



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Schlussbericht per 30. Juni 2015

QS-WP/QP: FORTSETZUNG DES FELDMONITORINGS VON WP-ANLAGEN (2011-2014)

Impressum

Datum: 31. Juli 2015

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE, CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

BFE-Bereichsleiterin: Rita Kobler Rita.Kobler@bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

Hubacher Engineering
Tannenbergstrasse 2
9032 Engelburg

Projekt:

Vertrags-Nr. SI/400065-04

Autoren:

Peter Hubacher, dipl. Ing. HTL, Hubacher Engineering, he-ko@bluewin.ch
Carlos Bernal, Techniker, Hubacher Engineering

Begleitgruppe:

Rita Kobler, Bundesamt für Energie BFE
Gerold Truniger, Bundesamt für Energie BFE

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

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	4
Abstract	5
1. Projektziele	6
1.1 Grundsätzliche Informationen	6
1.2 Projektabwicklung	6
1.2.1 Messkonzept	6
1.2.2 Marktabdeckung	6
1.2.3 Kontakte mit Anlagenbesitzern	6
1.3 Anlagensample	6
1.4 Anlagenevaluation	9
1.5 Datenerhebung	9
1.6 Wärmepumpenstatistik	10
2. Analyse und Ergebnisse	10
2.1 Analyse der Jahresarbeitszahlen JAZ	11
2.1.1 Vergleich nach Betriebsjahren	11
2.1.2 Vergleich nach Kalenderjahren	12
2.1.3 Vergleich Neubau und Sanierung	13
2.1.4 Einfluss der Planungstemperatur	14
2.2 Vergleich der Betriebsstunden	15
2.3 Analyse der Wärmeproduktion	16
2.4 Analyse des Elektro-Energiekonsums	17
2.5 Effizienzsteigerung - Vergleich der besten Anlagen	17
2.6 Vergleich der JAZ-Werte mit Berechnungen nach WPEsti	18
2.7 Störungsanalyse (Verfügbarkeit von Wärmepumpen)	19
3. Erkenntnisse und Erfahrungen	20
3.1 Wärmeverteilung optimiert	20
3.2 Propan-Anlage	20
3.3 Stark überdimensionierte Anlage	21
3.4 Anlage mit Erdregister	21
3.5 Inverter-Wärmepumpenanlage mit Erdwärmesonden	21
3.6 Anlagenoptimierung	22
3.7 Anlage ersetzt mit neuem Wärmepumpensystem	22
4. Wartung und Reparaturen	22
4.1 Wartung an Kleinwärmepumpen	22
4.2 Reparaturen an Kleinwärmepumpen	23
4.3 Gesamte Kosten für Wartung und Reparaturen	24
5. Nationale Zusammenarbeit	24
6. Internationale Zusammenarbeit	24
7. Schlussfolgerung	25
8. Literaturverzeichnis	25

Zusammenfassung

Das Langzeitprojekt "Feldanalysen an Kleinwärmepumpen" wird nun seit 18 Jahren konsequent betrieben. In dieser Zeit wurde mehr als 260 Anlagen besucht, instrumentiert und der technische Status der Anlagen aufgenommen. Die Messdaten wurden von den Anlagenbesitzern direkt aufgenommen, protokolliert und in regelmässigen Abständen zur Auswertung an uns zugestellt. Dieses einfache Messverfahren hat erst möglich gemacht, dass im Laufe der Jahre ein so grosses Anlagensample aufgenommen und analysiert werden konnte.

Die Resultate sind unterschiedlich. Es gibt Anlagen mit guten bis sehr guten Resultaten, bei denen alle Voraussetzungen erfüllt sind. Betrachtet man die Anlageneffizienz, so könnte man eigentlich ein besseres Resultat erwarten. Waren doch in den Anfangsjahren bis 2000 Steigerungen zu verzeichnen, so findet man in den Folgejahren nicht mal ansatzweise einen Trend zu besseren Jahresarbeitszahlen.

Eine weitere Analyse galt den jährlichen Betriebsstunden. Die Einhaltung der Vorgabe gemäss den Dimensionierungsrichtlinien des Bundesamts für Energie BFE (Leistungsgarantie Haustechnik) und der SIA-Norm 384/6 für Erdwärmesonden konnte überprüft werden. Die Betriebsstunden der analysierten Anlagen liegen durchschnittlich mit ca. 1700 Stunden bei LW-WP und 1900 Stunden bei SW-WP leicht unter der Vorgabe von 2000–2300 Stunden pro Jahr, ohne oder mit Warmwasserbereitung. Diese Erkenntnis deutet darauf hin, dass die Anlagen tendenziell überdimensioniert sind, welches sich jedoch auf die Dimensionierung der Erdwärmesonden und auch auf die Effizienz positiv auswirkt. Es ist wichtig, dass diese Betriebsstunden bei Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen nicht über den Vorgaben liegen, da sonst Befürchtungen über längerfristige Problemfälle mit ausgekühlten Erdwärmesonden entstehen könnten.

Die Erfahrungen und Erkenntnisse aus diesem Langzeitprojekt sind immens und wurden laufend an die Fachbranche kommuniziert. Mit einigen Beispielen wird in diesem Bericht gezeigt, wie und in welchen Zusammenhängen solche Informationen erkannt werden können.

Die zusätzlich aufgearbeitete Störungsanalyse ergibt ein sehr gutes Bild. Die mittlere Verfügbarkeit liegt über 99.5% und hält mit Sicherheit jedem anderen Vergleich mit Wärmeerzeugungssystemen stand. Eine weitere, vertiefte Betrachtung ist die Analyse über die Wartungs- und Reparaturkosten an 61 Wärmepumpenanlagen, die mehr als erfreuliche Resultate hat. Die mittleren Wartungskosten für Service und Unterhalt liegen bei diesen Kleinwärmepumpenanlagen bei 21.60 [Fr./a] und die Reparaturkosten bei 84.40 [Fr./a]. Dies ergibt durchschnittliche Jahreskosten pro Wärmepumpenanlage von 106.00 [Fr./a]. Umgerechnet auf 1000 Betriebsstunden kann somit für die Wartung und Reparaturen mit ca. 51.00 [Fr.] gerechnet werden. Diese Analyse an den 61 Wärmepumpenanlagen basiert immerhin auf insgesamt 1.32 Mio. Betriebsstunden. Zu erwähnen ist, dass bei diesen Kleinanlagen der Kältemittelinhalt meistens unter 3kg liegt, sodass keine Dichtungskontrollen notwendig sind.

Aufgrund der verschiedenen Feldstudien (FAWA und QS-WP/QP 2007-2008; Lit. 1 und 2) darf die Aussage gemacht werden, dass Kleinwärmepumpenanlagen insgesamt trotzdem relativ gut dastehen. Die Effizienz ist zwar eher unter den Erwartungen und hat ein Verbesserungspotential, hingegen zeigen die Betriebssicherheit und die Betriebskosten ein sehr gutes Bild.

Da man in der Schweiz aus weitsichtiger Planung beim BFE bereits 1995 das erste Projekt über Feldanalysen an Kleinwärmepumpenanlagen bewilligt hatte (FAWA-Studie [1] und Folgeprojekte QS-WP/QP [2]), sind wir bezüglich Erfahrungen und Erkenntnisse weit voraus.

Die Fortsetzung der Messreihe Feldanalysen an Kleinwärmepumpenanlagen ist wichtig, da die nächsten paar Jahre bis zum Erwartungswert der Lebensdauer von Kleinwärmepumpenanlagen mit 20 Jahren noch offen sind. Die Bestätigung, dass Kleinwärmepumpenanlagen eine Lebensdauer von 20 Jahren und mehr ohne zunehmende Probleme und Unterhaltskosten haben, sollte noch erbracht werden.

Abstract

The long term project "field monitoring of heat pumps " has been running for the last 18 years. Over this period more than 260 installations have been visited, measured and recorded. The measurements were directly recorded and documented by the owners of the heat pumps, who passed on the resulting data to us at regular intervals for evaluation. It is only thanks to this simple measurement procedure that it has been possible for us to collect and evaluate such a large volume of data .

The findings vary: from the point of view of efficiency, we would have expected a better result. While in the first few years up to 2000 we noted increases in efficiency, in the years thereafter there were no signs at all of a trend towards improved seasonal performance factor.

Another analysis focused on annual operating hours. Here the degree of compliance with the criterion specified in the dimensioning guidelines of the Swiss Federal Office of Energy (SFOE) for the performance guarantee for household systems, and with SIA standard 384/6 for geothermal sensors, was examined. The operating hours of the studied heat pumps were as follows: air/water heat pumps, approximately 1'700 hours, and brine/water heat pumps, approximately 1'900 hours, i.e. in both cases close to the specified range of 2'000 to 2'300 hours per annum, with or without hot water production. This analysis indicates that the installation tend towards being over dimensioned, this has a positive effect on the size of the geothermal probe systems and its efficiency. In the case of brine/water heat pump systems it is essential that the figures regarding annual operating hours are accurate, otherwise concerns could arise relating to longer-term problems associated with cooled geothermal probes.

The experience and knowledge gained from this long-term project are immense and have been continuously communicated to the professional industry. With some examples shown in this report, how and in which contexts such information may be obtained.

The resulting analysis of faults produced a very positive picture. The average degree of availability is above 99.5 percent, which is extremely favourable in comparison with any other heat production system. This resulted in excellent performance figures from the analyse of 61 heat pumps. For these small heat pumps the average servicing and maintenance costs are 21.60 Swiss francs p.a., and the average repair costs amount to 84.40 Swiss francs p.a. This results in an average outlay per heat pump of 106.00 Swiss francs p.a. On the basis of 1,000 operating hours, the costs for maintenance and repairs therefore amount to approximately 51.00 Swiss francs. This analysis of the 61 heat pumps is based on a total of 1.32 million operating hours. Further it should be noted that the coolant mass in most cases is under 3kg, which means no gasket testing is required.

From the findings obtained from this research (FAWA and QS-WP/QP 2007-2008; Lit. 1 and 2) it may be stated that the performance of small heat pumps is generally very good. The degree of efficiency is less than expected, and there is room for improvement, but the picture with respect to reliability and operating costs is very positive.

It is important to continue with this programme of field measurements of small heat pumps, since the studies need to be carried out during the next few years until the completion of the anticipated service life of these heat pumps (around 20 years). Confirmation still needs to be made that small heat pumps have a service life of 20 years or more without causing increasing problems and maintenance costs.

1 PROJEKTZIELE

1.1 Grundsätzliche Informationen

Die Zielsetzungen dieses Projekts orientieren sich an der Qualitätssicherungsstrategie des BFE und der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS. Das Bedürfnis, dass über Feldanalysen wichtige und notwendige Erkenntnisse erarbeitet werden, die zur Vertrauensbildung und als ergänzende Marktinformationen kommuniziert werden können, ist auch im umliegenden Ausland (Deutschland, Österreich und in England) aufgegriffen worden. Wir haben in der Schweiz mit diesem Projekt einen grossen Vorsprung, da wir als einzige Resultate bis zu 19 Jahren Betriebszeit erfasst, analysiert und ausgewertet haben.

Mit der bis heute konsequenten Fortsetzung dieses Projekts ist man in der Lage die grossen Erfahrungen und Erkenntnisse daraus der Fachbranche weiter zu geben. Es gibt weltweit nirgends eine solche Langzeit-Feldstudie mit derart umfangreichen Resultaten:

Datenaufnahme seit Beginn an über 260 Anlagen, davon bis heute aktiv im Anlagensample 159.

Seit 2008 jährliche Neuaufnahme von 10 Wärmepumpenanlagen zwecks Feststellung „Stand der Technik“ und Vergleich mit den älteren Anlagen.

Langzeitbeobachtung Alterung: Ermittlung der JAZ-Werte und Vergleich mit bisherigen Werten.

Verfügbarkeit (Störungsanalyse): Ermittlung und Vergleich der jährlichen Betriebswerte.

Datenerhebung zwecks JAZ-Bestimmung zuhanden der Wärmepumpen- und der Gesamtenergiestatistik des BFE zwecks Ermittlung von effektiv gemessenen Werten.

1.2 Projektabwicklung

1.2.1 Messkonzept

Das Projekt wurde für Klein-Wärmepumpenanlagen mit Heizleistung von max. 20 kW lanciert. Es wurden keine exotischen Systeme, weder hydraulisch noch regeltechnisch, einbezogen.

Für die Bestimmung der Jahresarbeitszahlen wurden in jeder Anlage Wärme-, Elektro- und Betriebsstundenzähler installiert, die in nützlichen Abständen (wöchentlich bis monatlich) von den Anlagenbesitzern abgelesen und an uns gemeldet wurden. Für die Berechnung der Jahresarbeitszahlen sind die Wärmepumpen bedingten Nebenantriebe mitberücksichtigt worden. Ebenfalls wurden, je nach Bilanzgrenze, Speicherverluste in die Berechnung einbezogen. Hingegen sind Nebenaggregate, wie Heizgruppenpumpen, etc., die nicht direkt zum Wärmepumpenbetrieb gehören und nicht erfasst werden konnten, sauber abgegrenzt worden.

1.2.2 Marktabdeckung

Es bestehen zu allen wichtigen und am Markt tätigen Hersteller- und Lieferfirmen gute Kontakte. Dies ist wichtig, da das Ziel einen echten Marktüberblick zu haben davon abhängt, dass auch neu am Markt eingeführte Produkte berücksichtigt werden. Das Projekt wurde überall positiv aufgenommen und unterstützt.

1.2.3 Kontakte mit Anlagebesitzern

Es war nicht immer einfach alle die Messdaten rechtzeitig zu erhalten, um die gemäss Vertrag vereinbarten Analysen samt Resultatpräsentation durchzuführen. Wir benötigten mindestens 10 Ablese-Datensätze (Messzeitintervalle) pro Jahr um eine qualitativ gesicherte und statistisch relevante Auswertung erstellen zu können.

Mit den Anlagenbesitzern war ein regelmässiger Kontakt samt Motivation notwendig, um sicher zu stellen, dass keine grösseren Ableselücken entstanden. Damit die Anlagenbesitzer ihre Ableseungen nicht vergessen haben, waren jährlich 1-2 Kontakte notwendig. Als Gegenleistung hatten die Anlagenbesitzer die Möglichkeit sich im Zusammenhang mit ihren Anlagen von uns beraten zu lassen. Als Dienstleistung bekamen sie jährlich die eigenen Anlagedaten als Fingerprint samt einer kurzen Beurteilung zugestellt.

1.3 Anlagensample

Die Wärmepumpen im EFH-Neubau haben bereits seit längerer Zeit einen dominierenden Stellenwert. Es werden über 85% aller neu erstellten Einfamilienhäuser in der Schweiz mit einem Wärmepumpen-Heizsystem ausgerüstet. Da im Schweizer Markt der Sanierungssektor verstärkt zugenommen hat, wurde die Anlagenauswahl vermehrt auch in diese Richtung verfolgt. Sanie-

rungsanlagen sind eine grössere Herausforderung, da die Randbedingungen weniger optimal sind als im Neubausektor. Auch die Warmwasserbereitung mit Wärmepumpe hat sich in den letzten Jahren weitgehend etabliert. Somit haben die Wärmepumpen mit Warmwasserbereitung im Anlagensample ebenfalls zugenommen.

Tab. 1: Verzeichnis der neu aufgenommenen Anlagen

	Nr.	Kurzzeichen	Segment	Bau-objekt	Wärmequelle	WW-Bereit.	JAZ	Beginn Dat.erfass.
Anlagenliste 2011	1235	STFGS03	Neubau	EFH	Luft	ja	3.30	03.11.11
	1236	ZÜBWEI09	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	3.06	15.07.11
	1237	RIESAL16	Sanierung	EFH	Erdsonde	nein	3.47	01.09.11
	1238	UETBER05	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja	3.09	22.12.11
	1239	TRIVOR06	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja	2.41	28.11.11
	1240	ESCOBE09	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja	2.20	29.12.11
	1241	MÖRFAH24	Sanierung	D-EFH	Aussenluft	ja	3.23	04.06.12
	1242	FRASCH04	Neubau	EFH	Erdsonde	ja	4.42	06.01.12
	1243	SCUSPL00	Neubau	MFH	Erdsonde	ja	4.40	11.11.10
1244	HEROWI04	Sanierung	EFH	Erdsonde	nein	4.45	04.10.11	
	Nr.	Kurzzeichen	Segment	Bau-objekt	Wärmequelle	WW-Bereit.	JAZ	Beginn Dat.erfass.
Anlagenliste 2012	1245	BRESEF21	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	3.91	11.09.12
	1246	WÄGGRO04	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	4.47	30.08.12
	1247	UETARV15	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	3.68	25.09.12
	1248	BETBIL11	Neubau	EFH	Erdsonde	ja	4.26	12.09.12
	1249	ZÜRFAR12	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	4.00	18.10.12
	1250	SCHGRO00	Neubau	EFH	Aussenluft	ja	3.31	20.12.12
	1251	WEGRIG58	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja	3.35	01.12.12
	1252	REBBAH61	Sanierung	DEFH	Aussenluft	ja	3.62	01.12.12
	1253	RHETRU26	Neubau	EFH	Aussenluft	ja	3.49	07.03.13
	1254	ALTRÜE16	Sanierung	EFH	Aussenluft	nein	3.70	08.02.13
	Nr.	Kurzzeichen	Segment	Bau-objekt	Wärmequelle	WW-Bereit.	JAZ *	Beginn Dat.erfass.
Anlagenliste 2013	1255	SIRMAT04	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	3.82	20.03.2013
	1256	HEROBE16	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	4.38	31.05.2013
	1257	WILLIR37	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	4.61	01.09.2013
	1258	KOLRINO5	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	4.32	14.10.2013
	1259	WILMAGO4	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	4.36	01.09.2013
	1260	WEIBUR15	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja	2.53	29.04.2014
	1261	KOPSCH24	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja	2.59	31.08.2013
	1262	ALTOBER04	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja	2.71	01.10.2013
	1263	GANGAL12	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja	3.41	01.10.2013
	1264	BISHÖH13	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja	2.96	21.01.2014
	Nr.	Kurzzeichen	Segment	Bau-objekt	Wärmequelle	WW-Bereit.	JAZ **	Beginn Dat.erfass.
Anlagenliste 2014	1265	LANLUE05	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	4.66	06.02.2014
	1266	NIESCH19	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	4.68	18.12.2014
	1267	STEHEI10	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja	3.15	15.12.2014
	1268	ROSOBE06	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja	3.18	10.12.2014
	1269	WALBÜN11	Sanierung	EFH	Aussenluft	nein	3.69	03.02.2015
	1270	EINSTE08	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja	2.84	19.12.2014
	1271	NEUSCH08	Sanierung	EFH	Aussenluft	nein	2.88	23.10.2014
	1272	WITHAL10	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja	2.34	12.01.2015
	1273	WANKIN09	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja	3.29	16.12.2014
	1274	BROSON10	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja	2.46	03.12.2014

Anmerkung:

* Die JAZ der Anlagen 2013 basieren erst auf einer vollständigen Messperiode

** Die JAZ der Anlagen 2014 sind tw. nur während einigen Monaten erfasst und hochgerechnet.

Tab. 2: Gesamt-Anlagensample, das für die Analyse heute noch zur Verfügung steht

Jahr der Inbetriebnahme	Gesamtanzahl	SW-WP	LW-WP	Teilsegmente vom Gesamtsample			
				EWS mit Wasser	mit WW-Bereitung	Sanierungsanlagen	Betriebsjahre seit IBS
1995	6	5	1		1	6	19
1996	7	4	3		3	7	18
1997	7	2	5		5	3	17
1998	7	6	1		5	2	16
1999	9	6	3		6	6	15
2000	10	6	4		6	5	14
2001	13	7	5	1	6	6	13
2002	12	7	5		7	5	12
2003	17	12	5		12	9	11
2004	1	1			1	1	10
2005							9
2006							8
2007							7
2008	10	6	4		6	4	6
2009	10	4	6		9	7	5
2010	10	4	4	2	8	9	4
2011	10	5	5		9	7	3
2012	10	5	5		9	7	2
2013	10	5	5		10	10	1
2014	10	4	6		8	10	0
Total	159	89	67	3	111	104	

Anmerkungen:

* "EWS mit Wasser" sind Erdwärmesondenanlagen mit Wasserfüllung anstelle Wasser/Glykol-Gemisch

In den Jahren 2004–2005 wurden noch einzelne Anlagen und 2006–2007 wurden gar keine Anlagen mehr aufgenommen. Die konsequente Fortführung dieser Feldstudie wurde erst im Verlaufe des Jahres 2007 zwischen Hubacher Engineering und dem BFE diskutiert und ein Folgeprojekt ab 2008 bewilligt. Um die Kontakte zu den Anlagenbesitzern weiterhin aufrecht zu erhalten, hatte Hubacher Engineering diese Kontakte in der Zwischenzeit selber gepflegt und aufrecht erhalten (Eigenleistung von Hubacher Engineering). Ansonsten wären diese Kontakte verloren gegangen.

Das verbleibende Anlagensample wurde weiterhin aktiv bearbeitet. Mit den meisten Anlagenbesitzern, die Daten erfassten, hatte man im Verlaufe der letzten Jahre per Mail oder Telefon persönliche Kontakte. Es gab aber auch im letzten Jahr wieder Anlagenbesitzer, die nicht mehr weiter ablesen wollten und deshalb aus dem Projekt entlassen werden mussten.

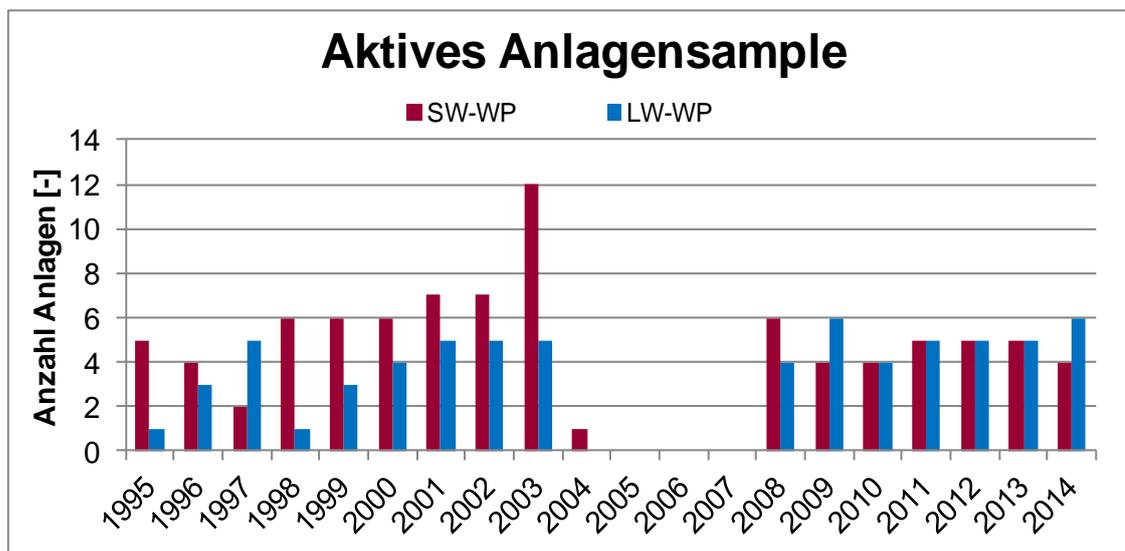


Abb. 1: Anlagensample, das heute noch erfasst und bearbeitet wird

Die Anlagenevaluation, die aufgrund der bereits beim FAWA-Projekt festgelegten Aufnahmekriterien, erfolgte, war mit recht grossem Aufwand verbunden. Die Marktteilnehmer (Hersteller, Lieferfirmen und Installationsbetriebe) sind einerseits sehr stark ausgelastet, haben keine Zeit, und das Interesse für mehr und bessere Kenntnisse der im Feld eingebauten Anlagen hat deutlich nachgelassen. Derweil ist aber die Qualität der Anlagen im Laufe der letzten Jahre nicht besser geworden. Es werden sogar tw. Abnutzungserscheinungen festgestellt, wo wieder alte Fehler und Nachlässigkeiten bei der Anlagenberechnung und Ausführung auftreten.

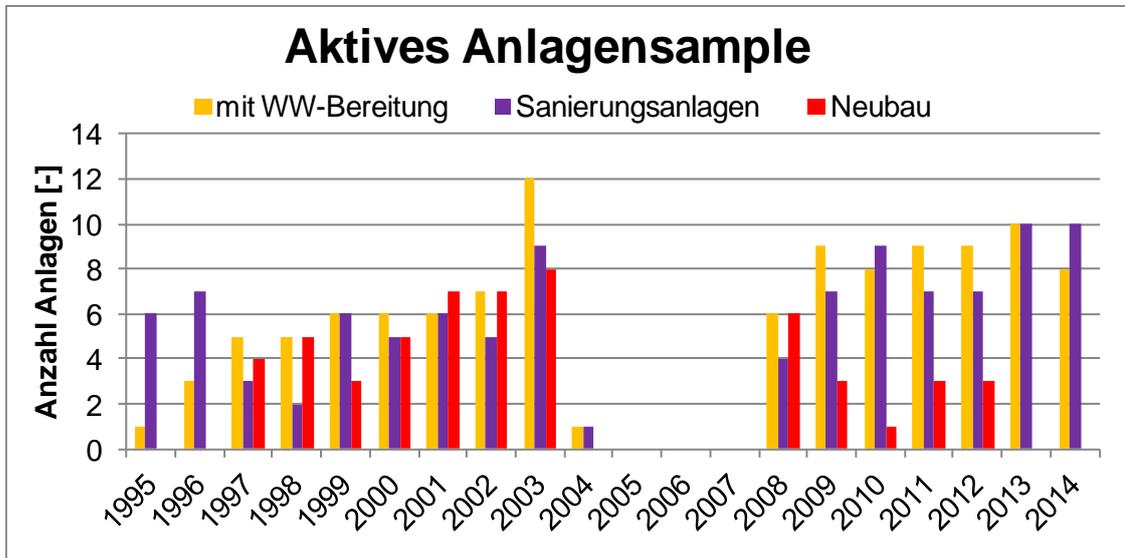


Abb. 2: Anteil Anlagen Neubau/Sanierung und mit Warmwasserbereitung

Die Wasser/Wasser-Wärmepumpen sind bei Kleinanlagen nicht sehr verbreitet. Aus diesem Grund wurden seit 2004 keine Wasser/Wasser-Anlagen mit Grund- oder Oberflächenwasser im Anlagensample aufgenommen. Anstelle dessen waren zwecks Vergleich fünf Anlagen mit Erdwärmesonden, die mit Wasser (ohne Frostschutz) betrieben werden im Anlagensample vertreten. Zur Frostschutzsicherung bedingt dies längere Erdwärmesonden, um höhere Quellentemperaturen zu erreichen. Diese Anlagen haben somit eine deutlich bessere Effizienz.

1.4 Anlagenevaluation

Um die Ermittlungen statistisch gesichert durchzuführen, ist eine Mindestzahl von Anlagen notwendig. Das bis heute noch verfügbare Anlagensample besteht immer noch aus 170 Anlagen, aufgeteilt in Luft/Wasser- und Sole/Wasser-Anlagen.

Die Aufnahmekriterien waren in all den Jahren gleich geblieben:

- **Thermische Leistung:** Max. Wärmeleistung der Wärmepumpenanlagen 20 kW_{th}.
- **Wärmequellen:** Luft/Wasser- und Sole/Wasser-Anlagen, je etwa 50% Anteil
- **Produktionsart:** Seriegeräte, keine Sonderanfertigungen und keine Exoten.
- **Betriebsart:** Monovalente Anlagen.
- **Standort:** Geographisch unterschiedliche Lagen.
- **Objekte:** Neubauten und Sanierungsobjekte.
- **Warmwasser:** Anlagen mit und ohne Warmwasserbereitung.
- **Prüfung:** Die Wärmepumpen sollten, wenn möglich das FWS-Gütesiegel haben.
- **Hydraulische Einbindung:** Die Anlagen sind in der Regel nach Standardschaltungen erstellt, komplizierte oder exotische Hydraulikschaltungen werden nicht berücksichtigt.

1.5 Datenerhebung

Die Messdaten wurden entweder auf Messprotokoll per Handskript oder elektronisch auf Excel-datenblatt zugestellt. Nach dem Eingang wurden die Daten auf Plausibilität kontrolliert. Kleine Probleme auf den Anlagen, wie der Ausfall von Messinstrumenten, sowie Anlagenprobleme konnten somit schnell erkannt und wieder in Ordnung gestellt werden.

Die Messinstrumente, insbesondere die Wärmezähler, Fabrikat NeoVac, die nach dem Ultraschallprinzip arbeiten, wurden stichprobenweise bei der Umsetzung von früheren Projekten innerhalb der letzten 15 Jahre insgesamt dreimal ausgebaut und kontrolliert. Die Resultate waren

allesamt in den Toleranzen, sodass die Qualität der Messungen die Grundanforderungen an die Gesamtanalyse auch diesbezüglich erfüllt.

Die Eingabe der Messdaten in die EDV-Anlagenfiles und die entsprechende Auswertung erfolgten nach dem Eingang der Datenblätter gestaffelt. Die Analyse und Beurteilung der einzelnen Anlagen wurde erst nachdem alle Resultate vorlagen durchgeführt.

Der gesamte Ablauf war in vier Hauptpunkte aufgegliedert:

- Organisieren der Messdaten und Kontrolle der eingegangenen Unterlagen sowie Eingabe der vorhandenen Messdaten in die EDV-Anlagenfiles samt Analyse und Beurteilung.
- Anlagenbesuche bei Störungen und Ausfall von Messeinrichtungen zwecks Behebung der Mängel.
- Erstellen und Versand von Informationsschreiben an die Anlagenbesitzer samt Abgabe einer Auswertung der eigenen Anlagen (Fingerprint).
- Auswertungen der Messdaten und Analyse des gesamten Anlagensamples inkl. Zusammenstellung der aussagekräftigsten Grafiken in einem Bericht.

Für die Ermittlung der Jahresarbeitszahlen waren in jeder Anlage Wärme-, Elektro- und Betriebsstundenzähler installiert worden, die in nützlichen Abständen (wöchentlich bis monatlich) vom Anlagenbesitzer abgelesen und die Daten an uns gemeldet wurden. Für die Berechnung der Jahresarbeitszahlen wurden die Wärmepumpen bedingten Nebenantriebe mitberücksichtigt. Allfällige Speicherverluste sind ebenfalls in die Berechnung eingeflossen. Hingegen wurden Nebenaggregate, wie Heizgruppenpumpen, etc., die nicht direkt zum Wärmepumpenbetrieb gehören, direkt eliminiert.

Für die Wartungs- und Reparaturkosten mussten die Besitzer individuell befragt werden. Ein Verschicken von Fragebogen führte hier erfahrungsgemäss nicht weiter. Statt dessen musste eine persönliche Befragung der Anlagenbesitzer durchgeführt werden, um auch Unklarheiten und Widersprüche auszuräumen. Die Wartungs- und Reparaturkosten wurden soweit verfügbar anhand von Belegen, wie Rapporte und Rechnungen nachvollzogen.

1.6 Wärmepumpenstatistik

Seit die ersten Feldanalysen durchgeführt und die Jahresarbeitszahlen (JAZ) ermittelt wurden (FAWA- und Folgeprojekte QS-WP) wurde in der Wärmepumpen-Statistik für alle Wärmepumpen anstelle früherer durchschnittlicher Jahresarbeitszahlen die berechneten Werte aufgrund dieser Ermittlungen verwendet. D.h. dass die Resultate in der Schweiz. Gesamtenergiestatistik im Teil Erneuerbare Energie eingeflossen sind.

2 Analyse und Ergebnisse

Damit die Vergleichbarkeit der Anlagenresultate mit dem früheren Projekt FAWA gewährleistet war, wurden die gleichen Massstäbe und Kriterien angewendet. Bei der Datenanalyse wurde nur noch die JAZ2 (Abb. 3) ermittelt und verglichen.

Der Unterschied zwischen Norm-JAZ2 (nJAZ2) und JAZ2 besteht darin, dass die nJAZ2 Klimanormiert wird. Dies erfolgte mit einem relativ einfachem Verfahren, indem die Regressionsgerade für die ermittelten Arbeitszahlen im Heizbetrieb bei der Aussentemperatur $T_a=3\text{ °C}$ erfasst wurde. Dadurch sind alle Anlagenwerte, egal auf welcher Höhe über Meer die Anlagen stehen, miteinander vergleichbar. Die detaillierte Abhandlung zu diesem Vorgehen wurde seinerzeit im FAWA-Bericht beschrieben. Die Datenanalyse über die Jahre hat jedoch gezeigt, dass das vorliegende Anlagensample, das zu über 90% im Schweizer Mittelland liegt, gegenüber dieser Normierung wenig sensibel war. Der Vergleich der beiden Auswertungen nJAZ2 und JAZ2 bestätigt dies auch bei diesen neuesten Auswertungen.

Die Bilanzgrenze der Jahresarbeitszahlen nJAZ2 umfasst nebst der Wärmepumpenanlage auch den Wärmeverlust für Speicher, sofern vorhanden. Der kostenpflichtige Energieaufwand für die Speicherladepumpe oder bei Anlagen ohne Speicher der Anteil Pumpenenergie, der für die Massenstromförderung über den Kondensator der Wärmepumpe benötigt wird und der gesamte quellenseitige Kraftbedarf (Pumpen- oder Ventilatorenergieaufwand), gehören ebenfalls in die Energiebilanz für die nJAZ2.

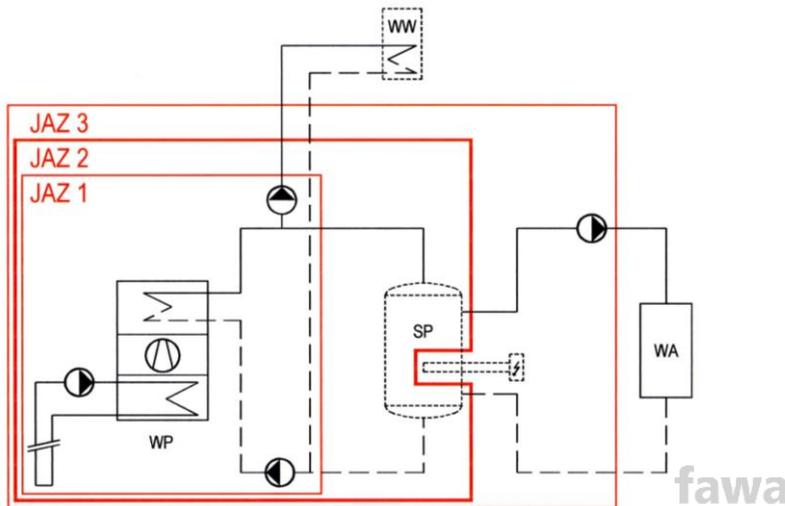


Abb. 3: Systemgrenzen zur Beurteilung, JAZ 1, 2 und 3.

Für Beurteilung und Vergleich wurde nur die Bilanzgrenze für JAZ 2 verwendet, welche allfällige Speicherverluste berücksichtigt.

Bei Anlagen ohne Speicher wurde der abgabeseitige Stromverbrauch der Umwälzpumpen gemäss dem Druckverlust über dem Verflüssiger berücksichtigt.

Es gab vereinzelte Anlagen deren Datensätze des ersten Betriebsjahres unvollständig oder wegen anderen Problemen nicht in die Auswertung übernommen werden konnten. Für diesen Fall, wenn im ersten Betriebsjahr keine Auswertung möglich war, wurde das zweite Betriebsjahr als Referenz verwendet.

2.1 Analyse der Jahresarbeitszahlen JAZ

Die JAZ-Werte der 168 Anlagen, die in diesem Sample ausgewertet wurden, sind in 2 Hauptgruppen (Sole/Wasser- und Luft/Wasser-Anlagen) aufgeteilt. Einerseits wurde die Analyse und Auswertung nach Betriebsjahren und andererseits nach dem Verlauf nach Kalenderjahren vorgenommen. Von diesen Anlagen waren bis zum Projektende noch 159 Anlagen im aktiven Sample.

2.1.1 Vergleich nach Betriebsjahren

Die Veränderungen der nJAZ zwischen dem ersten und dem elften Betriebsjahr waren kaum feststellbar. Ab dem 12. Betriebsjahr stellt man eine mittlere Reduktion der JAZ von ca. 6% fest.

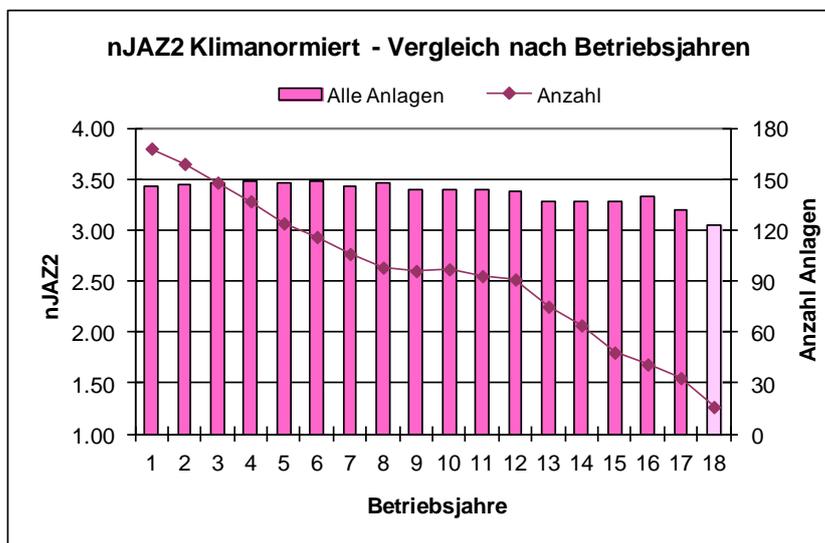


Abb. 4: Zeitreihe des Verlaufs der absoluten Jahresarbeitszahlen (nJAZ2_{abs}), nach Betriebsjahren

Das 18. Betriebsjahr ist aufgrund der kleineren Anzahl Anlagen nicht repräsentativ.

Ein möglicher Grund für diese tieferen JAZ-Werte bei den älteren Anlagen (12 Jahre und älter) dürfte darin begründet sein, dass diese Wärmepumpen noch keine Scrollverdichter haben oder dass die ersten Scrollverdichter noch etwas schlechter waren. Zudem ist bekannt, dass genau diese älteren Wärmepumpen mit Hubkolbenkompressoren einen grösseren Verschleiss bei den Kolbendichtungen, etc. haben und deshalb eher eine merkbare Alterung erwartet werden muss.

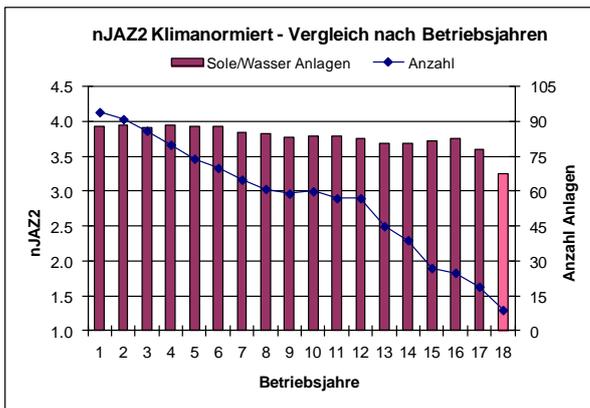


Abb. 5: Zeitreihe Teilsample Sole/Wasser-Anlagen

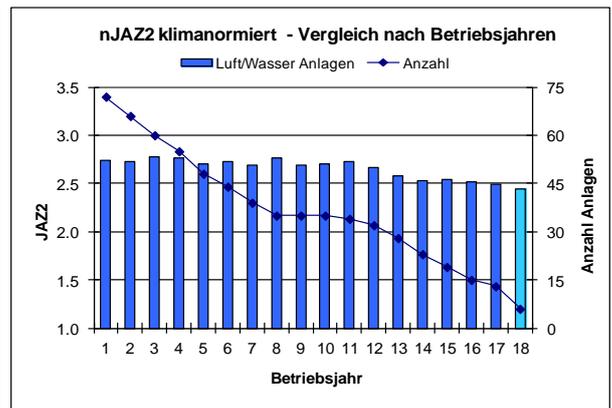


Abb. 6: Zeitreihe Teilsample Luft/Wasser-Anlagen

Nachstehend werden die Jahreswerte samt der Anzahl Anlagen, die in der Analyse ausgewertet werden konnten für die Luft/Wasser- und die Sole/Wasser-Anlagen dargestellt.

Tab. 3: nJAZ2-Werte nach Betriebsjahren für die einzelnen Wärmequellenarten

WP-Quelle	Betriebsjahre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Aussenluft	nJAZ2 AUL	2.74	2.73	2.77	2.77	2.71	2.73	2.69	2.77	2.69	2.70	2.73	2.67	2.57	2.53	2.54	2.52	2.49	2.44
	Σ Anlagen	72	66	60	55	48	44	39	35	35	35	34	32	28	23	19	15	13	6
Erdwärmesonden	nJAZ2 EWS	3.92	3.95	3.92	3.94	3.92	3.93	3.85	3.82	3.78	3.79	3.79	3.76	3.69	3.69	3.72	3.76	3.60	3.25
	Σ Anlagen	94	91	86	80	74	70	65	61	59	60	57	57	45	39	27	25	19	9

Wie bereits erwähnt wurde, ist die Normierung der Jahresarbeitszahlen nJAZ2 ein einfaches Verfahren, das im Kap. 2 beschrieben ist. Die Grafik mit allen Anlagen, mit der nicht normierten JAZ2, wird zu Vergleichszwecken nachstehend ebenfalls im Bericht aufgenommen.

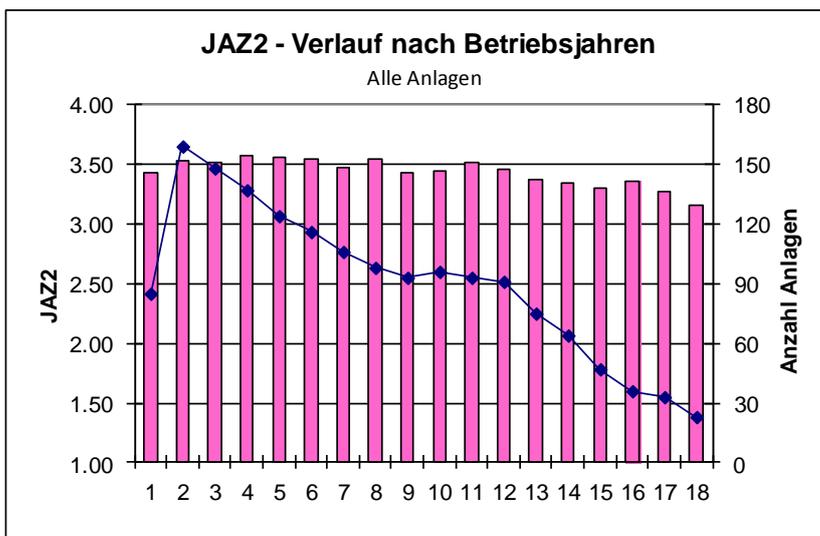


Abb. 7: Zeitreihe der absoluten Jahresarbeitszahlen (JAZ2_{abs}), nach Betriebsjahren

Die Mittelwerte der beiden im Vergleich stehenden Grafiken Abb. 4 und Abb. 7 liegen sehr nahe beieinander. Die mittlere nJAZ2 beträgt $nJAZ2=3.37$ (über 18 Jahre) und die nicht normierte $JAZ2=3.42$ (über 18 Jahre). Dies ist, wie bereits erwähnt, auf die Tatsache zurückzuführen, dass die meisten Anlagen im Schweizer Mittelland auf ca. 400-500 m über Meer stehen, welches dem normierten Schweizer Mittelwert sehr nahe kommt.

2.1.2 Vergleich nach Kalenderjahren

Der Verlauf der Jahresarbeitszahlen nJAZ2 nach Kalenderjahren entspricht den Werten und Erkenntnissen, die bereits bei der früheren FAWA-Analyse kommuniziert worden sind. Nach einer Phase (Jahre 1995-2000), wo jährlich bessere JAZ-Werte festgestellt werden konnten, sind die Werte ab der Heizsaison 2000/2001 stagniert und bis heute auf gleichem Niveau geblieben. Diese Tatsache leuchtet nicht unbedingt ein. Mit den Abb. 8-10 nach Kalenderjahren (Heizsaison) wird die Analyse nach Betriebsjahren verdeutlicht, da man eindeutig feststellen kann, dass die Anlagen der ersten Jahre (1995-1999), wie bereits erwähnt, eine jährlich steigende Effizienz aufweisen.

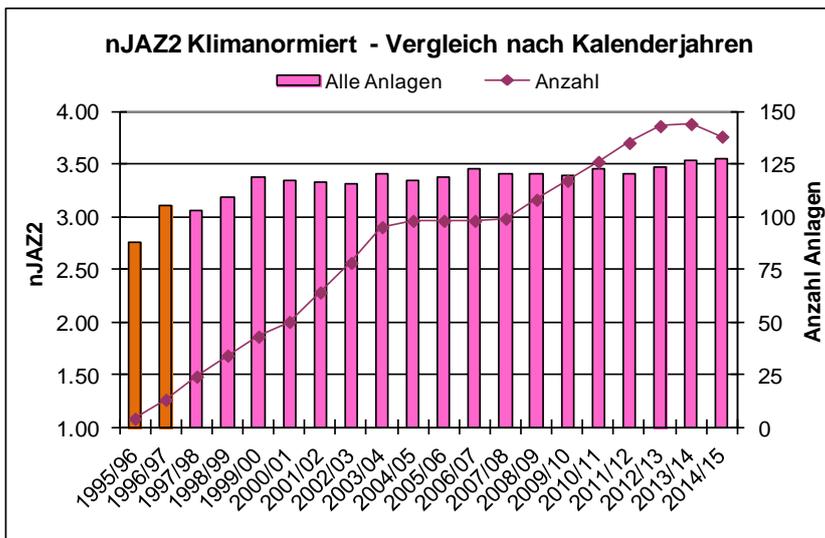


Abb. 8: Zeitreihe der absoluten Jahresarbeitszahlen (nJAZ_{abs}), nach Kalenderjahren, Klima normiert

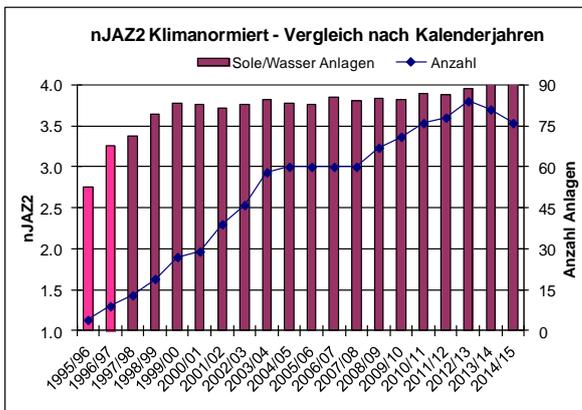


Abb. 9: Zeitreihe Teilsample Sole/Wasser-Anlagen

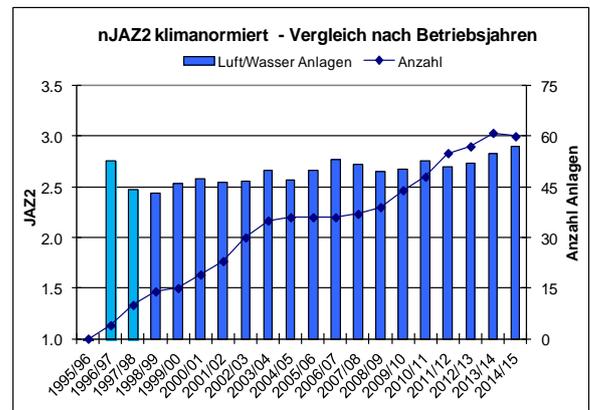


Abb. 10: Zeitreihe Teilsample Luft/Wasser-Anlagen

Es wäre sehr erwünscht, dass bei den Kleinwärmepumpen nochmals ein Entwicklungsschub stattfinden kann. Eine kleine Hoffnung stellen die Wärmepumpen mit Leistungsvariation (Inverter-Wärmepumpen) dar. Leider zeigte sich bei einer separaten Feldanalyse¹, dass die Maschinen noch nicht alle auf dem erwarteten Standard sind und die Effizienz kein Quantensprung darstellt.

2.1.3 Vergleich Neubau und Sanierung

Die Betrachtung des Anlagensamples nach den Baukategorien Neubau und Sanierung ergibt weitere interessante Hinweise.

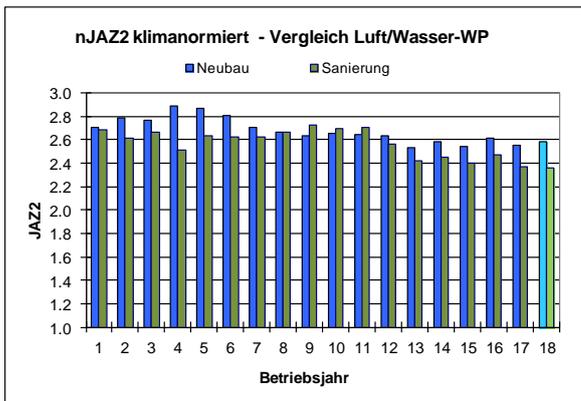


Abb. 11: Teilsample Aussenluft/Neubau

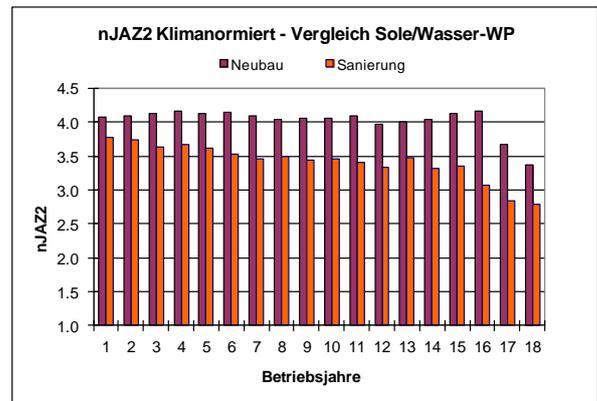


Abb. 12: Teilsample Aussenluft/Sanierung

Die beiden Anlagensamples Neubau und Sanierung zeigen bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen nur kleine Unterschiede. Anders ist es bei den Sole/Wasser-Anlagen. Hier ist ein deutlicher Unterschied zwischen Neubau- und Sanierungsanlagen von rund minus 15% feststellbar.

¹ BFE-Projekt über "Feldmessungen an Leistungsgeregelten Wärmepumpen und Wärmepumpenboilern"

2.1.4 Einfluss von Pufferspeicher und Planungstemperatur

Die Wärmeenergiespeicherung auf dem tiefen Temperaturniveau, wie die Anlagen mit Wärmepumpen heute laufen, erlaubt kaum eine richtige Energiespeicherung. Einerseits kann pro 10K Temperaturerhöhung mit 1000 Liter Speichermasse nur etwa 11.5 kWh gespeichert werden, welches kaum 2 Stunden überbrücken lässt und andererseits wird durch den Wärmepumpenbetrieb mit 10K überhöhter Vorlauftemperatur die Effizienz um 10-15% verschlechtert.

Der Anlageninhalt ist nur indirekt wichtig, da bei zu kleinem Anlagen-Wasserinhalt die Wärmepumpe mehr Schaltzyklen hat. Bei Bodenheizsystemen ist dies nie ein Problem, da der Unterlagsboden mit der eingebauten Bodenheizung als Speicher funktioniert. Somit ist ein technischer Speicher dann notwendig, wenn der Füllinhalt des Heizsystems zu klein ist. Dann empfiehlt es sich einen kleinen Speicher mit Inhalt von 50-300 Liter einzubauen.

Um Sperrzeiten von 2-4 Stunden überbrücken zu können, sollte bei Anlagen mit Heizkörpern (Radiatoren, Heizwände) ein Pufferspeicher von 500-1000 Liter eingebaut werden. Die über die Sperrzeit benötigte Energie kann damit nicht voll kompensiert werden, aber die Abkühlung des Heizungswassers kann verzögert werden. Wegen solchen Sperrzeiten sollte jedoch keine überhöhte Heiztemperatur gefahren werden, um die Effizienz der Wärmepumpe nicht zu reduzieren.

Tab. 4: Einfluss von technischen Speichern auf die Effizienz

Wärmepumpe/Wärmequelle	Wärmeabgabesystem	Technischer Speicher	mittlerer Inhalt	nJAZ	Anzahl Anlagen
Sole/Wasser	Radiatorenheizung	mit	588	3.85	15
	Bodenheizung	mit	479	3.98	14
	Bodenheizung	ohne		4.30	40
Luft/Wasser	Radiatorenheizung	mit	660	2.65	15
	Bodenheizung	mit	562	2.86	48
	Bodenheizung	ohne		2.75	9

Bei der Planung von Wärmepumpenanlagen ist für einen Betrieb mit normalen Verhältnissen das Verhalten des Wärmeabgabesystems von Bedeutung. Dabei spielt die Trägheit des Systems für die Regelung, resp. die Schalthäufigkeit, eine wichtige Rolle. Bei Bodenheizungen mit Nassaufbau (Mörtel-Unterlagsboden) ist die Speichermasse direkt dieser Boden und kann auch regeltechnisch genutzt werden. Vorteilhaft ist bei solchen Anlagen eine Regelung nach Rücklauftemperatur. Fehlt diese Speichermasse sollte der Wasserinhalt einer Anlage durch den Einbau eines Pufferspeichers (technischer Speicher) vergrößert werden, da sonst die Gefahr von zu kurzen Laufzeiten (vor allem in der Übergangszeit) besteht.

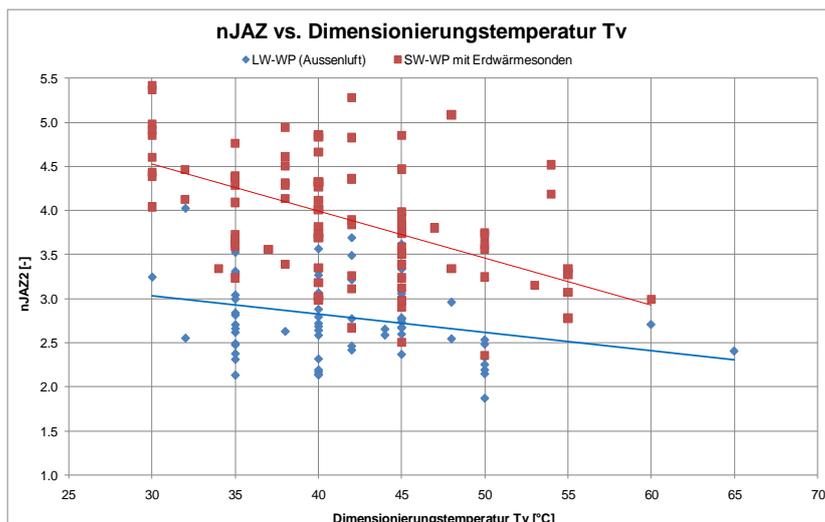


Abb. 13: nJAZ2 vs. Dimensionierungstemperatur Tv bei LW-WP und SW-WP-Anlagen

Die für die Raumheizung notwendige Vorlauftemperatur ab Kondensator (Heizkurve) hat einen ganz klaren Einfluss auf die Effizienz von Wärmepumpen. Es ist deshalb zu beachten, dass man keine überhöhten Heizkurven einstellt, um bspw. im Heizungsspeicher ein Wärmespeicherdepot zu bilden. Pro 1K Heiztemperaturerhöhung sinkt die Effizienz der Wärmepumpe um ca. 1.5-2%.

2.2 Vergleich der Betriebsstunden

Die Betriebsstunden einer Wärmepumpenanlage liefern gute Informationen über die Dimensionierung der eingebauten Anlage. Die Betriebsstunden und mehrheitlich auch die Einschalthäufigkeit von Wärmepumpen (Kompressoren) kann bei den meisten Wärmepumpenreglern direkt abgelesen werden. Als Richtwert gelten die Angaben für die Bestimmung der Heizleistung in der BFE Broschüre "Leistungsgarantie Haustechnik". Speziell bei Sanierungsprojekten ist die Vollbetriebsstundenzahl gemäss dieser Broschüre eine wichtige Vorgabe für die Dimensionierung der Wärmepumpenheizleistung.

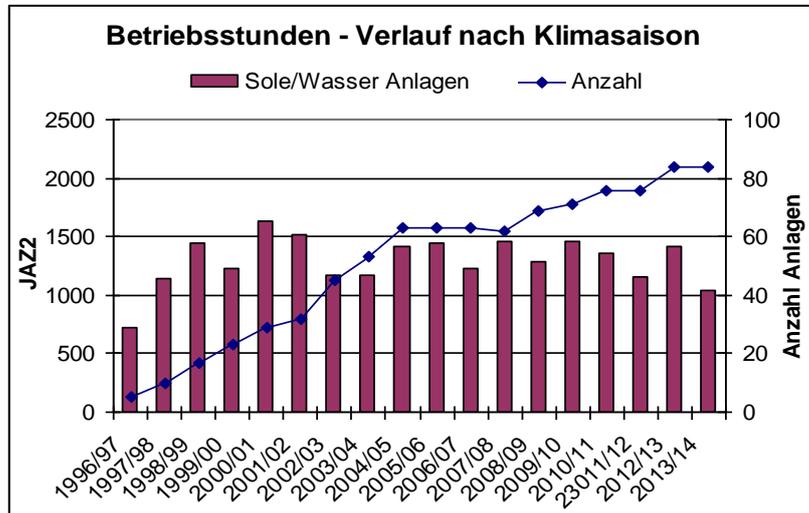


Abb. 14: Zeitreihe Anlagen-Betriebsstunden für Sole/Wasser-Anlagen, nach Kalendersaison

Die Laufzeiten spielen speziell bei den Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen eine wichtige Rolle. Einerseits ist die Heizleistung bei der Auslegetemperatur einzuhalten und andererseits muss der Energiebezug auf der Wärmequellenseite eingehalten, resp. nicht übernutzt werden. Die SIA-Norm 384/6 (2010 in Kraft gesetzt) setzt diesbezüglich einzuhaltende Grenzwerte. Die Übernutzung von Erdwärmesondenanlagen führt längerfristig zu Problemen, wenn die nachfliessende Umweltenergie im Boden nicht mehr im Gleichgewicht ist, resp. wenn die Wärmequellenanlage sich nicht mehr regenerieren kann. Dieser Prozess hat einen Jahreszyklus, der ohne Simulationsberechnungen nicht ganz einfach nachvollzogen werden kann.

Die Dimensionierungsvorgaben für die Wärmequellenanlage mit Erdwärmesonden basieren auf den Betriebsstundenvorgaben der früheren Leistungsgarantie BFE (Version vor 2010) von max. 2'000 [h/a] ohne Warmwasserbereitung und von 2300 [h/a] mit Warmwasserbereitung. In der SIA-Norm 384.1 sind die Vollbetriebsstunden-Vorgaben nach oben korrigiert worden, auf neu 2'300 [h/a] beim reinen Heizbetrieb und 2'700 [h/a] für Heizung und Warmwasserbereitung.

Für die Erdwärmesondenanlagen sind die Vorgaben für den SIA-Norm 384/6 festgelegt. In dieser Norm sind als Basis die Jahresbetriebsstunden mit 1850 [h/a] tiefer angesetzt worden. Diese Differenz zwischen den beiden Normen ist ungünstig. Es ist für die Dimensionierung der Wärmepumpe notwendig, dass diese Differenzen zwischen den beiden SIA-Normen bereinigt werden. Die SIA-Norm 384/6 ist 2015 fünf Jahre in Kraft gesetzt. Es empfiehlt sich somit ohnehin eine kritische Hinterfragung und daraus eine allfällige Überarbeitung dieser Norm.

Die Berechnung der Wärmeleistung ergibt somit (basierend auf SIA-Norm 384.1) eine kleinere Wärmepumpe und damit auch kürzere Erdwärmesonden. Dadurch wird die aus dem Untergrund gewonnene Umweltenergie jedoch nicht kleiner, da es sich um dasselbe Gebäude handelt. Hingegen wird die Entzugsleistung der Erdwärmesonden aufgrund der kleineren Wärmepumpenleistung und der dadurch kürzeren Erdwärmesonden grösser. In der Praxis sind jedoch die Laufzeiten kaum am oberen Grenzwert vorzufinden.

Aus der Abbildung 14 geht deutlich hervor, dass die Dimensionierungsvorgaben für die Erdwärmesonden gemäss der SIA-Norm 384/6 eingehalten werden. Die Jahreswerte liegen mehrheitlich unter 2000 Betriebsstunden pro Jahr. Es ist wichtig, dass gerade diese Betriebsstunden bei den Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen stimmen, da sonst Befürchtungen über längerfristige Problemfälle mit ausgekühlten Erdwärmesonden entstehen könnten. Trotzdem wurden Anlagen vorgefunden, die bis zu 3'000 Betriebsstunden pro Jahr erreicht haben.

Bei Luft/Wasser-Wärmepumpen hat die Betriebsstundenzahl nicht die gleiche Bedeutung. Bei diesen Anlagen ist die maximale Heizleistung bei der Auslegetemperatur für die Dimensionierung alleine massgebend.

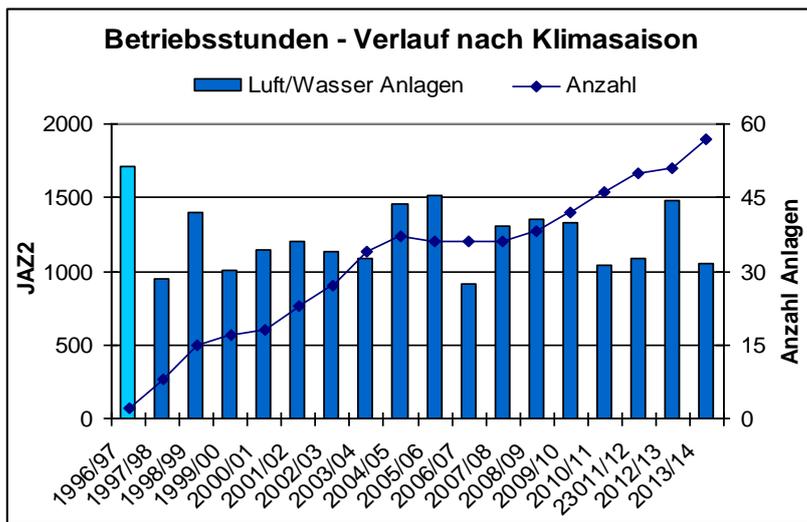


Abb. 15: Zeitreihe der Anlagen-Betriebsstunden für Luft/Wasser-Anlagen, nach Kalendersaison

Tab. 5: Betriebsstunden 1. Stufe nach Klimasaison für die einzelnen Wärmequellenarten

Wärmequelle WP	Betriebsjahre	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15
Aussenluft	Betriebsstd.	1656	391	1022	1037	1316	1386	1272	1249	1450	1328	864	1444	1347	1415	1069	1066	1428	1189	1131
	Σ Anlagen	2	7	14	16	17	22	27	34	37	37	37	37	39	43	47	50	53	60	54
Erdwärmesonden	Betriebsstd.	968	768	1509	1065	1635	1527	1137	1097	1404	1409	1199	1416	1256	1467	1318	1050	1454	1179	933
	Σ Anlagen	5	9	15	20	26	28	40	49	58	58	57	64	67	72	74	83	84	73	

Bei den Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen (Abb. 15) sind die Betriebsstunden nicht gleich wichtig. Man kann aus den analysierten Werten entnehmen, dass bei der Dimensionierung die Empfehlungen des BFE ebenfalls eingehalten werden.

Tab. 6: Betriebsstunden 2. Stufe nach Klimasaison für die einzelnen Wärmequellenarten

Wärmequelle WP	Betriebsjahre	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15
Aussenluft	Betriebsstd.		66	265	922	472	686	294	753	571	613	1050	979	179	833	776	41	93	829	836
	Σ Anlagen		2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	4	4
Erdwärmesonden	Betriebsstd.				341	346	353	344	355	376	358	292	283	263	26	263	267	245	29	
	Σ Anlagen				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Die Auswertung der 2. Stufe ist nicht relevant, da im Anlagensample nur 4 Luft/Wasser- und 1 Sole/Wasser-Wärmepumpen enthalten sind. Dabei ist zu erwähnen, dass für die hohen Betriebsstunden nur 2 Anlagen (Luft/Wasser-Wärmepumpen) verantwortlich sind.

2.3 Analyse der Wärmeproduktion

Die mittlere Wärmeproduktion der Wärmepumpenanlagen im analysierten Anlagensample beträgt bei Sole/Wasser ca. $Q_a=17'700$ [kWh/a] und bei Luft/Wasser ca. $Q_a=15'600$ [kWh/a].

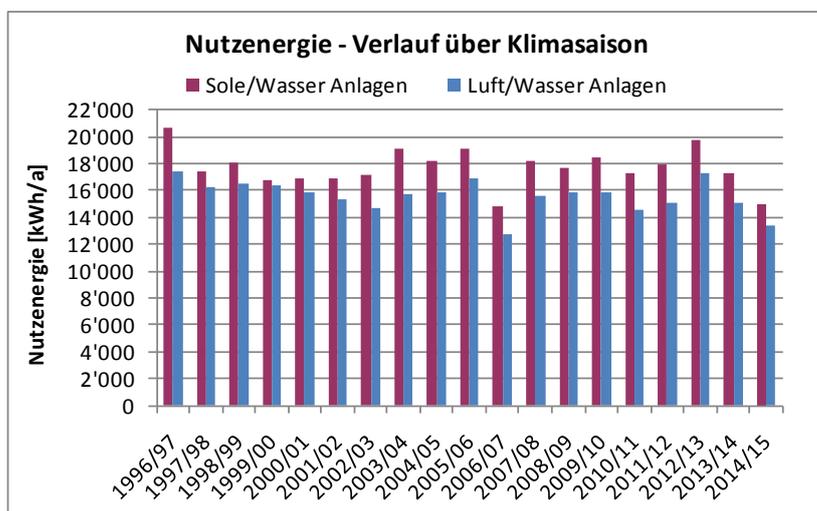


Abb. 16: Zeitreihe mittlere Wärmeproduktion, nach Klimasaison.

2.4 Analyse des Elektro-Energiekonsums

Der mittlere Elektro-Energiekonsum der Wärmepumpen im analysierten Anlagensample beträgt bei Sole/Wasser ca. $\text{Pel-a}=5'100$ [kWh/a] und bei Luft/Wasser ca. $\text{Pel-a}=5'730$ [kWh/a].

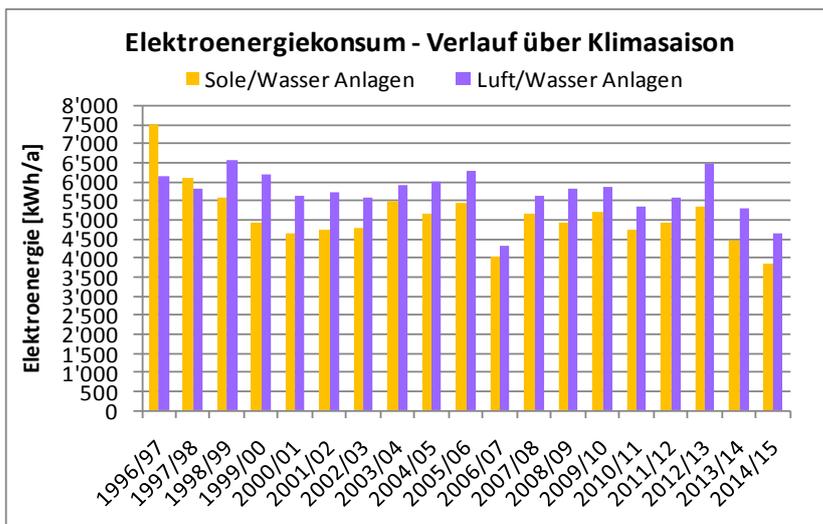


Abb. 17: Zeitreihe mittlerer Elektro-Energie-konsum, nach Klimasaison.

2.5 Effizienzsteigerung - Vergleich der besten Anlagen

Ein Vergleich mit den besten Anlagen, die bei den SW-Wärmepumpen eine n_{JAZ2} von 5.5–5.8 haben, zeigt, dass ein weiteres Steigerungspotential bei der Anlageneffizienz besteht. Insgesamt erreichen von 96 Sole/Wasser-Wärmepumpen 22 Anlagen einen mittleren n_{JAZ} -Wert von über 4.50 und bei den Luft/Wasser-Anlagen von 71 Anlagen nur 7 den Wert von 3.5 und mehr.

Von den Bestanlagen kann gelernt werden, dass es nicht nur auf die Wärmepumpe ankommt, sondern auf die Gesamtanlage. Die wichtigsten Komponenten und Vorgaben sind hier, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, aufgelistet:

- Wärmepumpe mit guten Voraussetzungen, mit Gütesiegel, hohe COP-Werte in allen Betriebsbereichen.
- Richtige Dimensionierung der Leistungen und Komponenten, wie bspw. Umwälzpumpen.
- Richtige Wahl der hydraulischen Einbindung (Hydraulikschema), so einfach, wie möglich.
- Richtige Dimensionierung der Wärmequelle, speziell bei Erdwärmesonden nach SIA 384/6.
- Möglichst kleiner Temperaturhub der Wärmepumpe, d.h. möglichst tiefe Heiztemperaturen.
- Richtige Inbetriebnahme, speziell Einstellung und Einregulierung von Betriebsparametern und auch Massenströmen, etc.
- Nachkontrolle der Anlage nach ein bis zwei Jahren Betriebszeit (Optimierung).

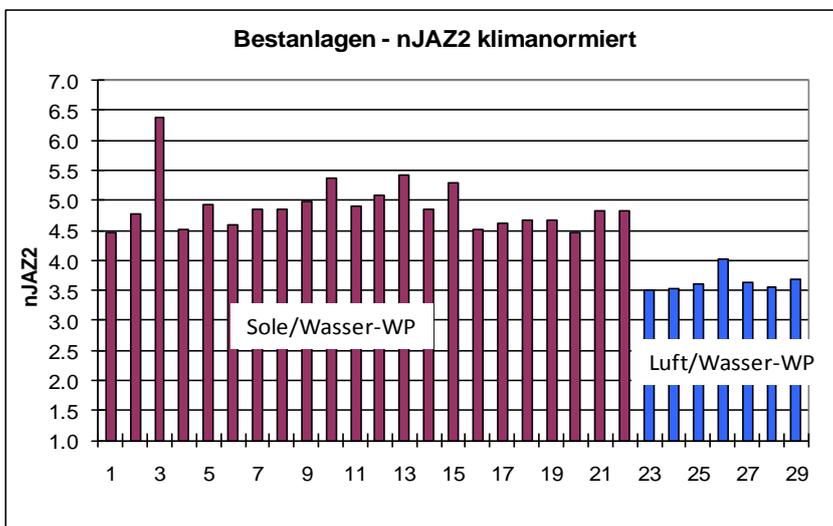


Abb. 18: Bestanlagen mit Jahresarbeitszahlen ($n_{JAZ2_{abs}}$) bei den SW-Anlagen ≥ 4.50 und LW-Anlagen ≥ 3.50 .

Anlage 3 ist eine in jeder Beziehung optimierte Anlage für Heizung und Warmwasserbereitung

Die Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS hat dies erkannt und ist derzeit an der Einführung des sog. Wärmepumpen-Systemmoduls², welches genau auf diese Schwachpunkte eingeht und mit der Einführung dieses Systemmoduls die Vorgaben und Randbedingungen setzt, die zu besseren Anlagen führen.

2.6 Vergleich der JAZ-Werte mit Berechnungen nach WPEsti

Das Berechnungsprogramm WPEsti, welches für die rechnerische Ermittlung der Jahresarbeitszahl JAZ einer Anlage verwendet werden kann, wurde aufgrund der guten Kenntnis dieser Feldanlagen bei 20 Anlagen validiert und verglichen.

Das neue Berechnungsprogramm WPEsti, welches seit 2012 in komplett überarbeiteter Version zur Verfügung steht und auf der Homepage EnDK herunter geladen werden kann, erreicht sehr gute Resultate. (<http://www.endk.ch/de/fachleute/Hilfsmittel>)

Dieses Berechnungstool wird auch von Minergie und von verschiedenen Förderstellen (bspw. Stromparfond der Stadt Zürich) für die JAZ-Berechnungen eingesetzt.

Tab. 7: Mittlere Abweichungen zwischen Realwerten und WPEsti-Berechnungen

Gesamt-JAZ	Wärmeproduktion	Elektrokonsum	Laufzeit
-1.3 %	1.3 %	0.3 %	-3.0 %

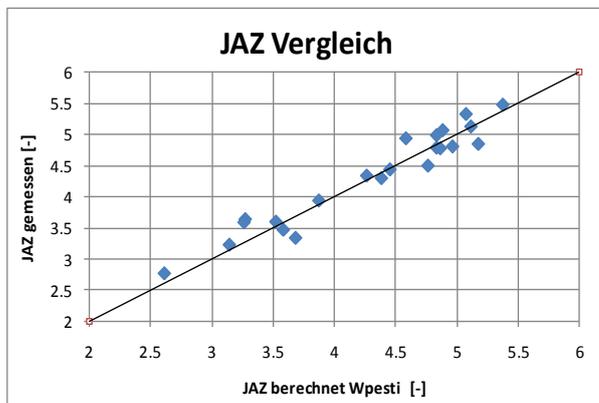


Abb. 19: JAZ Vergleich

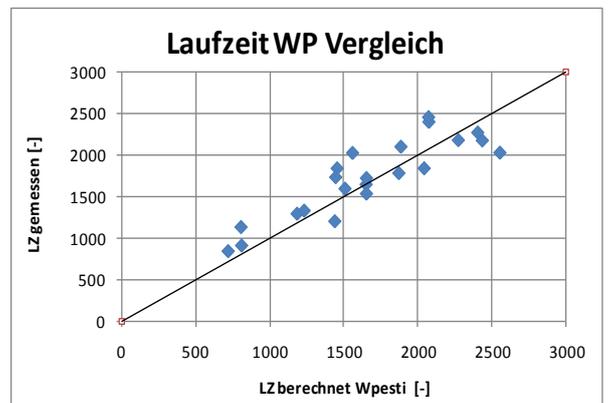


Abb. 20: Laufzeit Vergleich

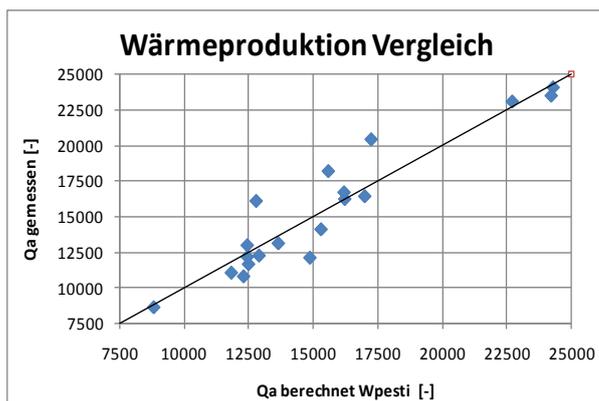


Abb. 21: Wärmeproduktion Vergleich

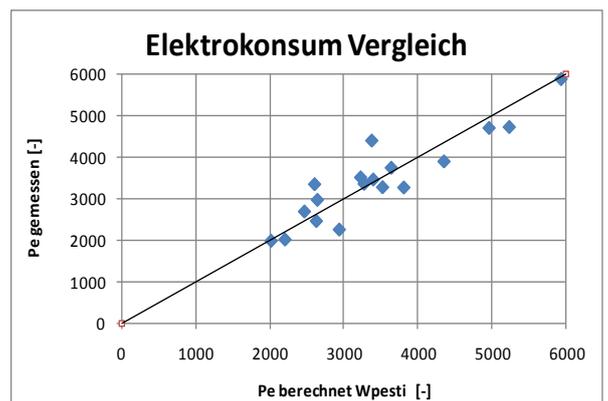


Abb. 22: Elektrokonsum Vergleich

Die einzelnen Vergleiche zeigen gute bis sehr gute Übereinstimmungen. Dies ist nicht nur bei der JAZ-Berechnung der Fall, sondern auch bei den Betriebsstunden und den Energieberechnungen; Nutzenergie und Elektrokonsum.

² Wärmepumpen-System-Modul FWS - weitere Informationen auf www.wp-systemmodul.ch

Tab. 8: Resultate der einzelnen Anlagenvergleiche

Nr.	Gesamt-JAZ			Wärmeproduktion		Elektrokonsum		Laufzeit	
	Wpesti	gemessen	Abweichung	Wpesti	gemessen	Wpesti	gemessen	Wpesti	gemessen
1	4.83	4.79	0.84	12452	12963	2467	2705	1888	2095
2	4.26	4.34	-1.84	12311	10771	2628	2475	1186	1288
3	3.52	3.6	-2.22	15310	14087	4349	3915	1441	1197
4	4.38	4.3	1.86	8831	8595	2018	1999	720	837
5	4.96	4.81	3.12	16229	16220	3272	3375	1653	1641
6	3.68	3.34	10.18	12503	11633	3395	3478	807	1127
7	3.58	3.47	3.17	12910	12237	3225	3529	1655	1717
8	4.86	4.78	1.67	12798	16084	2604	3364	2557	2023
9	4.88	5.07	-3.75	25570	24042	5229	4746	2407	2266
10	4.45	4.44	0.23	16203	16689	3638	3762	1874	1777
11	2.61	2.77	-5.78	15593	18184	5934	6223	1457	1834
12	5.17	4.85	6.60	13656	13100	2642	2987	811	905
13	4.83	4.99	-3.21	17004	16415	3521	3292	2276	2174
14	5.07	5.33	-4.88	14880	12086	2937	2269	1234	1325
15	3.27	3.64	-10.16	12455	12146	3807	3285	1510	1590
16	5.37	5.48	-2.01	11837	11030	2205	2029	1447	1728
17	4.58	4.94	-7.29	22717	23085	4957	4723	2077	2394
18	3.26	3.59	-9.19	24300	24080	7417	6708	2045	1835
19	5.11	5.13	-0.39	17253	20424	3375	4418	1561	2020
20	3.14	3.23	-2.79	25363	21200	7408	6310	2075	2451
21	4.76	4.5	5.78	35721	36600	7428	8620	1655	1530
22	3.87	3.94	-1.78	24226	23500	5928	5903	2438	2170

Das Tool kann in dieser neuen Version auch für Grossanlagen verwendet werden. Dazu ist es möglich, die technischen Daten der Wärmepumpe direkt einzugeben. Die gängigen Kleinanlagen können ab einer Datenbank direkt ins Berechnungstool herunter geladen werden. Bereits sind über 500 Kleinwärmepumpen verschiedener Fabrikate in dieser Datenbank verfügbar.

2.7 Störungsanalyse (Verfügbarkeit von Wärmepumpen)

Die Betriebssicherheit von Wärmepumpenanlagen wird seit der FAWA-Studie analysiert und das Resultat ist und war immer sehr gut. Die Resultate sind auch zwischen den Sole/Wasser- und den Luft/Wasser-Wärmepumpen unwesentlich different.

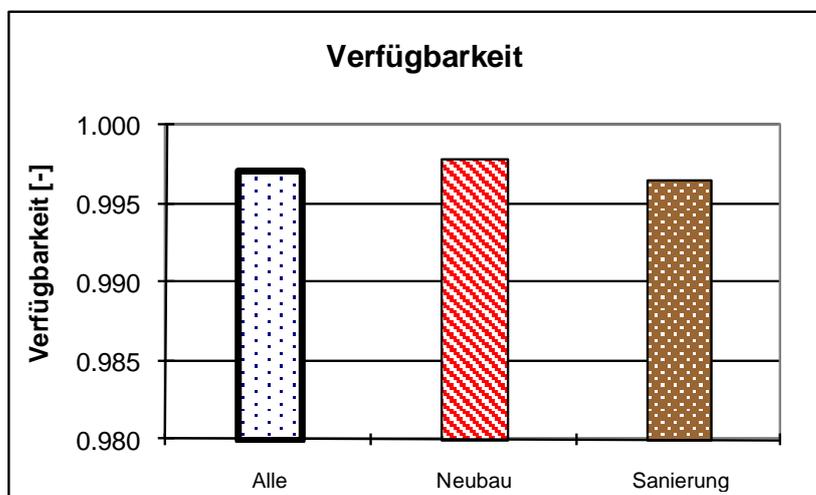


Abb. 23: Verfügbarkeit von Wärmepumpenanlagen insgesamt und für die Hauptgruppen Neubau und Sanierung

Weitere Informationen über die Anzahl Betriebs- und Ausfallstunden, beim Gesamt-, sowie den Teilsegmenten, Neubau und Sanierung und Sole/Wasser- und Luft/Wasseranlagen, können der nachstehenden Tabelle 9 entnommen werden.

Tab. 9: Störungsanalyse, aufgeteilt in verschiedene Gruppen

Störung	Alle	Neubau	Sanierung	L/W	S/W
LZ total [h]	2'754'078	1'297'400	1'456'677	1'001'998	1'604'900
Störung [h]	7'887	2'783	5'104	5'811	1'722
Verfügbarkeit [%]	99.714	99.786	99.651	99.423	99.893

Die Verfügbarkeit ist so definiert, dass eine Störung dann vorliegt und erfasst wird, wenn die Betriebsbereitschaft nicht mehr vorhanden ist, weil die Wärmepumpe keine Wärmeenergie erzeugen kann. Es ist interessant, dass alle Gruppen deutlich über 99 % liegen, auch die Luft/Wasser-Wärmepumpen. Die Sanierungsobjekte stehen mit weniger als 0.2% Differenz ebenfalls gut da.

3 Erkenntnisse und Erfahrungen

3.1 Wärmeverteilung optimiert

Bei einem 13-jährigen Gebäude wurde 2014 die Wärmeverteilung erneuert und tw. durch Bodenheizung ersetzt, welches eine Senkung der max. notwendigen Vorlauftemperatur von ca. 10K zur Folge hatte. Selbst die alte Wärmepumpenanlage reagierte mit einer Effizienzsteigerung von rund 35% prompt auf diese Massnahmen (tiefere Heiztemperaturen und optimaler Betrieb).

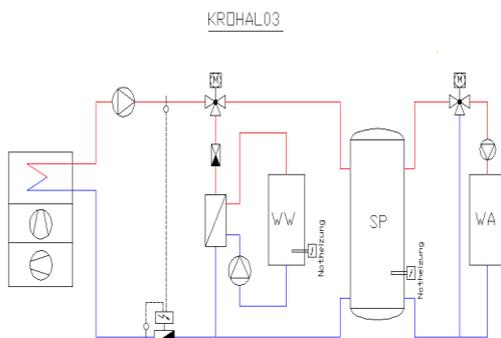


Abb. 24: Hydraulikschema

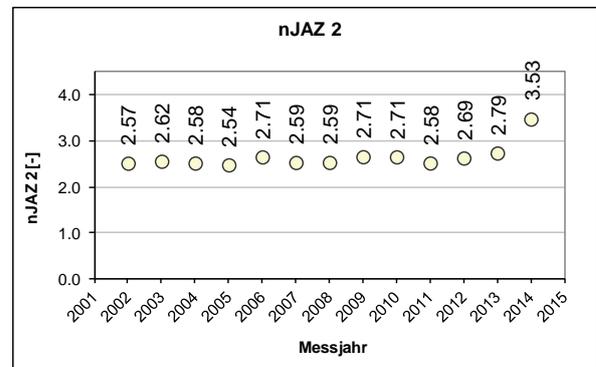


Abb. 25: Verlauf der JAZ über die Jahre

3.2 Propan-Anlage

Bei dieser Sole/Wasser-Wärmepumpe wurde die Effizienz ab 2005 jährlich schlechter und 2008 musste der Kompressor ersetzt werden. In der Folge wurde auch der neue Kompressor mit Propan als Kältemittel betrieben. Es zeigt sich jedoch deutlich, dass die Effizienz auch bei diesem zweiten Kompressor wieder jährlich schlechter wird; nach 7 Jahren ca. 15% Effizienzeinbusse.

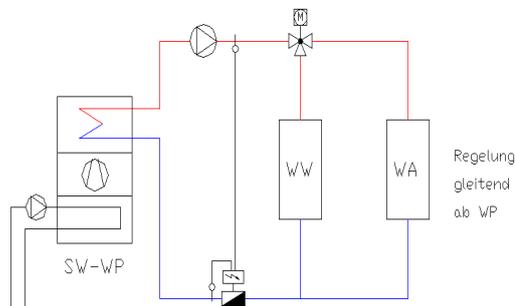


Abb. 26: Hydraulikschema

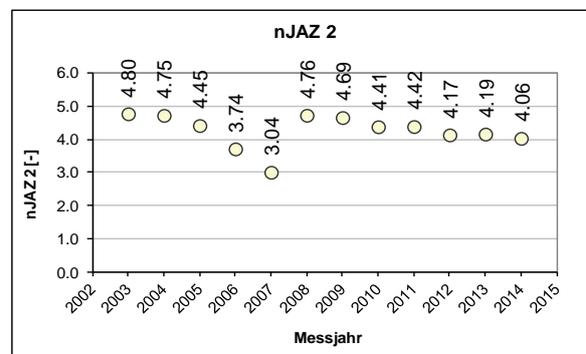


Abb. 27: Verlauf der JAZ über die Jahre

Propan als Kältemittel eingesetzt ist als natürliches Kältemittel sowohl bezüglich Umweltschutz, wie auch hinsichtlich der technischen Anwendung im Kälteprozess ein gutes Kältemittel. Die aufgetretenen Probleme sind längst bekannt, es geht um ein geeignetes Schmiermittel, welches im Kältekreislauf eingesetzt werden kann. Die Hoffnungen sind gross, dass man die noch nicht gelösten Probleme beheben und sich dieses Kältemittel künftig auf dem Wärmepumpenmarkt etablieren kann.

3.3 Stark überdimensionierte Anlage

Diese Anlage ist stark überdimensioniert. Die jährlichen Betriebsstunden liegen bei 830-1000 h/a. Daraus resultiert eine schlechtere JAZ von rund 4.36.

Die Abklärungen über den Energieverbrauch, resp. die Berechnungen bei Neuanlagen, sind möglichst genau zu ermitteln und keine sog. "Angst"-Zuschläge zu machen. In der Regel kann bei knapp genügenden Wärmepumpenleistungen die kleinere Maschine eingesetzt werden.

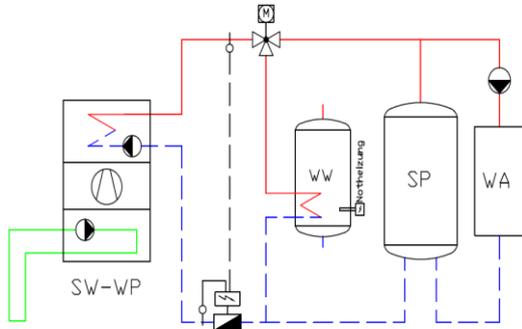


Abb. 28: Hydraulikschema

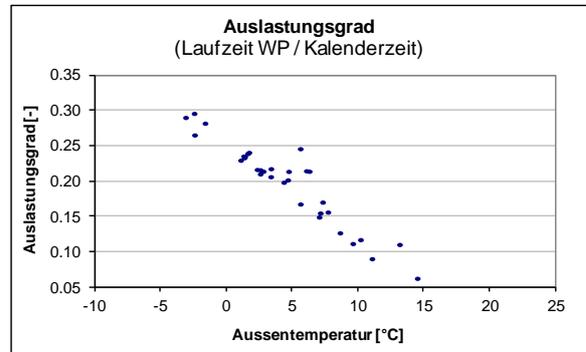


Abb. 29: Verlauf Auslastungsgrad über Ta

3.4 Anlage mit Erdregister

Auch richtig dimensionierte Wärmepumpenanlagen mit Erdregister funktionieren langfristig problemlos, wenn die Dimensionierung des Erdregisters stimmt. Diese Anlage läuft noch mit R22 und kann somit am Kältekreislauf nicht mehr ohne Auswechseln des Kältemittels serviciert werden.

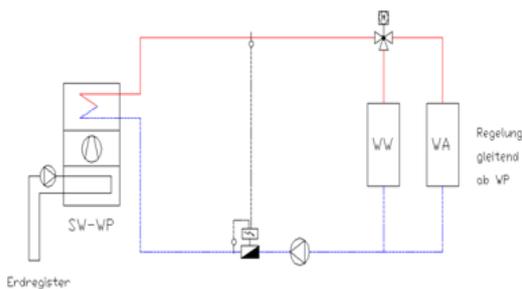


Abb. 30: Hydraulikschema

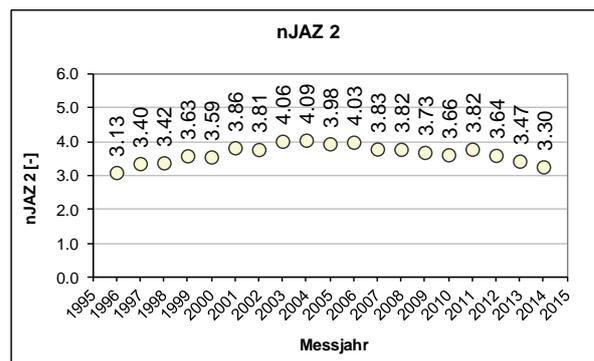


Abb. 31: Verlauf der JAZ über die Jahre

3.5 Inverter-Wärmepumpenanlage mit Erdwärmesonden

Es gab im Jahr 2014 die Möglichkeit eine Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Invertertechnik ins Anlagensample aufzunehmen. Die Maschine läuft sehr optimal. Speziell zeigte sich, dass bei höheren Aussentemperaturen kein Abfallen der Arbeitszahlen erfolgt. Die Laufzeiten pro Anlauf sind deutlich länger als bei On/Off-Maschinenbetrieb.

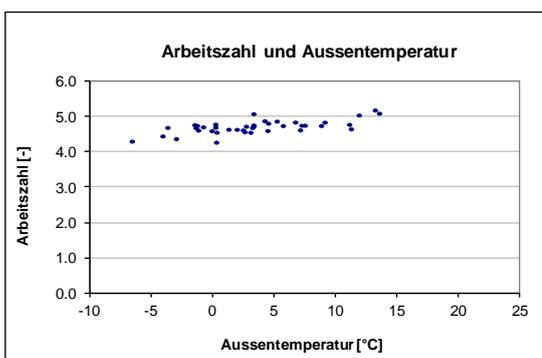


Abb. 32: Verlauf Arbeitszahl über Ta

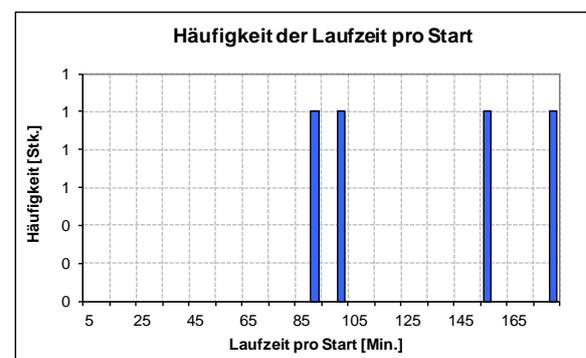


Abb. 33: Laufzeitenverteilung

3.6 Anlagenoptimierung

Bei dieser Anlage wurde im Jahr 2012 die Massenströme der Wärmeverteilung neu einreguliert. Deshalb konnte die Heizkurve am Auslegungspunkt um ca. 8K abgesenkt werden. Ebenfalls wurde die Heizgrenze von 18°C auf 15°C reduziert. Dadurch konnten die Laufzeit und die Schalzhäufigkeit der Wärmepumpe deutlich optimiert werden.

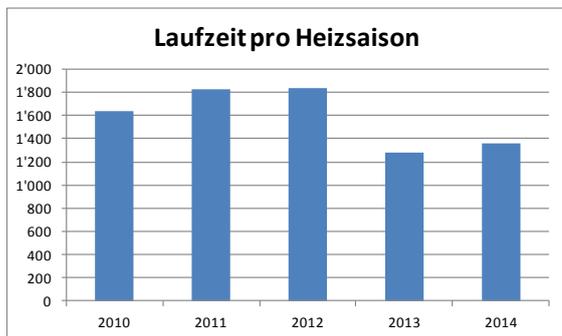


Abb. 34 Laufzeiten je Betriebsjahr

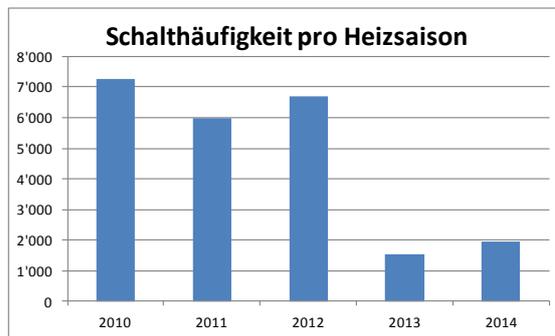


Abb. 35: Schalzhäufigkeit je Betriebsjahr

3.7 Anlage ersetzt mit neuem Wärmepumpensystem

Diese Wärmepumpenanlage mit einem Kombispeicher wurde im Jahr 2014 durch eine neue Anlage ersetzt. Dabei wurde der Kombispeicher durch einen kleinen Seriespeicher im Rücklauf und die gesamte Hydraulik nach heute angewendetem System angepasst. Die neue Wärmepumpe hat eine JAZ von ca. 3.3 im Gegensatz zu früher 2.5.

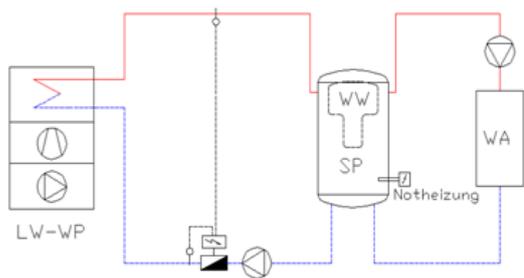


Abb. 36: Hydraulikschema

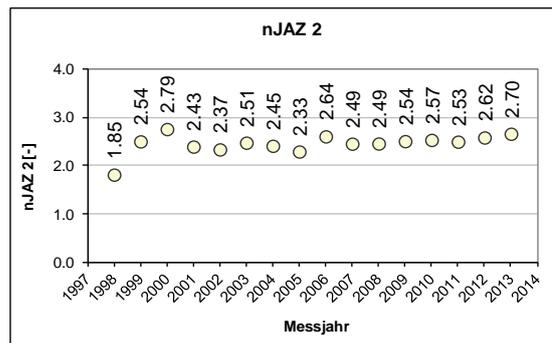


Abb. 37: Verlauf der JAZ über die Jahre

4 Wartung und Reparaturen

Die Erhebung und Auswertung der Wartungs- und Reparaturkosten erfolgte getrennt nach Wartung und Reparatur. Die beiden Kategorien werden wie folgt definiert:

Wartung:	Unter dem Begriff „Wartung“ (auch Service oder Unterhalt genannt) fallen Aufwendungen zur Kontrolle und Einstellung der Wärmepumpe und Steuerungsorgane. Auch der Ersatz von Verschleissteilen (z.B. Nachfüllen von Kältemittel oder Auswechseln von Filtern, Reinigungen etc.) fallen unter diesen Begriff, sofern dies von vorneherein im Wartungskonzept des Herstellers so vorgesehen ist. Serviceverträge fallen ebenfalls unter diese Kategorie.
Reparatur:	Unter den Begriff „Reparatur“ fällt der Ersatz von Komponenten der Wärmepumpe, die ihre Funktion nur noch fehlerhaft oder gar nicht mehr erfüllen.

4.1 Wartung an Kleinwärmepumpen

Die gesamten Betriebskosten für eine Wärmepumpenanlage werden nebst den Energiekosten auch von den Wartungs- und Reparaturkosten beeinflusst. Für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist es wichtig zu wissen, wie hoch dieser Kostenanteil ist.

Bei der Ermittlung der Wartungs- und Energiekosten wurden die Besitzer individuell befragt. Ein Verschicken von Fragebogen hat sich nicht bewährt. Statt dessen musste eine Befragung am Te-

lefon oder vor Ort durchgeführt werden, um Unklarheiten und Widersprüche direkt klären zu können. Die Wartungs- und Reparaturkosten wurden anhand von Belegen (Serviceapporte, Rechnungen, etc.) festgehalten.

Das untersuchte Anlagensample setzt sich wie folgt zusammen:

Wärmequellen (31 EWS, 3 Erdregister, 1 Energiepfähle, 22 Luft und 4 Wasser),

Heizung und Warmwasserbereitung 46 Anlagen und nur für Heizzwecke 15 Anlagen.

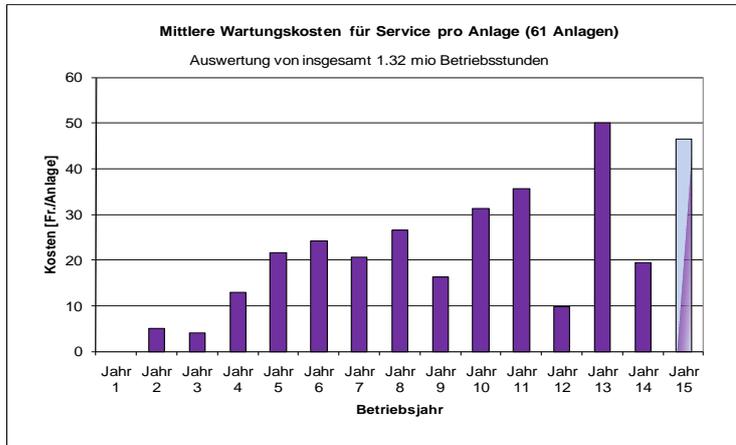


Abb. 38: Mittlere Wartungskosten (Service- und Unterhaltskosten) über die Betriebsjahre der Wärmepumpen.

Es fällt auf, dass in der Garantiezeit (normalerweise 2 Jahre) auch Kosten angefallen sind. Diese betreffen Kosten, die keinen Garantieanspruch haben, wie Fehlbedienungen, etc.

Die Wartungskosten (Service und Unterhalt) sind für Kleinwärmepumpen, die in Serieproduktion hergestellt werden, mit ca. [Fr./a] 21.60 günstig. Dass die ersten Jahre unbedeutend sind, hat mit der Garantiezeit von 2 Jahren und auch Kulanzleistungen zu tun.

4.2 Reparaturen an Kleinwärmepumpen

Es fällt auf, dass die Reparaturkosten unterschiedlich anfallen. Die Jahre mit höheren Kosten stehen im Zusammenhang mit grösseren Reparaturen, wie Kompressorschaden, Wärmetauscherdefekt und in einem Fall ein Brandschaden (Propananlage wegen Elektrodefekt). Die übrigen Reparaturkosten sind auf ganz normale Gegebenheiten verteilt, wie Expansionsventil, Strömungswächter, Regulierung, etc. sowie auch äussere Einflüsse, wie Verschlammung des hydraulischen Systems, Mischventile und Umwälzpumpen.

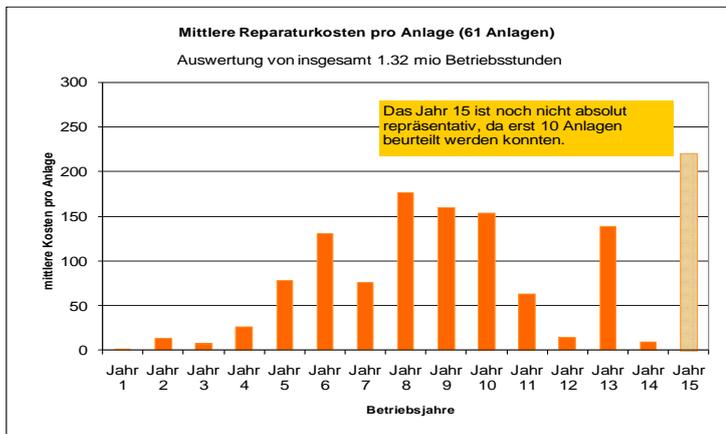


Abb. 39: Mittlere Reparaturkosten über die Betriebsjahre bei total 61 Wärmepumpen ermittelt

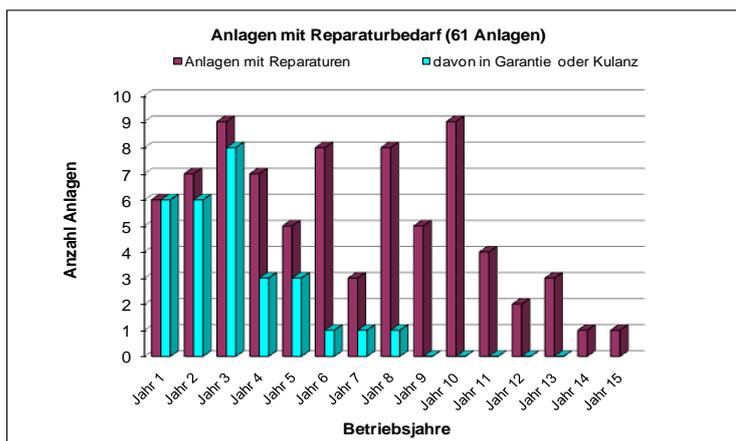


Abb. 40: Anzahl Anlagen mit Reparaturbedarf in Abhängigkeit der Betriebsjahre

Der Mittelwert über alle Reparaturkosten liegt pro Anlage bei 84.40 [Fr./a]. Diese niedrigen Reparaturkosten stellen ein günstiges Resultat dar und beeinflussen die Betriebskostenrechnung für eine Wärmepumpenanlage positiv. Vor allem war nicht festzustellen, dass die Reparaturhäufigkeit mit zunehmendem Alter der Anlagen auch zunimmt. Insgesamt betrachtet, widerspiegelt dieses Resultat die Qualität dieser Kleinwärmepumpen.

In Abb. 41 und 42 sind die Anzahl Anlagen ersichtlich, bei denen kleinere und grössere Reparaturleistungen erbracht werden mussten. In Abb. 40 ist feststellbar, dass vor allem in den ersten drei Jahren die Reparaturen mehrheitlich in Garantie oder tw. auch in Kulanz behoben wurden.

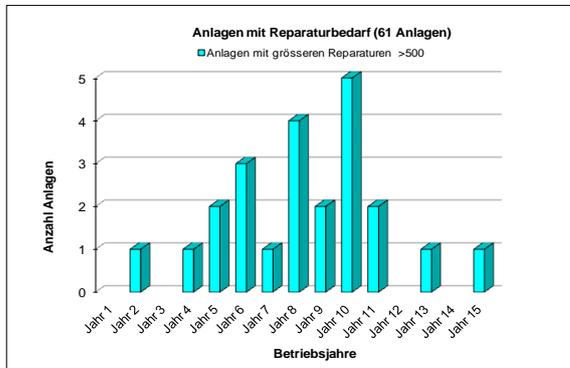


Abb. 41: Anlagen mit >500 [Fr./a] Reparaturkosten

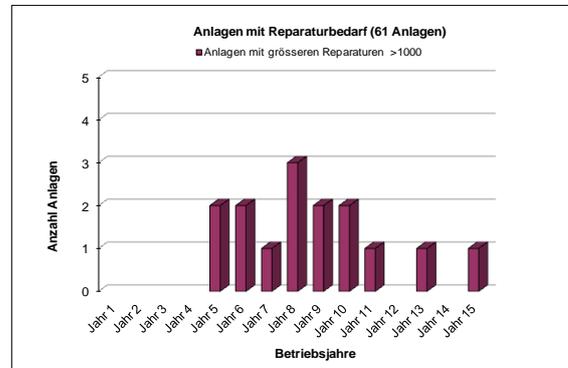


Abb. 42: Anlagen mit >1000 [Fr./a] Reparaturkosten

Aus den Abb. 41 und 42 geht hervor, dass sehr wenig grössere Reparaturen aufgetreten sind. Eine grössere Reparatur kann natürlich trotz dieser guten Aussichten immer vorkommen.

4.3 Gesamte Kosten für Wartung und Reparaturen

Die gesamten Kosten für Wartung und Reparaturen belaufen sich im Mittel über die 15 analysierten Betriebsjahre bei den 61 Anlagen auf total 106.00 [Fr./a]. Dies sind sehr günstige Werte, die für die Qualität der Kleinwärmepumpen sprechen. In den analysierten Kosten sind fünf Kompressoren sowie je ein Brandfall und ein Vereisungsschaden am Verdampfer enthalten. Wenn man diese Unterhaltskosten pro Betriebsstunde berechnet, kommt man für die Wartung auf 1.065 [Rp./h] und für die Reparaturen auf 4.045 [Rp./h]. Diese Analyse basiert auf insgesamt 1.32 Mio. Betriebsstunden.

5 Nationale Zusammenarbeit

Es wurden jährlich Statusberichte abgegeben, um über den Stand und die weiteren Fortschritte zu informieren. Zudem fand ein reger Kontakt mit dem BFE, vertreten durch Frau Rita Kobler statt, den wir hiermit bestens verdanken.

Die guten Kontakte zu der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS sind eine günstige Plattform für die zielgerichtete Weitergabe der Erkenntnisse auf einfachem Wege.

Die Themen wurden über alle möglichen Kanäle von FWS, wie auch bei anderen Gelegenheiten, über Vorträge und Arbeitsgruppentätigkeit, und direkt in der Schulung (FWS Fachpartner mit Zertifikat) weiter verbreitet und aktiv eingebracht.

6 Internationale Zusammenarbeit

Zu den Projektgruppen in Deutschland, wie auch in Österreich bestehen Kontakte. Die Berichte und Veröffentlichungen wurden jeweils gegenseitig verglichen.

Anlässlich von 3 Vorträgen in Österreich (Wärmepumpen-Infotagungen 19.11.2014 in Salzburg und 20.11.14 in Eberstalzell und am 4.12.2014 in Dornbirn), wurden die Erkenntnisse und Erfahrungen vorgetragen.

7 Schlussfolgerung

Die Auswertungen zeigen eine gute Kontinuität und die Qualität der Resultate stimmt. Es konnten wichtige und praktisch umsetzbare Erkenntnisse und Erfahrungen gewonnen werden. Auch die Kostenanalysen für die Wartung und Reparaturen zeigt erfreulich gute Resultate. Diese Erkenntnisse können die positiven Erfolge bei den Wärmepumpenverkäufen noch zusätzlich stützen, da man gerade bei den Wartungskosten (Service und Unterhalt) sehr günstige Werte vorfindet.

Die Resultate sind unterschiedlich. Es gibt Anlagen mit guten bis sehr guten Resultaten, bei denen alle Voraussetzungen erfüllt sind. Betrachtet man die Anlageneffizienz, so könnte man eigentlich ein besseres Resultat erwarten. Waren doch in den Anfangsjahren bis 2000 Steigerungen zu verzeichnen, so findet man in den Folgejahren nicht mal ansatzweise einen Trend zu besseren Jahresarbeitszahlen. Ein Steigerungspotential liegt sicher noch drin. Die Wärmepumpen werden derzeit eher nach Investitionskosten als nach Effizienzsteigerung optimiert. Die weitere Marktzunahme von energiefreundlichen Heizsystemen und die Verknappung von Energie könnten helfen, dass bezüglich Effizienzsteigerung weitere Fortschritte erfolgen.

Hubacher Engineering verdankt dem BFE diesen Auftrag bestens. Hubacher Engineering konnte im Rahmen dieses Projekts wertvolle Arbeit zugunsten der Fachbranche leisten. Diese Feldanalysen erfordern eine grosse Erfahrung und einen steten Einsatz, der durch die wertvolle Mithilfe der Anlagenbesitzer, die regelmässig ihre Daten notiert haben, massgeblich unterstützt wurde. Der Dank geht auch an diese Gruppe, die tw. seit 19 Jahren ihre Daten zur Verfügung stellten.

8 Literaturverzeichnis

- [1] **FAWA-Schlussbericht BFE: Feldanalysen von Wärmepumpenanlagen FAWA, 1996-2003**
Schlussbericht April 2004, Autoren: P. Hubacher, M. Erb, M. Ehrbar.
- [2] **QS-WP/QP: Qualitätssicherung von Klein-Wärmepumpen mittels Norm- und Feldmessungen**, Teilprojekt Langzeitverhalten 2007-2008, Schlussbericht 2008, Autoren: P. Hubacher, Experte M. Ehrbar
- [3] **Verbesserung der Jahresarbeitszahl durch witterungsgeführten Ladekreis**;
Schlussbericht 2008; Autoren P. Hubacher, M. Ehrbar;
- [4] **QS-WP/QP: Fortsetzung des Feldmonitorings von WP-Anlagen mittels Feldmessungen**,
Teilprojekt Langzeitverhalten 2008-2011, Schlussbericht 2011, Autor: P. Hubacher

Engelburg, 25. August 2015

Hubacher Engineering
Peter Hubacher