



Schlussbericht per 30.06.2015

Feldmessungen an leistungs- geregelten Wärmepumpen und Warmwasser-Wärmepumpen

Impressum

31. Juli 2015

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern

Auftragnehmer:

Hubacher Engineering, Tannenbergrasse 2, 9032 Engelburg

Autoren:

Peter Hubacher (Projektleitung)

Carlos Bernal (technische Feldarbeit)

Begleitgruppe:

Rita Kobler, Bundesamt für Energie BFE

**Diese Studie wurde für das Bundesamt für Energie durchgeführt.
Für den Inhalt ist alleine der Autor verantwortlich.**

Bundesamt für Energie BFE, Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen · Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch

Inhaltsverzeichnis

0	Zusammenfassung	5
	Abstract.....	6
1	Wärmepumpenboiler	7
1.1	Grundsätzliche Informationen	7
1.2	Projektentwicklung	7
1.2.1	Studium und Abklärung Produkte	7
1.2.2	Messkonzept.....	7
1.2.3	Kontakt zu Anbietern auf dem Markt.....	8
1.2.4	Kontaktnahme zu Anlagenbesitzern	8
1.3	Projektumfang	8
1.3.1	Anlagensample	8
1.3.2	Bestückung der Anlagen mit Messgeräten	9
1.4	Messresultate und Beurteilung	9
1.4.1	Wissenschaftliche Untersuchung zur Effizienz von Wärmepumpen-Warmwasser- speichern am WPZ Buchs.....	10
1.4.2	Anlage 1320 - Messung und Beurteilung.....	11
1.4.3	Anlage 1321 - Messung und Beurteilung.....	12
1.4.4	Anlage 1322 - Messung und Beurteilung.....	13
1.4.5	Anlage 1323 - Messung und Beurteilung.....	14
1.4.6	Anlage 1324 - Messung und Beurteilung.....	15
1.4.7	Anlage 1325 - Messung und Beurteilung.....	16
1.4.8	Anlage 1326 - Messung und Beurteilung.....	17
1.4.9	Anlage 1327 - Messung und Beurteilung.....	18
1.4.10	Zusätzliche Betriebserfahrungen	18
1.5	Zusammenfassung.....	20
2	Inverter-Wärmepumpen.....	23
2.1	Grundsätzliche Informationen	23
2.2	Projektentwicklung	23
2.2.1	Studium Projektunterlagen.....	23
2.2.2	Abklärungen mit Lieferanten	23
2.2.3	Probleme	23

2.3	Projektumfang	24
2.3.1	Anlagensample	24
2.3.2	Bestückung der Anlagen mit Messgeräten	24
2.3.3	Anlagenkonfiguration	25
2.3.4	Inbetriebnahme und Messbeginn.....	25
2.4	Messresultate und Beurteilung	26
2.4.1	Anlage 1300 - Messung und Beurteilung.....	26
2.4.2	Anlage 1301 - Messung und Beurteilung.....	27
2.4.3	Anlage 1302 - Messung und Beurteilung.....	28
2.4.4	Anlage 1303 - Messung und Beurteilung.....	29
2.4.5	Anlage 1304 - Messung und Beurteilung.....	29
2.4.6	Anlage 1305 - Messung und Beurteilung.....	31
2.4.7	Anlage 1306 - Messung und Beurteilung.....	32
2.4.8	Anlage 1307 - Messung und Beurteilung.....	32
2.4.9	Anlage 1308 - Messung und Beurteilung.....	34
2.4.10	Anlage 1309 - Messung und Beurteilung.....	35
2.4.11	Anlage 1310 - Messung und Beurteilung.....	36
2.4.12	Anlage 1311 - Messung und Beurteilung.....	37
2.4.13	Anlage 1312 - Messung und Beurteilung.....	38
2.4.14	Anlage 1313 - Messung und Beurteilung.....	39
2.4.15	Anlage 1314 - Messung und Beurteilung.....	40
2.5	Schallmessungen.....	40
2.6	Zusammenfassung.....	41
3	Weiteres Vorgehen.....	43

0 Zusammenfassung

Das Projekt " Feldmessungen an leistungs-geregelten Wärmepumpen und Warmwasser-Wärmepumpen" wurde von Hubacher Engineering beim BFE eingegeben, weil einerseits diese neueren Technologien sich am Schweizer Markt zu etablieren begannen und die Angaben zur Effizienz recht interessant sind. Andererseits war da die offene Frage, wie gut diese Geräte im Feldbetrieb wirklich sind und auf was bei der Planung und im Betrieb wirklich zu achten ist.

Die Warmwasser-Wärmepumpen wurden mit einem einfachen Messkonzept analysiert. Da die ersten Analysen sehr schlechte Werte zeigten, stand zuallererst die Frage im Raum, ob die einfache Messung der Durchflusswerte genügend genau waren. Dank der Unterstützung des BFE konnte dann am Wärmepumpentestzentrum (WPZ) eine analoge Messeinrichtung überprüft werden. Die Resultate bestätigten, dass es nicht am Messkonzept gelegen war. Die Effizienz wurde in der Folge am WPZ mit einem auf einer der analysierten Feldanlagen aufgezeichneten Zapfprofil im Labor nachgeprüft. Die dort ermittelten Messresultate waren sodann analog schlecht, wie diejenigen der Feldanalyse. Die letzte ergänzende Bestätigung wurde in der Folge noch durch das Ausmessen eines 300 Liter Elektroboilers mit ebenfalls drei unterschiedlichen Zapfprofilen. Auch diese Messungen zeigten die gleiche Charakteristik, wie die Warmwasser-Wärmepumpen.

Die Arbeitszahlen liegen je nach Warmwasserverbrauch um 0.8 einem Tagesverbrauch von 20 [l/d] und bei grösseren Zapfmengen im Bereich von 1.6–2.8 bei 150 [l/d].

Es gibt somit zwei wichtige Erkenntnisse. Die Warmwasserspeicher im Einfamilienhaussektor sind gemäss den in diesem Projekt ermittelten Verbrauchszahlen deutlich zu gross und die kleinen Zapfmengen beeinflussen die Effizienz wegen den Wärmeverlusten stark, sodass die gemäss den technischen Angaben der Hersteller bezüglich Effizienz nicht erreicht werden können. Immerhin kann die Aussage bestätigt werden, dass eine Warmwasser-Wärmepumpe in etwa dreimal effizienter ist als ein Elektroboiler, und dies je nach Warmwasserverbrauch auf kleinerem oder höherem Niveau.

Die Inverter-Luft/Wasser-Wärmepumpen zeigten in der ersten Messphase ein ähnliches Bild. Es war zuallererst nicht bei allen Geräten, resp. Fabrikaten, möglich fristgerecht eine Anlagenadresse zu erhalten oder zu organisieren. Tw. waren die Wärmepumpen noch gar nicht auslieferbar und/oder die Software war noch nicht fertig bereit. Verschiedene Anlagen wurden im Verlaufe der Messkampagne mit neuer Software ausgerüstet und auch Komponenten ausgetauscht.

Dies führte notgedrungen dazu, dass man auch diese Anlagenanalysen verlängern musste. Die Qualität der nun vorliegenden Messdaten zeigte, dass diese Verlängerung richtig war. Die Erkenntnisse und Erfahrungen, die aus den Analysen gemacht werden konnten, sind wertvoll.

Es gibt sehr unterschiedliche Resultate. Bei fünf Geräten ist die Effizienz schlecht. Nachbesserungen sind notwendig, wobei es nicht nur an den Wärmepumpen liegt, sondern auch bei der Planung, Dimensionierung und hydraulischen Einbindung. Es ist klar auch der Hinweis angebracht, dass die Installationsbranche ebenfalls gefordert ist. Bei sechs Maschinen liegen die Werte in der Bandbreite von guten konventionellen Standard-Luft/Wasser-Wärmepumpen. Nur vier Geräte erreichen die hohen Werte, die auch propagiert wurden. Diese Resultate bilden deshalb auch die gute Botschaft. Es ist möglich und funktioniert, wenn die richtigen Massnahmen ergriffen werden.

Einerseits ist die Erkenntnis bestätigt, dass die Leistung bei höheren Aussentemperaturen angepasst, resp. reduziert werden muss. Es wird davon ausgegangen, dass die Leistungsregelung von Kompressor und Ventilator nach Aussentemperatur geführt werden sollte.

Bei 10 der insgesamt 15 Inverter-Wärmepumpen wurden auch Schallmessungen durchgeführt. Es war nicht ganz einfach, diese Messungen durchzuführen, da tw. erhebliche Störgeräusche aufgetreten sind. Trotzdem konnten aus diesen Messungen positive Erkenntnisse abgeleitet werden. Die Inverter-Luft/Wasser-Wärmepumpen haben Schalldruckpegel in 1.5–3.0m Abstand von den Ausseneinheiten, welche kaum Schallprobleme verursachen werden.

Abstract

The Project "field analysis on power controlled heat pump and heat pump boilers" was initiated by Hubacher Engineering with the BFE because on the one hand new technologies were establishing themselves in the Swiss market with interesting claims about their efficiency and on the other were questions about how good they really were in operation and how they should be efficiently installed and operated.

The **heat-pump-boiler** system was analysed using a simple measurement approach. The first results were very disappointing and caused a re-evaluation of the chosen measurement method to clarify if measuring flow values was sufficiently accurate. Thanks to the support of the BFE we were able to test an analogue measurement setup at the WPZ (Heat Pump Centre). The results confirmed the measurement approach taken as valid. The efficiency was then compared with results from the field tests and was found to be equally poor. The final confirmation was made by measuring a 300 litre Electric boiler with 3 different "consumption profile. This also showed the same properties as the heat-pump-boiler.

Depending on the water usage, the COP was around 0.8 at a daily consumption of 20 (l/d) and between 1.6-2.8 by 150 (l/d)

So we have two important conclusions. The warm water reservoirs in family residences are too large and the small quantities of water used at one time have a large negative impact on efficiency due to heat losses. Thus the claimed efficiencies of the manufacturers are not achieved. However it still can be confirmed that a heat-pump-boiler is approximately 3 x more efficient than an equivalent Electric water heater. This is independent of low or high hot water use.

The inverter air/water heat pumps showed a similar picture in the first test stage. In the beginning it was not possible to test all the installations within time plan. The root causes for this were delays in obtaining an address where a suitable installation could be found, the equipment was not deliverable or the software was not ready for its operation. During the measurement cycle various installations had software updates and components were replaced

This resulted in delays for the analysis itself. However the quality of the measurement data obtained justify the delay. The results of the analysis are valuable.

The results that were obtained vary greatly. Five installations showed poor efficiency and need to be optimised. This was not only the due to the heat pump but also the installation planning, rating and hydraulic integration. There is a clear need for improvement in the installations process. Six installations were in the range of a good conventional series air/water heat pump. Only four installations achieved the higher values that had been claimed. The message is clear, when the correct procedures are followed the increased efficiency can be achieved.

Experience obtained from operating the installations has shown that when high ambient temperatures prevail the power must be reduced. It is assumed that the power control of the compressor and ventilator should be controlled according to outside temperature.

Noise measurements were made on 10 of the sample of 15 inverter heat pumps. In some cases external noise sources complicated the measurement process. A positive result was however achieved. At a distance of 1.5-3.0m from the external unit minimal noise issues are to be expected.

The result of this analysis shows that the development by several suppliers is not complete. Also the planning, capacity calculation and operation plays a major role for these installations. The idea that a system approach should be taken has been taken up by the FWS. System modules have been developed where components from the same manufacturer must be taken. The system choice and the operation are then according to clearly defined criteria.

1 Warmwasser-Wärmepumpen

1.1 Grundsätzliche Informationen

Beim Ersatz von Warmwasserspeichern mit Direktelektroheizung ist die Warmwasser-Wärmepumpe eine gute Lösung. Mit einer neutralen Feldanalyse sollen zuhanden des Installationsgewerbes und der Konsumenten die wichtigsten Erkenntnisse und weitere Informationen zusammen gestellt werden, die Auskunft über Effizienz, Betrieb und Wirtschaftlichkeit geben.

Gemäss der kantonalen Energieverordnung MuKE n dürfen Elektroboiler bei Neuanlagen und bei Sanierungen von Warmwasseranlagen nicht mehr eingesetzt werden. Dies bedeutet, dass vor allem bei Sanierungsanlagen die Warmwasser-Wärmepumpen eine grössere Bedeutung erhalten. In der Schweiz sind gemäss Informationen von „TopTen“ immer noch etwa 1 Million Elektroboiler im Einsatz. Sie verbrauchen 3% des gesamten Schweizer Stromverbrauchs (2 TWh).

Die Warmwasser-Wärmepumpe wird normalerweise vom Stromlieferanten nicht gesperrt und kann somit auch tagsüber bei grösserem Verbrauch von Warmwasser nachheizen. Da die Warmwasser-Wärmepumpe die Raumluft oft unter den Taupunkt abkühlt und entfeuchtet, ist die Aufstellung in einem Tröckneraum ein grosser Vorteil, denn die Wäsche trocknet deutlich schneller. Ein Feuchteproblem wegen Abkühlung der Raumwände ist bei der gemessenen Abkühlung von ca. 2K nicht zu befürchten, da der Taupunkt bei 70% Raumluftfeuchte bei ca. 9.0°C liegt.

1.2 Projektentwicklung

1.2.1 Studium und Abklärung Produkte

Es wurde von allen bekannten und am Markt vertretenen Fabrikaten und Produkten die Unterlagen, technische Angaben und Verkaufsunterlagen, beschafft. Die technische Unterlagen wurden hinsichtlich Marktchancen und die Eignung für eine messtechnische Beurteilung geprüft.

1.2.2 Messkonzept

Das Messkonzept ist nicht ganz einfach, da die Wärmeproduktion über die Warm- und Kaltwasserleitungen erfasst werden müssen. Als Störeinflüsse mussten die Zirkulation und die elektrische Widerstandsheizung für die allfällige Nacherwärmung berücksichtigt werden.

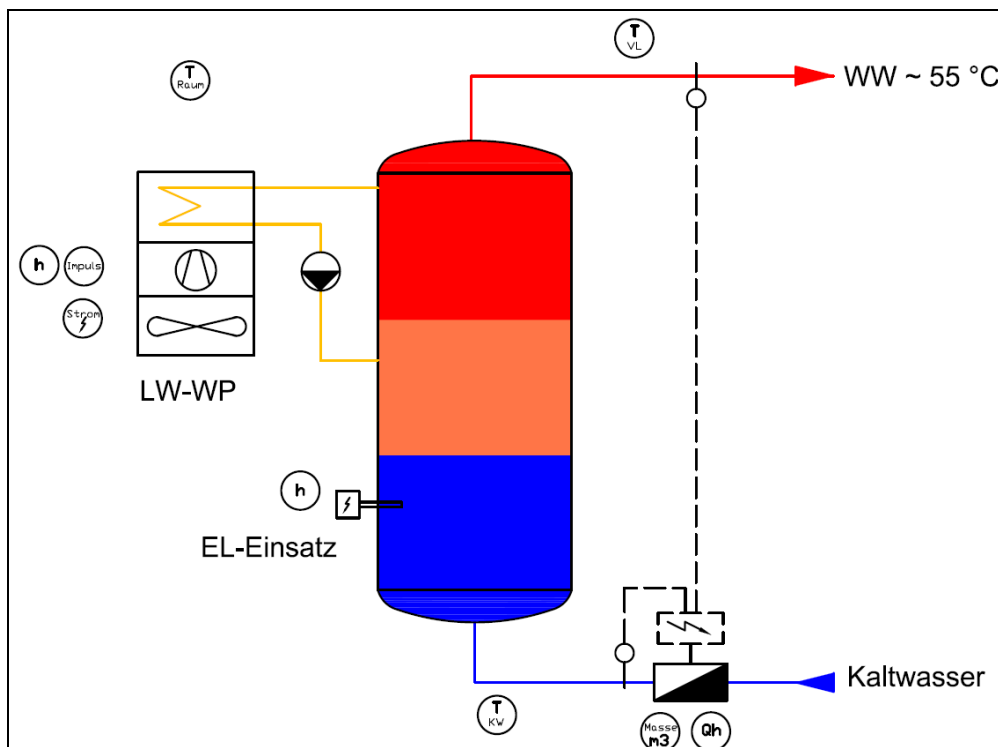


Abb. 1: Messstellenplan für Warmwasser-Wärmepumpen

Die Anlagen wurden entsprechend analysiert und diesen Umstand im Messstellenplan Rechnung getragen. Die Erfassung von kleinen Warmwasserbezügen muss ebenfalls mit genügender Genauigkeit erfasst werden. Die diesbezüglichen Abklärungen mit der Lieferfirma der Wärmezähler (Ultraschallzähler) ergaben, dass diese kleinen Bezugsmengen (bspw. Hände waschen) mit genügender Genauigkeit erfasst werden können. Um diese qualitativ doch wichtige Frage genauer zu klären, wurden am WPZ in Buchs zusätzliche Messungen mit einem realen Zapfprofil durchgeführt, welches aus Messdaten von diesen Feldmessungen erstellt wurde. Für die Qualitätsmessungen am WPZ werden die Warmwasser-Wärmepumpen mit genormten Prüfvorgaben und Zapfprofilen beurteilt.

1.2.3 Kontakt zu Anbietern auf dem Markt

Es wurde mit allen in Frage kommenden Anbietern Kontakte aufgenommen und das Anliegen dieser Feldmessungen vorgestellt. Das Projekt wurde praktisch überall positiv aufgenommen und unterstützt. Einige Kontakte konnten via kantonale Förderstellen organisiert werden.

1.2.4 Kontaktaufnahme mit Anlagebesitzern

Insgesamt wurden 8 Anlagen definitiv ausgewählt und das Einverständnis der Anlagebesitzer eingeholt. Die Informationen und die Klärung der Mitarbeit von Anlagenbesitzern ist sehr wichtig, denn die Qualität dieser Untersuchungen hängt von der Motivation der Anlagenbesitzer ab, welche die Datenablesung selber bewerkstelligen. Leider musste eine Anlage nochmals neu bestimmt werden, da sich herausgestellt hatte, dass bei dieser ausgewählten Anlage die Motivation und Unterstützung gefehlt hatte.

1.3 Projektumfang

1.3.1 Anlagensample

Tabelle 1: Anlagenliste Warmwasser-Wärmepumpen

Anlagennummer	Bezeichnung	Inhalt	Aufstellung	Wärmequelle	mittlere Raumtemp.	Messperiode
1320	THASCH01	300	Abstellraum	Raumluft	17.5	24.10.12 - 14.5.15
1321	JONERL59	300	Heizraum (Gastherme)	Raumluft	21.1	24.10.12 - 30.1.15
1322	GOSREH14	300	Waschküche	Raumluft	13.7	18.12.12 - 25.3.15
1323	WILQUE09	300	Waschküche	Raumluft	12.2	10.11.12 - 17.4.15
1324	JONWIN21	250	Heizraum (Gastherme)	Raumluft *	13.7	18.12.12 - 1.5.15
1325	FREHAL09	285	Heizraum (Ölheizung)	Raumluft	18.9	05.12.14 - 3.5.15
1326	NÄFOBE21	270	Waschküche	Raumluft	15.3	28.10.14 - 9.5.15
1327	ABTSON74	270	Heizraum (Gastherme)	Raumluft	19.0	01.12.14 - 3.6.15

Bemerkungen: * Im Sommer manuelle Umschaltung auf Aussenluft

Tab. 2: Angaben über die COP-Werte gemäss Produktkatalog

Anlagennummer	COP	bei	Messnorm	Heizleistung Q _h	WW-Temperatur	Kältemittel
1320	3.10	A15/W15-55	EN16147	1.96	60 *	R134A
1321	3.20	A15/W15-55	EN255-3	1.98	60 *	R134A
1322	3.56	A15/W15-45	EN255	1.52	60 *	R134A
1323	3.56	A15/W15-45	EN255	1.52	60 *	R134A
1324	3.20	A15/W15-55	EN16147	2.78	60 *	R134A
1325	2.90	A15/W15-55	EN16147	1.66	55	R134A
1326	3.70	A15/W15-55	EN255-3	1.7	55/65**	R134A
1327	3.30	A15/W15-55	EN16147	1.42	55	R134A

Bemerkungen: * Warmwassertemperatur, die als Sollwert eingestellt wurde, auch als Legionellenschaltung geeignet (bspw. 1x pro Woche)

**ab Heizsaison 2014/15 Umschaltung auf 55°C

Anlage 1323 Anlage musste wegen Problemen ausgetauscht werden.

1.3.2 Bestückung der Anlagen mit Messgeräten

Der Wärmezähler (Ultraschall-Messtechnik) ist in der Kaltwasserleitung eingebaut und der zweite Messfühler wird in der Warmwasserleitung mithilfe eines Dreiweg-Kugelhahns positioniert. Für die Erfassung des Elektrokonsums von Kompressor, Ventilator und Regelung ist ein Elektrozähler eingebaut. Die Betriebszeiten wurden mittels Betriebsstunden- und Schaltimpulszählern erfasst.



Abb. 2: Wärmezähler in Kaltwasserzuleitung und zweiter Fühler in Warmwasserleitung



Abb. 3: Betriebsstunden- und Schaltimpulszähler für Kompressor und Zusatzheizung

Der Wärmezähler, NeoVac 2WR6, wurde erst bei der Inbetriebnahme und Kontrolle der Messeinrichtungen anstelle des Passstücks eingebaut, welches während der Bauphase installiert wurde. Dazu mussten nur die beiden Absperrhahnen geschlossen und für den Fühler im Vorlauf der Dreiwegkugelhahn nach dem Fühlereinbau umgestellt werden. Alle diese Warmwasser-Wärmepumpen sind über eine Steckdose ans Elektonetz angeschlossen. Der Elektrozähler wurde dazwischen eingebaut. Für die Zuordnung des Elektroverbrauchs wurden der Kompressor und die Zusatzelektroheizung mit Betriebsstundenzählern erfasst.

Die Messungen der tw. kleinen Bezugsmengen ist nicht ganz problemlos. Diese Situation wurde etwas unterschätzt. Um Klarheit über diese messtechnische Datenerfassung zu bekommen, wurde in Zusammenarbeit mit dem WPZ parallele Versuche mit Warmwasser-Wärmepumpen gefahren. Dabei zeigte sich, dass die Feldmessungen genügend genau waren. Speziell konnte in Erfahrung gebracht werden, dass bei den im Feld vorgefundenen kleinen Zapfprofilen die Effizienz der gesamten Warmwassererzeugung deutlich schlechter war. Dies konnte, nebenbei bemerkt, auch an einem Elektroboiler nachgewiesen werden.

1.4 Messresultate und Beurteilung

Es wurden insgesamt 8 Anlagen über eine längerer Betriebszeit (5 Anlagen 2013-2015 und 3 Anlagen 2014-2015) messtechnisch erfasst und analysiert. Dies ermöglichte, dass für die Analyse und Beurteilung genügend Messpunkte vorhanden waren. Die Ablesungen wurden in Zeitintervallen von 5-10 Tagen aufgenommen. Es wurden sowohl Sommer- wie auch Winterbetriebsphasen erfasst und ausgewertet.

In der Startphase nach Inbetriebnahme wurden bei den Analysen speziell Betriebsprobleme und Störungen festgestellt, sodass die Messdaten anfänglich nicht immer alle ausgewertet werden konnten. Bezüglich der Effizienz der gemessenen Warmwasser-Wärmepumpen waren wir sehr erstaunt, da die Messwerte deutlich tiefer waren als die Prüfergebnisse (COP) der Geräte mit Gütesiegel. Aber auch die anderen Geräte erreichten die Werte gemäss den technischen Datenblättern nicht. Es galt nun herauszufinden, wie und wo die schlechte Effizienz entstehen konnte. Was sind die Unterschiede und könnte auch ein Messfehler vorliegen?

Die Warmwassersollwerte waren bei den ersten fünf analysierten Geräten anfänglich bei 60°C eingestellt, Endladetemperatur gemäss Angaben in den technischen Unterlagen der Hersteller (Tab. 2) und vorwiegend erreicht worden. Es gab nirgends Beanstandungen bezüglich der Warmwassertemperatur oder der verfügbaren Warmwassermenge. In der Messperiode Winter 2014/15 wurde bei allen Geräten die Endladetemperatur auf 55°C reduziert.

Die Warmwasser-Wärmepumpen wurden nur in der Niedertarifzeit für die Warmwasserladung betrieben. Die messtechnische Erfassung der Betriebszeiten von der Wärmepumpe und dem zusätz-

lichen Elektroregister hat gezeigt, dass diese Elektrozusatzheizungen nicht laufen. Somit waren diese Elektrozusatzheizungen für die schlechten Arbeitszahlen nicht verantwortlich. Die Aufmerksamkeit wurde somit den Wärmepumpen, resp. deren Dimensionierung und dem Betriebsverhalten zugewandt.

Es wurde bald klar, dass ein wichtiger Punkt beim Warmwasserkonsum liegen könnte. Die extrem grosse Streuung der gemessenen Arbeitszahlen liess vermuten, dass es mit dem Konsumverhalten der Anlagenbesitzer zu tun hat. Der Warmwasserverbrauch ist sehr unterschiedlich, einmal nur Händewaschen oder dann wieder Duschen oder Baden. Dies beeinflusst das Betriebsverhalten der Warmwasser-Wärmepumpen, aber auch die Wärmeverluste, inkl. Stillstands-verluste, und es entstehen grössere Streuungen bei der Effizienz. Umgekehrt ist es Tatsache, dass kleine Bezüge zum Tagesgeschehen gehören. Nur bei Anlage 1322 ist ein Thermosyphon eingebaut.

Bei fast allen Anlagen findet man das gleiche Bild. Die Effizienz nahm bei kleineren Zapfmengen deutlich ab. Es wurden von Seiten der Lieferfirmen nach der Bekanntgabe der ersten Messresultate auch Anstrengungen unternommen, um die Effizienz zu erhöhen.

Dass auch allfällige Mängel an den Anlagekonzepten die Effizienz beeinflussen sollte klar sein. Da bei Feldanalysen die Anlagen einerseits möglichst nach dem Zufallsprinzip ausgewählt werden und andererseits auch vorkommende Mängel, welche so verbaut wurden, als Tatsache hingenommen werden, sind im Anlagensample gute und schlechtere Anlagen anzutreffen. Es haben bspw. nicht alle Anlagen eine syphonierte Warmwasserleitung, sodass die Schwerkraftzirkulation nicht generell unterbunden ist. Dass dadurch zusätzliche Verluste entstehen, welche die Effizienz beeinflussen, gehört zu den Erfahrungen und Tatsachen bei Feldanalysen.

1.4.1 Wissenschaftliche Untersuchung zur Effizienz von Wärmepumpen-Warmwasserspeichern am WPZ Buchs (Auszug aus Bericht NTB)¹

Da die Effizienz der Brauchwarmwasser-Wärmepumpen im Feld tiefer liegt als auf dem Prüfstand, stellt sich die Frage, ob die Wärmemenge im Feld genug genau gemessen werden kann. Daher wurde ein Messsystem, das für Feldmessungen eingesetzt wird mit einem Labormesssystem bei Laborbedingungen auf dessen Messgenauigkeit verglichen. Bei diversen Messungen mit unterschiedlichen Warmwasserentnahmen konnte das Feldmesssystem die angegebene Messgenauigkeit einhalten. Es ist sicher darauf zu achten, dass die Dimensionierung des Feldmesssystems an die Durchflussmengen des Haushalts angepasst ist.

Vergleichsmessungen zwischen den Messsystemen (Labor-Feld)

Der Wärmezähler 2WR6 von NeoVac hat einen Durchflussmessbereich von 0.5 bis 50 Liter/min. Dieser Zähler war für die Vergleichsmessung richtig dimensioniert. Die Messgenauigkeit liegt laut Hersteller bei max. 1.5%.

Tab. 3: Ergebnisse der Vergleichsmessungen am WPZ

	Nenn- volumen [Liter]	Entnahmemenge		Abweichung [%]
		Labor [kWh]	Feld [kWh]	
WEW-WP1	285	19.168	19.000	0.9
WEW-WP2	300	18.743	19.000	4.1
WEW-WP3	270	19.147	19.000	0.8

Fazit gemäss NTB-Bericht: Die Annahme, dass kleine Entnahmen im Feld mit dem Wärmezähler NeoVac 2WR6 nicht genau gemessen werden kann, konnte nicht bestätigt werden. Die Abweichungen liegen innerhalb der Messgenauigkeit. Bei Feldmessungen können allerdings kleinere Entnahmedurchflüsse als 0.5 Liter/min auftreten. Bei diesen Entnahmen dürfte ein grösserer Fehler mit dem NeoVac 2WR6 erwartet werden. (Weitere Details, siehe Bericht unter Fussnote 1)

Effizienz in Abhängigkeit der Entnahmemenge

Gleichzeitig wurde am WPZ auch die Effizienz der Warmwasser-Wärmepumpen untersucht. Dem Bericht kann entnommen werden, dass die Effizienz auch bei Labormessungen, unter idealen Be-

¹ Projekt BFE 2014: „Labormessungen zur Effizienz von Wärmepumpen-Warmwasserspeicher“, NTB Buchs

dingungen, bei kleinen Zapfmengen viel schlechter ist. Im Vergleich wurde auch ein Elektroboiler mit gleichen Randbedingungen ausgemessen und auch diese Resultate zeigen ein ähnliches Bild. Die Messungen erfolgten nach EN 16147.

Tab. 4: Ergebnisse mit unterschiedlichen Zapfprofilen (Labormessungen WPZ)

Zapfprofil		S	M	XL
Entnahmemenge *	Liter	40	110	360
WEW-WP3	COP	1.5	2.6	2.98
Elektroboiler	COP	0.68	0.85	0.94

* entspricht ungefähr dem täglichen Warmwasserbedarf

Bei beiden Wärmespeichertypen nimmt die Effizienz mit einer kleineren Entnahmemenge ab. Bei der Brauchwarmwasser-Wärmepumpe fällt der COP mit dem kleinsten Zapfprofil auf 1.50 (rund die Hälfte wie mit XL). Dem gegenüber reduziert sich die Effizienz des Elektroboilers nur um rund 30%. In diesem Beispiel wird ersichtlich, dass das gewählte Zapfprofil auf die Effizienz von Warmwasser-Wärmepumpen einen grösseren Einfluss ausübt als beim Elektroboiler. Jedoch ist zu erwähnen, dass selbst beim kleinen Zapfprofil S die Warmwasser-Wärmepumpe um mehr als das Doppelte effizienter ist als der Elektroboiler.

1.4.2 Anlage 1320 – Messresultate und Beurteilung

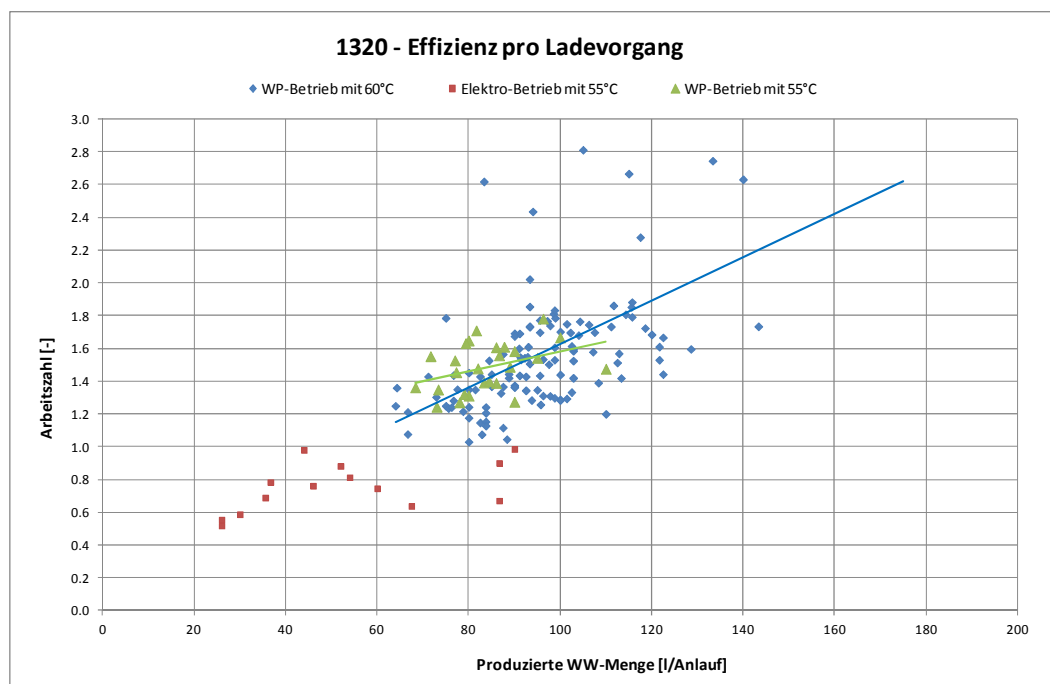


Abb. 4: Arbeitszahl der Warmwasser-Wärmepumpe versus Laufzeit pro Ladevorgang

Der Verbrauch entspricht einigermaßen dem Laborzapfprofil "M", bei dem ein mittlerer COP von 2.6 erreicht wurde. Die bei dieser Anlage erreichten Arbeitszahlen von 1.2-2.0 liegen deutlich tiefer. Die Anlage hat im Durchschnitt 1 Anlauf pro Tag. Der mittlere Tagesverbrauch liegt bei 113 [l/d].

Es gibt schon Gründe für diese Situation. Die Warmwasserleitung hat am Speicherausstritt keinen Thermosyphon und die Warmwasserleitung ist unisoliert direkt über dem Luftausblas (kalte Luft) montiert, sodass auch dort eine zusätzliche Auskühlung erfolgt. Diese beiden Montagenachteile können das Resultat durchaus beeinflussen. Am 23.05.2015 wurden diese Mängel erst behoben, sodass die Auswirkungen nicht mehr erfasst werden konnten. Die Laufzeiten sind ideal, es gibt auch bei dieser Anlage keine sehr kurzen Laufzeiten.

Bei dieser Anlage wurde vom 04.-31.12.2014 zusätzlich ein Versuch mit der Wassererwärmung nur mit Elektroregister durchgeführt. Diese Messdaten wurden alle 2 Tage aufgezeichnet. Auch diese Messungen ergaben tiefe Werte. Im Durchschnitt war der Wirkungsgrad bei 0.75, wobei Werte bis 0.5 ermittelt wurden. Interessanterweise erfolgten im Elektroboilerbetrieb durchschnitt-

lich 2.8 Anläufe pro Tag und im Wärmepumpenbetrieb nur 1 Anlauf pro Tag. Die tiefsten Wirkungsgrade wurden bei kleinsten Zapfmengen gemessen. Die Aussagen sind bei der Messdauer von ca. 1 Monat für die statistische Relevanz noch nicht gesichert, stimmen aber mit den im Labor durchgeführten Messungen weitgehend überein.

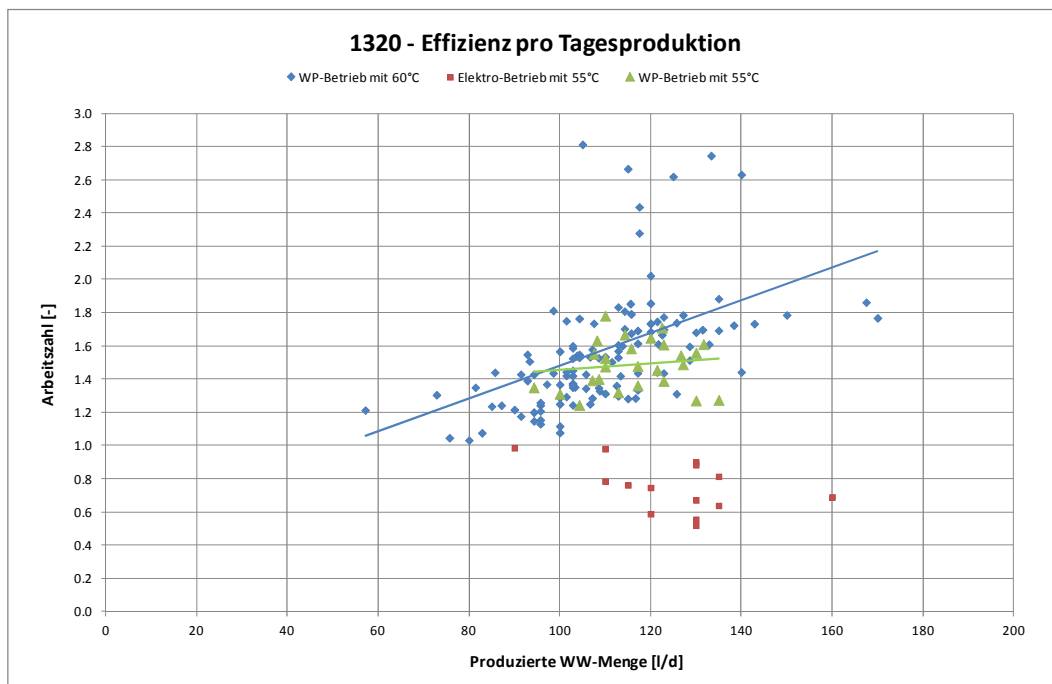


Abb. 5: Arbeitszahlen der Warmwasser-Wärmepumpe versus Zapfmenge pro Tagesproduktion

1.4.3 Anlage 1321 – Messresultate und Beurteilung

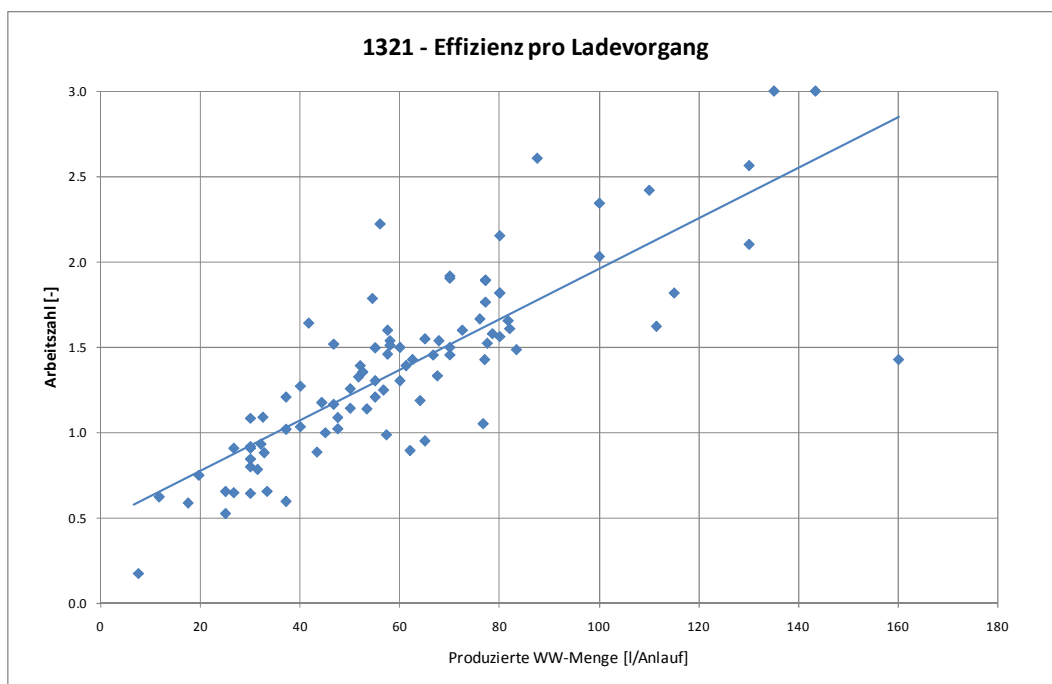


Abb. 6: Arbeitszahl der Warmwasser-Wärmepumpe versus Laufzeit pro Ladevorgang

Die Laufzeiten sind sehr unterschiedlich (1.7-6.0 [h/d]). Sehr viele Ladevorgänge dauern durchschnittlich 4.2 Stunden pro Tag. Offenbar hängt dies mit der Steuerung und Regelung der Anlage zusammen. Die Anlage läuft für die Warmwasserbereitung nur einmal pro Tag.

Die Ergebnisse korrelieren sehr gut. Es ist auch bei dieser Anlage deutlich geworden, dass der Warmwasserverbrauch oft gegenüber den Planungsvorgaben viel kleiner ist. Die Verluste beeinflussen somit die Effizienz einer solchen Anlage sehr stark. Die Arbeitszahlen sind auch bei dieser Anlage mehrheitlich unter 2.0. Da der mittlere Tagesverbrauch bei 60 [l/d] liegt, entspricht diese Anlage beim Vergleich mit den Labormesswerten dem Zapfprofil "S", wo ein COP von 1.5 ange-

geben wurde. Dass die Effizienz bei dieser Anlage bei grösseren Zapfmengen von 100-150 Litern auch höher sein kann, belegen die wenigen gemessenen Werte im Bereich von AZ 2.0 bis 3.0.

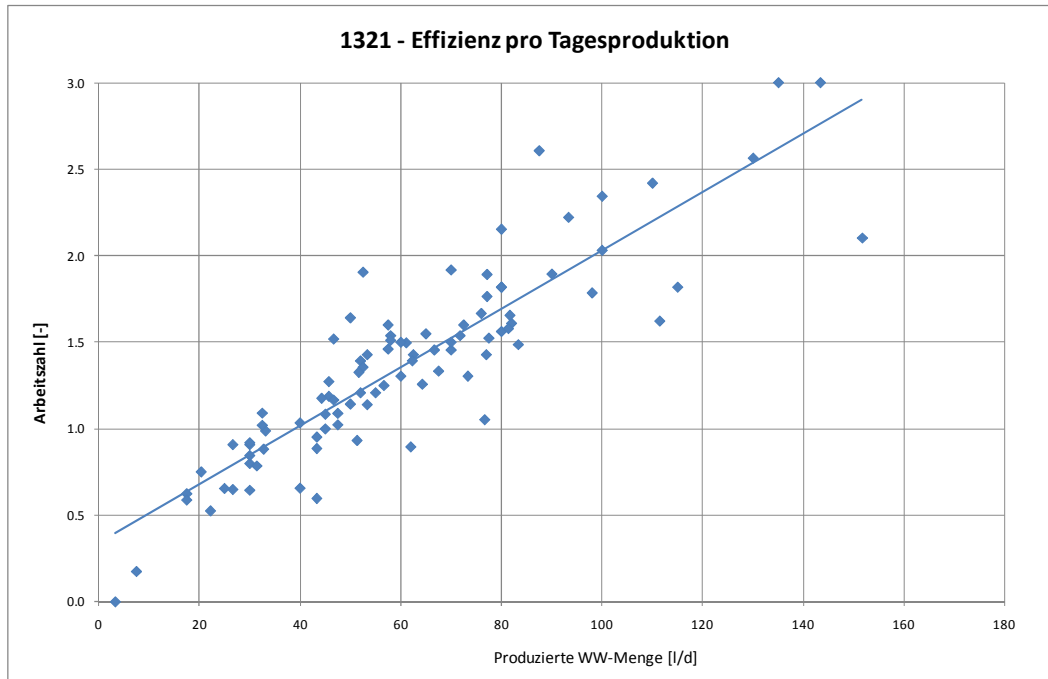


Abb. 7: Arbeitszahlen der Warmwasser-Wärmepumpe versus Zapfmenge pro Tagesproduktion

1.4.4 Anlage 1322 - Messresultate und Beurteilung

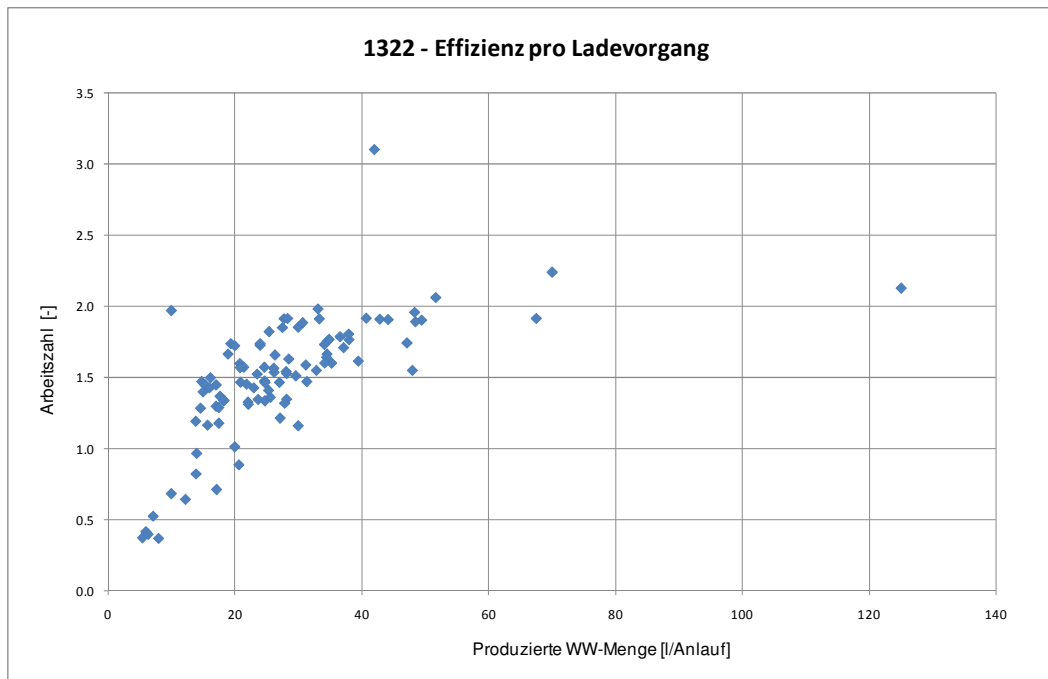


Abb. 8: Arbeitszahl der Warmwasser-Wärmepumpe versus Laufzeit beim Ladevorgang

Die Anlage konnte insbesondere dank der Fortsetzung der Messdauer besser analysiert werden. Die Anlage wurde anstelle des früheren Betriebs nur im Niedertarif neu den ganzen Tag freigegeben. Die Anlage hat als einzige Anlage einen Thermosyphon beim Abgang der Warmwasserleitung.

Die Laufzeiten sind mit durchschnittlich 1.5 [h/Anlauf] etwas kürzer als bei den meisten anderen Modellen.

Dass die Effizienz trotz der einwandfreien Installation nicht überragend ist, liegt auch hier beim deutlich kleineren Warmwasserbedarf, der mit 76 [l/d] ebenfalls im unteren Bereich angesiedelt ist (zwischen Zapfprofil "S" und "M"). Gemäss den Auswertungen vom WPZ wäre eine Arbeitszahl von rund 2.0 zu erwarten.

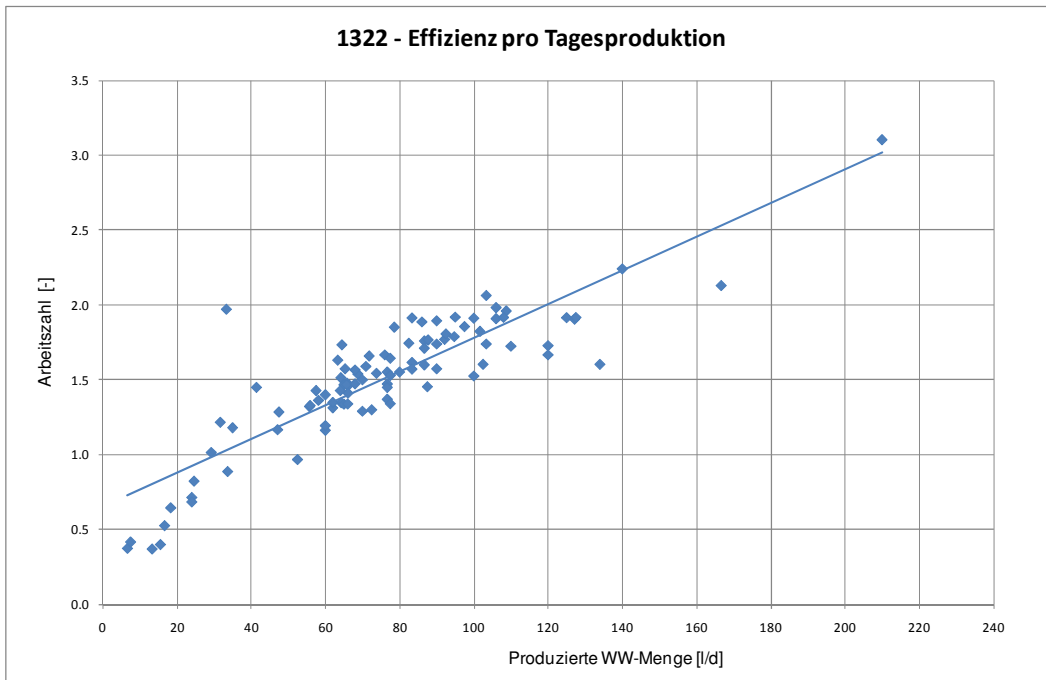


Abb. 9: Arbeitszahlen der Warmwasser-Wärmepumpe versus Zapfmenge pro Tagesproduktion

1.4.5 Anlage 1323 - Messresultate und Beurteilung

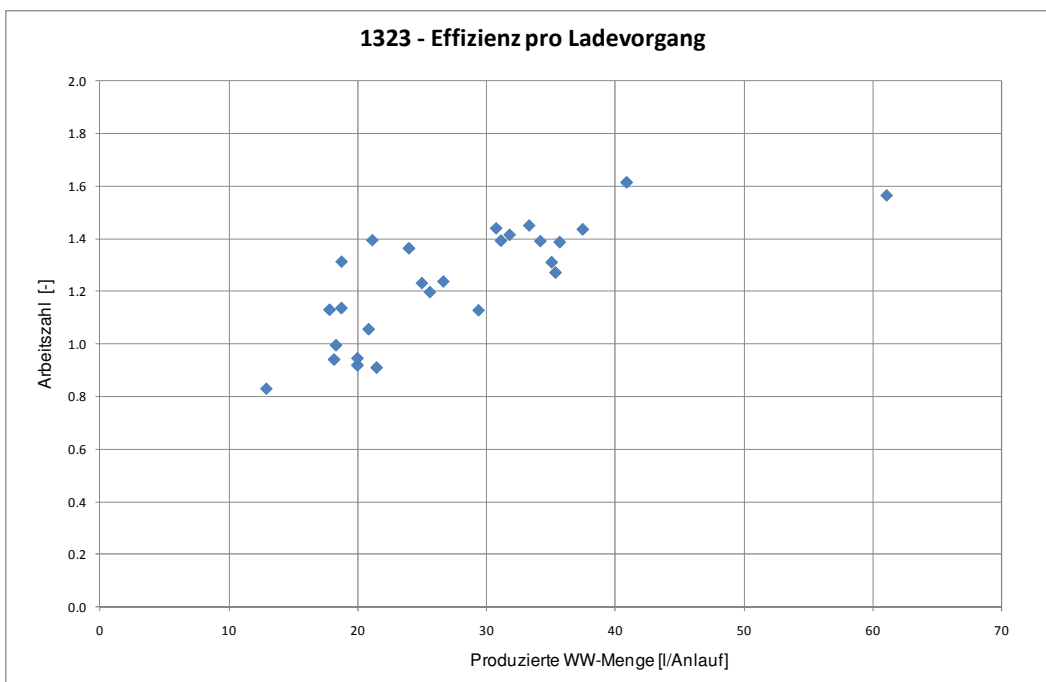


Abb. 10: Arbeitszahl der Warmwasser-Wärmepumpe versus Laufzeit beim Ladevorgang

Bei dieser Anlage konnten leider aufgrund von Betriebsproblemen die anfänglich erfassten Messdaten für die Analyse nicht verwendet werden. Es waren sowohl Betriebsprobleme und zusätzlich die Erfassung der Verbrauchswerte.

Die Anlage hat praktisch die gleichen Verbrauchs- und Betriebswerte, wie die Anlage 1322. Die Laufzeiten sind mit durchschnittlich 1.8 [h/Anlauf] im mittleren Bereich und die Zapfmengen sind mit 81 [l/d] ebenfalls im untersten Bereich.

Die Analyse der Messdaten zeigt auch hier die gleiche Charakteristik, wie die meisten analysierten Anlagen. Gemäss den Labormessungen wäre auch hier eine Arbeitszahl von rund 2.0 zu erwarten. Dies wird jedoch weit unterschritten. Diese Anlage liegt trotz etwa analogen Verbrauchswerten und gleichem Anlagentyp gegenüber der Anlage 1322 bei der Arbeitszahl um ein Delta von ca. 0.7 tiefer.

Als wichtigsten Unterschied und für die Differenz relevant, ist die Raumtemperatur (Quellentemperatur), die durchschnittlich um 5K tiefer ist. Die Anlage hat keinen Thermosyphon in der Warmwasserleitung und der Austritt ab dem Warmwasserspeicher ist nicht isoliert.

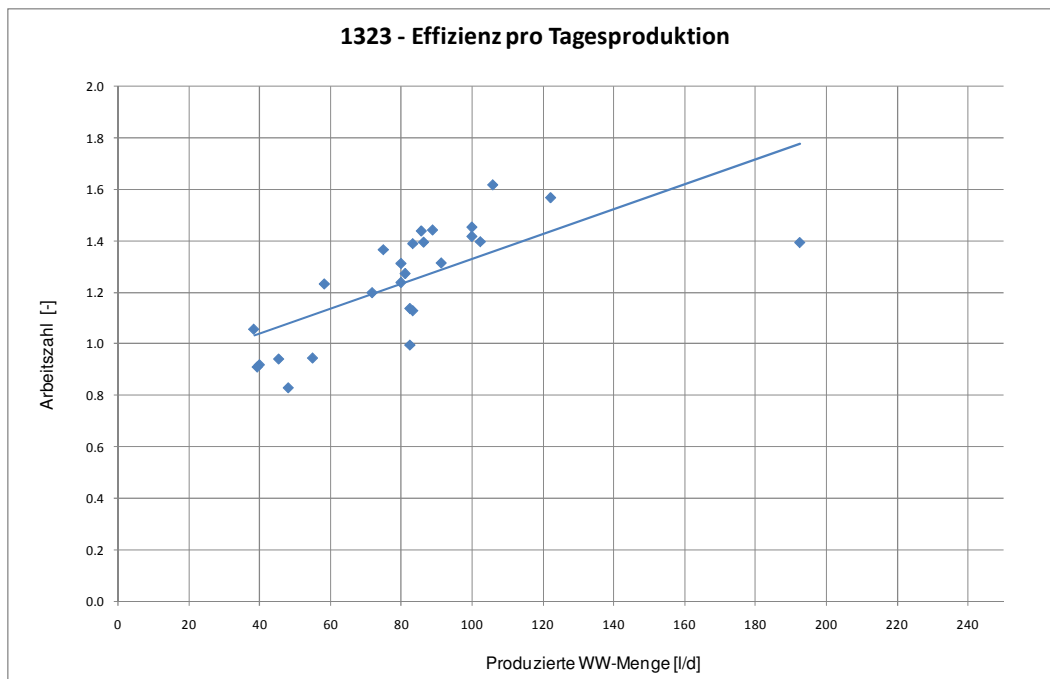


Abb. 11: Arbeitszahlen der Warmwasser-Wärmepumpe versus Zapfmenge pro Tagesproduktion

1.4.6 Anlage 1324 - Messresultate und Beurteilung

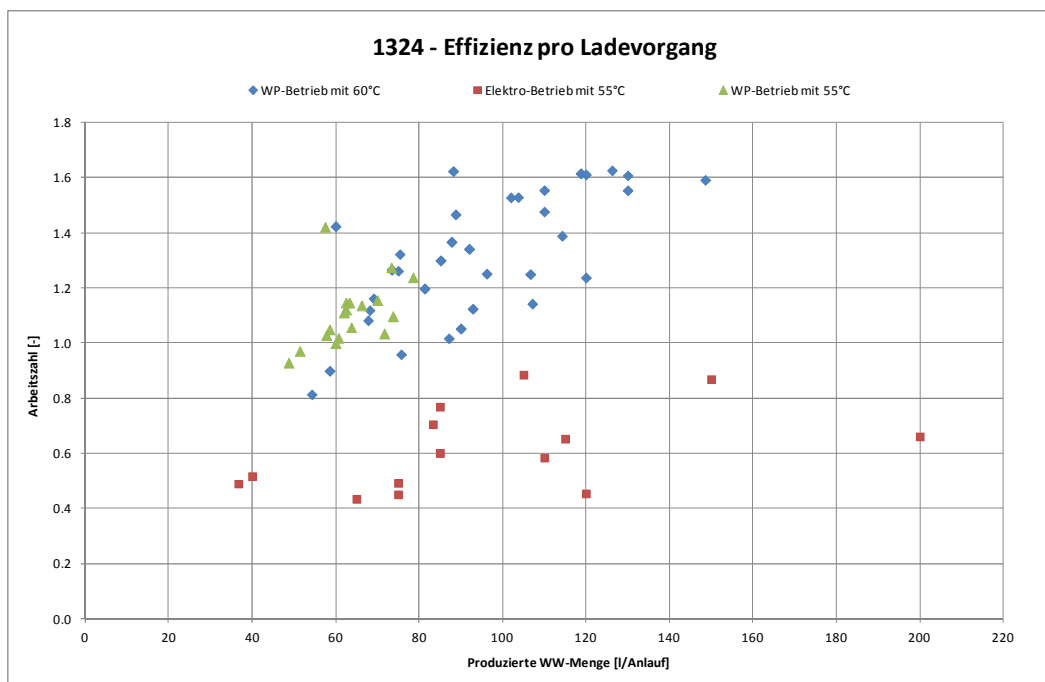


Abb. 12: Arbeitszahl der Warmwasser-Wärmepumpe versus Laufzeit beim Ladevorgang

Der Warmwasserverbrauch liegt bei dieser Anlage mit 94 [l/d] im ähnlichen Bereich, wie die vorerwähnten Anlagen. Die Erwartungen liegen bei einer Arbeitszahl von 2.0. Die zusätzlich erfolgten Messungen beim Betrieb nur Elektroregister zeigen das gleiche Bild, wie bei Anlage 1320.

Trotz einigen Anstrengungen, sind die Messungen in der zweiten Messphase nicht besser geworden. Auf den beiden Grafiken Abb. 11 und 12 ist dies gut sichtbar.

Die Laufzeiten sind bei dieser Anlage mit 3.4 [h/Anlauf] eher lang. Auch bei dieser Anlage wurde der Versuch durchgeführt, die Anlage anstelle des Betriebs nur im Niedertarif den ganzen Tag (24h) freizugeben. Es wurde dadurch erwartet, dass das Warmwasser dann eher direkt nach den

Verbrauchsspitzen produziert wird und nicht in der Nacht, wo der Boiler dann über Stunden ohne Bedarf aufgeladen bereit steht und dementsprechend auskühlt.

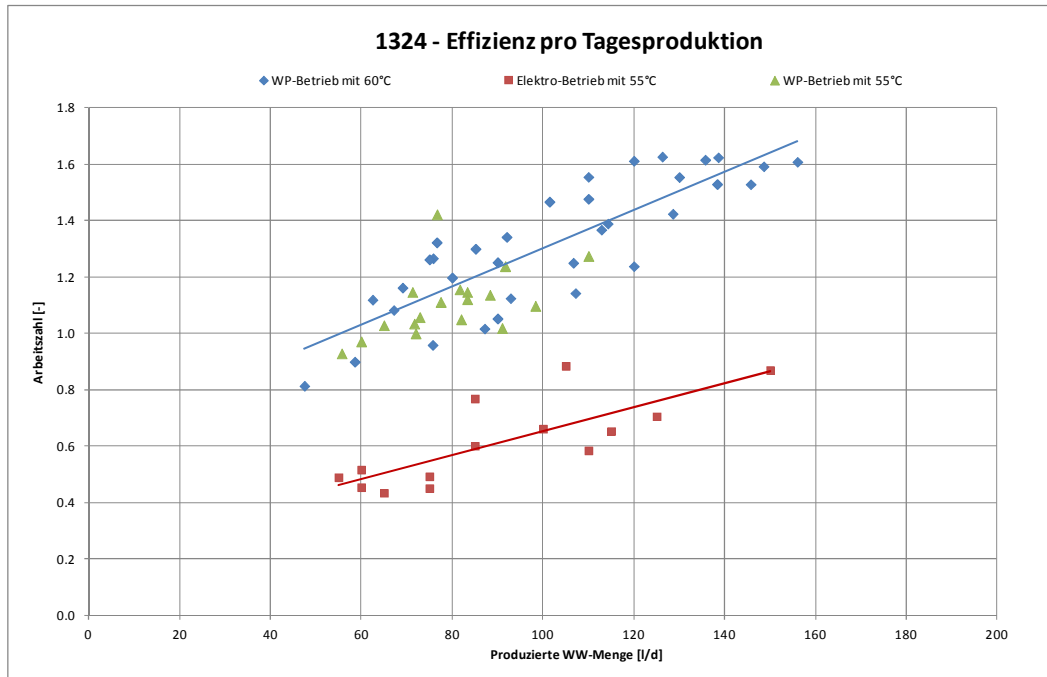


Abb. 13: Arbeitszahlen der Warmwasser-Wärmepumpe versus Zapfmenge pro Tagesproduktion

Der tiefe Wert der Arbeitszahlen im Bereich von 1.0 bis 1.6 ist ungenügend. Es können sicher noch Optimierungen beim Betrieb, sowie bei der Regelung und der Boilerkonstruktion (Wassereinführungen, Isolation, etc.) vorgenommen werden.

1.4.7 Anlage 1325 - Messresultate und Beurteilung

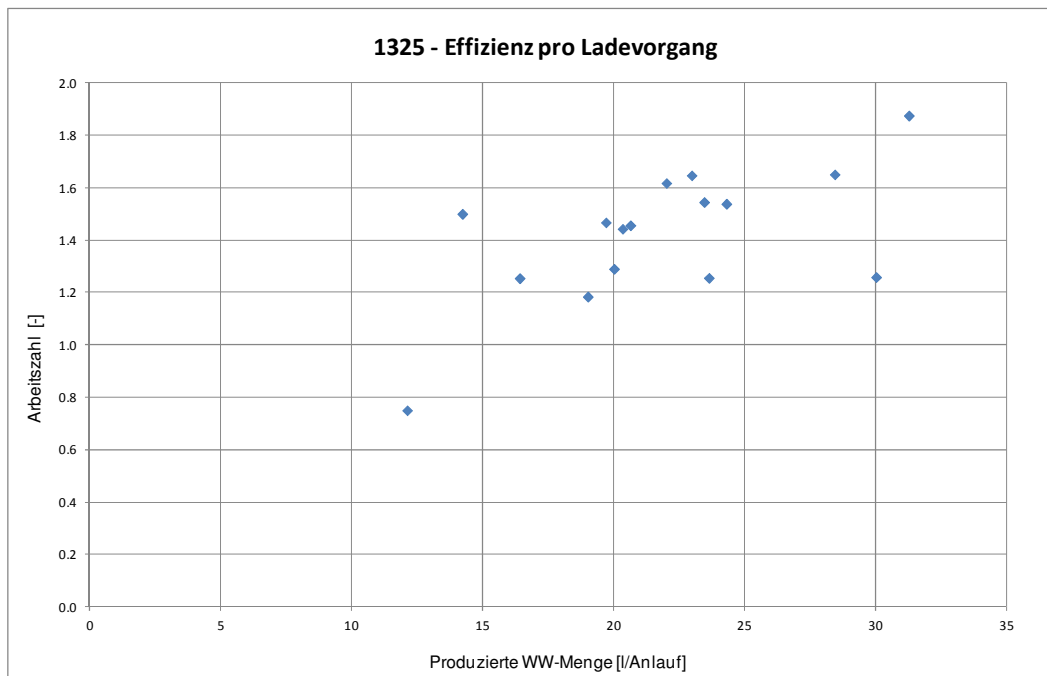


Abb. 14: Arbeitszahl der Warmwasser-Wärmepumpe versus Zapfmenge beim Ladevorgang

Der mittlere Warmwasserverbrauch wurde bei dieser Anlage mit 89 [l/d] im ähnlichen Bereich, wie die vorerwähnten Anlagen. Die Erwartungen liegen bei einer Arbeitszahl von 2.0.

Die Laufzeiten sind bei dieser Anlage mit 1.42 [h/Anlauf] kürzer als bei den anderen Anlagen. Die tägliche Gesamtlaufzeit beträgt 5.6 [h/d], wobei im Unterschied zu Anlagen 1320-1324 bei dieser Anlage durchschnittlich ca. 4 Anläufe pro Tag verzeichnet werden. Auch bei dieser Anlage wurde der Versuch durchgeführt, die Anlage anstelle des Betriebs nur im Niedertarif den ganzen Tag (24h) freizugeben. Mit den 4 Betriebsphasen müsste eigentlich erreicht werden, dass das Warm-

wasser direkt nach den Verbrauchsspitzen produziert wird und somit eine optimalere Effizienz erreicht werden kann (etwas weniger Auskühlverluste).

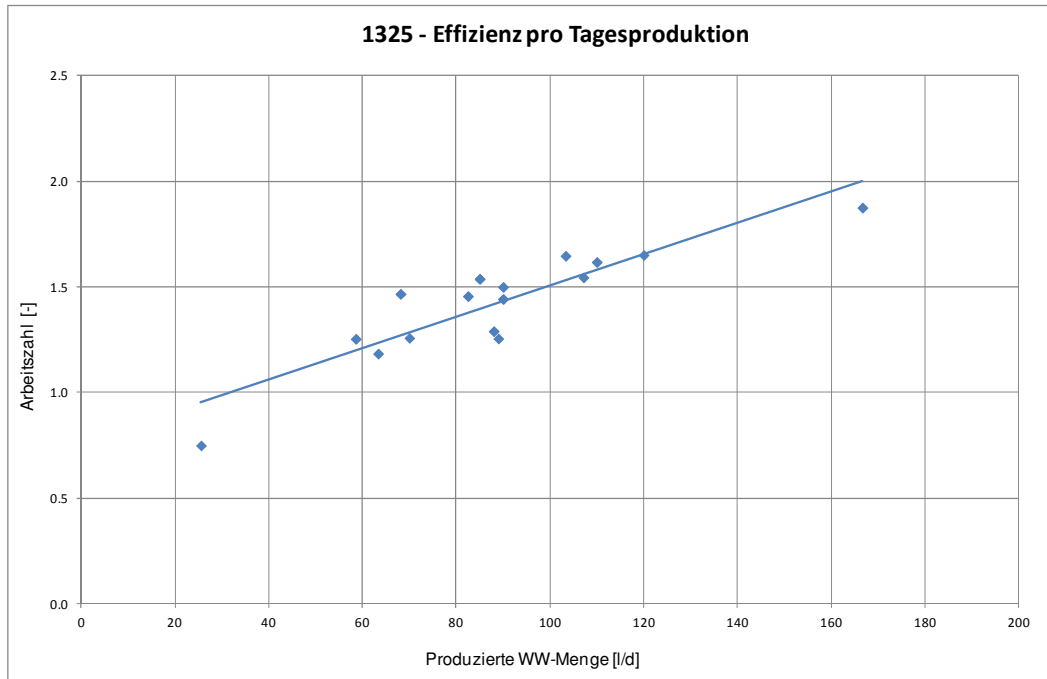


Abb. 15: Arbeitszahlen der Warmwasser-Wärmepumpe versus Zapfmenge pro Tagesproduktion

Der tiefe Wert der Arbeitszahlen im Bereich von 1.2 bis 1.9 ist ungenügend. Es können sicher noch Optimierungen beim Betrieb, sowie bei der Regelung und ev. auch bei der Speicherkonstruktion (Wassereinführungen, Isolation, etc.) vorgenommen werden.

1.4.8 Anlage 1326 – Messresultate und Beurteilung

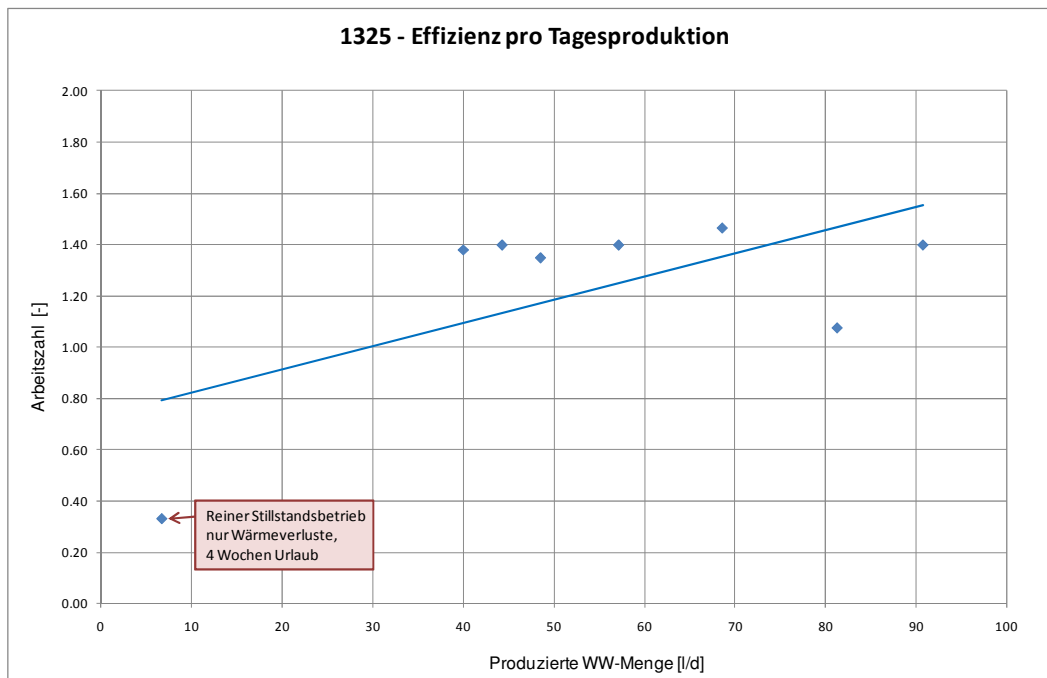


Abb. 16: Arbeitszahl der Warmwasser-Wärmepumpe versus Zapfmenge pro Tagesproduktion

Der Warmwasserverbrauch liegt bei dieser Anlage mit 55 [l/d] sehr tief. Gemäss den WPZ Labor-messungen ist bei diesem kleinen Zapfprofil "S" nur mit einer Arbeitszahl von ca. 1.5 zu rechnen.

Leider konnte diese Anlage wegen baulichen und organisatorischen Problemen sehr spät in Betrieb genommen werden. Zudem wurden die Messdaten nur sehr unregelmässig aufgezeichnet. Die Anlage stand während 4 Wochen still und kühlte langsam aus. Die Regelung verbrauchte in dieser Zeit **9.0 [kW] Elektroenergie**, welches einen Tagesverbrauch von 184 [W/d] ergibt.

Die Anzahl Anläufe konnten bei dieser Anlage nicht erfasst werden, da es sich um ein ausländisches Kompaktmodell handelt. Die mittleren Betriebsstunden pro Tag liegen bei 2.6 [h/d].

Der tiefe Wert der Arbeitszahlen im Bereich von 1.1 bis 1.5 ist ungenügend. Es können sicher noch Optimierungen beim Betrieb, sowie bei der Regelung und der Boilerkonstruktion (Wasserführung, Isolation, etc.) vorgenommen werden.

1.4.9 Anlage 1327 – Messresultate und Beurteilung

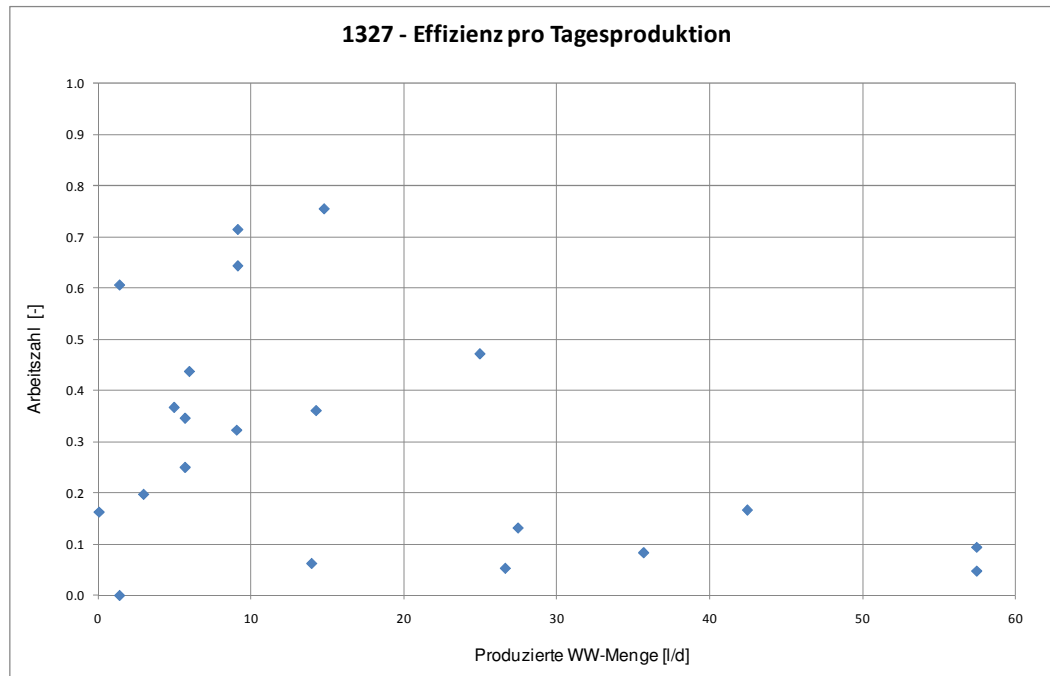


Abb. 17: Arbeitszahlen der Warmwasser-Wärmepumpe versus Zapfmenge pro Tagesproduktion

Die Aufnahme dieser Warmwasser-Wärmepumpe ins Messprogramm war für uns anfänglich sehr fraglich. Zudem gab es noch Verzögerungen mit der Montage und Inbetriebnahme, sodass schlussendlich nur 6 Monate Messdauer möglich waren. Gerade wegen der doch speziellen Situation, wurde diese Anlage doch berücksichtigt. Diese Anlage steht in einem Haus, wo derzeit sehr wenig Warmwasser verbraucht wird, nur gerade 25 [l/d], da das Haus reduziert bewohnt wird. Gleichzeitig wurde bei diesem Objekt hinsichtlich Wassersparbemühungen sehr viel gemacht. Alle Wasserhähnen haben Sparauslässe, speziell auch bei der Dusche. Demzufolge ist der Warmwasserverbrauch sehr gering. Es konnte bei einem Wärmepumpenboiler mit 270 Liter Wasserinhalt keine gute Effizienz erwartet werden.

Die Arbeitszahlen im Bereich von 0.1 bis 0.7 sind extrem tief. Bei dieser Anlage kann mit Betriebs-Optimierung und technischer Anpassung (kleinerer Boilerinhalt) eine deutliche Steigerung der Effizienz erreicht werden. Ein kleinerer Wärmepumpenboiler mit max. 100 Liter Inhalt, welcher schnell wieder aufgeheizt werden kann, wäre hier die Lösung.

1.4.10 Zusätzliche Betriebserfahrungen

Bei der Anlage 1324 wurde der Anlagenbetrieb vom 14.01. bis 23.04.2013 während der Heizsaison und in der Übergangszeit zusätzlich mit Kleindatenloggern aufgezeichnet, um die funktionellen Belange und Eigenheiten in die Analyse einzubeziehen.

Beim aufgezeichneten Ladevorgang hat sich gezeigt, dass das Warmwasser je nach Temperatur in der Fühlerebene bei der Einschaltung auf eine Endladetemperatur von 45-50 °C erwärmt wird. Dabei wurden Heissgastemperaturen von max. 66-78°C und Flüssigkeitstemperaturen von 45-53°C gemessen. Die Warmwassertemperatur im obersten Speicherbereich war bei 55°C.

Die Raumtemperatur wird nicht stark beeinflusst. Es konnte zwischen Ladebeginn und Ende der Warmwasserladung eine Abnahme der Raumtemperatur von $\Delta T \approx 1.8K$ festgestellt werden. Die Raumtemperatur erholt sich innert ca. 1/2h wieder komplett.

Während den Messungen wurde beim Anlagensample auch das Verhalten der Raumfeuchte ermittelt. Bisher konnten keine Probleme wegen ansteigender Raumfeuchte festgestellt werden.

Das Verhalten der Raumtemperatur wurde bei dieser Anlage 1324 im Winter und in der Übergangszeit analysiert. Es hat sich gezeigt, dass durch den Wärmeentzug aus der Raumluft während dem Ladevorgang die Raumtemperatur weniger als 2K absinkt und sich sehr rasch wieder erholt. Das Raumvolumen von ca. 47m³ erfüllt die Bedingungen der Lieferfirma. Die Messung der Raumtemperatur wurde in Raummitte auf 1.5m Höhe aufgenommen.

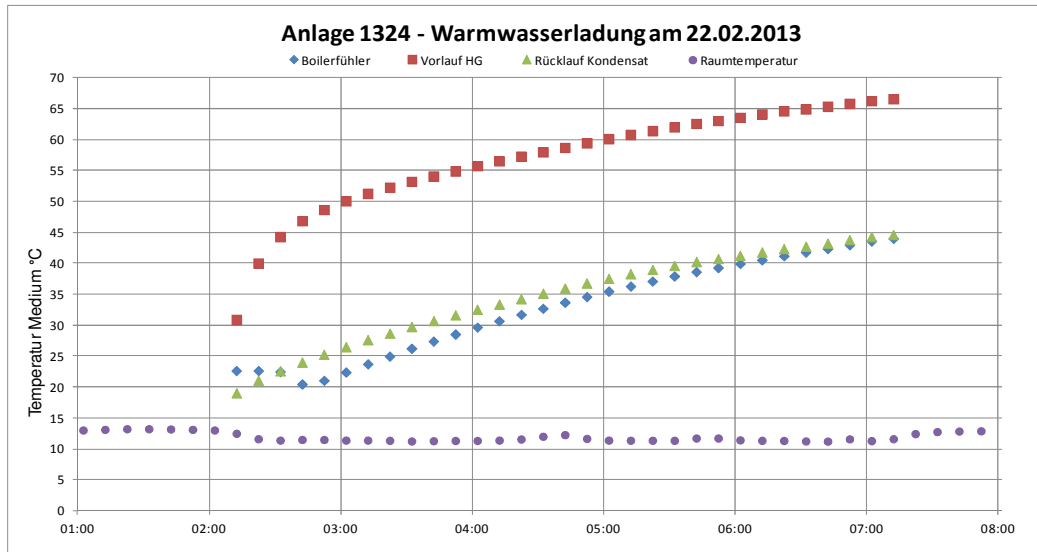


Abb. 18: Warmwasserladevorgang und Raumtemperatur am 22.02.2013

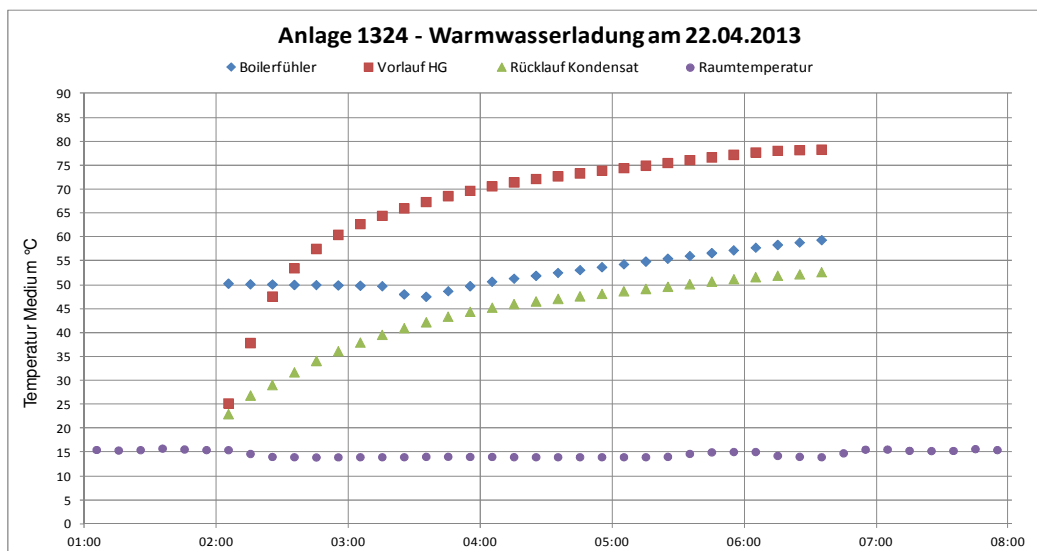


Abb. 19: Warmwasserladevorgang und Raumtemperatur am 22.04.2013

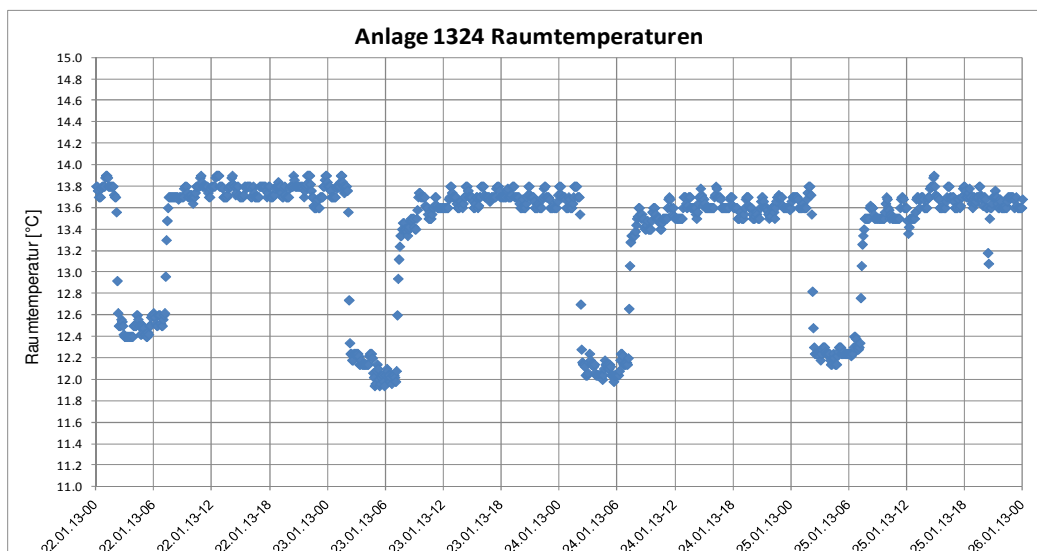


Abb. 20: Raumtemperaturverlauf bei WW-Ladung mit der Warmwasser-Wärmepumpe

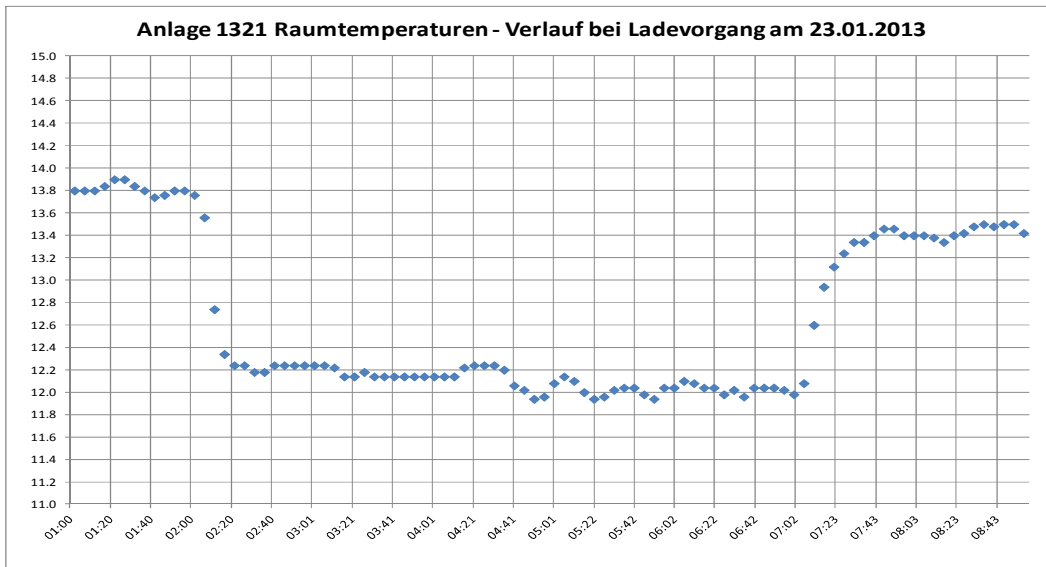


Abb. 21: Verlauf der Raumtemperatur bei WW-Ladung der Warmwasser-Wärmepumpe

Die Abkühlung der Raumluft um rund 2K erfolgt innert ca. 20min, danach bleibt die Raumlufttemperatur auf dem tieferen Niveau praktisch konstant. Dies bedeutet, dass sich eine Balance einstellt und erst nach dem Ausschalten der Wärmepumpe erfolgt in ca. 30min der Anstieg der Raumtemperatur auf das ursprüngliche Niveau wieder.

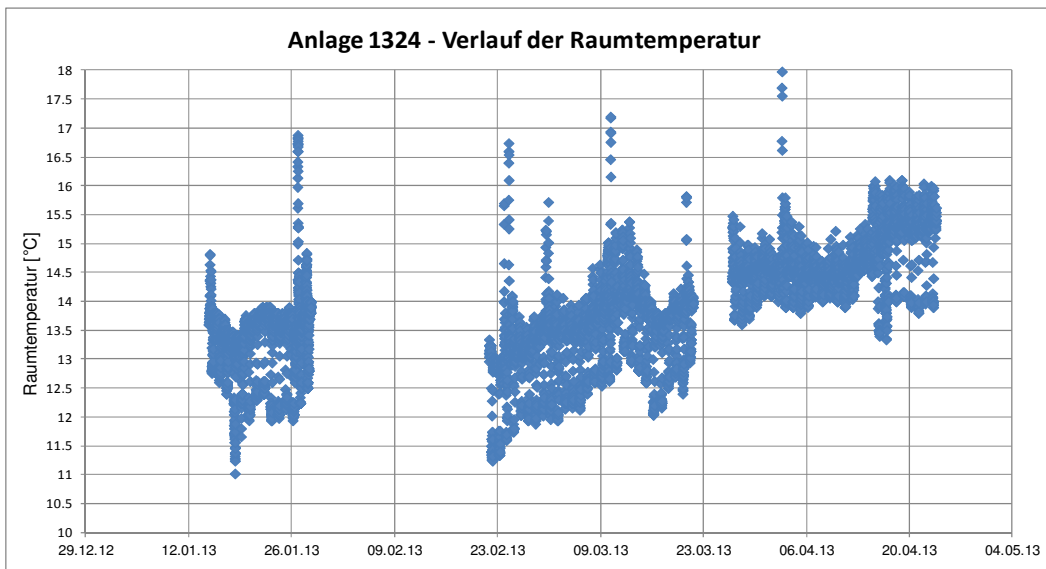


Abb. 22: Verhalten der Raumtemperatur während Messperiode (mit Unterbrüchen)

Die Erkenntnis aus dieser Zusatzanalyse ist eindeutig. Sofern die Vorgaben der Liefer- und Herstellerfirmen eingehalten werden, sind keine Probleme wegen zu grosser Abkühlung von Räumen zu befürchten, in denen Warmwasser-Wärmepumpen betrieben werden.

1.5 Zusammenfassung

Aus den Analysen dieser 8 Anlagen konnten wichtige Erkenntnisse und Erfahrungen gewonnen werden. Wichtig ist, dass die Industrie ebenfalls informiert ist und aus diesen Analysen weitere Schlüsse ziehen kann. Es fanden bereits diesbezüglich Gespräche mit den involvierten Firmen und dem Schweizerischen Verband Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik statt.

Die Grafik Abb. 18 zeigt, dass bei Abnahme der Zapfmenge [l/d] alle untersuchten Geräte eine Arbeitszahl von rund 1.0 bei 20 [l/d] kommen und dass der im Feld gemessene Elektrobetrieb (Elektroheizstab), welcher bei 2 Anlagen ermittelt wurde, im gleichen Bereich eine Effizienz von 0.4-0.5 hat. Die Streuung der Arbeitszahlen, resp. der Unterschied bei grösseren Zapfmengen ist auf die erwähnten Mängel und sicher auch auf unterschiedliche Effizienz der eingebauten Wärmepumpen zurück zu führen.

Alle untersuchten Warmwasser-Wärmepumpen liegen bezüglich der Effizienzbetrachtung deutlich unter den COP-Werten, welche in den technischen Unterlagen angegeben werden. Die Gründe für die Abweichungen sind auf verschiedene Punkte zurück zu führen. Die wichtigsten Abweichungen oder Differenzen sind nachstehend aufgeführt:

- Der Warmwasserverbrauch ist deutlich kleiner als die Normangaben über den Warmwasserbedarf nach SIA 385-3 angeben
- Das WPZ misst nach Norm und dabei werden Zapfprofil und Speichergrossen zugeordnet. Die Prüfergebnisse basieren somit auf diesen höheren Verbrauchszahlen.
- Am WPZ werden Gerätewerte auf dem Prüfstand gemessen. Hingegen werden im Feld Anlagenwerte gemessen, welche von Installations- und Betriebsfehlern beeinflusst sind und zu schlechteren Arbeitszahlen führen.
- Aus den kleinen Zapfprofilen kommt die Vermutung auf, dass die Speichervolumen dieser kleinen Warmwasser-Wärmepumpen tendenziell überdimensioniert werden.
- Die Wärmeverluste von Warmwasser-Wärmepumpen sind nur abhängig von der Warmwassertemperatur und nicht von der effektiven Verbrauchsmenge. Somit beeinflussen sie bei kleinerem Verbrauch die Effizienz stärker.
- Bei den im Feld installierten Anlagen fehlen tw. wichtige Voraussetzungen für einen optimalen Betrieb, wie bspw. ein Thermosyphon oder Dämmungen von Anschlussstutzen oder Warmwasserleitungen, welche nach Regelwerken oder Herstellerangaben befolgt werden müssten. Leider fehlen verschiedentlich diese Vorgaben oder sind nur unvollständig. Hier wäre Handlungsbedarf. Die Erarbeitung von generell gültigen Vorgaben, welche die wichtigen, einzuhaltenden Installations- und Betriebsmerkmale umschreiben, sollte unbedingt angegangen werden.

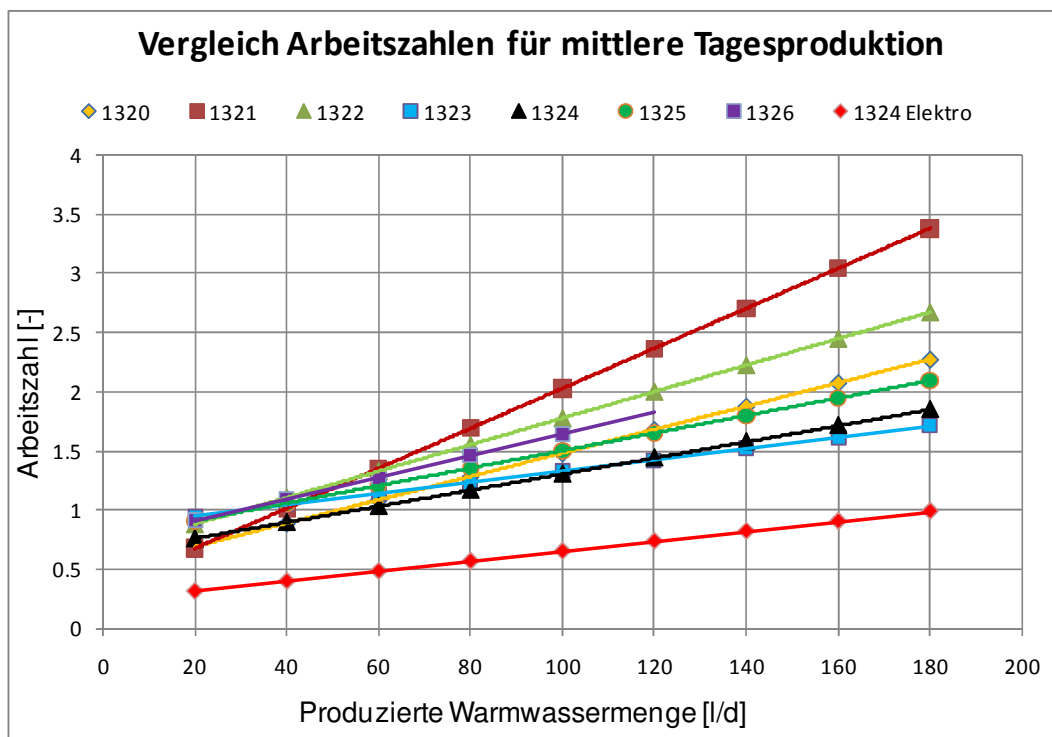


Abb. 23: Mittlere Arbeitszahlen (Lineare Regressionslinie) der 7 analysierten Warmwasser-Wärmepumpen während Messperiode

Die Industrie hat die vorherrschende Situation zur Kenntnis genommen und beabsichtigt ein Merkblatt zu erstellen über die Dimensionierung von Warmwasser-Wärmepumpen. Darin sollten dann die wichtigen Punkte zur Dimensionierung und speziell zur Planung und Installation enthalten sein.

Es ist eine Tatsache, dass die Planer und Installateure die erforderlichen Voraussetzungen und Planungsvorgaben der Hersteller nicht immer einhalten. Es fehlt in der Fachbranche sowohl an Aus- und Weiterbildung, wie auch an Fachwissen. Hier sind die zuständigen Fachverbände und Organisationen gefordert.

Aber auch die Fachbranche kann die hier gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen bei der Weiterentwicklung aufnehmen. Ein wichtiges Postulat wäre eine Warmwasser-Wärmepumpe mit kleinerem Wasserinhalt. Ein Gerät mit 50 bis 100 Liter Wasserinhalt dürfte, je nach Anforderungen besser abschneiden und könnte die hier vorgefundenen Wasserverbräuche mehrheitlich abdecken. Auch wenn eine Badewannenfüllung mitberücksichtigt werden muss, wäre ein Speicherinhalt mit 50 – 100 Liter immer noch genügend.

Im Vergleich zu diesen Resultaten wird der im WPZ Labor gemessene Elektroboiler mit einer Arbeitszahl von 0.68 – 0.94 genannt.

Die zusätzlich gewonnene Erkenntnis, dass die Raumtemperaturen in Räumen mit Wärmepumpenboilern nicht sehr stark abfallen, sofern die Installations-Vorgaben eingehalten werden, ist positiv zu werten. Zusätzlich wird mit einem Wärmepumpenboiler die Raumluft auch entfeuchtet, was gerade in Wasch- und Trockenräumen von grossem Vorteil ist.

Trotzdem die Effizienz der untersuchten Wärmepumpenboiler die Erwartungen nicht erfüllen, kann die Aussage bestätigt werden, dass ein Wärmepumpenboiler rund drei mal effizienter ist als ein Elektroboiler gleicher Grösse.

Die Fachbranche, resp. die Hersteller solcher Geräte haben ein klares Signal, wo noch Handlungsbedarf ist. Die Effizienz der Gesamtsysteme, inkl. Planung, Dimensionierung und Montage, kann gesteigert werden, speziell dann, wenn auch noch kleinere Boilerinhalte mit gleich grossen Wärmepumpenleistungen auf den Markt kommen.

Die Situation und der Vergleich von Labormessungen und diesen Feldanalysen wurde auch an einem Fachkolloquium an der Fachhochschule Buchs SG vorgestellt und diskutiert.

2 Inverter-Wärmepumpen

2.1 Grundsätzliche Informationen

Inverter geregelte Luft/Wasser-Wärmepumpen sind zukunftsweisende Geräte, mit denen eine deutlich höhere Effizienz erreicht werden soll, wie auch die Hochschule Luzern in einer Laboranalyse festgestellt hat. Solche Wärmepumpen sind vor allem bei Sanierungsobjekten interessant, da sie im Teillastbereich regelbar sind.

Diese Inverter-Wärmepumpen werden im Schweizer Markt recht stark "gepuscht". Es ist deshalb wichtig, Markt verzerrenden Aussagen zu relativieren und den Konsumenten, aber auch zuhänden der Installateure, neutrale Aussagen und Beurteilungen abzugeben.

Bei den Leistungsgeregelten Wärmepumpen ist es wichtig, dass im Teillastbetrieb auch die Nebenaggregate, speziell der Ventilator, geregelt werden. Es wird generell bei diesen Geräten eine entsprechend optimale Regelstrategie benötigt. Die Eisabtauung am Verdampfer sollte speziell in der Übergangszeit (bei 0–7 °C) mit der Leistungsgeregelten Wärmepumpe optimaler sein.

Installateure, aber auch Endverbraucher, benötigen als Hilfestellung neutrale Untersuchungen und Beurteilungen (Bewertungen), damit eine glaubwürdige Argumentation aufgebaut und im Markt eingesetzt werden kann.

Ein weiterer Vorteil dieser Leistungsgeregelten Luft/Wasser-Inverter-Wärmepumpen liegt in der Akustik. Mit den heute am Markt gehandelten Luft/Wasser-Wärmepumpen, speziell bei den ausser aufgestellten Geräten, treten immer wieder Schallprobleme auf. Mit den Inverter-Wärmepumpen kann ein sog. "Flüsterbetrieb" eingestellt werden, der speziell in der Nachtzeit einen tieferen Schalldruckpegel ergibt, sodass die Grenzwerte besser eingehalten werden können. Dies wird erreicht, indem die Drehzahl von Kompressor und Ventilator begrenzt wird.

2.2 Projektabwicklung

2.2.1 Studium Produktunterlagen

Es gibt bei den verschiedenen Produkten diverse Unterschiede. So haben wir bei der Prüfung festgestellt, dass bei einem Produkt nur beim Verdampfer-Ventilator die Drehzahl entsprechend der Aussenlufttemperatur variiert wird. Diese Anlage konnten wir deshalb nicht in das Anlagensample aufnehmen, da dieser Anlagentyp keine echte Inverter-Wärmepumpe darstellt.

2.2.2 Abklärungen mit Lieferanten

Ein kritischer Punkt war der Zeitbedarf für die Anlagenauswahl, da die Selektion von geeigneten Anlagenadressen vor allem über die Hersteller- und Lieferfirmen laufen musste. Denn für die Beschaffung von solchen Anlagenadressen waren zu wenig Direktkontakte und Projekte vorhanden. Bei mehreren in Frage kommenden Objekten war das Timing sogar noch von der Liefermöglichkeit der Geräte abhängig.

2.2.3 Probleme

Da es sich um eine eher neue Technik handelt, waren leider auch Probleme vorprogrammiert gewesen. Bei zwei Anbietern wurde die Lieferung der Maschine von Monat zu Monat weiter verzögert. Schlussendlich konnten dann die Geräte doch noch in Betrieb genommen werden.

Weiter waren bei zwei Geräten für die Steuerung und Regelung tw. mehrmalige Software-Updates notwendig. Dies führte dann jedes Mal zu zusätzlichen Abklärungen betreffend Betriebsprobleme mit Neueinregulierung, etc. Für die Messung und Analyse mussten diese grösseren Anpassungen und Veränderungen genau erfasst und abgegrenzt werden.

Es war aber auch bei den Anlagenbesitzern nicht zuletzt wegen den Anpassungen und Updates nicht ganz einfach die benötigten Messdaten regelmässig abzurufen und richtig zu erfassen.

2.3 Projektumfang

2.3.1 Anlagensample

Das bereinigte Anlagensample, welches für die Datenerfassung und die Analyse vorliegt.

Tabelle 5: Anlagenliste Inverter-Wärmepumpen

Anlage	Bezeichnung	Anwendung		Qh (100%)	COP	Qh	COP	Messperiode
		Heizen	WW					
1300	NIETAN14	x		12.72	2.55	9.20	3.20	10.06.13 - 03.05.15
1301	GOLSEE17	x	x	11.65	2.40	10.87	3.05	04.12.13 - 03.05.15
1302	ABTGAI56	x	x	9.18	2.57	10.73	3.20	10.10.12 - 04.05.15
1303	ZUFCH15	x	x	9.14	2.57	11.67	3.38	21.12.12 - 01.05.15
1304	FELTAM73	x	x	10.79	3.40	8.20	3.42	21.12.12 - 26.04.15
1305	TRIWEI03	x	x	11.87	2.23	8.44	3.27	16.01.13 - 01.05.15
1306	ZIHWILO2	x		9.50	2.60	7.37	3.80	30.12.12 - 03.05.15
1307	KÜTBRA19	x		11.80	3.05	8.14	3.89	14.03.13 - 10.06.15
1308	WILRIE79	x	x	8.20	2.60	9.60	3.20	22.02.13 - 10.05.15
1309	LOMSTO33	x	x	12.70	2.70	8.50	3.80	26.06.13 - 09.05.15
1310	WILVOR04	x		12.40	2.94	7.60	4.02	03.12.14 - 30.04.15
1311	IGIFEL06	x	x	11.80	3.05	8.14	3.89	17.09.14 - 03.06.15
1312	SCHTRO18	x		12.00	3.00	8.50	3.90	03.12.14 - 31.05.15
1313	WANSON06	x	x	13.88	2.90	8.99	3.94	21.11.14 - 14.6.15
1314	PFYBER13	x	x	6.40	2.48	5.80	3.67	02.12.14 - 06.05.15

Anmerkung: COP und Qh sind Herstellerangaben

Es gab anfänglich (2012) noch einige Schwierigkeiten zu überwinden, um solche Inverter-Wärmepumpenanlagen im Feld zu evaluieren. Da waren Geräte, aus Fernost, die in Europa recht stark vertreten sind, aber in der Schweiz ganz neu auf den Markt kamen. Oder Geräte, die frisch aus der Entwicklungsabteilung kamen und tw. noch nachgerüstet werden mussten. Die technischen Angaben wurden den Unterlagen der Lieferfirmen entnommen. Teilweise handelt es sich um Prüfergebnisse von externen Prüfstellen.

Alleine die Beschaffung von technischen Daten war oft ein Kunststück. Die für einen technischen Vergleich gewünschten Leistungswerte für 100% und bei reduziertem Betrieb waren tw. zu diesem Zeitpunkt noch gar nicht erhältlich. Die publizierten technischen Angaben waren noch lückenhaft und unübersichtlich. Der Betrieb mit reduzierter Leistung, resp. mit reduzierter Kompressordrehzahl konnte nicht bei allen Geräten ermittelt werden.

Wegen den Verzögerungen konnten einige Anlagen erst Anfang 2013 in Betrieb genommen werden. Waren die Maschinen endlich montiert und in Betrieb genommen, gab es Betriebsprobleme mit der Steuerung/Regelung. Auch gab es Anlagen, die nachträglich wieder aus dem Anlagensample herausgenommen werden mussten. Eine Anlage wurde rund 6 Monate zu spät ausgeliefert. Da es sich um ein interessantes Gerät handelt, wurde trotz der späten Inbetriebnahme, die Anlage in dieses Projekt Feldanalysen an Inverter-WP aufgenommen.

Damit aufgrund der entstandenen Situation die Beurteilung der Betriebserfahrungen und die Analyse der Effizienz über längere Zeit erfolgen konnte, wurde das Projekt bis Mitte 2015 verlängert. Die aus den Datenauswertungen in diesem Projekt gewonnenen Erkenntnisse führten dazu, dass mit verschiedenen Lieferfirmen zwecks Diskussion und Optimierung der Kontakt gesucht wurde. Es fand auch eine Informationsveranstaltung statt, wo alle beteiligten Firmen eingeladen wurden und wo die Resultate anonym präsentiert worden sind. Die anschliessende Diskussion zeigte, dass die Situation, resp. die Erkenntnisse und Erfahrungen auf ein positives Eco gestossen sind, Man möchte für die eigenen Produkte von dieser Feldanalyse profitieren.

2.3.2 Bestückung der Anlagen mit Messgeräten

Die Installation der entsprechenden Messgeräte wurde durch Heizungs- und Elektrofirmen aufgrund von Angeboten ausgeführt. Zusätzliche Elektroregister wurden entweder mit Betriebsstundenzählern oder mit einem zweiten Elektrozähler erfasst.

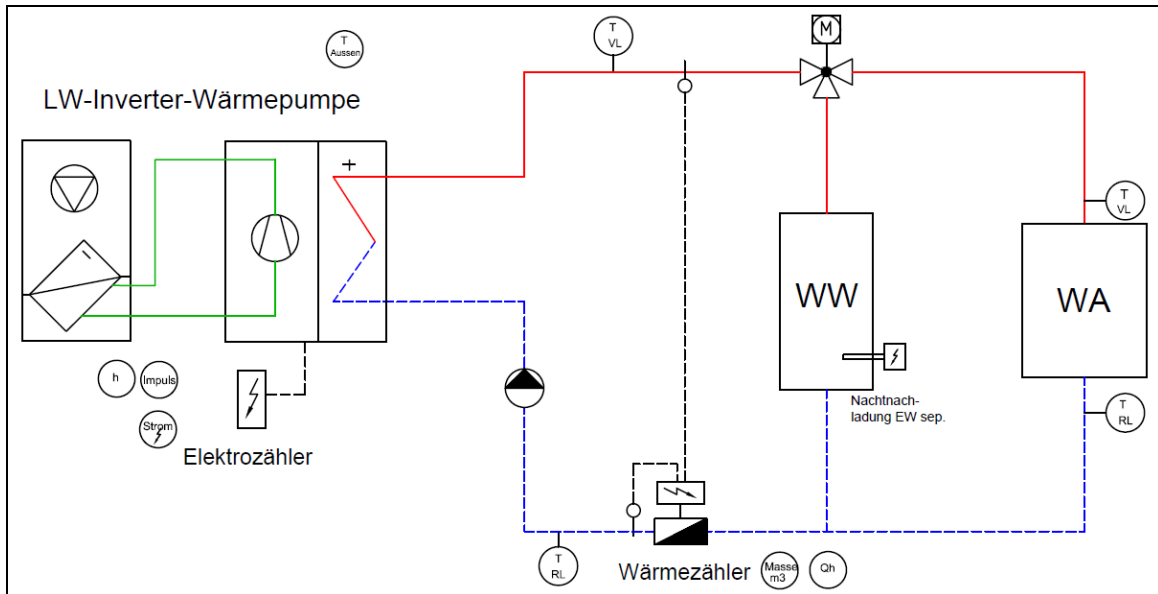


Abb. 24: Prinzipschema Inverter-Wärmepumpe mit Messstellen

2.3.3 Anlagenkonfiguration

Da nicht bei allen Produkten die Aufteilung zwischen Aussen- und Inneneinheit technisch gleich gestaltet ist, mussten die messtechnischen Möglichkeiten jeweils genau abgeklärt werden.



Abb. 25: Inneneinheit Inverter-Wärmepumpe



Abb. 26: Ausseneinheit

Die Anlagen werden meistens als Splitgeräte mit je einer Aussen- und Inneneinheit gebaut. Die Verdichtereinheit ist entweder im Innen- oder im Aussengerät enthalten.

2.3.4 Inbetriebnahme und Messbeginn

Bei vier Anlagen waren der Einbau von Wärme- und Stromzählern bis Mitte Dezember 2012 erfolgt. Diese Anlagen der ersten Phase wurden in der zweiten Hälfte 2012 und in der ersten Hälfte 2013 in Betrieb genommen. Nach der Verlängerung des Projekts um ein Jahr kamen im zweiten Halbjahr 2014 nochmals fünf Anlagen dazu. Alle Anlagen wurden während ein bis zwei Wintern und in der Übergangszeit analysiert, sodass die beiden markanten Betriebsphasen, Winterbetrieb und Übergangszeit mit Teillastbetrieb beurteilt werden konnten. Zudem wurde bei den Anlagen mit Warmwasserbereitung auch der Sommerbetrieb erfasst und beurteilt.

2.4 Messresultate und Beurteilung

Es bestand ein grosses Interesse bezüglich der Unterschiede im Heizbetrieb während der Winter- und der Übergangszeit, aber auch bezüglich des Warmwasserladebetriebs. Die ersten Analysen zeigten rasch, dass die Aussentemperatur einen grossen Einfluss auf die Effizienz der Inverter-Wärmepumpen hat. Speziell wurde auch festgestellt, dass bei der Warmwasserladung die Wärmepumpenleistung bei höheren Aussentemperaturen eher einen negativen Einfluss auf die Effizienz hatte. Die Vermutung, dass bei steigender Aussentemperatur die Kompressor- und die Ventilator-Drehzahl reduziert werden sollten, wurde im Projektverlauf bei mehreren Anlagen erkannt und bestätigt. Weiter wurde bei einigen Anlagen mit positiver Auswirkung der Effizienz auch die Wassermenge über den Kondensator variabel gefahren.

Die Aufzeichnung der Messdaten sollte möglichst wöchentlich, gemäss unten abgebildeter Liste, durch die Anlagenbesitzer erfolgen. Diese Aufzeichnungen bildeten die Basis für die Analyse und Bestimmung der Effizienz.

Tabelle 6: Beispiel mit Messdatenerfassung

Datum	Uhrzeit	Elektrozähler kWh		Wärmezähler kWh		Betriebsstunden		Anzahl Anläufe		Wärmezähler BWW kWh	Aussen- Temp. °C	Heiz-Temperaturen			ΔT °K	Durchfluss m³/h	Leistung kW
		HT	NT	Vor Sp.	nach Sp.	1. St.	2. St.	1. St.	2. St.			Vorlauf	Rücklauf	°C			
		Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z5.1	Z6	Z6.1			Z7	°C	°C			
				Speicher						BWW							
21.12.2012	10:45	1049.4		0		2009.25		1450		0	4.3	40	40	0	1.716	0	
22.12.2012	6:45	1091.5		100		2029.00		1460		3	2.9	45	43	2.3	1.707	4.3	
26.12.2012	14:50	1201.4		445		2119.75		1507		28	9	36	34	1.9	1.701	3.6	
27.12.2012	22:50	1258		598		2151.75		1519		39	5.4	43	41	2.3	1.69	4.5	
28.12.2012	11:25	1282		658		2164.20		1524		45	5.8	43	41	2.1	1.704	4.1	
29.12.2012	8:10	1316		755		2185.00		1531		51	3.3	46	44	2.4	1.708	4.9	
30.12.2012	13:30	1364		883		2215.00		1541		58	5.9	41	41	0.1	1.7		
31.12.2012	12:15	1406.2		988		2234.15		1549		68	2.9	45	43	2.3	1.707	4.6	
01.01.2013	11:10	1442.9		1094		2258.10		1558		72	5.8	43	41	1.9	1.697	3.7	
02.01.2013	11:20	1474.7		1189		2281.07		1567		78	5.2	44	39	4.2	1.714	8.1	
05.01.2013	10:50	1602.9		1522		2352.40		1590		106	6.4	42	38	3.7	1.69	7.3	
11.01.2013	9:50	1845.1		2160		2492.50		1647		116	2.7	46	42	4.1	1.695	7.9	
13.01.2013	12:25	1966.7		2421		2513.50		1671		148	2.9	46	44	2.2	1.695	4.3	
17.01.2013	19:50	2225.5		2987		2645.60		1714		176	-1.7	51	47	4	1.677	7.6	
18.01.2013	13:30	2282.3		3098		2663.00		1721		182	-1.4	50	46	4.1	1.686	8	
19.01.2013	17:15	2349.8		3248		2689.90		1731		189	4.8	43	40	2.8	1.694	5.5	
25.01.2013	14:40	2680.4		3899		2829.40		1795		210	1.2	47	43	3.8	1.696	7.1	
27.01.2013	11:35	2806.2		4267		2874.25		1810		222	1	47	45	2.1	1.681	4.1	

Zusätzlich wurden tw. Loggermessungen für die genaue Erfassung und Beurteilung von Betriebsphasen bei Teillast und Volllast vorgenommen. Sie sollen aufzeigen, wie die Anlagen sich verhalten, resp. ob sie bei der erwarteten Regelung der Lastsituation auch wirklich funktionieren und die Effizienz im Vergleich zu herkömmlichen Anlagen besser ist. Die über einen grossen Bereich angepasste Heizleistung bedingt die richtige Dimensionierung der Wärmepumpe, da bei überdimensionierten Maschinen die Vorteile zu wenig zum Tragen kommen. Dass bei gut ausgelegten Anlagen die Effizienz der Wärmepumpe, insbesondere die Jahresarbeitszahl JAZ, deutlich steigt, ist nicht nur ein Kundenbedürfnis, sondern auch im Rahmen der strategischen Energieeffizienzmassnahmen der Schweiz von Bedeutung.

Die nachstehenden Grafiken geben einen vertieften Einblick über die Effizienz der Anlagen. Die Arbeitszahl ist jeweils über der Aussentemperatur aufgetragen. Die für die Analyse verwendeten Aussentemperaturen sind Tagesmittelwerte von den nächst gelegenen Meteostationen, die auch aus der geographischen Sicht geeignet erschienen.

Die Tagesmitteltemperaturen, die jeweils über das Ableseintervall als Mittelwert berechnet sind, wurden in Bezug auf die Anlagenhöhe zur Höhe der Meteostation (müM) zusätzlich mit 0.5K pro 100m Höhendifferenz korrigiert. Dieses Verfahren wurde seit Beginn den FAWA- und in der Folge auch bei den QS-WP-Feldanalysen eingesetzt und hat sich bewährt. Somit waren keine aufwändigen Aussentemperaturmessungen notwendig. Die Handablesungen von Aussentemperatur, sowie der Vor- und Rücklauftemperatur wurden lediglich zu Kontrollzwecken und als Information über die Momentanwerte aufgeschrieben.

2.4.1 Anlage 1300 – Messresultate und Beurteilung

Bei Anlage 1300 geht ansatzweise bezüglich der Regelung der Leistungsanpassung in die richtige Richtung. Die mittlere Heiztemperatur (Kondensatoraustritt) betrug 31.5°C. Eine Standardmaschine gemäss heutiger Technologie dürfte in etwa gleich gute Resultate bringen (JAZ zwischen 3.2-3.5). Der Kondensatormassenstrom wird konstant gefahren.

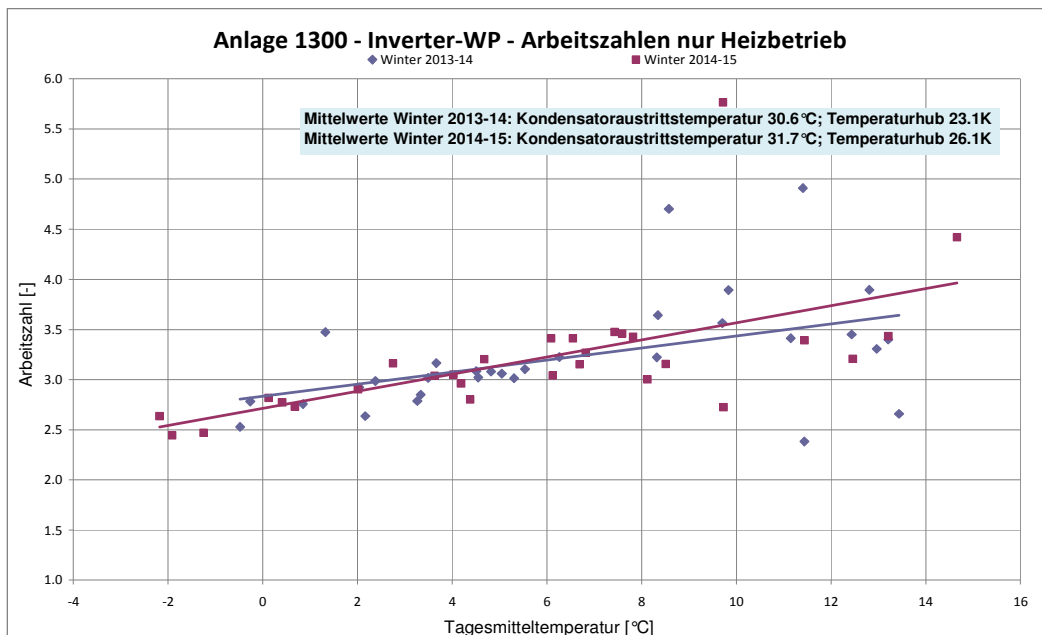


Abb. 27: Anlage 1300, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

2.4.2 Anlage 1301 – Messresultate und Beurteilung

Bei Anlage 1301 ist die Führungsgrösse bei höherer Aussentemperatur schlechter, vermutlich wird dies bei der Inverterregelung des Kompressors nicht berücksichtigt. Die Effizienz sollte bei höherer Aussentemperatur ansteigen und nicht abfallen. Die mittlere Heiztemperatur (Kondensatoraustritt) betrug 34.6–37.0 °C und der Temperaturhub 28–32.6K.

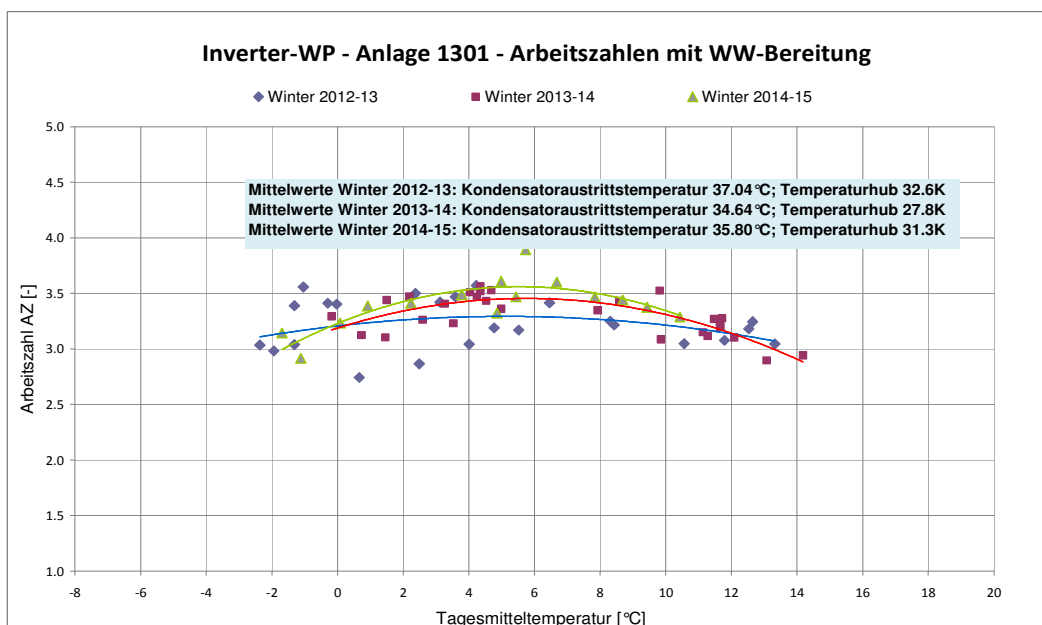


Abb. 28: Anlage 1301, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

Die bei höheren Aussentemperaturen abfallenden Arbeitszahlen (Effizienz) ist entgegen den Erwartungen und entspricht auch den physikalischen Gegebenheiten nicht.

Der Kondensatormassenstrom wird mit zwei Konstantwerten betrieben, im Heizbetrieb mit tieferem Wert (ca. 1.0 m³/h) und im Warmwasserladebetrieb mit höherem Wert (ca. 1.5 m³/h).

Bei der Warmwasserbereitung im Sommer ist die Effizienz in einem vergleichbaren Bereich, wie die normalen Standard-Luft/Wasser-Wärmepumpen. Was speziell auffällt, ist die mit höheren Aussentemperaturen abfallende Regressionskurve, die eigentlich, wie auch im Heizbetrieb erwartet, ansteigen sollte.

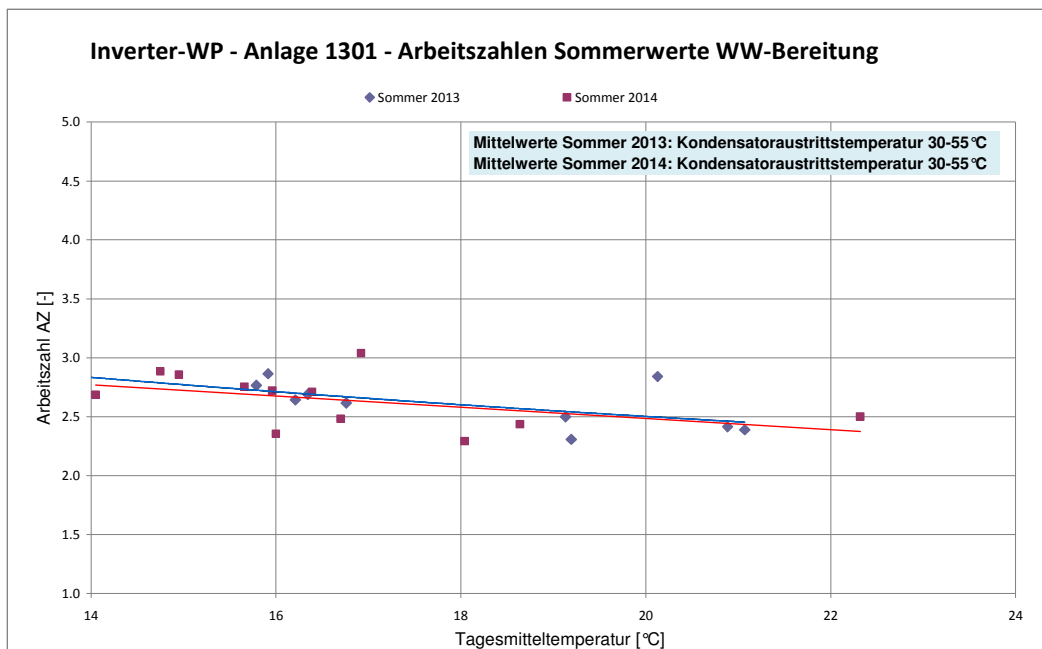


Abb. 29: Anlage 1301, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Sommerbetrieb

2.4.3 Anlage 1302 – Messresultate und Beurteilung

Bei Anlage 1302 berücksichtigt die Regelung die höhere Aussentemperatur für die Leistungsregelung. Die Anlage läuft jedoch schlecht, weil die Wärmeverteilung schlecht geplant ist und nicht regelbar ist (Wandheizflächen). Die mittlere Heiztemperatur (Kondensatoraustritt) betrug 35.3–37.0°C und der durchschnittliche Temperaturhub war bei rund 30–33K. Bei diesen guten Voraussetzungen dürfte eine höhere Effizienz erwartet werden. Die Wärmepumpe hatte unter Laborbedingungen bei A2W35 einen COP von 3.4 erzielt.

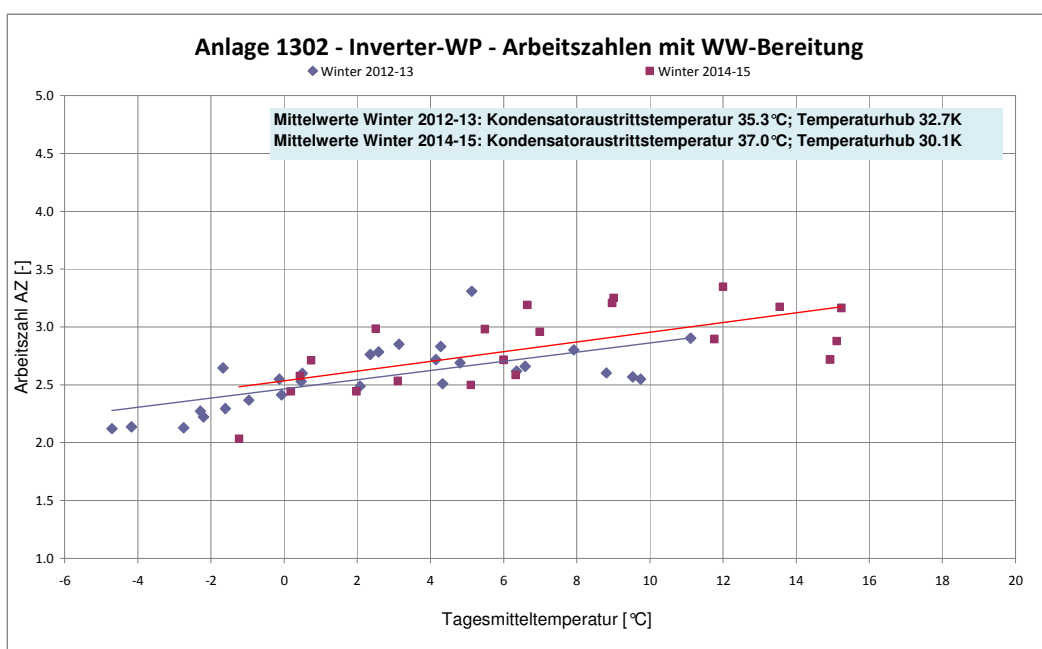


Abb. 30: Anlage 1302, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

Der Massenstrom wurde mit ca. 1.2 m³/h konstant gefahren und auch bei der Warmwasserbereitung nicht verändert. Die Arbeitszahl für Warmwasserbereitung liegt, wie bei Anlage 1301, im Bereich von 2.5 unter den Erwartungen. Bei Laborbedingungen (im WPZ) wurde bei A7W45 ein COP von 3.4 erreicht.

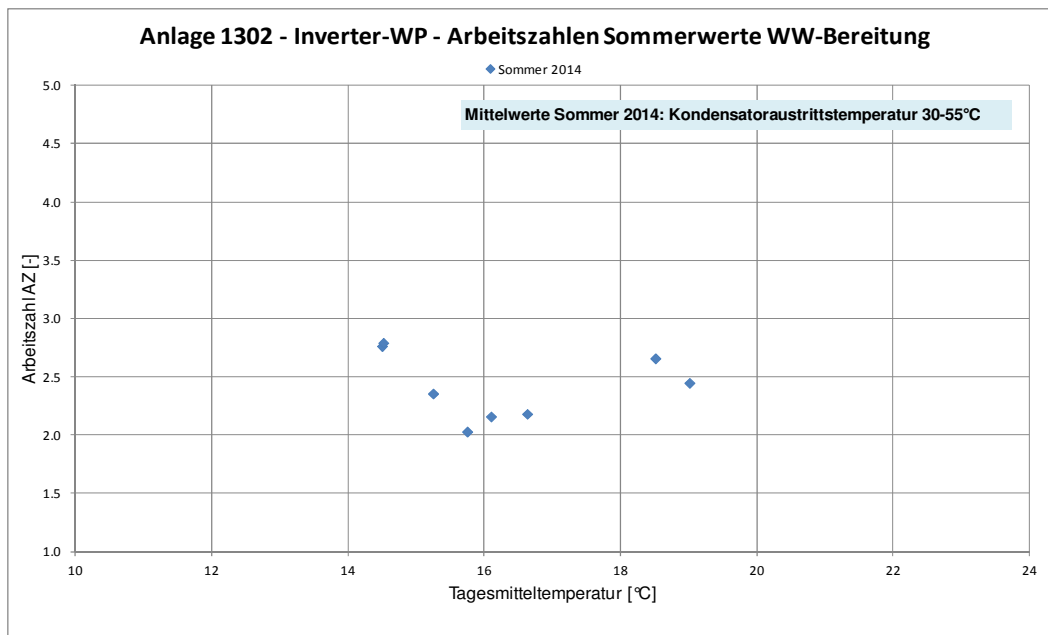


Abb. 31: Anlage 1302, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Sommerbetrieb

2.4.4 Anlage 1303 – Messresultate und Beurteilung

Diese Anlage läuft schlecht. Die Gründe liegen bei der Systemwahl und der hydraulischen Einbindung. Die Anlage ist mit einem Kombispeicher und einer thermischen Solaranlage ausgerüstet und andererseits hat diese Wärmepumpe eine ungenügende Leistungsregelung. Die mittlere Heiztemperatur beim Kondensatoraustritt wurde über den gesamten Aussentemperaturbereich mit 42.5°C praktisch konstant gehalten. Dies ist offenbar notwendig, weil die Warmwasserbereitung, resp. die Warmwasserspeicherung, sonst nicht gewährleistet ist.

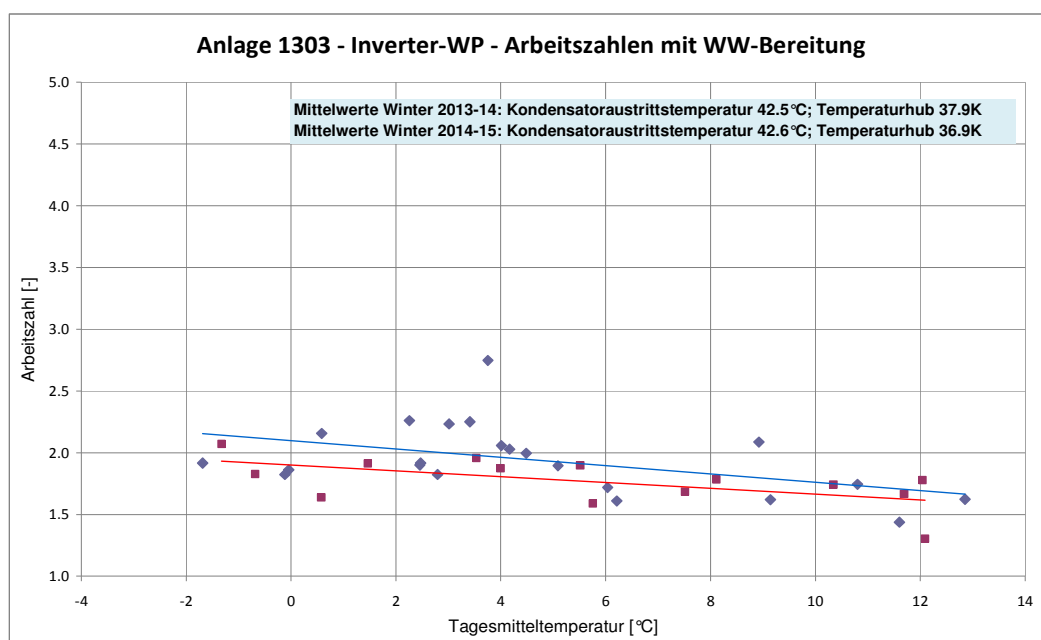


Abb. 32: Anlage 1304, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

Es zeigte sich einmal mehr, dass solche Konzepte regeltechnisch aufwändig sind und es nur richtig funktioniert, wenn alle Komponenten optimal zusammen passen (System-Modul FWS²)

² Die Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS hat in Zusammenarbeit mit namhaften Fachorganisationen das „Wärmepumpen System-Modul“ entwickelt, weitere Informationen unter www.wp-systemmodul.ch

2.4.5 Anlage 1304 - Messresultate und Beurteilung

Diese Anlage läuft ebenfalls deutlich schlechter. Es zeigt sich jedoch klar, dass die Effizienz bei steigender Aussentemperatur ebenfalls besser wird. Diese Wärmepumpe hat keine Witterungstemperatur geführte Leistungsregelung. Der Kondensatormassenstrom wird konstant gehalten, auch bei der Warmwasserbereitung.

Die Charakteristik ähnelt einer konventionellen Luft/Wasser-Wärmepumpe.

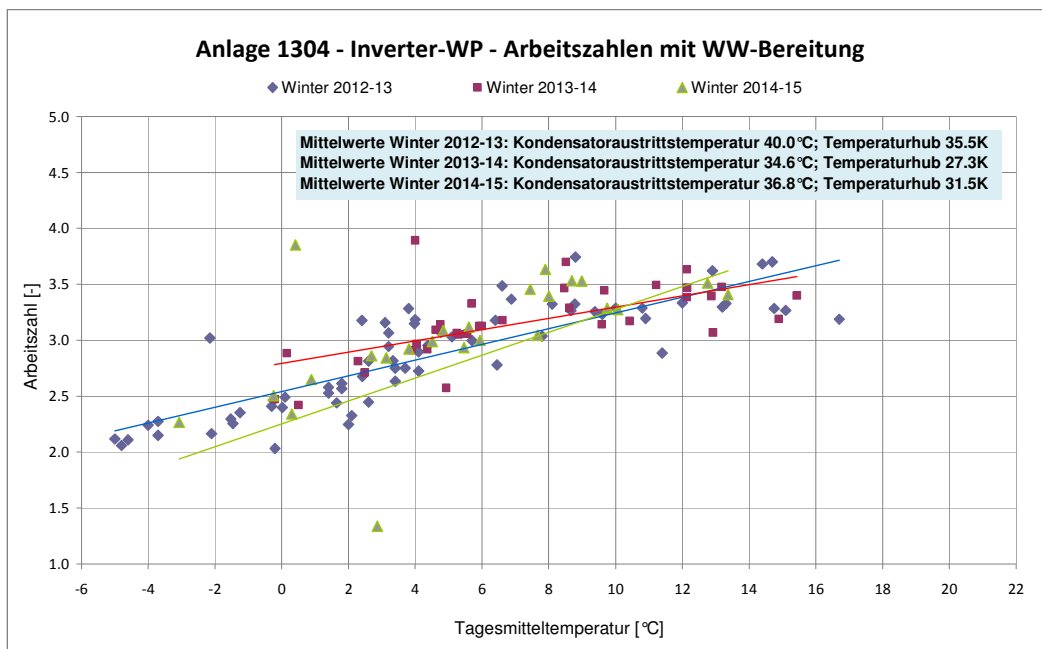


Abb. 33: Anlage 1304, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

Die Warmwasserbereitung in den Sommermonaten hat mit Werten im Bereich von 2.5 bis 3.5 eine eher gute Effizienz. Die Tendenz bei steigender Aussentemperatur ist jedoch auch negativ.

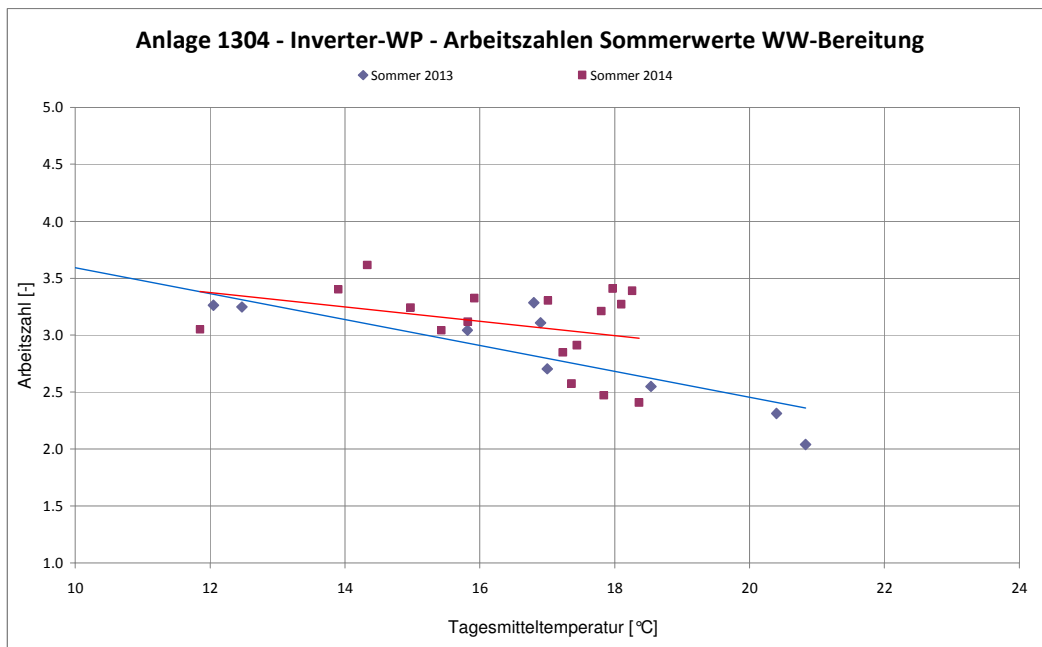


Abb. 34: Anlage 1304, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Sommerbetrieb

Dieser Wärmepumpentyp wurde in der Zwischenzeit durch ein Folgemodell abgelöst. Leider konnte im Rahmen dieses Projekts das neue Modell nicht mehr ins Anlagensample aufgenommen werden.

2.4.6 Anlage 1305 – Messresultate und Beurteilung

Die Anlage wurde nach der ersten Analyse des Winterbetriebs 2012-13 in Zusammenarbeit mit der Lieferfirma optimiert. Dies hat sich gelohnt, die Effizienz wurde um rund 10% gesteigert. Die Wärmepumpe erreicht bei dieser Feldanlage bei A2W35 jetzt die gleichen Werte wie im Labor.

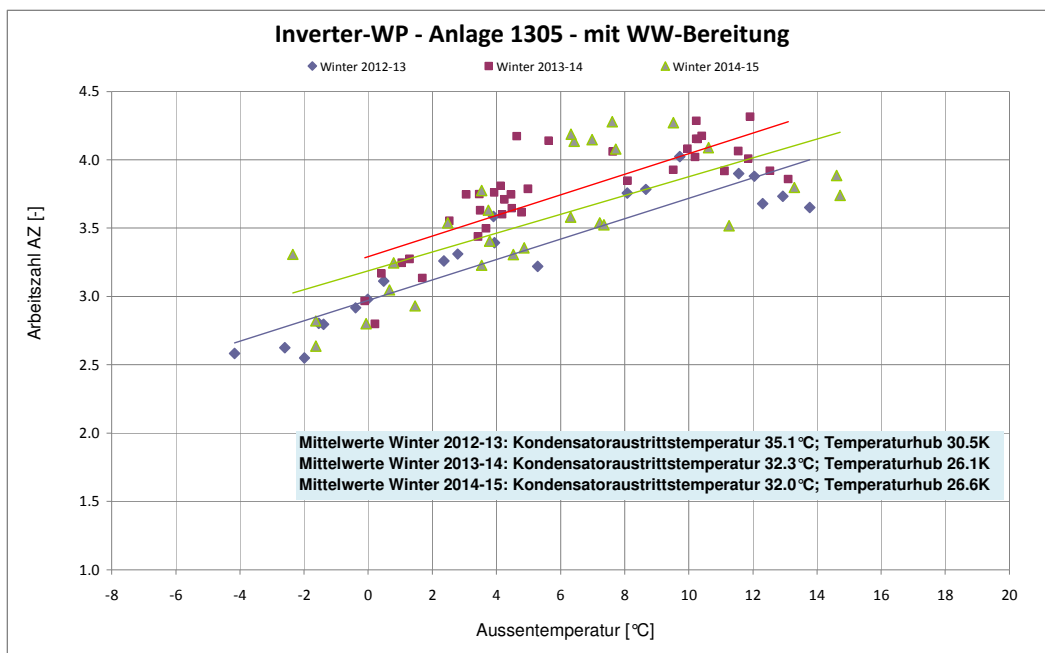


Abb. 35: Anlage 1305, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

Bei dieser Anlage 1305 ist die Führungsgröße bei höherer Aussentemperatur noch nicht optimal, vermutlich wird dies im Regler nicht berücksichtigt. Die Effizienz sinkt bei steigender Aussentemperatur deutlich ab.

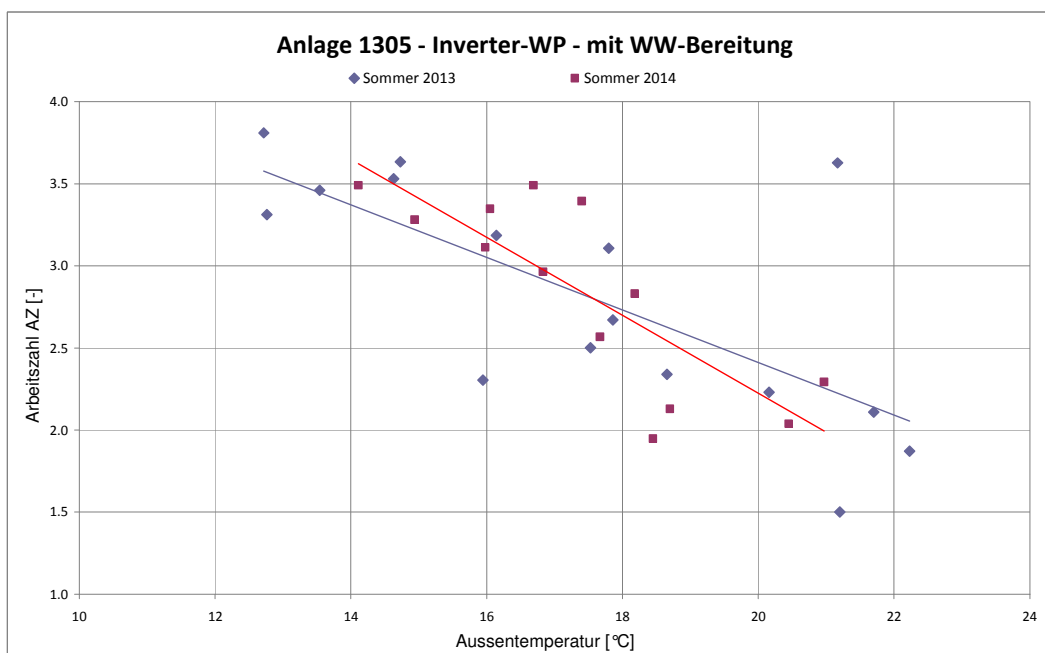


Abb. 36: Anlage 1305, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Sommerbetrieb

Im Sommerbetrieb wurde in Zusammenarbeit mit den Fachleuten der Lieferfirma ein Ladeprofil für die Warmwasserbereitung gemessen. Es stellte sich die Frage nach der optimalen Leistungsregelung speziell im Endladezustand, wenn die Rücklauftemperatur auf hohem Temperaturniveau ist.

Das Ziel war eine effiziente und möglichst hohe Warmwassertemperatur zu erreichen, ohne dass die Wärmepumpe ins Takten kommt oder über die Hochdrucküberwachung abgeschaltet wird.

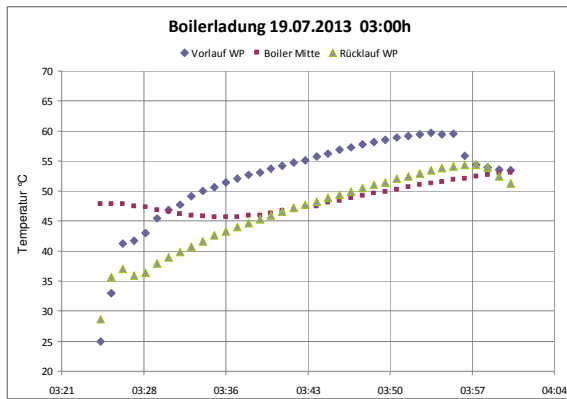


Abb. 37: Ladevorgang in der Nacht

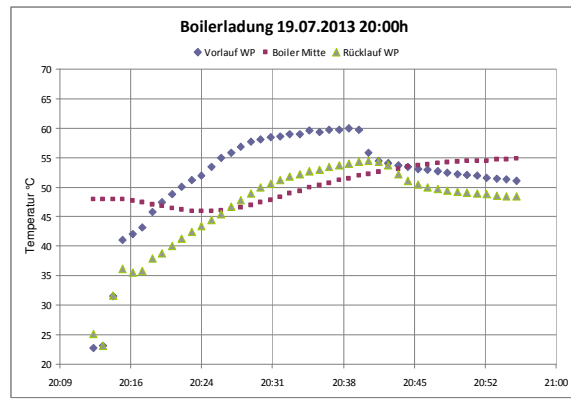


Abb. 38: Nachladung am Abend

Bei diesen Messungen wurde festgestellt, dass gewisse Parameter (Fixwerte) zu hoch eingestellt waren, die dann optimiert werden konnten.

Bei der Tagesnachladung auf Abb. 33 ist klar zu erkennen, dass um ca. 20:40h die Umschaltung auf den normalen Heizbetrieb erfolgt ist.

2.4.7 Anlage 1306 – Messresultate und Beurteilung

Bei dieser Anlage wurde ein klares und sauberes Regelmanagement vorgefunden, welches die Witterungstemperatur bei der Wärmepumpenregelung berücksichtigt. Die Wärmepumpe erreicht die COP-Werte, welche im technischen Datenblatt aufgeführt sind. Die Anlage läuft hervorragend und störungsfrei.

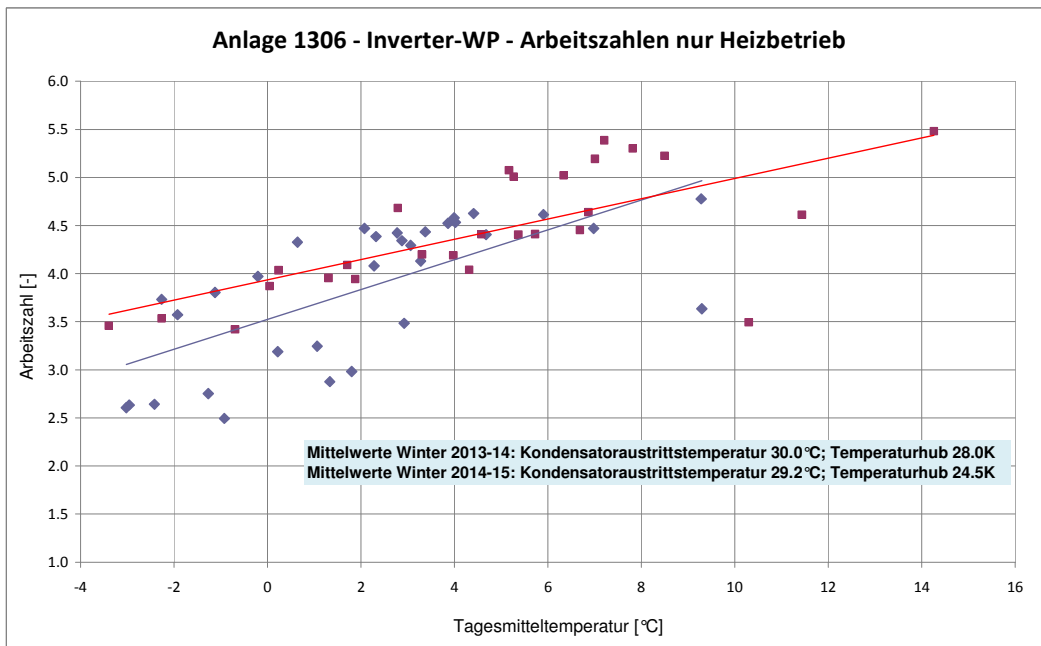


Abb. 39: Anlage 1306, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

Der Kondensator-Massenstrom variiert zwischen 0.75–1.2 m³/h. Auch bei der Leistungsaufnahme (Elektroleistung) und der Heizleistung (Wärmeabgabe) konnte ein Trend zu kleineren Werten bei zunehmender Aussentemperatur festgestellt werden. Die Laufzeiten der Anlage sind lang (zwischen 6–18 h/d bei a. 3 Anläufen), hingegen konnte keine Korrelation zur Aussentemperatur nachgewiesen werden.

2.4.8 Anlage 1307 – Messresultate und Beurteilung

Diese Anlage wurde mit grosser Verzögerung ausgeliefert und anschliessend zwischen März bis November 2013 mehrere neue Softwareversionen ausprobiert. Eigentlich lief die Anlage erst ab Mitte November 2013 richtig, sodass die Messdaten ebenfalls erst ab diesem Zeitpunkt ausgewertet werden konnten.

Bei dieser Anlage wird die Aussentemperatur als Führungsgröße für die Drehzahlregelung des Kompressors berücksichtigt. Es gibt jedoch trotz gut funktionierender Inverterregelung bei höheren Aussentemperaturen noch ein Verbesserungspotential. Die Effizienz sinkt im Temperaturbereich von +5.0 bis 12.0°C um rund 20% ab.

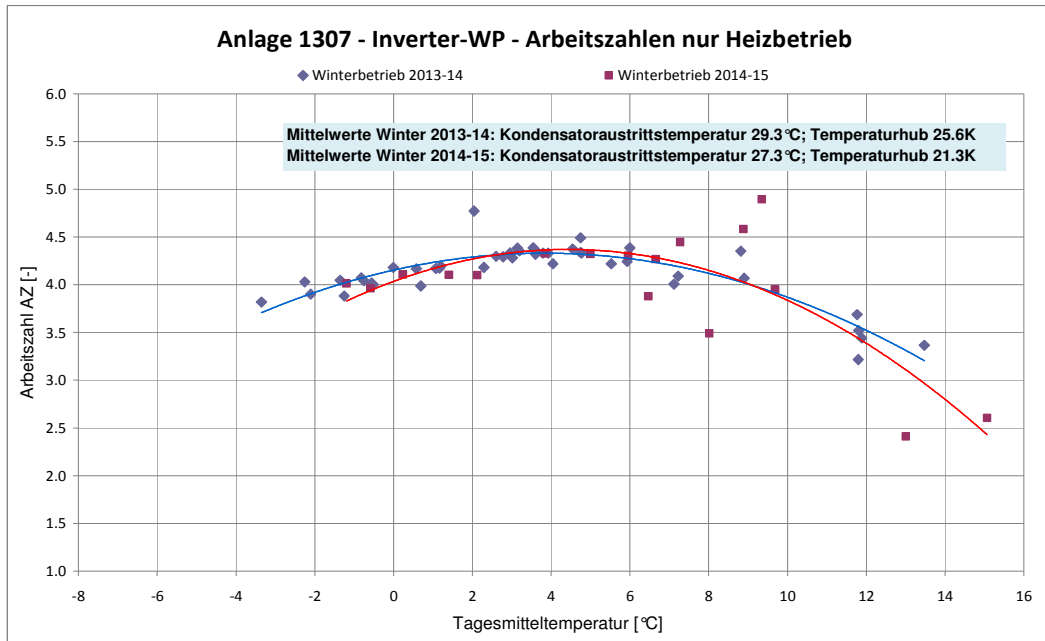


Abb. 40: Anlage 1307, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

Der Kondensatormassenstrom wird konstant gehalten. Die elektrische Leistungsaufnahme ist ebenfalls praktisch konstant und die Heizleistung nimmt physikalisch bedingt mit steigender Aussentemperatur zu. Die Regelung von Kompressor und Ventilator bei steigender Aussentemperatur ist sicher noch nicht optimal.

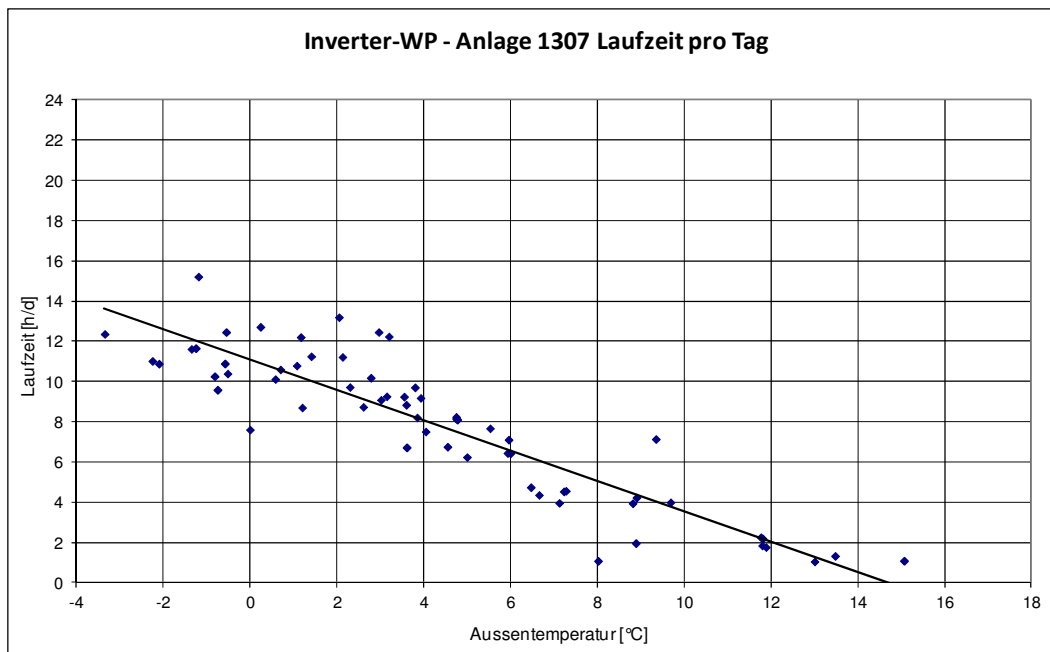


Abb. 41: Anlage 1307, Verlauf der Laufzeit versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

Die Laufzeit über die Regressionslinie auf die Dimensionierungstemperatur hochgerechnet ergibt ca. 17 h/d. Die Anlage ist somit noch etwas überdimensioniert. Als Inverter-Wärmepumpe wären eher längere Laufzeiten zu erwarten, da ja die Leistung der Wärmepumpe bedarfsabhängig reduziert wird oder werden sollte.

2.4.9 Anlage 1308 – Messresultate und Beurteilung

Bei dieser Anlage kann kein Regelalgorithmus vorgefunden werden. Das Gerät (Ausseneinheit) wurde aufgrund der sehr ungenügenden Effizienz nach dem ersten Winter ausgewechselt. Die Resultate der neuen Maschine sind jedoch nicht besser geworden.

Es handelt sich um ein ausländisches Serienprodukt, welches im Schweizer Markt noch nicht sehr oft eingesetzt wurde. Bei diesem Gerät müsste man sowohl bei der Regelung, wie auch bei der technischen Dimensionierung und Konstruktion einiges verändern.

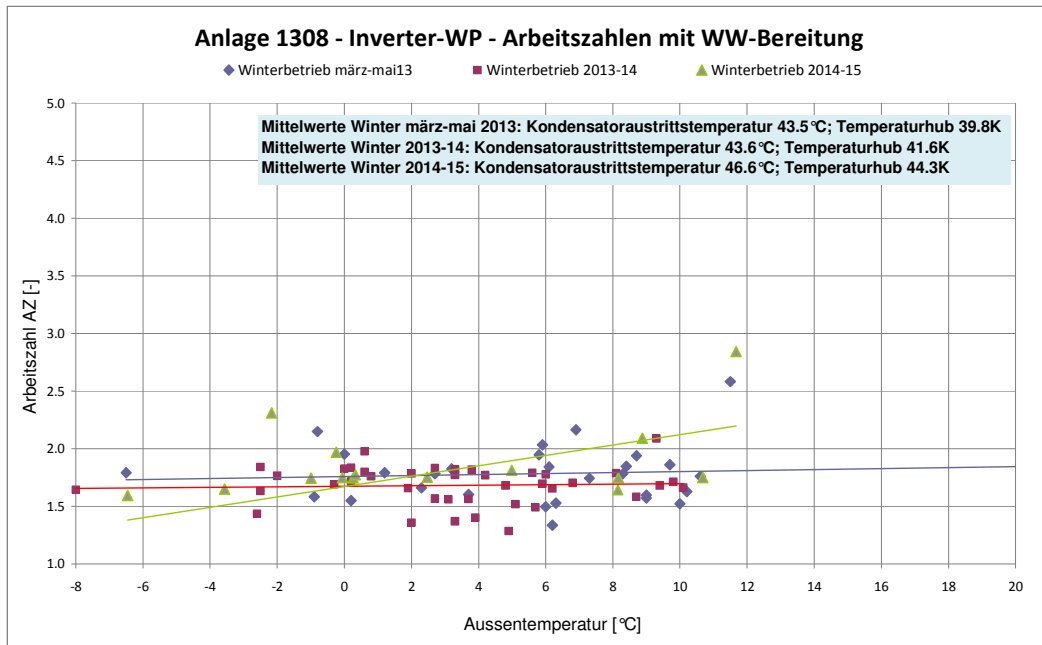


Abb. 42: Anlage 1308, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

Diese Wärmepumpe läuft mit einer schlechten Effizienz. Eine Arbeitszahl von 1.5–2.0 genügt nicht. Die Anlage ist auch schlecht installiert. Die Heiz- und Verbindungsleitungen sind nicht isoliert. Die Anlage befindet sich auf 1'100 müM und die Wärmepumpe steht in einem unbeheizten Schopf. Somit sind auch sämtliche Randbedingungen rund um die Wärmepumpe schlecht, sodass kein gutes Resultat erwartet werden kann.

Die Warmwasserbereitung im Sommerbetrieb läuft ebenfalls mit schlechter Effizienz.

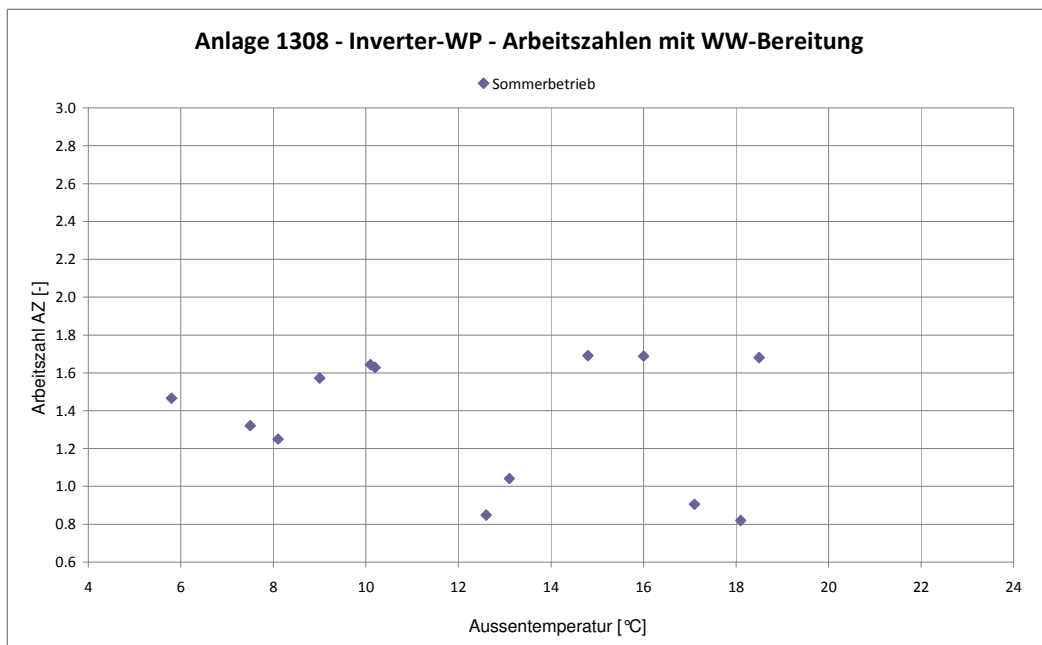


Abb. 43: Anlage 1308, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Sommerbetrieb

Gemäss Rücksprache mit den Beteiligten sollen die Anregungen und Erfahrungen im Verlaufe von 2015 umgesetzt werden.

2.4.10 Anlage 1309 – Messresultate und Beurteilung

Bei Anlage 1309 wurde anfänglich kein erkennbares Regelverhalten festgestellt. Die Leistungswerte zeigten eine grosse Streuung. Im Labor wurde bei A2W35 ein COP-Wert von 3.8 erreicht.

Die Standardmaschine des gleichen Lieferanten kommt gemäss heutiger Technologie eher auf bessere Resultate (JAZ zwischen 3.2-3.5).

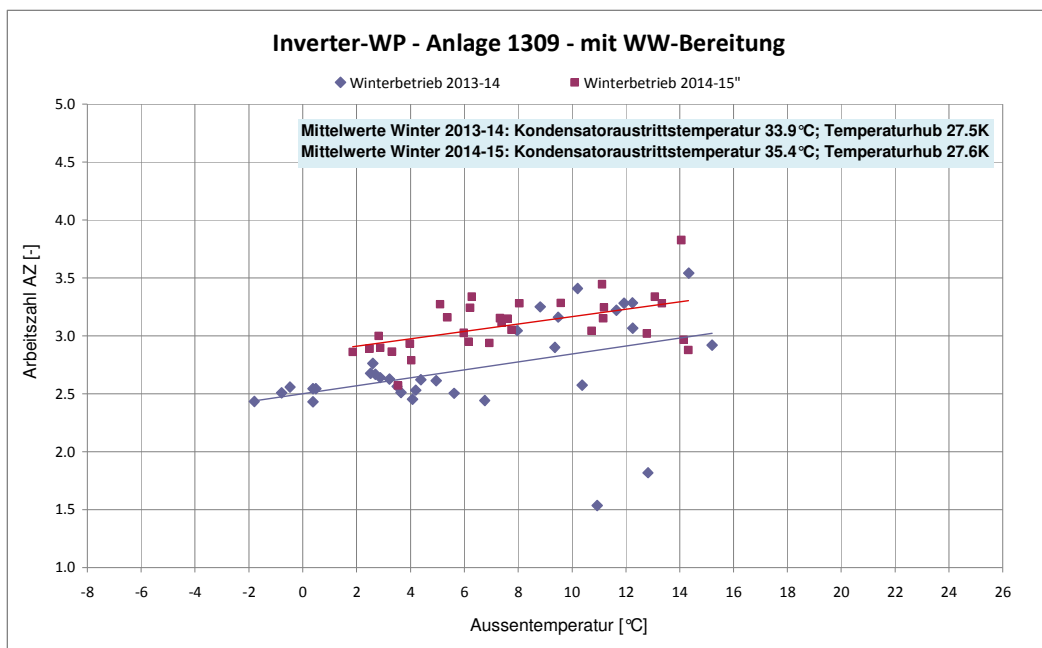


Abb. 44: Anlage 1309, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

Die Lieferfirma hat sich zusammen mit dem Hersteller intensiv mit den Problemen befasst. Es wurden Arbeitsmeetings durchgeführt, wo Spezialisten der Herstellerfirma, gemeinsam mit Regelfachleuten und den Projektverantwortlichen dieser Feldanalyse die Erkenntnisse und Erfahrungen diskutierten, resp. nach besseren Lösungen suchten. Es wurde eine neue Software geschrieben und auch a de Anlage getestet. Die Resultate konnten leider in diesem Projekt nicht mehr erfasst und analysiert werden.

Im Sommerbetrieb wurde auch bei dieser Anlage ein Absinken der Effizienz bei steigender Aussentemperatur festgestellt.

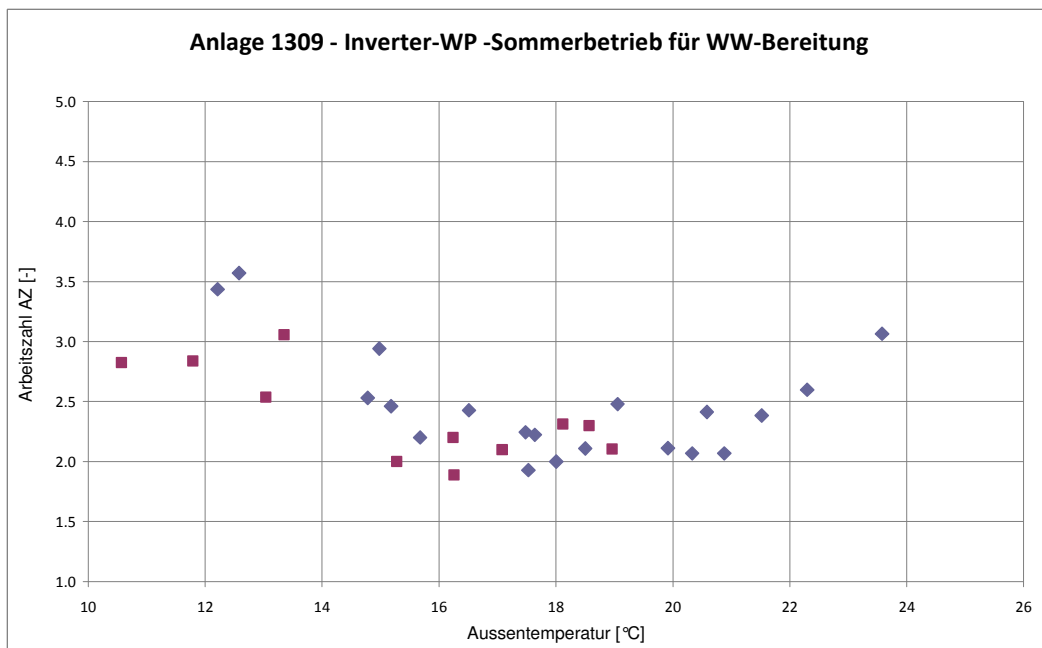


Abb. 45: Anlage 1309, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Sommerbetrieb

2.4.11 Anlage 1310 – Messresultate und Beurteilung

Die ermittelte Effizienz dieser Wärmepumpe erreicht die COP-Werte gemäss den technischen Angaben im Feld nicht. Die Anlage ist in einem älteren Haus eingebaut. Die benötigte Vorlauftemperatur bei der Auslegetemperatur beträgt ca. 45°. Die Wärmepumpenanlage ist neu installiert worden. Der Pufferspeicher wurde erst nachträglich zu einem Gleitspeicher umgebaut.

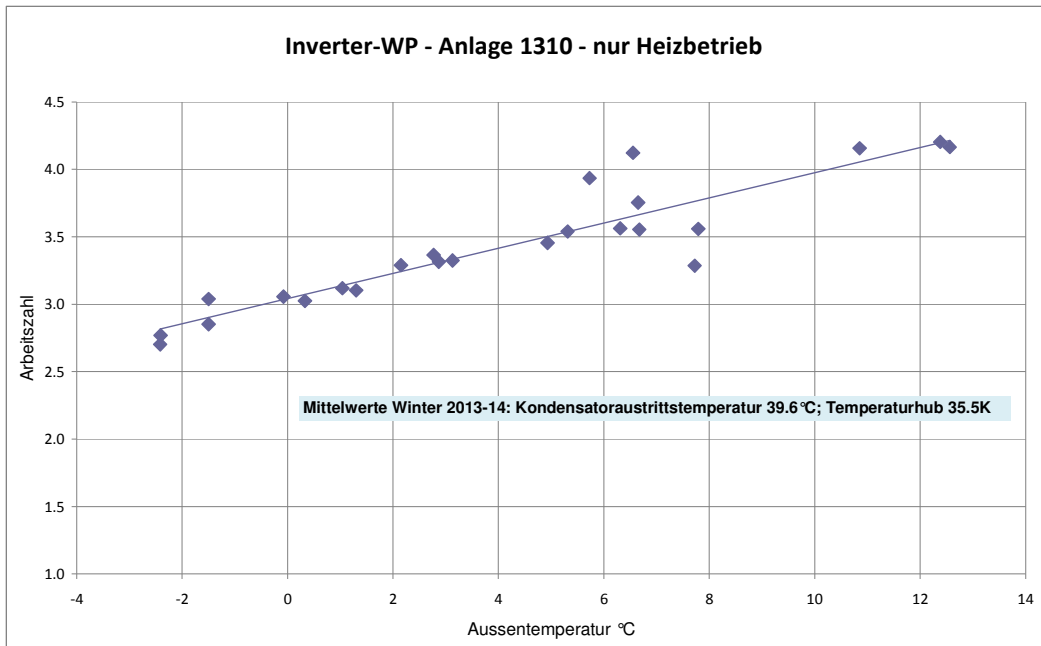


Abb. 46: Anlage 1310, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

Bei dieser Wärmepumpe wird die Leistung nach Aussentemperatur geregelt. Die Laufzeiten betragen bei -4.0 °C Aussentemperatur 24 h/d, gehen dann retour, bei 12 °C sind es dann noch ca. 10 h/d. Die Laufzeit pro Einschaltung liegt bei dieser Anlage optimal und beträgt im Mittel ca. 11 h.

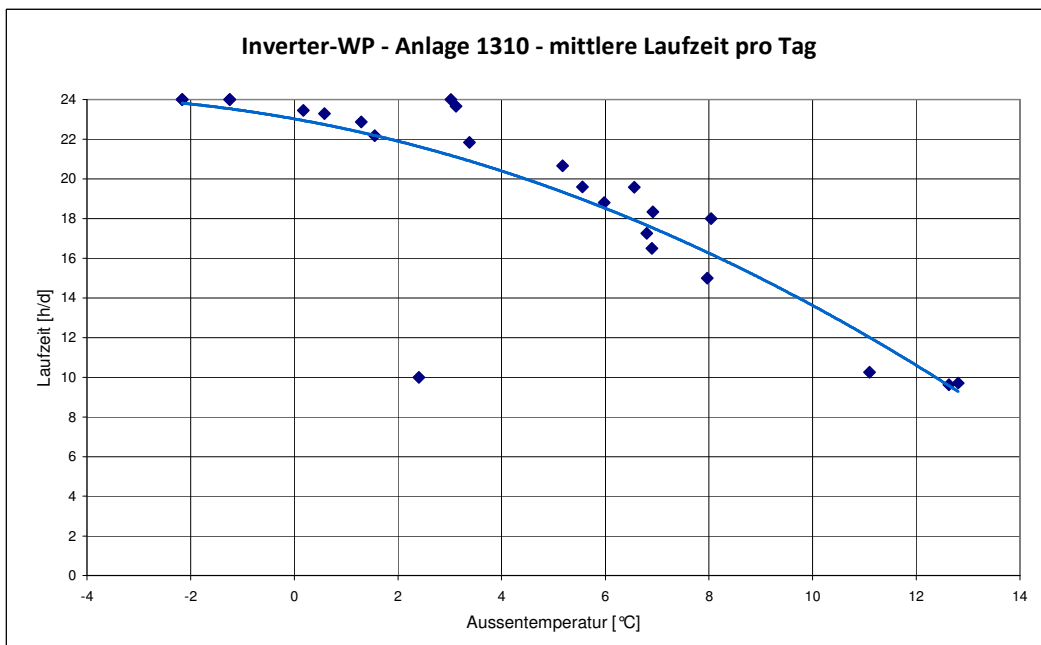


Abb. 47: Anlage 1310, Verlauf der Laufzeit versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

Die Laufzeit dieser Wärmepumpe entspricht am besten den Erwartungen von Leistungsgeregelten Wärmepumpen. Die Leistung wird bedarfsabhängig angepasst, resp. reduziert. Somit ist zwar die Reduktion der Laufzeit bei steigender Aussentemperatur zu erwarten und auch richtig. Aber die Laufzeiten sollten aufgrund der Leistungsanpassung deutlich länger sein als bei konventionellen einstufigen Wärmepumpen. Bei 4.0 °C Aussentemperatur läuft diese Wärmepumpe ca. 20 h/d.

2.4.12 Anlage 1311 – Messresultate und Beurteilung

Die Anlage erzeugt die Nutzwärme für die Beheizung des Gebäudes und für die Warmwasserbereitung. Die Wärmepumpe läuft sehr gut und effizient. Im Vergleich mit der Anlage 1307, welche ein identisches Produkt ist, zeigen sich doch einige Unterschiede. Bei der Anlage 1307 wird kein Warmwasser erzeugt und trotzdem sinkt dort die Arbeitszahl über ca. 5.0 °C Aussentemperatur wieder ab. Hingegen ist bei dieser Anlage ein stetes Ansteigen der Arbeitszahl mit steigender Aussentemperatur festzustellen.

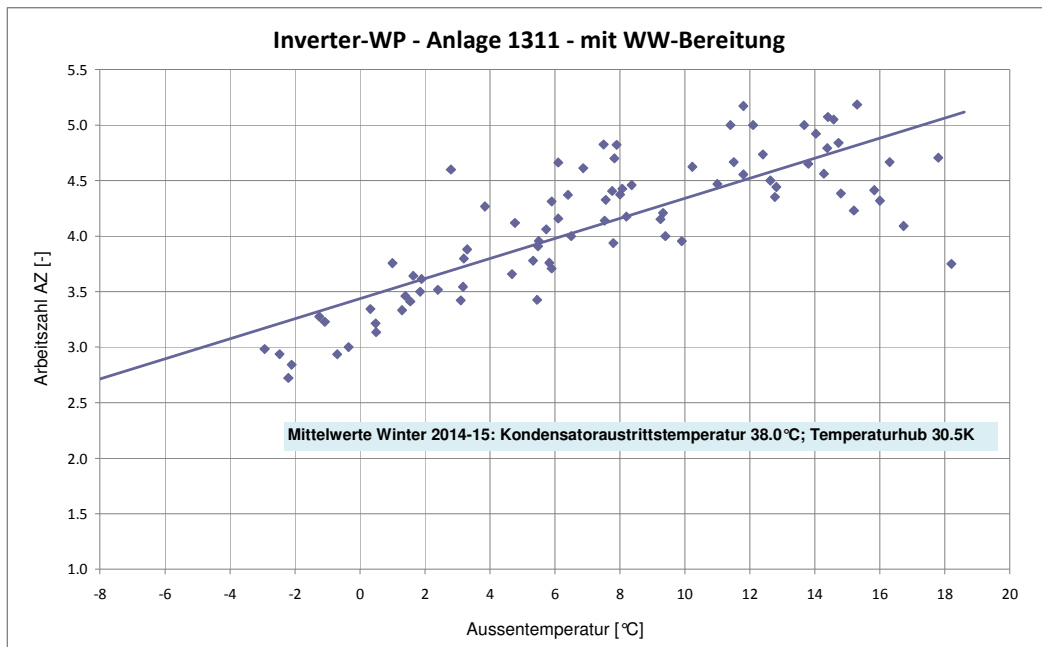


Abb. 48: Anlage 1311, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

Die Laufzeiten sind gegenüber der vergleichbaren Anlage 1307 deutlich länger. Diese Anlage ist nicht überdimensioniert. Bei der Dimensionierungs-Aussentemperatur hat diese Anlage eine Tageslaufzeit von 21.4 h/d.

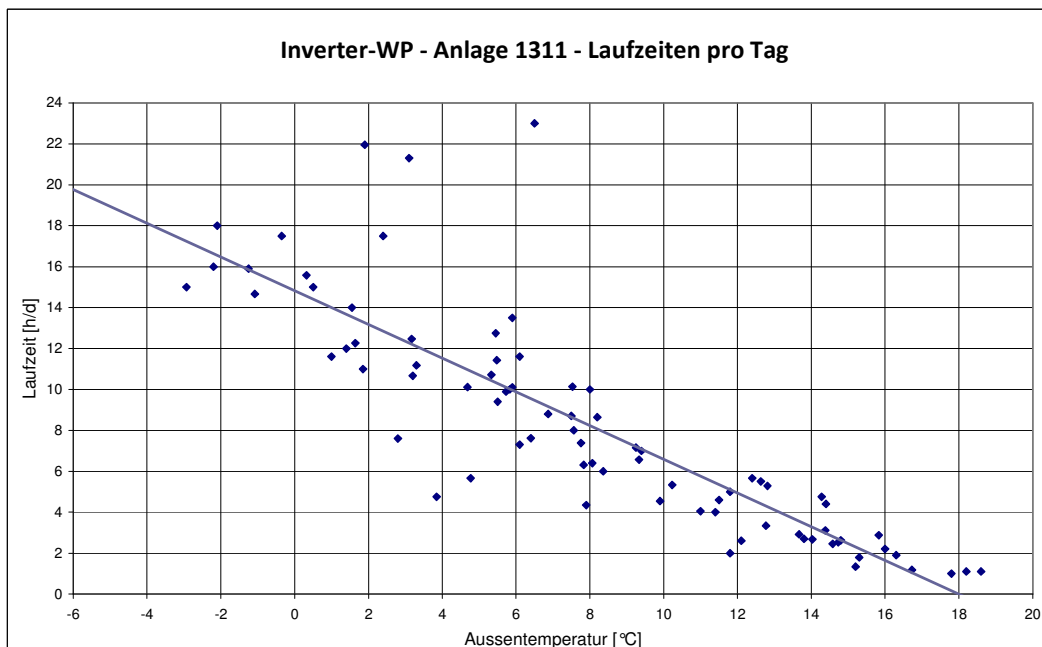


Abb. 49: Anlage 1311, Verlauf der Laufzeit versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

Entgegen der Vorstellung, dass eine Inverter-Wärmepumpe lang andauernde Laufzeiten hat, ist bei dieser Anlage diesbezüglich wenig zu erkennen. Die Maschine ist im Winter 2014/15 im Durchschnitt nur 0.93 h/Einschaltung gelaufen.

2.4.13 Anlage 1312 – Messresultate und Beurteilung

Die Wärmepumpe war wegen eines Konstruktionsfehlers (Abtaugung) Anfang Dezember 2014 ausgefallen. Sie konnte deshalb erst ab dem 7. Jan. 2015 wieder ins Messprogramm aufgenommen werden. Die Effizienz ist ca. 20% unter den Angaben auf dem technischen Datenblatt des Herstellers. Das Einfamilienhaus ist aus dem Jahr 1987 und hat zwei Heizgruppen, Radiatoren und Fussbodenheizung. Es wird bei Auslegetemperatur von -7 °C eine Heiztemperatur von 40 °C benötigt.

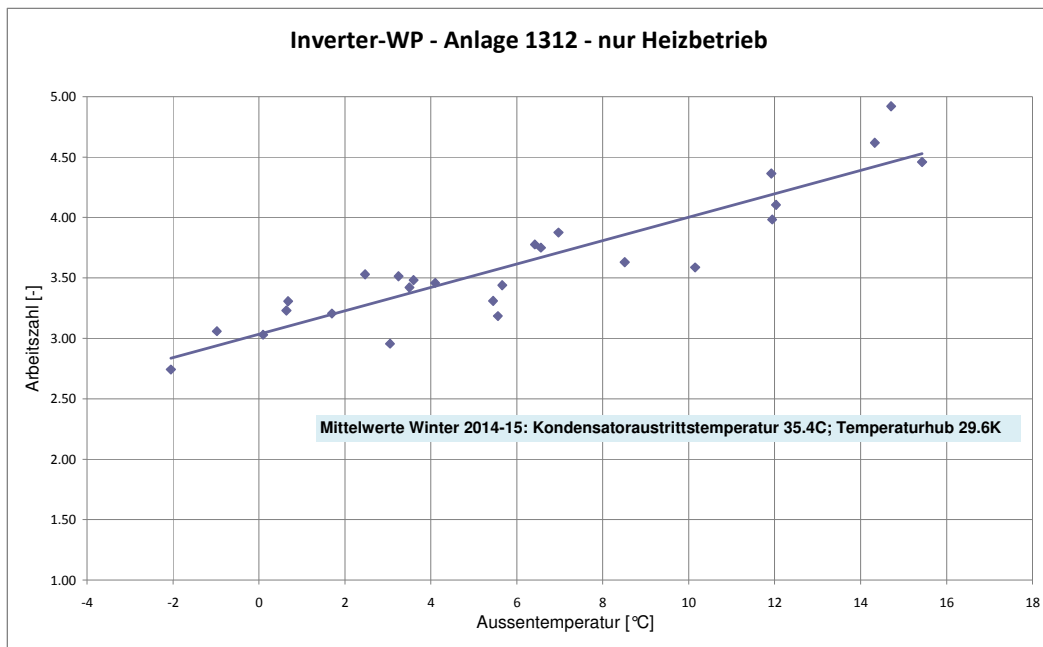


Abb. 50: Anlage 1312, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

Die Anlage ist richtig dimensioniert. Die Laufzeiten sind deutlich länger als bei einer konventionellen Kleinwärmepumpe, resp. kennzeichnend für eine Inverter-Wärmepumpe. Die mittlere Laufzeit beträgt 8.7 h/Einschaltung.

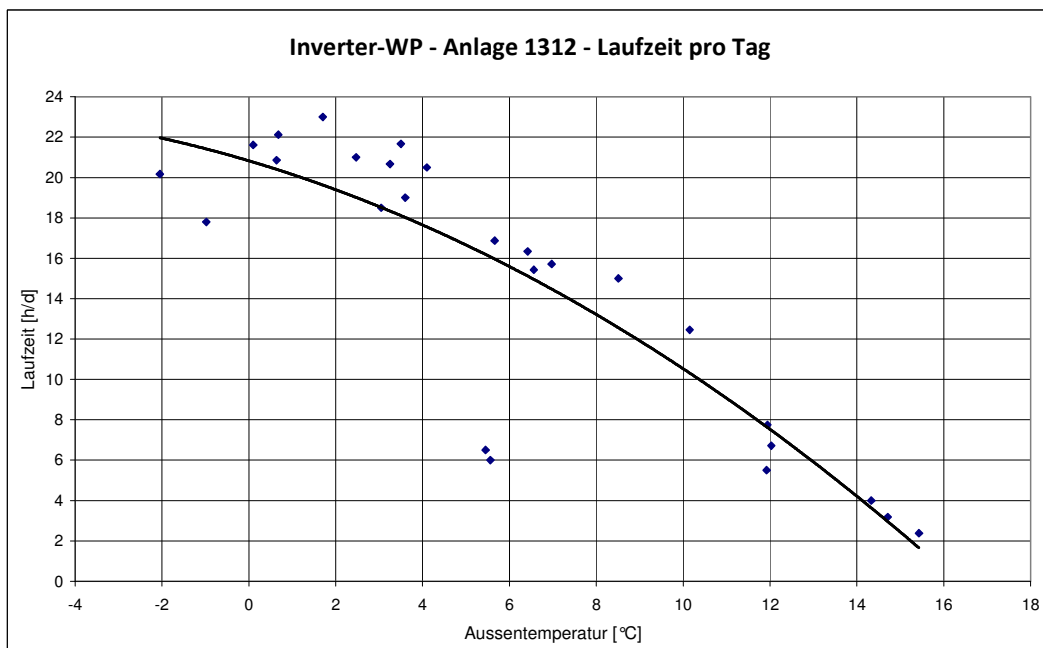


Abb. 51: Anlage 1312, Verlauf der Laufzeit versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

2.4.14 Anlage 1313 – Messresultate und Beurteilung

Die Wärmepumpe ist richtig dimensioniert. Die Anlage war ursprünglich nicht nach den schriftlich vorliegenden Vorgaben der Herstellerfirma ausgeführt worden. Somit mussten in der Hydraulik die Speicheranschlussleitungen abgeändert werden. Die Arbeitszahlen liegen ca. 20% unter den Werten, die auf dem technischen Datenblatt des Herstellers aufgeführt sind. Die Software ist identisch mit der Software der Anlage 1309 und zeigt analoge Charakteristiken.

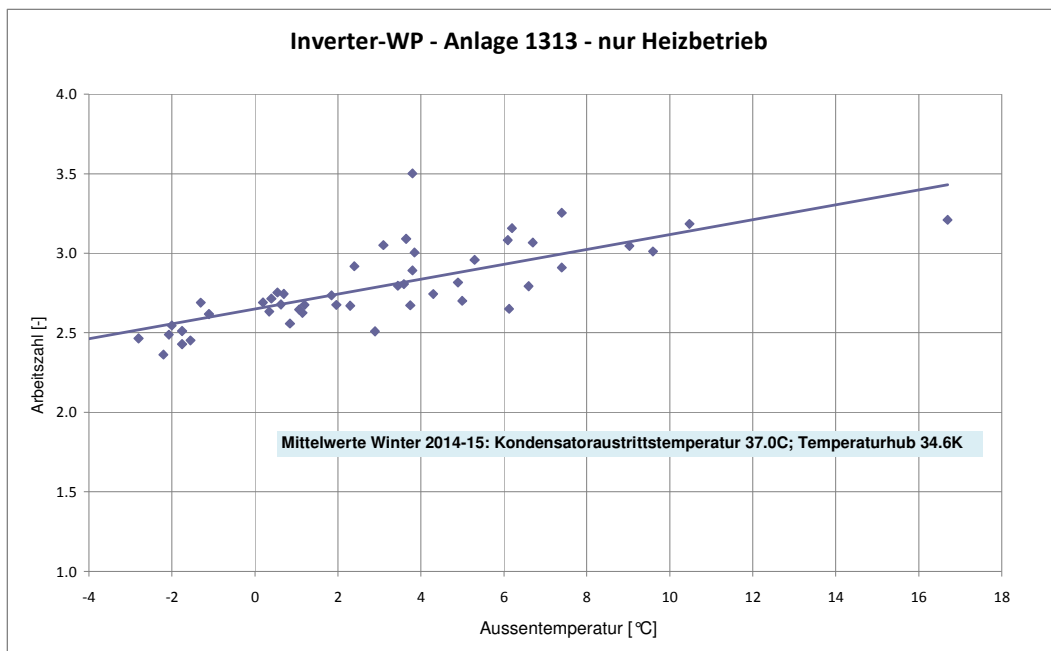


Abb. 52: Anlage 1313, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

Die Laufzeiten der Wärmepumpe sind deutlich besser als bei einer konventionellen Luft/Wasser-Wärmepumpe. Die mittlere Laufzeit beträgt pro Tag 14.6 h/d und liegt bei 2.4 h/ Einschaltung bezogen auf die Messperiode im Winter 2014/15.

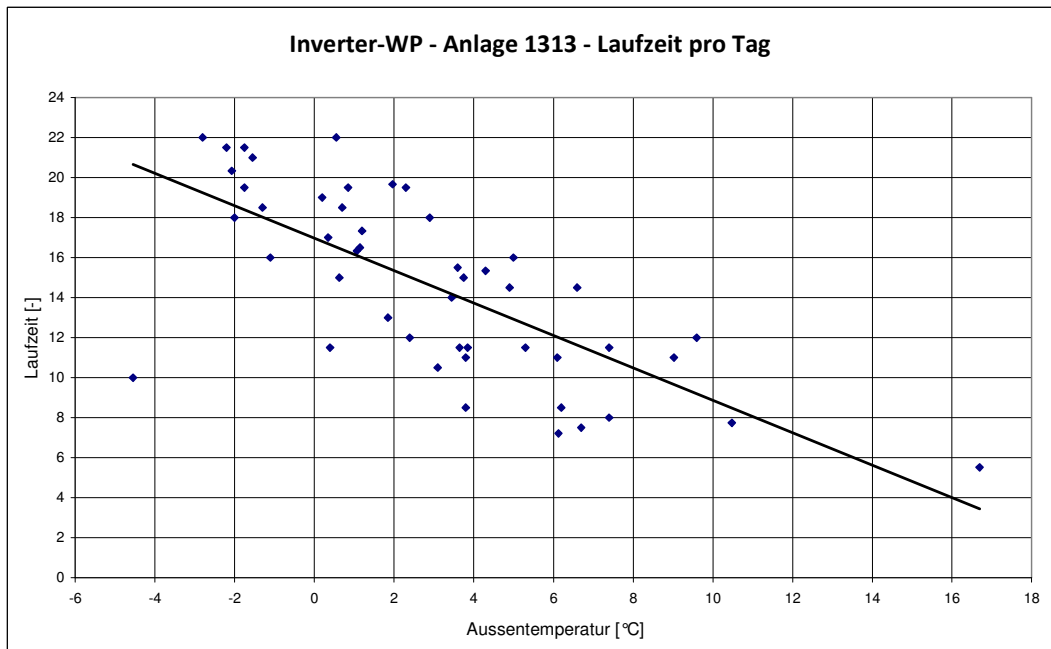


Abb. 53: Anlage 1313, Verlauf der Laufzeit versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

2.4.15 Anlage 1314 – Messresultate und Beurteilung

Die Wärmepumpe ist richtig dimensioniert. Die Voraussetzungen für eine gute Effizienz sind bei dieser Anlage vorteilhaft. Die benötigte Heiztemperatur am Auslegepunkt bei -7°C beträgt 30 °C. Die Anlage läuft ohne Pufferspeicher.

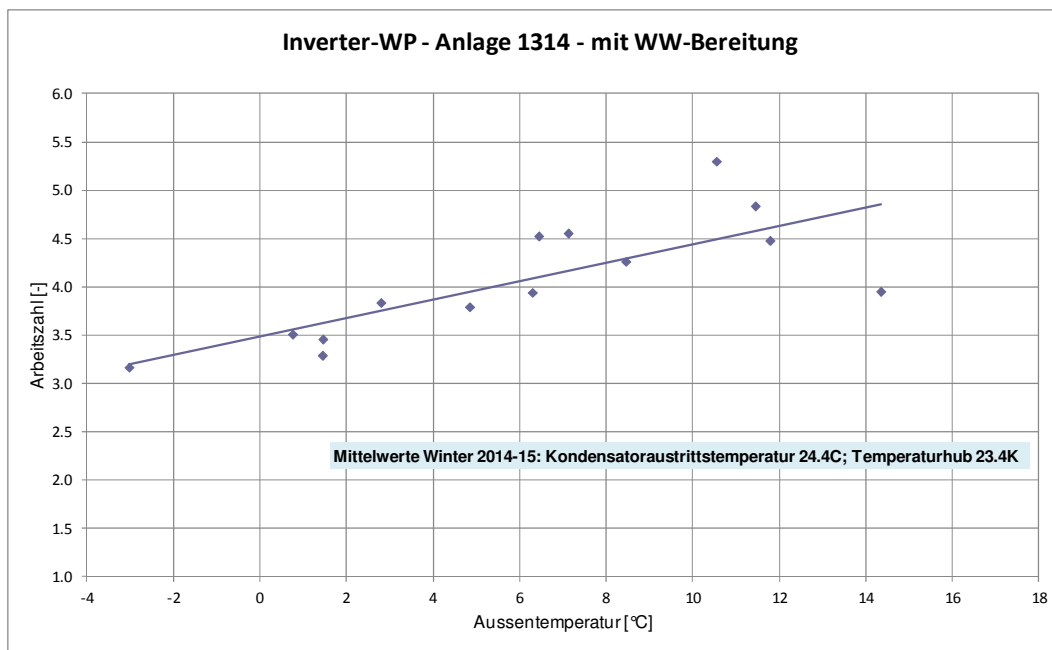


Abb. 54: Anlage 1314, Verlauf der Arbeitszahl versus Aussentemperatur im Winterbetrieb

Die Wärmepumpe erbringt die Leistung, die auf dem technischen Datenblatt aufgeführt wird. Bei dieser Wärmepumpenanlage sind sämtliche Komponenten vom selben Lieferanten. Dies entspricht der Philosophie, die beim FWS Wärmepumpen-System-Modul angewendet wird.

2.5 Schallmessungen

Es wurde versucht auf den Anlagen im Feld den Schalldruckpegel zu ermitteln. Dies war nicht ganz einfach, da tw. erhebliche Störgeräusche in Kauf genommen werden mussten.

Tab. 7: Schalldruckmessungen an Inverter-Luft/Wasser-Wärmepumpen

Anlage	Ruhepegel dB(A)	Abstand m	Schalldruck dB(A)	Messung	Bemerkungen
1300		1.5	54	Volllast-Betrieb	detaillierte Messungen
1301	38.9	1.8	48.3	Volllast-Betrieb	Baulärm, Verkehrslärm
1304	44.0-45.0	1.5	48.5	automat. Betrieb	Autobahn, Rasenmäher
			57	Volllast-Betrieb	
1305	53.7	3.0	59.5	Volllast-Betrieb	starker Regen, Strassenlärm
	61.5	3.0	56.2	85% Teillast	
1306	39.4-40.5	1.5	44.8	Volllast-Betrieb	Flugverkehr, Strassenlärm
			47.5	Abtauung	
1309	38.6	1.5	40.8	Volllast-Betrieb	Regen, Vogelgezwitscher
		3.0	49.5	Abtauung	
1311	37.6-39	1.5	41.8	Volllast-Betrieb	div. kleinere Störgeräusche
			34.5	Abtauung	
1312	40.7-42.5	1.5	39.1	Volllast-Betrieb	div. kleinere Störgeräusche
		3.0	36.2	Volllast-Betrieb	
		3.0	43.1	Abtauung	
1313	39.8-41.6	1.5	48.3	Volllast-Betrieb	Verkehr, Rasenmäher, Vogelklänge
			46.8	grössere Drehzahl	
			42	kleine Drehzahl	
1314	40.3-43.6	1.5	51.7	Volllast-Betrieb	starker Regen, Verkehr, Baulärm

Für die Messungen wurde das WPZ Buchs verpflichtet, welches bei den Wärmepumpenprüfungen auch Schallmessungen durchführt. Dadurch konnte das messtechnische Fachwissen und die Erfahrungen dieser Prüfstelle auch für diese Feldmessungen einbezogen werden.

Obwohl die Randbedingungen für die Messungen weit weg von Laborbedingungen waren, konnten doch auch positive Erkenntnisse daraus gewonnen werden. Die Tabelle zeigt klar, dass diese Inverter-Wärmepumpen mehrheitlich bei 1.5-3.0m Abstand zum Gerät in einem Schalldruckbereich liegen, der nicht zu Schallproblemen führt.

Auffallend ist, dass der Ruhepegel bei allen Anlagen über 35 dB(A) lag. Nach Cercle Bruit darf die Wärmepumpe mit einem max. Schalldruckpegel (unkorrigiert) von 33 dB(A) beim Nachbarfenster wahrgenommen werden. Bei den Anlagen 1309 (ausser Abtauung), 1311 und 1312 ist die Wärmepumpe während dem Betrieb tatsächlich leiser als die gemessenen Tages-Umgebungsgeräusche (zwischen 07:00 und 19:00). Diese Wärmepumpen werden in der näheren Umgebung kaum als Schallquelle wahrgenommen. Bei den Anlagen 1300, 1304, 1305 und 1314 sieht die Ausgangslage etwas anders aus. Solange diese bei Volllast betrieben werden, werden diese in der näheren Umgebung durchaus als Schallquellen wahrgenommen. Diese Wärmepumpen liegen in einem Abstand von 1.5m rund 10 dB höher als das Umgebungsgeräusch.

2.6 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht zum Thema Leistungsgeregelte Luft/Wasser-Wärmepumpen wollte aufzeigen, wie diese neue Technologie sich im Feld darstellt. Speziell war auch die Frage, ob und wie man diese Anlagen planen soll und welche Probleme sich allenfalls stellen würden.

Das Projekt war ursprünglich auf die Untersuchung von 10 Anlagen vorgesehen. Während der ersten Phase hat sich aber bald gezeigt, dass die Anlagen mehrheitlich noch Probleme und Mängel aufgewiesen hatten, welche zu laufenden Optimierungen, wie neue Software, etc., geführt haben. Es drängte sich somit auf, dass der Zeitrahmen und auch die Anlagenanzahl dieses Projekts aufgestockt und verlängert wurden.

Tabelle 8: Arbeitszahlen der analysierten Geräte (Werte aus Messanalyse)

Anlage	Anwendung		Kondensator Austrittstemp.	Temperaturhub	Arbeitszahl bei 4.0°C AT	Mittlere Arbeitszahl
	Heizen	WW	°C	K	Heizbetrieb	WW-Ladung
1300	x		31.5	24.6	3.05	
1301	x	x	35.2	29.5	3.43	2.63
1302	x	x	31.2	30.9	2.65	2.56
1303	x	x	42.5	37.5	1.88	
1304	x	x	38.0	31.4	2.85	3.00
1305	x	x	32.0	26.6	3.44	2.83
1306	x		29.6	26.3	4.30	
1307	x		28.3	23.4	4.33	
1308	x	x	43.5	40.7	1.80	1.35
1309	x	x	35.4	27.6	3.00	2.42
1310	x		39.6	35.5	3.39	
1311	x	x	38.0	30.5	3.80	
1312	x		35.4	29.6	3.45	
1313	x	x	37.0	34.6	2.85	
1314	x	x	24.4	23.4	3.89	

Es gab interessante Erkenntnisse, die für die Luft/Wasser-Wärmepumpen, insbesondere für die Inverter-Wärmepumpen wichtig sein könnten. Die Heizleistung der Luft/Wasser-Wärmepumpen steigt bei höherer Aussentemperatur ebenfalls deutlich an (bis um den zweifachen Nennwert zwischen Dimensionierungs- und Sommerleistung für WW-Bereitung). Dies kann zu Problemen beim Betrieb der Wärmepumpen führen, da diese höhere Leistung von der Wärmepumpe schlechter abgegeben werden kann. Im Verlaufe des Projekts wurden mit verschiedenen Herstellern über die Technik und das Betriebsverhalten von Inverter-Luft/Wasser-Wärmepumpen Gespräche und ein

technischer Austausch über Erfahrungen geführt. Die wichtigste Frage, die sich aus den Projekterfahrungen herleiten liess, hat die Leistungsregelung nach Aussentemperaturführung betroffen.

Die Besprechung dieser Idee wurde von einigen Herstellern positiv aufgenommen. Erste diesbezügliche Versuche haben gezeigt, dass dieser Ansatz zu einem optimaleren Betriebsverhalten und höheren Arbeitszahlen der Wärmepumpen führen kann. Es wurden Versuche, resp. Softwareanpassungen bei verschiedenen Produkten vorgenommen und zeigten Erfolge.

Die Werte der Datenanalyse ergeben ein unterschiedliches Bild. Es zeigt sich einerseits klar, dass die Technologie noch nicht fertig ausgereift ist. Man hat auch gute Anlagen, die sich aber im Langzeitvergleich noch bestätigen müssen.

Das Betriebsverhalten der meisten Inverter-Wärmepumpen ist nach den ersten Erfahrungen einigermaßen gut. Bei mehreren Anlagen waren noch Nachbesserungen notwendig gewesen, bei der Software und tw. auch bei den Komponenten.

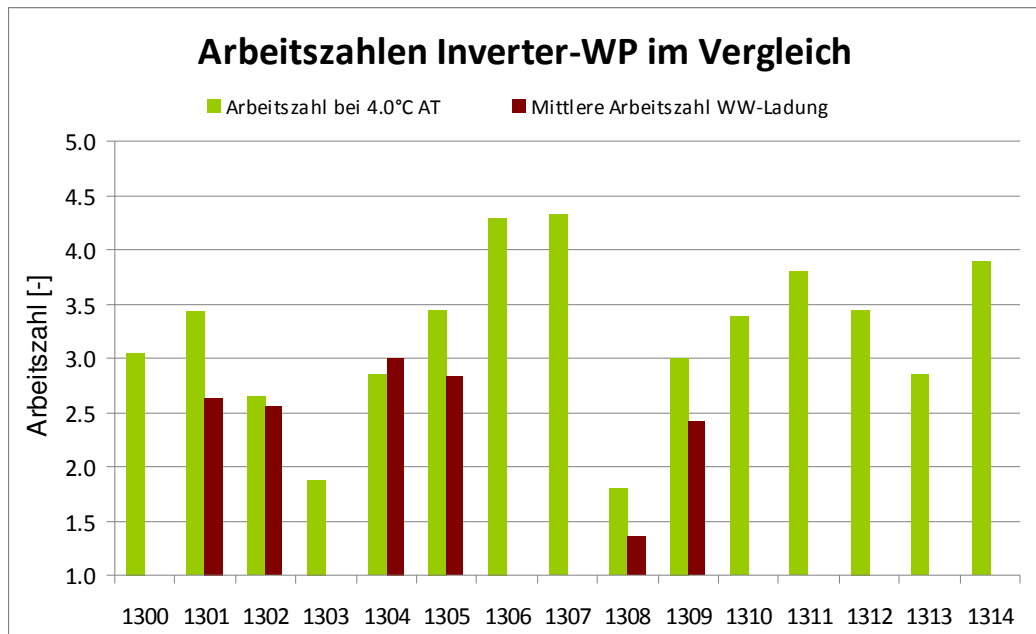


Abb. 55: Vergleich der Arbeitszahlen

Die grossen Unterschiede bei den Arbeitszahlen zeigen sehr gut, dass auch bei den Inverteranlagen noch Handlungsbedarf besteht. Die meisten Geräte haben eine durchschnittliche Effizienz, die auch mit guten Luft/Wasser-Wärmepumpen konventioneller Bauart erreicht werden können.

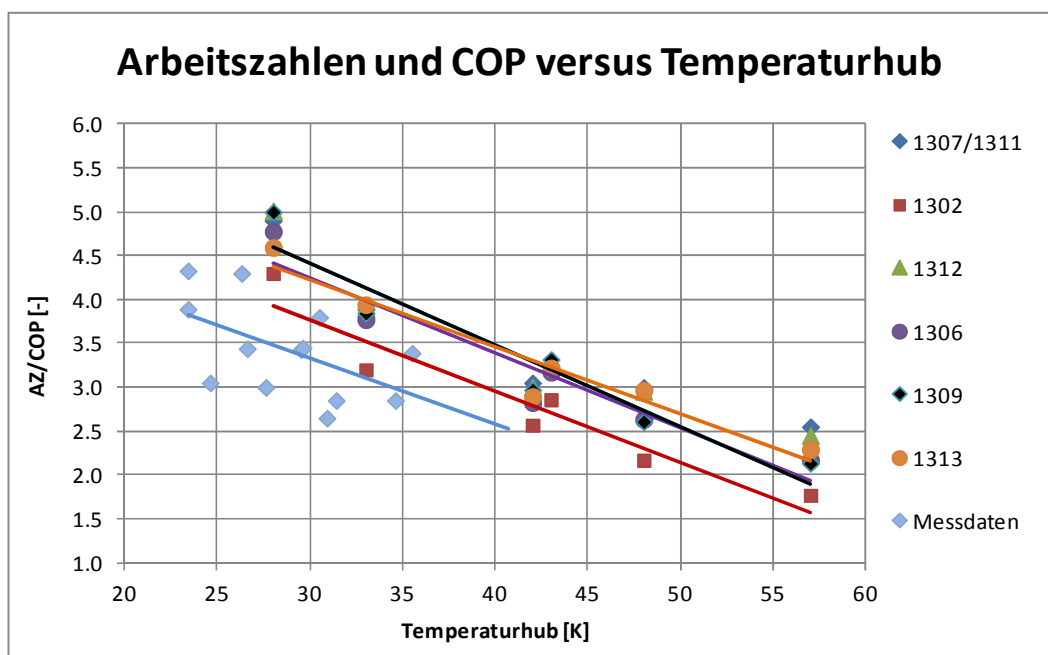


Abb. 56: Ermittelte Arbeitszahlen versus Temperaturhub und Vergleich mit COP bei 6 Anlagen

Dass mit Leistungsregulierten Inverter-Luft/Wasser-Wärmepumpen eine bessere Effizienz erreicht werden kann, geht auch aus dieser Studie hervor. Immerhin sind vier Anlagen analysiert worden, deren Arbeitszahl, verglichen bei 4.0 °C Aussentemperatur, über 3.5 liegt.

Diese Datenpunkte auf der Abb. 56 sind die Werte der 15 ausgewerteten Anlagen bei 4°C Aussentemperatur (mittlere Jahresaussentemperatur für das Schweizer Mittelland) über die Regression je Anlage bestimmt. Dieses Verfahren wurde bereits bei der FAWA-Analyse 1996-2003 angewendet.

Die Trendanalyse wurde entweder mit linearer oder bei Anlagen mit entsprechend anderer Verhaltensweise mit Polynom 2. Grads ermittelt.

Die ermittelten Daten konnten auch bezüglich dem Temperaturhub zwischen der Kondensatoraustritts- und der Quellentemperatur ausgewertet werden. Der Trend zeigt auch bei diesen Anlagen, wie wichtig eine möglichst tiefe Senktemperatur ist, um eine optimale Effizienz zu erreichen.

Die realen Arbeitszahlen bei diesen untersuchten Feldanlagen liegen bezogen auf die Beurteilung über den Temperaturhub rund 20-25% tiefer als die angegebenen COP-Werte von sechs der untersuchten Wärmepumpenanlagen bei analogem Temperaturhub. Dies zeigt wiederum deutlich, dass eben die Qualität der Anlagenplanung (Dimensionierung, Auslegung und Betrieb) einen sehr grossen Einfluss auf die Effizienz solcher Anlagen hat.

3 Weiteres Vorgehen

Die Messungen und deren Analyse zeigen klar auf, dass nicht alle dieser Geräte markttauglich sind. Aufgrund von tw. kurzen Messperioden sind noch nicht alle Resultate statistisch gesichert.

Der Wille ist bei den meisten Geräteherstellern und Lieferanten vorhanden, weitere Optimierungen vorzunehmen. Dies wurde uns anlässlich der Informationsanlässe von verschiedenen Seiten bestätigt.

Die Situation bei den Wärmepumpenboilern zeigt speziell, dass die Warmwasserspeichergrösse eine zentrale Rolle spielt. Die im Schweizer Markt vertriebenen Wärmepumpenboiler haben alle Inhalte von 270–300 Litern. Wie sich jedoch gezeigt hat sind die Warmwasser-Verbrauchszahlen bei den untersuchten Anlagen zwischen 60–120 Litern. Es besteht ein Dilemma, da die Planungsrichtlinien für die Warmwasserbevorratung weit höher sind als die meisten Verbrauchszahlen.

Die grosse Hoffnung auf eine deutlich bessere Effizienz bei Inverter-Luft/Wasser-Wärmepumpen hat sich nur teilweise bestätigt. Fünf der 15 untersuchten Geräte sind schlecht (AZ 1.8–2.85), d.h. die Effizienz liegt unter, resp. im Bereich der Durchschnittswerte von konventionellen Luft/Wasser-Wärmepumpen. Weitere sechs Maschinen sind im Bereich von guten Standard-Luft/Wasser-Wärmepumpen (AZ 3.0–3.45) und nur vier Wärmepumpen erreichen die Erwartungen einer verbesserten Effizienz (AZ 3.8–4.33).

Wären die Arbeitszahlen mehrheitlich bei Werten von 3.8–4.3, könnte man von einem „mittleren“ Quantensprung sprechen. Es dürfte jedoch sicher sein, dass die Bestrebungen der Fachbranche in die Richtung zu höherer Effizienz gehen werden. Dabei ist aber schon zu erwähnen, dass der Installationsbranche dabei eine wichtige Rolle zusteht. Es nützt wenig, wenn die Wärmepumpen in der Lage sind eine hohe Effizienz zu erbringen, wenn Planung und Dimensionierung schlecht ausgeführt werden und die hydraulische und regeltechnische Einbindung nicht stimmt. Wie bereits weiter oben erwähnt, ist das Projekt Wärmepumpen-System-Modul der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS die richtige Antwort darauf.

Engelburg, 31. Juli 2015

Hubacher Engineering

Peter Hubacher