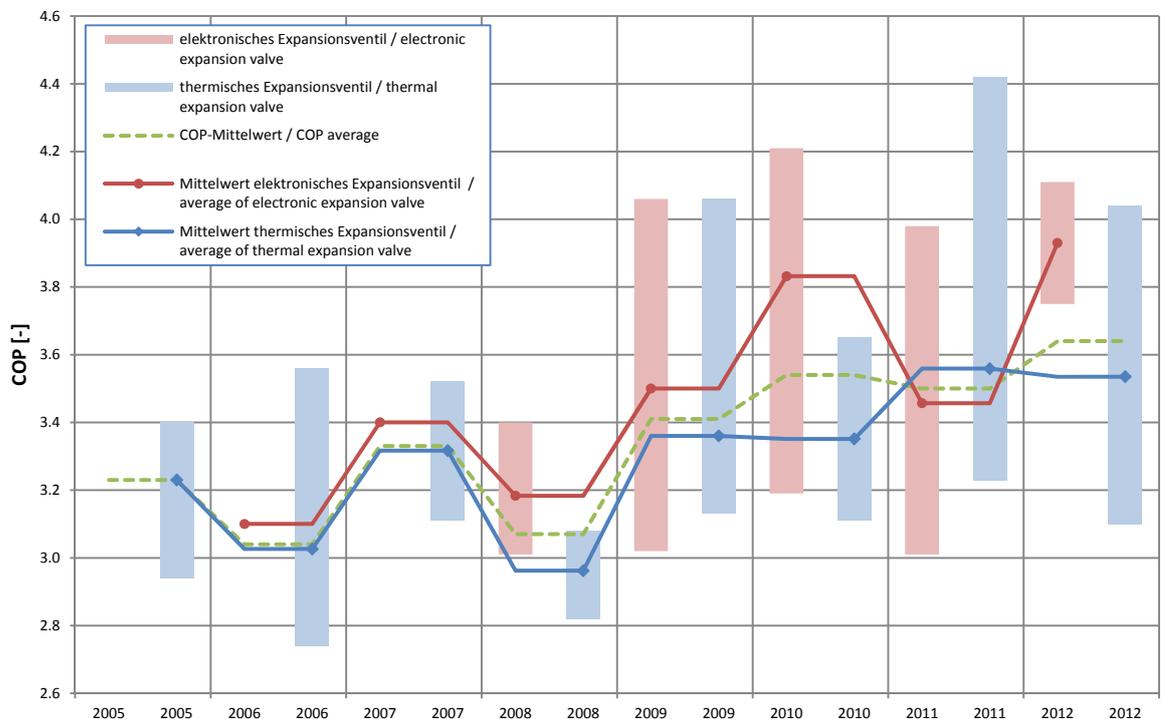


Abb. 1.9: COP-Entwicklung in Abhängigkeit vom thermischen und elektronischen Expansionsventil

1.4 Verwendete Kältemitteltypen bei Luft/Wasser-Wärmepumpen

Seit 2005 wurden am Wärmepumpen-Testzentrum nur noch Wärmepumpen mit 4 unterschiedlichen Kältemitteltypen geprüft. Die meisten geprüften Wärmepumpen werden immer noch mit R407C befüllt. Das Kältemittel R410A werden voraussichtlich bei drehzahlregulierten Wärmepumpen eingesetzt, wobei hier ein Trend ersichtlich ist, dass auch konventionelle Wärmepumpen dieses Kältemittel immer mehr einsetzen. In der Abb. 1.10 sind die prozentualen Anteile der Kältemittel an den geprüften Wärmepumpen ersichtlich.

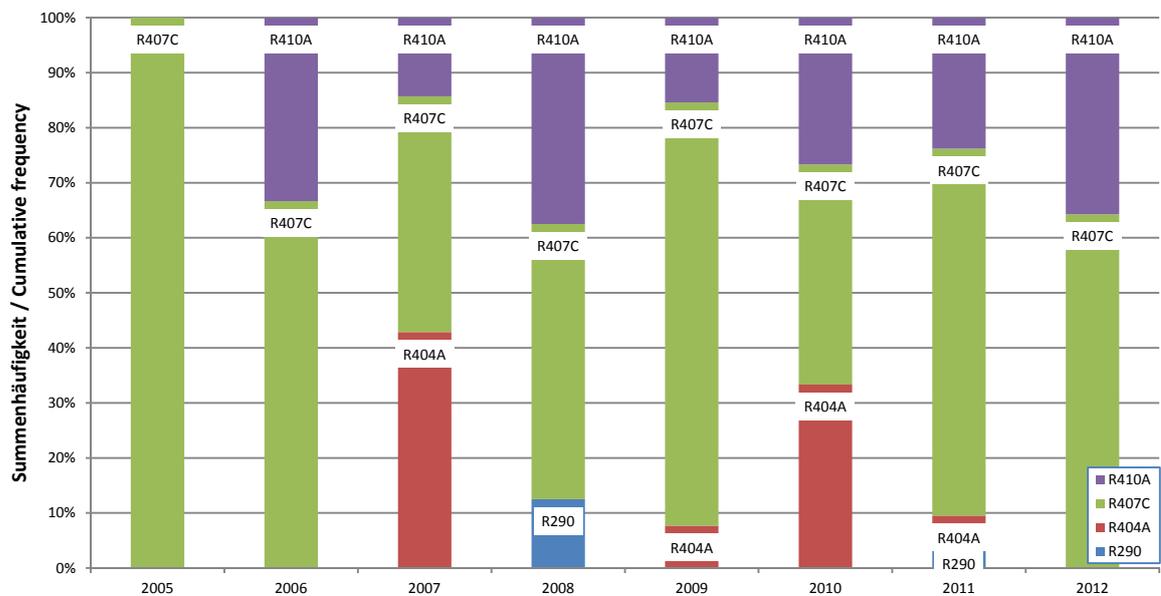


Abb. 1.10: Verwendete Kältemitteltypen seit 2005

Die beiden anderen Kältemitteltypen R404A und R290 (auch Propan genannt) werden nur sporadisch am WPZ gemessen. In der nächsten Abbildung ist die Entwicklung der Effizienz in Abhängigkeit des Kältemitteltyps ersichtlich.

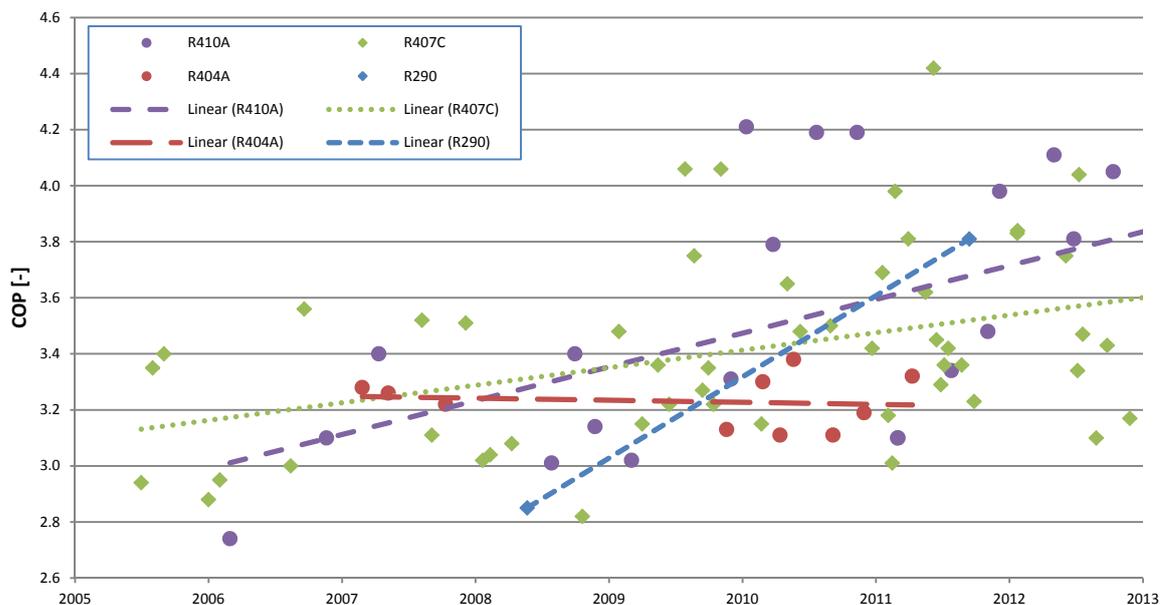


Abb. 1.11: COP-Entwicklung in Abhängigkeit des Kältemitteltyps

Die Wärmepumpen mit den Kältemitteltypen R407C und R410A steigern ihre Effizienz seit 2005 stetig, wohingegen die Effizienz bei denen mit dem Kältemittel R404A eher stagniert. Bei Propan kann keine Tendenz ausfindig gemacht werden, da nur zwei Wärmepumpen mit diesem Kältemittel in diesem Zeitraum geprüft wurden.

1.5 Allgemeine Effizienz-Entwicklung der Sole/Wasser-Wärmepumpe

In der folgenden Abb. 1.12 ist die Entwicklung der Effizienz der Sole/Wasser-Wärmepumpe seit 1993 ersichtlich.

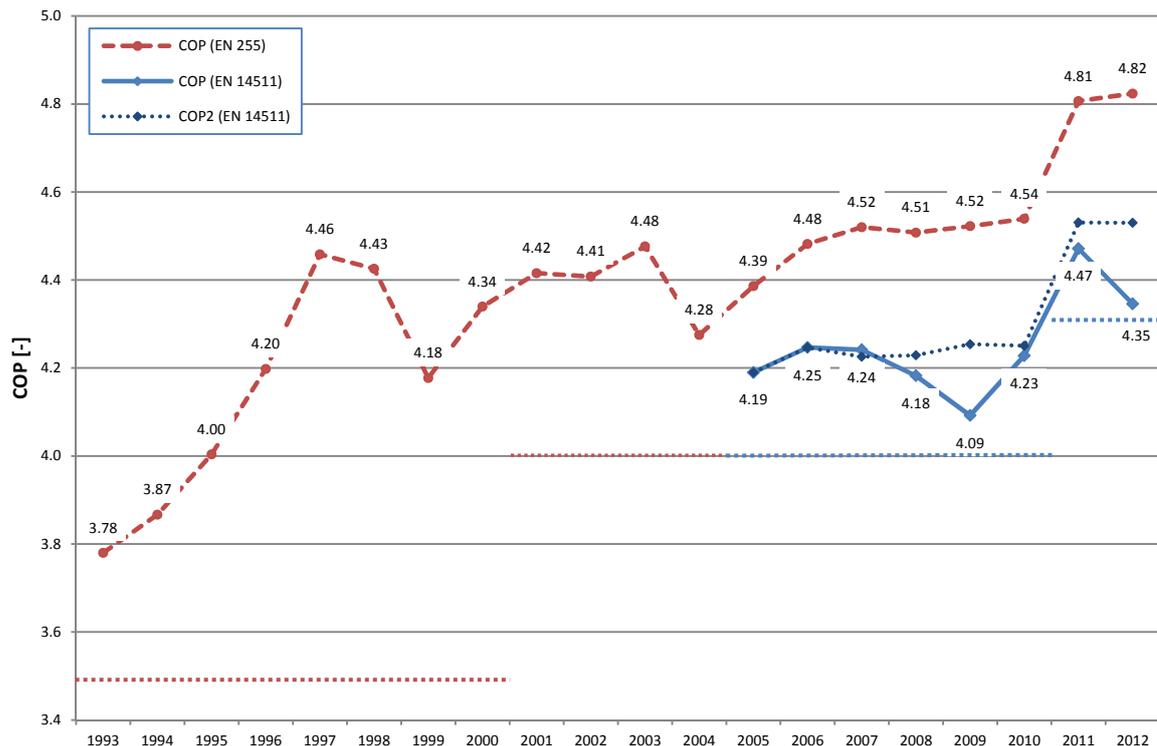


Abb. 1.12: COP-Entwicklung der Sole/Wasser-Wärmepumpe seit 1993

Die Effizienz der Sole/Wasser-Wärmepumpe hat sich seit 2005 jährlich durchschnittlich um etwa 0.5% erhöht. Im Berichtsjahr wurde ein mittlerer COP von 4.35 beim Normpunkt ermittelt. Die grösste Effizienzsteigerung der Sole/Wasser-Wärmepumpe konnte im letzten Jahr 2011 erzielt werden. Da lag der mittlere COP aller geprüften Wärmepumpen bei 4.47. Dies konnte hauptsächlich durch die Anhebung des zu erfüllenden Mindest-COP (von 4.00 auf 4.30), damit das EHPA-Gütesiegel beantragt werden kann, erzielt werden. Da seit 2005 die Wärmepumpen nach der Norm EN 14511 geprüft werden, wurden nicht mehr alle Wärmepumpen beim Normpunkt nach EN 255 gemessen. Daher wurde eine zusätzliche COP2-Kurve nach EN 14511 in die Grafik aufgenommen. Diese Wärmepumpen wurden sowohl nach EN 14511 als auch nach EN 255 bei dieser Prüfbedingung gemessen.

1.6 Verwendete Expansionsventile bei Sole/Wasser-Wärmepumpen

Ausser im Jahr 2012 wurden nur Wärmepumpen mit thermischen oder elektronischen Expansionsventile geprüft. Im Berichtsjahr wurde auch eine Wärmepumpe mit einem Kapillarrohr gemessen. In diesem Kapitel werden aber nur auf die thermischen und elektronischen Expansionsventile einge-

gangen. Seit 1995 wurden Immer wieder vereinzelt elektronische Expansionsventile auch bei Sole/Wasser-Wärmepumpen eingesetzt. In der Abb. 1.13 ist ersichtlich, dass sie sich aber erst seit 2007 etablieren konnten. Im Berichtsjahr wurden erstmals mehr Sole/Wasser-Wärmepumpen mit elektronischem Expansionsventil geprüft.

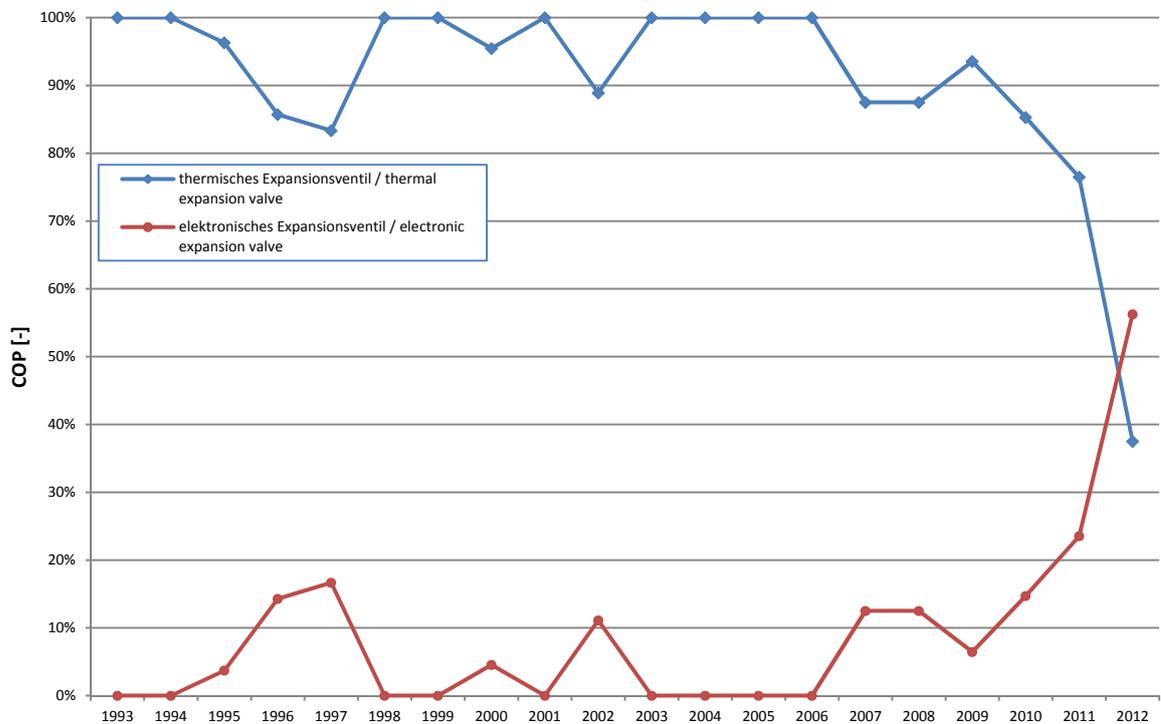


Abb. 1.13: Summenhäufigkeitsverteilung der Expansionsventile

In der nachfolgenden Abbildung wird die COP-Entwicklung in Abhängigkeit der beiden Expansionsventil-Bauarten graphisch dargestellt. Bei dieser Grafik wird nicht ersichtlich welche der beiden Varianten die effizientere ist. Ausser in den Jahren 2009 und 2012 lagen die COP-Mittelwerte sehr nahe beieinander. Im Berichtsjahr liegt der COP-Mittelwert bei Wärmepumpen mit thermischem Expansionsventil bei 4.20 (Median = 4.25). Bei Wärmepumpen mit elektronischem Expansionsventil liegt dieser bei 4.58 (Median = 4.50).

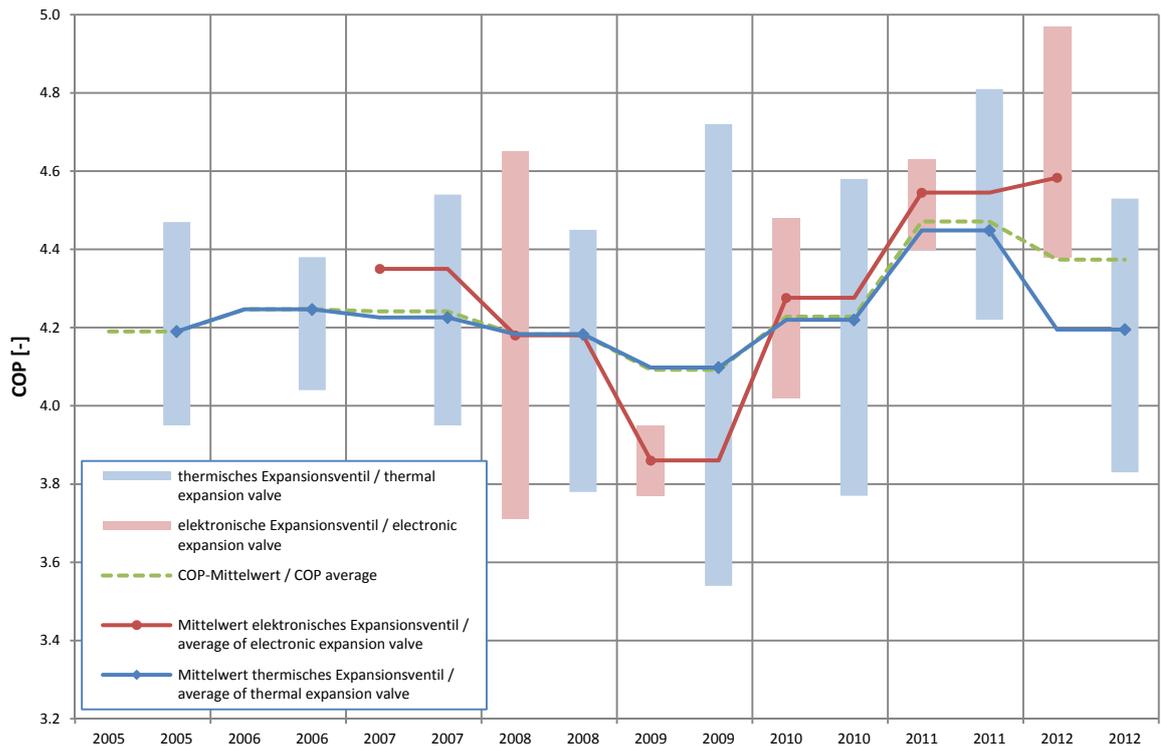


Abb. 1.14: COP-Entwicklung in Abhängigkeit vom thermischen und elektronischen Expansionsventil

1.7 Verwendete Kältemitteltypen bei Sole/Wasser-Wärmepumpen

Seit 2005 wurden bei Sole/Wasser-Wärmepumpen fünf verschiedene Kältemitteltypen verwendet, die in der Abb. 1.15 als jährliche Summenhäufigkeit ersichtlich sind.

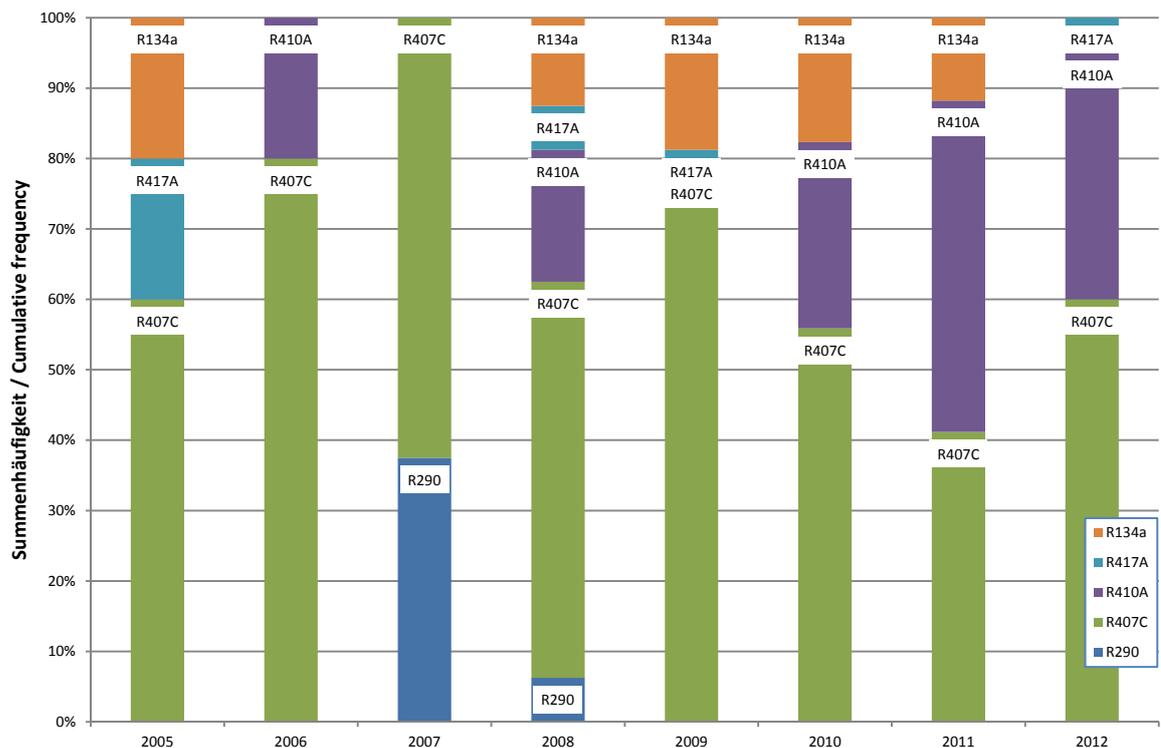


Abb. 1.15: Verwendete Kältemitteltypen seit 2005

In den letzten Jahren wurden vor allem die Kältemittel R134a, R410A und R407C in den geprüften Wärmepumpen verwendet. Wärmepumpen mit den beiden anderen Kältemitteltypen R290 und R417A wurden nur vereinzelt am WPZ geprüft. In der nächsten Abbildung ist die zeitliche COP-Entwicklung der Wärmepumpen in Abhängigkeit des Kältemitteltyps ersichtlich.

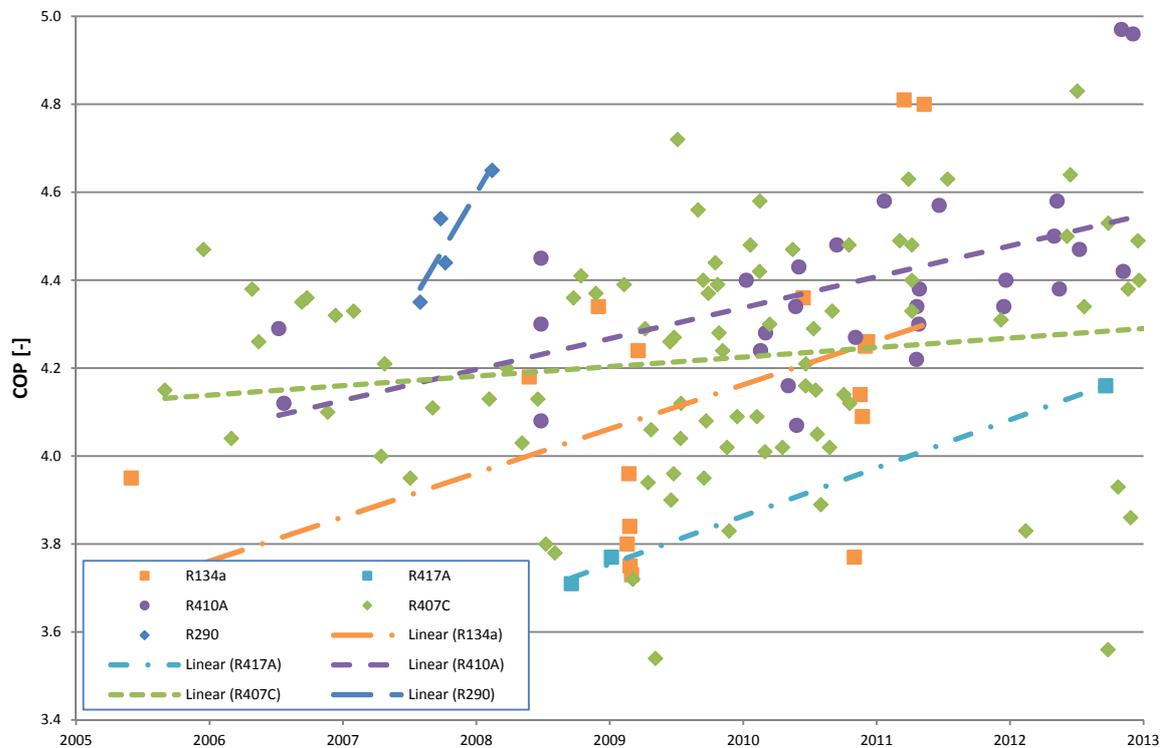


Abb. 1.16: COP-Entwicklung in Abhängigkeit des Kältemitteltyps

Bei allen Kältemitteltypen (bei Propan kann keinen Trend ausgemacht werden, da diese Wärmepumpen nur in einem kurzen Zeitfenster geprüft wurden) ist ein positiver Effizienztrend ersichtlich. Die Streuung der einzelnen Messungen mit einem Kältemitteltyp ist sehr gross, wie z.B. beim R407C. Im Berichtsjahr wurden Wärmepumpen mit diesem Kältemittel mit einem COP zwischen 3.56 und 4.83 gemessen. Dies entspricht einem Unterschied von mehr als 35%. Wärmepumpen, die mit R417A laufen, sind im Vergleich zu den anderen Wärmepumpen im Schnitt die Ineffizientesten. Die Mindestanforderung für das Gütesiegel konnten mit diesem Kältemittel noch nicht erreicht werden. Insgesamt erreichen sehr viele Wärmepumpen den Wert von 4.30 nicht.

1.8 Schlussfolgerung

Welche Variante bei Luft/Wasser-Wärmepumpen in Zukunft vermehrt verwendet und geprüft wird, ist zurzeit schwer zu sagen. Anhand von den COP- und Schallemissionswerten könnte sich die innen-aufgestellte Luft/Wasser-Wärmepumpe in naher Zukunft gegenüber den anderen beiden Varianten behaupten. Die Effizienz der Innenaufstellung konnte in den letzten Jahren stetig erhöht werden und liegt im Berichtsjahr gleichauf mit der Split-Wärmepumpe, die Jahrelang dieses Metier im Schnitt für sich entschied (grosse Effizienzstreuung). Da die Schallproblematik insbesondere bei Luft/Wasser-Wärmepumpen immer mehr zum Thema wird, könnte die Innenaufstellung ebenfalls interessanter werden. Bei der innen-aufgestellten Variante können Luftkanäle und/oder Lichtschächte direkt als Schallschutzminderung umgesetzt werden, ohne dass zusätzlich bauliche oder gerätespezifische An-

passungen durchgeführt werden müssen, um den Beurteilungspegel nach LSV beim Nachbarn einzuhalten.

Sowohl bei Luft/Wasser- als auch bei Sole/Wasser-Wärmepumpen geht der Trend zu elektronischen Expansionsventilen. Im Berichtsjahr wurden bei beiden Typen mehr Wärmepumpen mit elektronischem Expansionsventil als mit thermischen Expansionsventil geprüft. Bei der Effizienz hingegen kann nicht eindeutig gesagt werden, ob die Wärmepumpen effizienter durch dessen Einsatz geworden sind.

Bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen werden vor allem die Kältemittel R407C und R410A verwendet. Wobei letzteres mehrheitlich bei drehzahlgeregelten Wärmepumpen eingesetzt wird. Das R407C findet praktisch ausschliesslich bei den konventionellen Wärmepumpen Verwendung. Welches dieser beiden Kältemitteltypen zu effizienteren Wärmepumpen führt, kann noch nicht abschliessend gesagt werden. Etwas anders sieht die Kältemittelfrage bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen aus. Hier finden die Kältemitteltypen R134a, R407C und R410A Verwendung. COP-Werte von 4.80 können mit all diesen drei Kältemitteltypen erreicht werden.

2 Energieeffizienz in Abhängigkeit der Quellen- oder Senktemperatur

Da die Effizienz stark von den Primär- und Sekundärtemperaturen abhängt, stellt sich die Frage, welche Auswirkungen hat eine hohe Vorlauftemperatur oder eine zu niedrige Quelltemperatur auf das COP. In diesem Kapitel wird auf diese Problematik eingegangen.

2.1 Effizienzabhängigkeit der Vorlauftemperatur bei Luft/Wasser-Wärmepumpen

In der untenstehenden Tabelle ist die durchschnittlich Änderung der Leistungszahl in Abhängigkeit der Vorlauftemperatur an zwei unterschiedlichen Quelltemperaturen bei Wärmepumpen mit dem Kältemittel R407C ersichtlich.

Quellentemperatur +7°C Vorlauftemperatur VL von 35°C bis 55°C			Quellentemperatur -7°C Vorlauftemperatur VL von 35°C bis 55°C		
VL	COP theo	COP real	VL	COP theo	COP real
35	4.24	4.24	35	2.93	2.93
36	4.15		36	2.87	
37	4.06		37	2.81	
38	3.97		38	2.76	
39	3.88		39	2.70	
40	3.79		40	2.65	
41	3.71		41	2.60	
42	3.63		42	2.54	
43	3.55		43	2.49	
44	3.47		44	2.44	
45	3.39	3.41	45	2.39	
46	3.32		46	2.35	
47	3.25		47	2.30	
48	3.18		48	2.25	
49	3.11		49	2.21	
50	3.04		50	2.16	
51	2.97		51	2.12	
52	2.90		52	2.08	
53	2.84		53	2.04	
54	2.78		54	2.00	
55	2.72	2.73	55	1.96	1.95

Tab. 2.1: Leistungszahl in Abhängigkeit der Vorlauftemperatur (Wärmepumpen mit R407C)

Die Effizienzmindering beträgt pro 1 K Vorlauftemperaturerhöhung bei Wärmepumpen, die mit R407C betrieben werden, durchschnittlich zwischen 2.0 (bei Quelltemperatur von -7°C) und 2.2 % (bei Quelltemperatur von +7°C).

Die Effizienzabhängigkeit bei Anlagen mit R410A sieht die Situation folgendermassen aus:

Quellentemperatur +7°C Vorlauftemperatur VL von 35°C bis 55°C			Quellentemperatur -7°C Vorlauftemperatur VL von 35°C bis 55°C		
VL	COP theo	COP real	VL	COP theo	COP real
35	4.69	4.69	35	3.09	3.09
36	4.57		36	3.01	
37	4.46		37	2.93	
38	4.35		38	2.85	
39	4.24		39	2.77	
40	4.13		40	2.69	
41	4.03		41	2.62	
42	3.93		42	2.55	
43	3.83		43	2.48	
44	3.73		44	2.42	
45	3.64	3.65	45	2.35	
46	3.55		46	2.29	
47	3.46		47	2.22	
48	3.37		48	2.16	
49	3.29		49	2.11	
50	3.21		50	2.05	
51	3.13		51	1.99	
52	3.05		52	1.94	
53	2.97		53	1.89	
54	2.90		54	1.84	
55	2.83	2.86	55	1.79	1.80

Tab. 2.2: Leistungszahl in Abhängigkeit der Vorlauftemperatur (Wärmepumpen mit R410A)

Hier liegt die Effizienzminderung bei etwa 2.5% pro 1 K Vorlauftemperaturerhöhung bei +7°C Aussentemperatur und bei -7°C Aussentemperatur sogar bei etwa 2.7%.

Da die Effizienz der Luft/Wasser-Wärmepumpe bei Vorlauftemperaturerhöhung stark abnimmt, ist darauf zu achten, dass die Vorlauftemperatur möglichst tief gehalten werden kann. Vor allem bei Sanierungen (meist hohe Vorlauftemperaturen notwendig) ist darauf zu achten, dass diese Temperatur tief gehalten wird.

2.2 Effizienzabhängigkeit der Quelltemperatur bei Luft/Wasser-Wärmepumpen

Wie sich die Leistungszahl in Abhängigkeit der Quelltemperatur und bei gleichbleibender Vorlauf-temperatur verhält, ist in der Tab. 2.3 ersichtlich. Die Auswertung beruht auf Wärmepumpen mit dem Kältemittel R407C.

Quelltemperatur QT von -7°C bis +7°C Vorlauftemperatur VL von 35°C		
QT	COP theo	COP real
7	4.24	4.24
6	4.13	
5	4.02	
4	3.92	
3	3.82	
2	3.72	3.52
1	3.62	
0	3.53	
-1	3.43	
-2	3.35	
-3	3.26	
-4	3.17	
-5	3.09	
-6	3.01	
-7	2.93	2.93

Tab. 2.3: Leistungszahl in Abhängigkeit der Quelltemperatur (Wärmepumpen mit R407C)

Im Schnitt nimmt die Leistungszahl pro 1K niedrigere Quelltemperatur von +7°C auf -7°C um etwa 2.6% ab, wobei dies nur die halbe Wahrheit ist. Die Temperaturabhängigkeit oberhalb des Gefrierpunktes ist stärker ausgeprägt als unterhalb des Gefrierpunktes. So nimmt das COP von +7°C auf +2°C durchschnittlich pro 1K um 3.6% ab.

3 Brauchwarmwasser-Wärmepumpen

Seit Ende 2011 führt das Wärmepumpen-Testzentrum WPZ die Brauchwarmwasser-Wärmepumpen-Prüfungen nach der aktuellen Norm EN 16147 [4] durch. Im Berichtsjahr (bis Ende November) wurden insgesamt 15 Brauchwarmwasser-Wärmepumpen bei A15 / W10-55 und 5 bei A7 / W10-55 geprüft.

3.1 COP-Werte

In der folgenden Abbildung 3.1 ist die Summenhäufigkeit der erreichten COP-Werte bei A15 / W10-55 und A7 / W10-55 ersichtlich. Der Mittelwert aller im 2012 geprüften Brauchwarmwasser-Wärmepumpen bei A15 liegt bei 2.66 (Median bei 2.73). Bei A7 liegt der Mittelwert wie auch der Median bei 2.43. Dies entspricht einer Effizienz-Minderung von fast 10%.

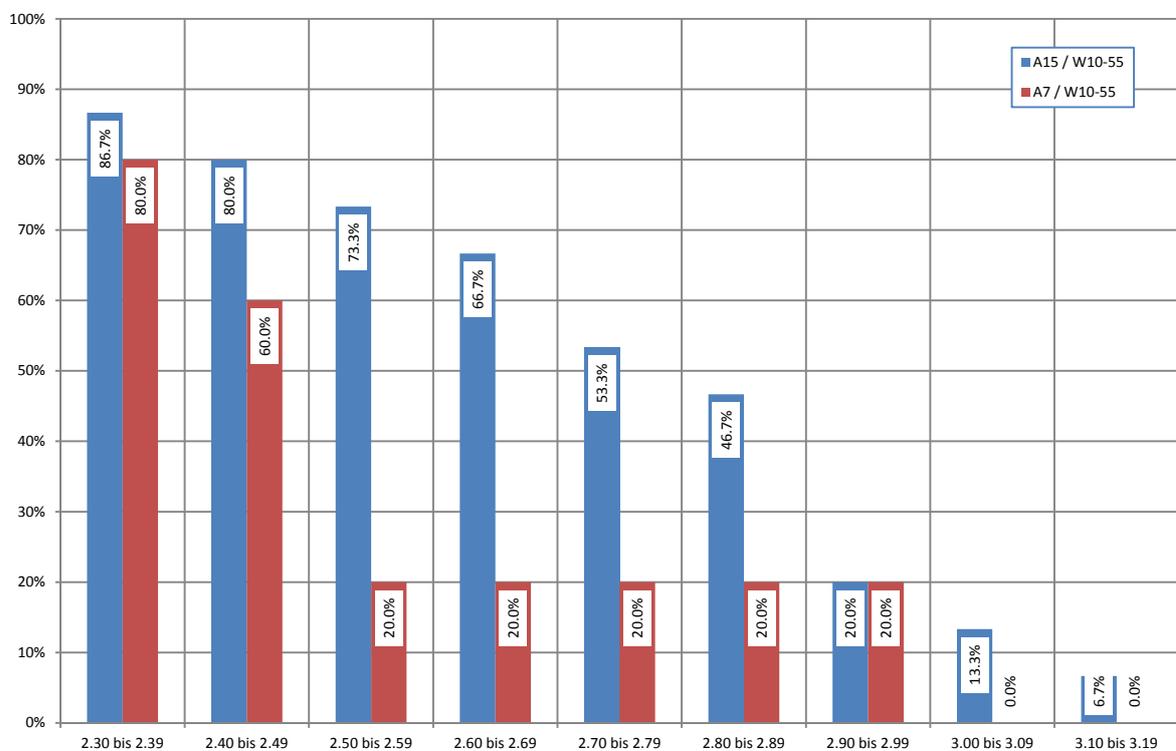


Abb. 3.1: COP-Verteilung bei A15 / W10-55

Damit in der Schweiz das Gütesiegel für die Brauchwarmwasser-Wärmepumpe beantragt werden kann, muss ein Mindest-COP-Wert von 2.30 bei A15 / W10-55 erreicht werden. Im Berichtsjahr haben 13 von 15 der geprüften Wärmepumpen diesen geforderten Wert erreicht. Mehrere dieser Wärmepumpen hätten den „alten“ Mindest-COP von 3.0 nach der abgelösten Norm aber nicht erreicht. Aus diesem Grund wird diese Mindestanforderung auf den 01.01.2013 auf 2.60 erhöht. Dadurch möchte erzielt werden, dass nur noch etwa 80% aller Warmwasser-Wärmepumpen diesen Wert erreichen.

3.2 Bezugswarmwasser-Temperatur

Zurzeit werden die Messungen an Brauchwarmwasser-Wärmepumpen mit einer Thermostateinstellung von 55°C durchgeführt. Dies hat den Grund weil die höchste geforderte Temperatur während der COP-Bestimmung beziehungsweise des Entnahmezyklus 55°C (für Geschirrspülung) beträgt. Falls diese Temperatur von 55°C während des Geschirrspülens nicht erreicht wird, wird rechnerisch noch den elektrischen Anteil (damit diese 55°C erreicht werden) hinzuaddiert. In Abb. 3.2 werden die beiden extremen Temperaturverläufe während der Bezugswarmwassertemperaturbestimmung aufgezeigt. In dieser Grafik wird ersichtlich, dass die maximale Temperatur (bei Thermostateinstellung von 55°C) von verschiedenen Fabrikaten um etwa 2 K voneinander abweichen kann. Demnach wurde bei einem Speicher eine maximale Temperatur von 55.4°C und bei einem anderen Speicher eine maximale Temperatur von nur 53.4°C erreicht. Die daraus resultierenden Bezugswarmwassertemperaturen liegen zwischen 52.9°C und 54.6°C. Die Bezugswarmwassertemperatur bezieht sich auf die durchschnittliche Temperatur während einer Entnahme, die sobald endet, wenn die Warmwassertemperatur unter 40°C fällt. Um das Gütesiegel in der Schweiz zu beantragen, ist zurzeit keine Mindest-Bezugswarmwassertemperatur einzuhalten.

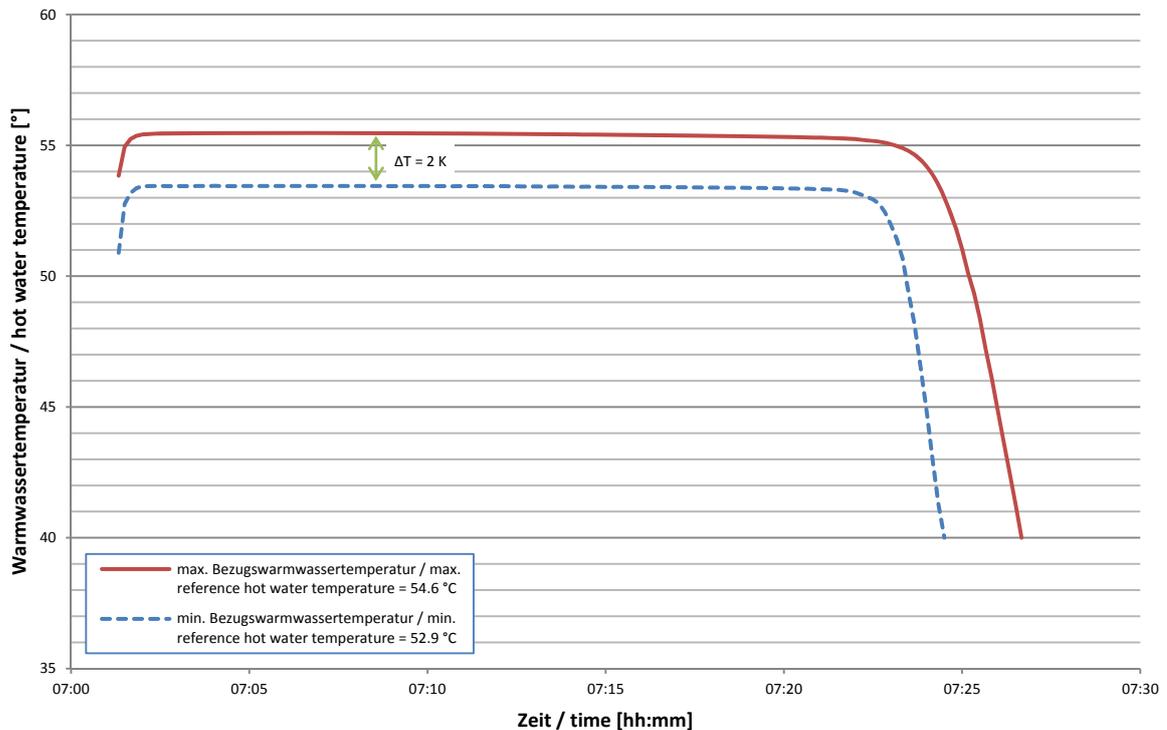


Abb. 3.2: höchste und niedrigste Brauchwarmwassertemperatur bei den Prüfungen

Bei einer Brauchwarmwasser-Wärmepumpe wurden zwei Messungen an unterschiedlichen Thermostateinstellungen durchgeführt. Es wurden folgende Ergebnisse erzielt:

		Messung 1	Messung 2	Differenz
1	Thermostateinstellung	55 °C	54°C	
2	Aufheizenergieaufnahme	4.651 kWh	4.235 kWh	- 0.416 kWh oder - 9.8 %
3	Elektrische Verlustleistung	54.9 W	52.6 W	- 2.3 W oder - 4.4 %
4	Elektrische Anteil für den Geschirrspüler	0.029 kWh	0.052 kWh	
5	COP	2.63	2.66	+ 0.03 oder + 1.0 %
6	COP (ohne Berücksichtigung von Punkt 4)	2.64	2.67	+0.03 oder + 1.1 %

Tab. 3.1: Ergebnisse von einem Wärmepumpen-Boiler

In der Tab. 3.1 ist ersichtlich, dass der Einfluss der dazu addierten elektrischen Energie praktisch keinen Einfluss auf den COP hat, dagegen weicht die Aufheizenergieaufnahme in diesem Beispiel um fast 10% voneinander ab. Die zusätzliche Energieaufnahme beträgt 0.416 kWh um den Speicher von 54°C auf 55°C zu erwärmen. Und genau in diesem Bereich läuft die Wärmepumpe am ineffizientesten. Dies wird mit dem folgenden Vergleich verdeutlicht. Die durchschnittliche Energieaufnahme pro 1 K Speichertemperaturerhöhung (das Wasser wird von 10°C auf 54 bzw. 55°C erwärmt) liegt mit 0.101 kWh bei der Messung 1 und 0.096 kWh bei der Messung 2 deutlich unterhalb der ermittelten 0.416 kWh (das Wasser wird von 54°C auf 55°C erwärmt).

Aus dieser gewonnenen Erfahrung, sollte nicht die Thermostattemperatur sondern eine zu erreichende Mindest-Bezugswarmwassertemperatur definiert sein, damit die Brauchwarmwasser-Wärmepumpen auch in Zukunft miteinander vergleichbar bleiben. Aus den etlichen Messungen, die am WPZ durchgeführt wurden, ergibt sich eine realistische Mindest-Brauchwarmwassertemperatur von 52.50 °C.

3.3 Schlussfolgerung

Fast alle im Berichtsjahr geprüften Brauchwarmwasser-Wärmepumpen (Prüfbedingung bei A15 / W10-55), konnten den für das Gütesiegel geforderte Mindest-COP von 2.30 erreichen. Aus diesem Grund wird der Mindest-COP im Neuen Jahr auf 2.60 angehoben. Diesen Wert werden etwa 80% der Brauchwarmwasser-Wärmepumpen erreichen.

Damit die Effizienz der verschiedenen Brauchwarmwasser-Wärmepumpen miteinander vergleichbar ist, wird der Thermostat der Wärmepumpe auf 55°C eingestellt. Jedoch variiert die maximale Temperatur im Speicher um etwa 2 K (aus den Erfahrungen aller Messungen). Je tiefer die maximale Ausschalttemperatur liegt umso ein höheres COP ist zu erwarten. Pro 1 K tieferer Ausschalttempunkt erhöht sich der COP um etwa 1%. Daher sollte nicht die Thermostattemperatur sondern eine zu erreichende Mindest-Bezugswarmwassertemperatur definiert werden.

4 Referenzen

- [1] *EN 14511:2004 Teile 1 bis 4: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern; Begriffe, Prüfbedingungen, Prüfverfahren und Anforderungen*
- [2] *EN 14511:2011 Teile 1 bis 4: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern; Begriffe, Prüfbedingungen, Prüfverfahren und Anforderungen*
- [3] *Lärmschutz-Verordnung (LSV) 814.41
Ausgabe 5.10.2004*
- [4] *EN 16147:2011: Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern – Prüfungen und Anforderungen an die Kennzeichnung von Geräten zum Erwärmen von Brauchwarmwasser*