



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Schlussbericht per 16. September 2014

QS-WP/QP: FORTSETZUNG FELDMONITORING VON WP-ANLAGEN (2011-2013)

Impressum

Datum: 16. September 2014

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:

Nr. SI/400065, Vertrags-Nr. SI/400065-02

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
1.3 Anlagensample	7
1.4 Anlagenevaluation	9
1.5 Datenerhebung	10
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	14
2.3 Analyse der Wärmeproduktion	16
2.4 Analyse des Elektro-Energiekonsums	16
2.5 Effizienzsteigerung - Vergleich der besten Anlagen	16
2.6 Vergleich der JAZ-Werte mit Berechnungen nach WPEsti	17
2.7 Störungsanalyse (Verfügbarkeit von Wärmepumpen)	18
3. Wartung und Reparaturen	19
3.1 Wartung an Kleinwärmepumpen	19
3.2 Reparaturen an Kleinwärmepumpen	20
3.3 Gesamte Kosten für Wartung und Reparaturen	21
4. Nationale Zusammenarbeit	21
5. Internationale Zusammenarbeit	21
6. Schlussfolgerung	22
7. Literaturverzeichnis	22

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 eher überdimensioniert sind, welches sich jedoch auf die Dimensionierung der Erdwärmesonden und 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.

Hingegen zeigt die Störungsanalyse ein sehr gutes Bild. Die mittlere Verfügbarkeit liegt über 99.5% und hält mit Sicherheit jedem anderen Vergleich mit Wärmeergezeugungssystemen 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.

Résumé

Le projet d'analyse in situ de pompes à chaleur se poursuit depuis maintenant 18 ans sur plus de 260 installations soigneusement choisies, équipées et suivies sur le plan technique. Les données sont relevées par les propriétaires et nous sont périodiquement transmises pour analyse. Cette méthodologie simple a permis de constituer et de conserver un échantillon si large sur une durée aussi longue.

Les résultats sont contrastés, de très bons à insuffisant par rapport aux attentes légitimes en regard du bâtiment et des besoins. Les coefficients de performance annuels moyens stagnent, la phase de du début des années 2000 est révolue.

La moyenne des heures de fonctionnement annuelles s'établit à 1'700 heures pour les machines air/eau et 1'900 heure pour les sol/eau. Les règles de l'art et les normes conduisent à 2'000 heures pour le chauffage et 2'300 heures pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. La différence s'explique un léger surdimensionnement des pompes à chaleur. Une conséquence positive constitue le surdimensionnement des sondes géothermiques qui influence positivement l'efficacité et assure la pérennité de la source géothermique. Cependant., il est très important que les heures de sollicitation des sondes géothermiques ne conduise pas à un soutirage excessif d'énergie du sous-sol qui conduirait à un refroidissement du terrain autour de la sonde.

L'analyse de la statistique des pannes est très réjouissante. La disponibilité moyenne est supérieure à 99.5% et tient facilement la comparaison avec d'autres systèmes de chauffage.

Le coûts d'entretien et de réparation ont été saisis et analysés sur 61 installations qui représentent 1.32 millions d'heures de fonctionnement. Les coûts annuels moyens s'élèvent à CHF 21.60 pour l'entretien et CHF 84.40 pour les réparations, soit un total de CHF 106.00 par an en moyenne. Comme il s'agit de petites installations qui contiennent moins de 3kg de réfrigérant, il n'y a pas de contrôle obligatoire d'étanchéité du réfrigérant.

En conclusion, les petites installations de pompe à chaleur atteignent un bon niveau de performances globales. Le présent rapport confirme et renforce les conclusions des différentes analyses in situ menées par le passé (voir références bibliographiques 1 et 2). L'efficacité pourrait être améliorée quelque peu. Par contre, la fiabilité et les coûts d'entretien sont très bons.

Pour mémoire, les analyses in situ remontent à 1995 (voir [1]) ce qui met la Suisse dans une position unique en Europe sur le retour d'expériences de petites pompes à chaleur.

La continuation de ce projet jusqu'au premier cycle de renouvellement des installations revêt une importance particulière car elle constitue la chance unique de suivre des installations sur toute leur durée de vie escomptée. Ainsi, il sera possible de valider la durée de vie réelle et de constater les effets du vieillissement sur les performances, la fiabilité et les coûts. En cas de renouvellement, permettra de constater les améliorations ou changements apportés par une pompe à chaleur remplacée par du neuf. Il en découlera des recommandations importantes pour la rénovation de chauffages.

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 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.

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 18 Jahren Betriebszeit erfasst, analysiert und ausgewertet haben.

Mit der bis heute konsequenten Fortsetzung dieses Projekts ist man in der Lage die 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 heute aktiv im Anlagensample 165.

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.

Erhebung Unterhalts-/Reparaturkosten an 61 Anlagen, für betriebswirtschaftliche Kennzahlen

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 einer Heizleistung von max. 20 kW lanciert. Es wurden keine exotischen Systeme, weder hydraulisch noch regeltechnisch, einbezogen.

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

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 auch davon abhängt, dass auch neu am Markt eingeführte Produkte berücksichtigt werden. Das Projekt wird praktisch überall positiv aufgenommen und unterstützt.

1.2.3 Kontaktaufnahme mit Anlagebesitzern

Es ist nicht immer einfach alle die Messdaten rechtzeitig zu erhalten, um die gemäss Vertrag vereinbarten Analysen samt Resultatpräsentation (Statusbericht, Begleitgruppensitzung und Jahresbericht) durchzuführen. Wir benötigen etwa 10 Ables-Datensätze pro Jahr um eine qualitativ gesicherte und statistisch relevante Auswertung erstellen zu können.

Um die Anlagenbesitzer zu motivieren, damit keine grösseren Ableselücken entstehen, ist ein regelmässiger Kontakt notwendig. Als Gegenleistung hatten die Anlagenbesitzer die Möglichkeit von sich im Zusammenhang mit ihren Anlagen beraten zu lassen. Als Dienstleistung bekamen sie jährlich die Daten als Fingerprint ihrer Anlage samt einer kurzen Beurteilung zugestellt.

1.3 Anlagensample

Die Anlagen, die für die Beurteilung evaluiert werden, sind in den letzten Jahren mehrheitlich im Sanierungsbereich vorzufinden. Im EFH-Neubausektor war es zunehmend schwieriger geeignete Anlagen zu finden. Die Anlagenevaluation ist ohnehin schwieriger geworden, wobei der enorme Preis- aber auch Zeitdruck mit Sicherheit eine Rolle spielt.

Tab. 1: Verzeichnis der neu aufgenommenen Anlagen

	Nr.	Kurzzeichen	Segment	Bau-objekt	Wärmequelle	WW-Bereit	JAZ *	Beginn Dat.erfass.
Anlagenliste 2011	1235	STEFGS03	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	TRIMMIS	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	3.87	20.03.2013
	1256	HEROBE16	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	4.36	31.05.2013
	1257	WILLIR37	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	4.6	01.09.2013
	1258	KOLRINO5	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	3.65	14.10.2013
	1259	WILMAGO4	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	4.38	01.09.2013
	1260	WEIBUR15	Sanierung	EFH	Luft	ja	2.41	29.04.2014
	1261	KOPSCH24	Sanierung	EFH	Luft	ja	2.62	31.08.2013
	1262	ALTOBER04	Sanierung	EFH	Luft	ja	2.72	01.10.2013
	1263	GANGAL12	Sanierung	EFH	Luft	ja	3.45	01.10.2013
	1264	BISHÖH13	Sanierung	EFH	Luft	ja	3.04	21.01.2014

Anmerkung: * Die JAZ der Anlagen 2012 basieren erst auf einem Messjahr

** Die JAZ der Anlagen 2013 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				
				WW-WP (EWS W) *	WW-Bereitigung mit WP	Anlagen im Neubau	Anlagen bei Sanierung	Betriebsjahre seit IBS
1995	7	5	2		1		7	18
1996	7	5	2		4	3	4	17
1997	13	7	6	1	5	8	5	16
1998	10	6	4		6	9	1	15
1999	11	8	3		4	7	4	14
2000	9	5	4	1	5	4	5	13
2001	15	9	6		6	11	4	12
2002	20	10	10		11	13	7	11
2003	20	14	6	1	11	11	9	10
2004	1	1			1		1	9
2005	2	1	1		2		2	8
2006								7
2007								6
2008	10	6	4		6	6	4	5
2009	10	4	6		8	3	7	4
2010	10	6	4	2	8	1	9	3
2011	10	5	5		8	5	5	2
2012	10	5	5		9	2	8	1
2013	10	5	5		10		10	0
Total	175	102	73	5	105	83	92	

Anmerkungen:

* WW-WP (EWS-W) sind Erdwärmesondenanlagen mit Wasserfüllung anstelle Wasser/Glykol-Gemisch

In den Jahren 2004–2005 wurden bereits nur noch einzelne Anlagen aufgenommen 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 bewilligt.

Um die Kontakte zu den Anlagenbesitzern weiterhin aufrecht zu erhalten, hat Hubacher Engineering diese Kontakte in der Zwischenzeit selber gepflegt und aufrecht erhalten (Eigenleistung von Hubacher Engineering). Ansonsten wären diese Kontakte vermutlich alle verloren gegangen.

Das verbleibende Anlagensample wird weiterhin aktiv bearbeitet. Mit den meisten Anlagenbesitzern, die Daten erfassen, hatte man im Verlaufe des letzten Jahres per Mail oder Telefon persönliche Kontakte. Es gab aber auch wieder ein paar Anlagenbesitzer, die nicht mehr weiter ablesen wollen und deshalb aus dem Projekt entlassen werden mussten.

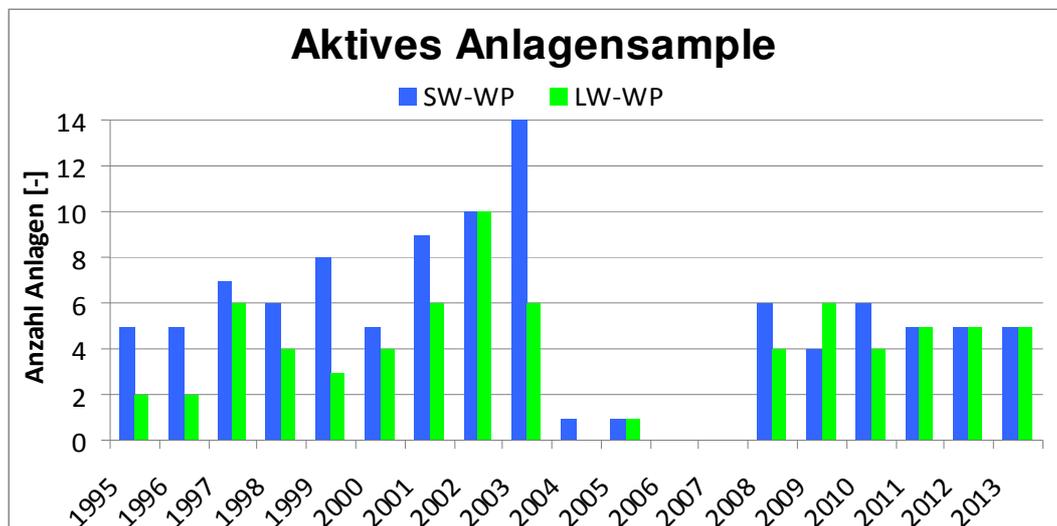


Abb. 1: Anlagensample, das heute noch erfasst und bearbeitet wird

Die Warmwasserbereitung mit Wärmepumpe hat sich in den letzten Jahren weitgehend etabliert. Somit haben die Wärmepumpen mit Warmwasserbereitung im Anlagensample zugenommen.

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 in Zukunft der Schweizer Markt verstärkt im Sanierungssektor Fuss fassen wird, sind wir auch bei der Anlagenauswahl in diese Richtung abgedrückt. Sanierungsanlagen sind eine grössere Herausforderung, da die Randbedingungen weniger optimal sind als im Neubausektor.

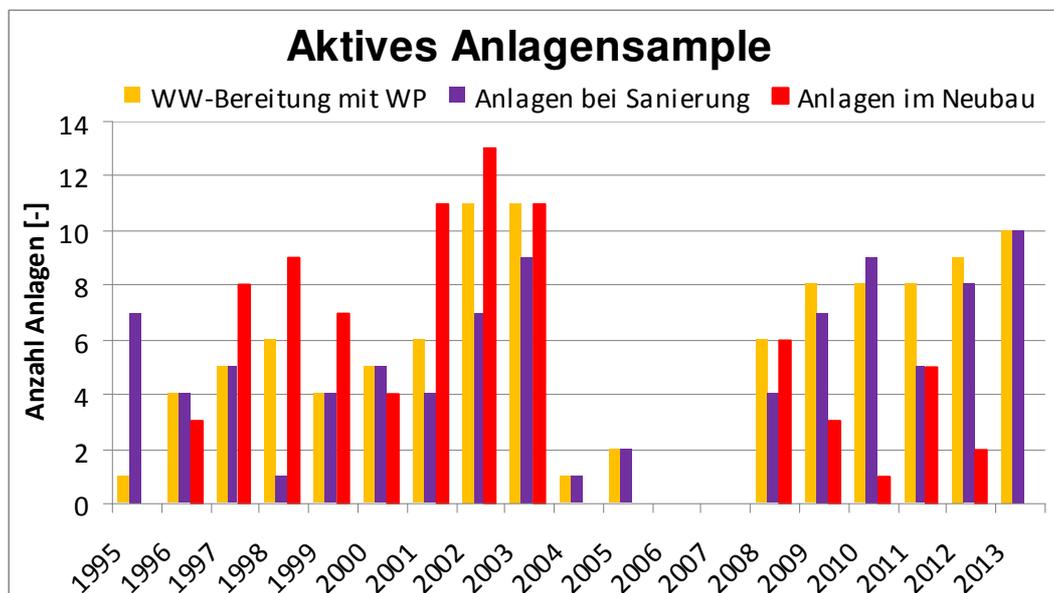


Abb. 2: Anteil Anlagen Neubau/Sanierung und mit Warmwasserbereitung

Die Anlagenevaluation, die aufgrund der bereits beim FAWA-Projekt festgelegten Aufnahmekriterien, erfolgte, ist 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.

Die Wasser/Wasser-Wärmepumpen sind bei Kleinanlagen nicht sehr verbreitet. Aus diesem Grund sind seit 2004 keine Wasser/Wasser-Anlagen mit Grund- oder Oberflächenwasser im Anlagensample (Abb.1) enthalten. Anstelle dessen sind zwecks Vergleichs fünf Anlagen mit Erdwärmesonden, die mit Wasser (ohne Frostschutz) betrieben werden. Zur Frostschutzsicherung bedingt dies längere Erdwärmesonden, um höhere Quellentemperaturen zu erreichen. Diese Anlagen haben deshalb fast alle eine deutlich bessere Effizienz.

1.4 Anlagenevaluation

Um die Ermittlungen statistisch gesichert durchzuführen, ist eine Mindestzahl von Anlagen notwendig. Das heute noch verfügbare Anlagensample besteht immer noch aus 175 Anlagen, aufgeteilt in Luft/Wasser- und Sole/Wasser-Anlagen. Das Anlagensample für die Analyse von Service und Reparaturen besteht aus 61 Anlagen mit unterschiedlichem Alter.

- 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 bekannten Standardschaltungen erstellt, komplizierte oder exotische Hydraulikschaltungen werden nicht berücksichtigt.

1.5 Datenerhebung

Die Messdaten werden entweder auf Messprotokoll per Handskript oder elektronisch auf Excel-datenblatt zugestellt. Nach dem Eingang werden die Daten auf Plausibilität kontrolliert. Kleine Probleme auf den Anlagen, wie der Ausfall von Messinstrumenten, sowie Anlagenprobleme können 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 entsprechend dem Eingang der Datenblätter gestaffelt. Die Analyse und Beurteilung der einzelnen Anlagen erfolgt erst nachdem alle Resultate vorliegen.

- 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.
- Auswertungen der Messdaten und Analyse des gesamten Anlagensamples inkl. Zusammenstellung der aussagekräftigsten Grafiken in einem Bericht.

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

Für die Wartungs- und Reparaturkosten mussten die Besitzer individuell befragt werden. Ein Verschicken von Fragebogen führt hier erfahrungsgemäss nicht weiter. Stattdessen muss eine persönliche Befragung der Anlagenbesitzer durchgeführt werden, um bei Unklarheiten und Widersprüchen direkt nachfragen zu können. Die Wartungs- und Reparaturkosten wurden soweit verfügbar anhand von Belegen, wie Rapporte und Rechnungen nachvollzogen.

Damit die Anlagenbesitzer ihre Ablesungen nicht vergessen und keine grösseren Ableseleücken entstehen, sind jährlich 1-2 Kontakte notwendig.

1.6 Wärmepumpenstatistik

Seit die ersten Feldanalysen durchgeführt und die Jahresarbeitszahlen (JAZ) ermittelt wurden (FAWA- und Folgeprojekte) 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 einfließen.

2 Analyse und Ergebnisse

Damit die Vergleichbarkeit der Anlagenresultate mit dem früheren Projekt FAWA gewährleistet ist, wurden die gleichen Massstäbe und Kriterien angewendet. Bei der Datenanalyse 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 geschieht mit relativ einfachem Verfahren, indem die Regressionsgerade für die ermittelten Arbeitszahlen im Heizbetrieb bei der Aussentemperatur $T_a=3\text{ °C}$ abgelesen wird. 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 ist. Der Vergleich der beiden Auswertungen nJAZ2 und JAZ2 bestätigt dies auch bei diesen neuesten Auswertungen.

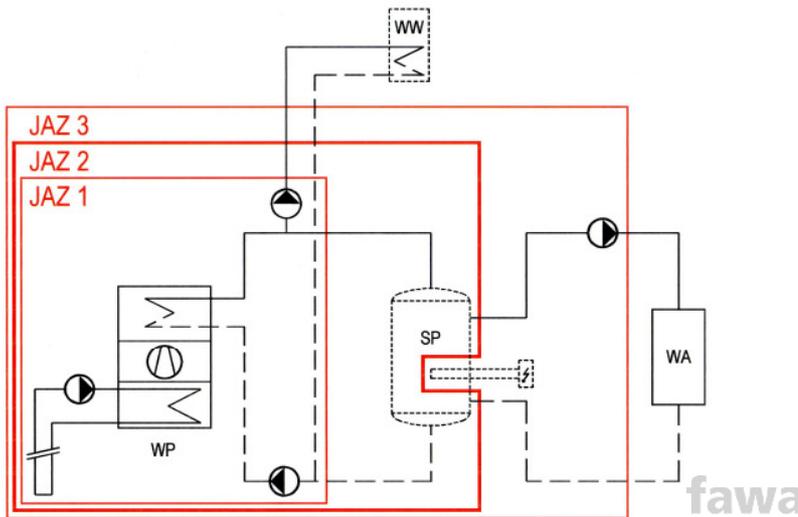


Abb. 3: Systemgrenzen zur Beurteilung, JAZ 1, 2 und 3.

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

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

Die Bilanzgrenze der Jahresarbeitszahlen n_{JAZ2} 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 n_{JAZ2} .

Es gibt 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 genommen.

2.1 Analyse der Jahresarbeitszahlen JAZ

Die JAZ-Werte der 165 Anlagen, die in diesem Sample ausgewertet werden, sind in 2 Hauptgruppen (Sole/Wasser- und Luft/Wasser-Anlagen) aufgeteilt. Einerseits werden die Betriebsjahre und andererseits der Verlauf nach Kalender in die Beurteilung, resp. die graphische Aufzeichnung, aufgenommen.

2.1.1 Vergleich nach Betriebsjahren

Die Veränderungen der n_{JAZ} zwischen dem 1. Betriebsjahr und dem elften Betriebsjahr kaum feststellbar. Ab dem 12. Betriebsjahr stellt man jedoch eine mittlere Reduktion von ca. 6% fest.

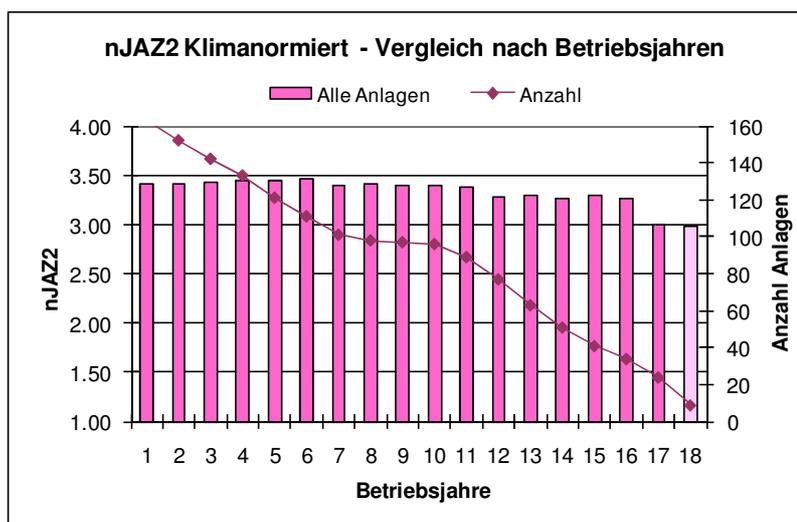


Abb. 4: Zeitreihe des Verlaufs der absoluten Jahresarbeitszahlen ($n_{JAZ2_{abs}}$), nach Betriebsjahren

Eine Erklärung dieser Reduktion konnte bisher nicht gefunden werden. Speziell das 18. Betriebsjahr ist aufgrund der kleineren Anzahl Anlagen noch nicht repräsentativ. Zu erwähnen ist noch, dass genau diese älteren Anlagen im Gegensatz zu den neueren Wärmepumpen vorwiegend Hubkolbenkompressoren haben, bei denen wir aufgrund des grösseren Verschleisses bei den Kolbendichtungen eher eine merkbare Alterung erwarten müssen.

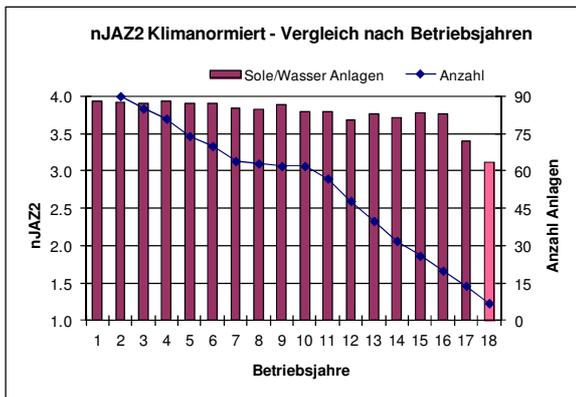


Abb. 5: Zeitreihe Teilsample Sole/Wasser-Anlagen

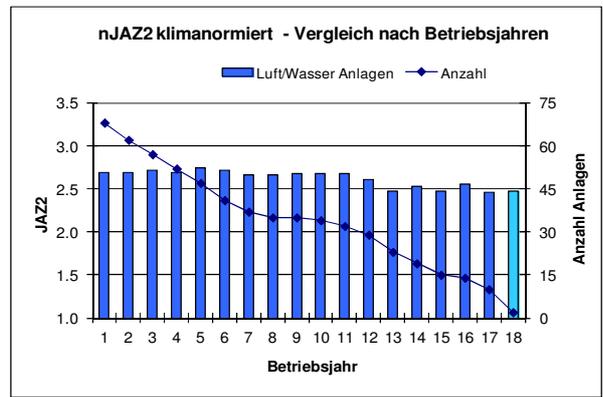


Abb. 6: Zeitreihe Teilsample Luft/Wasser-Anlagen

Wie bereits erwähnt wurde, ist die Normierung der Jahresarbeitszahlen nJAZ2 ein einfaches Verfahren, das einleitend unter diesem Kap. 3 beschrieben ist. Die Grafik mit allen Anlagen, mit der nicht normierten JAZ2, wird zu Vergleichszwecken nachstehend ebenfalls im Bericht aufgenommen.

Tab. 5: nJAZ2-Werte nach Betriebsjahren für die einzelnen Wärmequellenarten

WP-Quelle	Betriebsjahr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Aussenluft	nJAZ2 AUL	2.69	2.69	2.71	2.68	2.74	2.71	2.66	2.66	2.67	2.67	2.67	2.60	2.48	2.52	2.48	2.55	2.46	2.47
	Σ Anlagen	68	62	57	52	47	41	37	35	35	34	32	29	23	19	15	14	10	2
Erdwärmesonden	nJAZ2 EWS	3.92	3.92	3.90	3.92	3.89	3.89	3.83	3.82	3.80	3.79	3.77	3.69	3.76	3.71	3.77	3.76	3.40	3.12
	Σ Anlagen	95	90	85	81	74	70	64	63	62	62	57	48	40	32	26	20	14	7

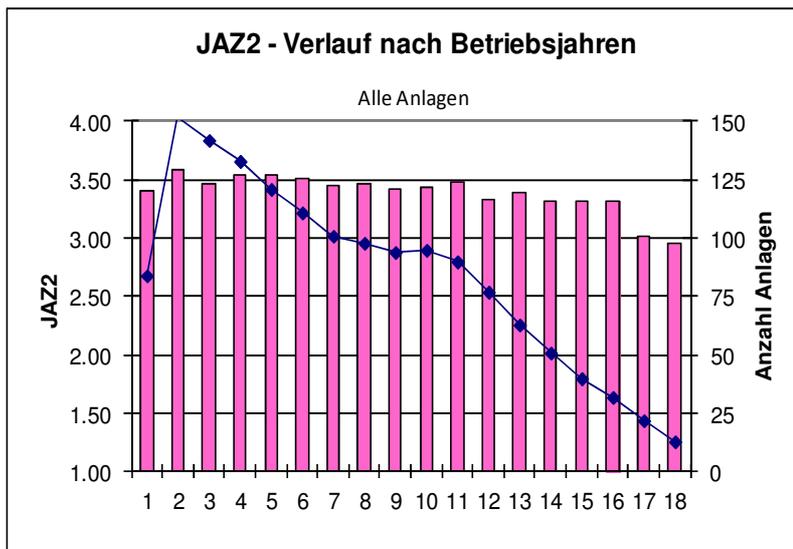


Abb. 7: Zeitreihe der absoluten Jahresarbeitszahlen (JAZ2_{abs}), nach Betriebsjahren

Die Mittelwerte der beiden im Vergleich stehenden Grafiken Abb. 4 und Abb. 7 liegen sehr nahe beieinander. Die mittlere nJAZ2 beträgt $nJAZ2=3.33$ (über 18 Jahre) und die nicht normierte $JAZ2=3.34$ (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 Schweizer Mittelwert 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.

Es wäre sehr erwünscht, dass bei den Kleinwärmepumpen nochmals ein Entwicklungsschub stattfinden kann. Eine kleine Hoffnung stellen die Luft/Wasser-Wärmepumpen mit Leistungsvaria-

tion (Inverter-Wärmepumpen) dar. Leider zeigte sich bei einer ersten Feldanalyse¹, dass die Maschinen noch nicht auf den erwarteten Stand sind und die Effizienz keinen Quantensprung darstellt. Diese Untersuchungen laufen noch weiter. Die Resultate werden mit Spannung erwartet.

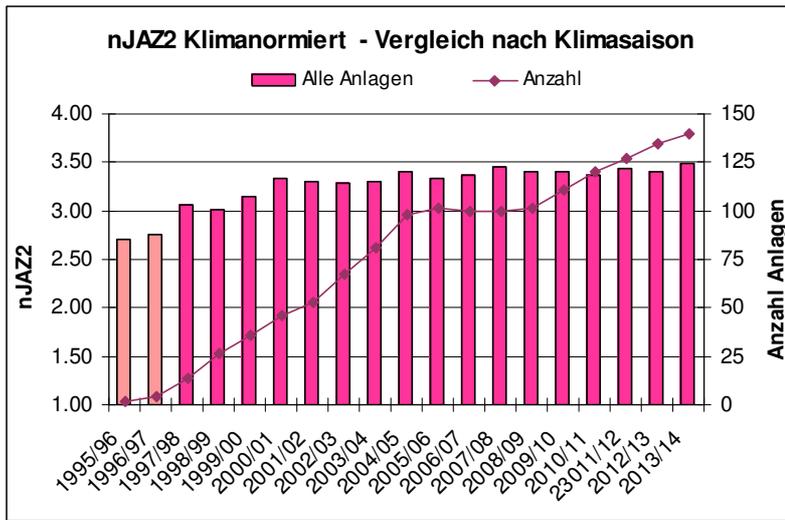


Abb. 8: Zeitreihe der absoluten Jahresarbeitszahlen (nJAZ_{2-abs}), nach Kalenderjahren, Klima normiert

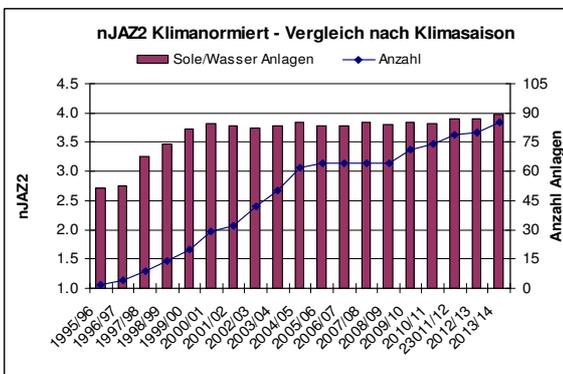


Abb. 9: Zeitreihe Teilsample Sole/Wasser-Anlagen

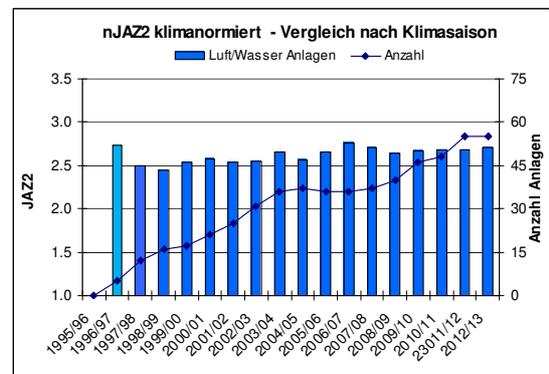


Abb. 10: Zeitreihe Teilsample Luft/Wasser-Anlagen

Mit den Abb. 8-10 nach Kalenderjahren wird die Analyse nach Betriebsjahren verdeutlicht, da man eindeutig feststellen kann, dass die Anlagen der ersten Jahre (1995-1999) eine jährlich steigende Effizienz aufweisen, welches auch im damaligen FAWA-Bericht festgehalten wurde.

2.1.3 Vergleich Neubau und Sanierung

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

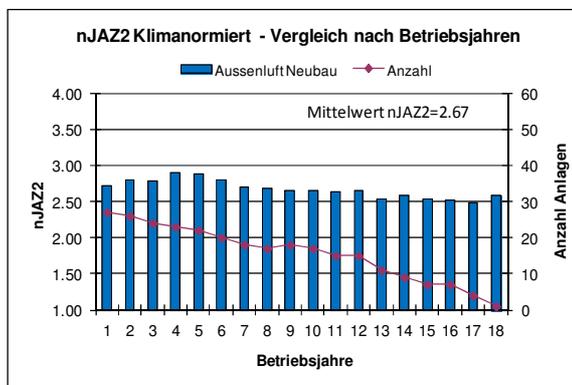


Abb. 10: Zeitreihe Teilsample Aussenluft/Neubau

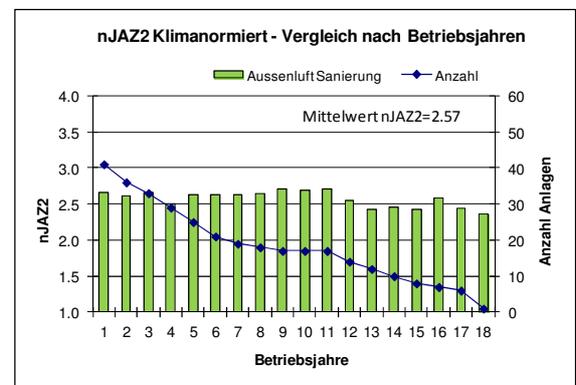


Abb. 11: Zeitreihe Teilsample Aussenluft/Sanierung

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

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

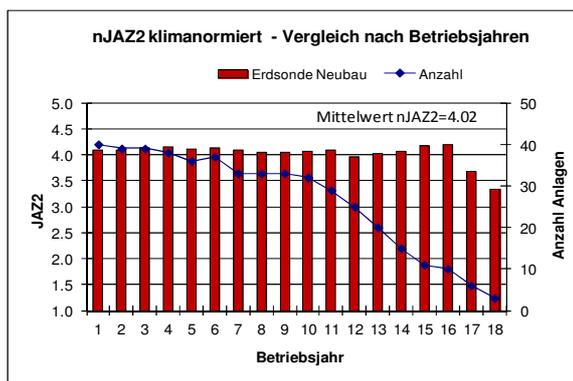


Abb. 12: Zeitreihe Teilsample Aussenluft/Neubau

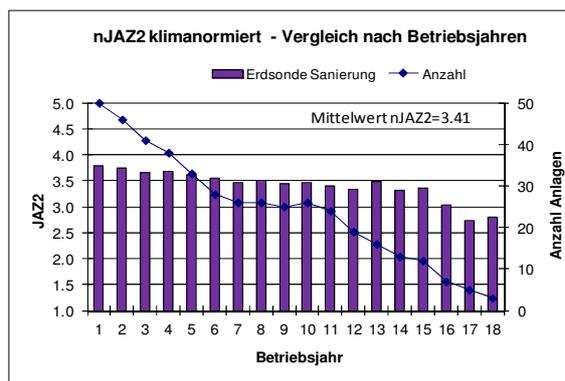


Abb. 13: Zeitreihe Teilsample Aussenluft/Sanierung

2.1.4 Einfluss der Planungstemperatur

Die Heizwassertemperatur für die Raumheizung (Heizkurve) und die dazu notwendige Vorlauf-temperatur ab Kondensator hat einen ganz klaren Einfluss auf die Effizienz von Wärmepumpen. Dabei ist 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. 2%.

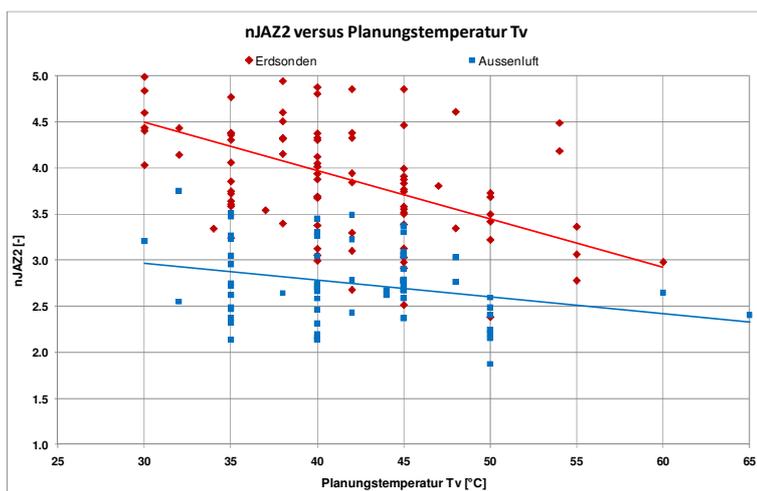


Abb. 14: nJAZ2 versus Planungstemperatur T_v bei LW-WP und SW-WP-Anlagen

2.2 Vergleich der Betriebsstunden

Die Vorgaben für die Bestimmung der Heizleistung sind generell in der BFE Broschüre "Leistungsgarantie Haustechnik" enthalten. Bei Sanierungsprojekten ist die Vollbetriebsstundenzahl gemäss dieser Broschüre eine wichtige Vorgabe für die Dimensionierung der Wärmepumpenheizleistung.

Die Laufzeiten spielen vor allem bei den Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen eine grosse Rolle. Die Dimensionierungsvorgaben für die Wärmequellenanlage mit Erdwärmesonden basieren bei den meisten dieser Anlagen 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. Nun sind in der ab 2009 gültige SIA-Norm 384.1 die Vollbetriebsstundenvorgaben 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 max. Energieentzug in der 2010 erschienenen 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 Dimensionierung nach unterschiedlichen Vorgaben ergibt bei der Berechnung nach der Leistungsgarantie (basierend auf SIA-Norm 384.1) eine kleinere Wärmepumpe und damit auch kürzere Erdwärmesonden. In der Praxis sind die Laufzeiten kaum am oberen Grenzwert vorzufinden.

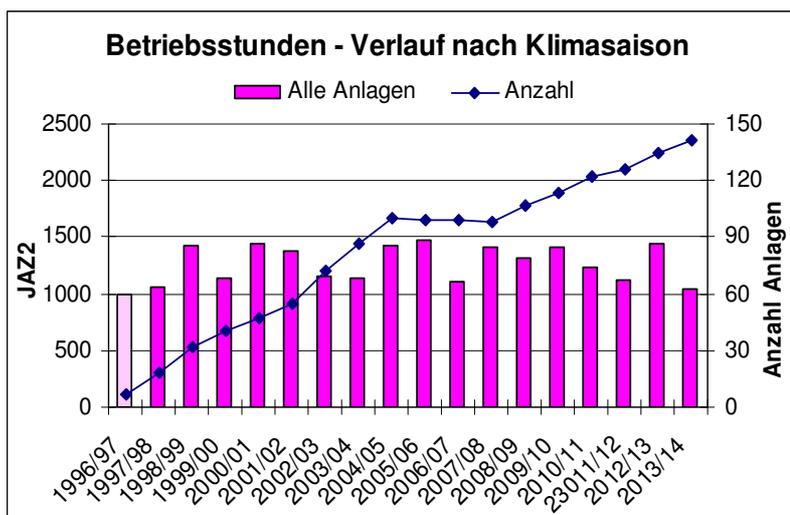


Abb. 11: Zeitreihe Anlagen-Betriebsstunden, nach Kalendersaison

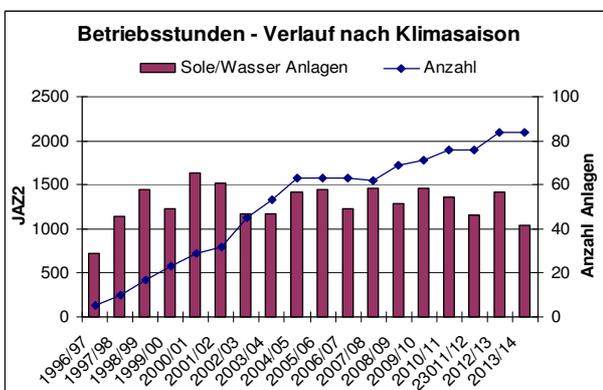


Abb. 12: Zeitreihe Teilsample Sole/Wasser-Anlagen

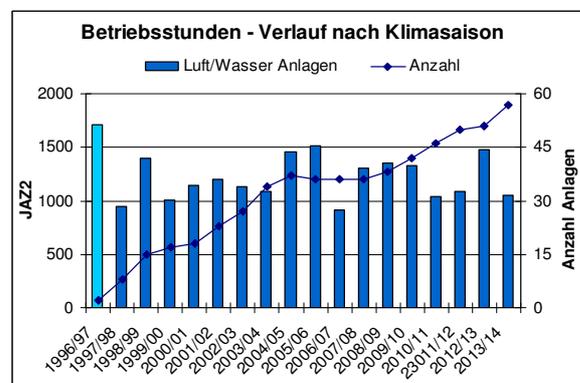


Abb. 13: Zeitreihe Teilsample Luft/Wasser-Anlagen

Tab. 6: Betriebsstunden 1. Stufe nach Klimasaison für die einzelnen Wärmequellenarten

WP-Quelle	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
Aussenluft	Laufzeit [h/a]	2159	1654	1756	1559	1388	1512	1455	1696	1734	1794	1287	1628	1641	1678	1602	1613	1984	1423
	Σ Anlagen	2	8	15	17	18	23	27	34	37	36	36	38	43	46	51	52	58	
Erdwärmesonden	Laufzeit [h/a]	1738	1956	1999	1778	1753	1824	1687	1850	1820	1915	1437	1786	1720	1831	1712	1580	1885	1380
	Σ Anlagen	6	11	18	24	30	33	46	54	64	64	64	70	72	77	77	85	84	

Aus der Abbildung 13 geht klar 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.

Bei den Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen (Abb. 14) sind die Betriebsstunden nicht gleich wichtig. Man kann aus den analysierten Werten entnehmen, dass bei der Dimensionierung die Empfehlungen des BFE eingehalten werden.

Tab. 7: Betriebsstunden 2. Stufe nach Klimasaison für die einzelnen Wärmequellenarten

WP-Quelle	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
Aussenluft	Laufzeit [h/a]		67	266	922	472	686	295	754	572	613	1050	979	180	833	777	42	93	165
	Σ Anlagen		2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3
Erdwärmesonden	Laufzeit [h/a]				342	347	354	345	355	376	359	293	285	263	26	264	268	245	12
	Σ Anlagen				1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Die Auswertung der zweiten Stufe ist nicht sehr relevant, da im analysierten Anlagensample nur 3 Luft/Wasser- und 2 Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen enthalten sind.

2.3 Analyse der Wärmeproduktion

Die mittlere Wärmeproduktion der Wärmepumpenanlagen im analysierten Anlagensample beträgt bei den Sole/Wasseranlagen ca. $Q_a=17'700$ [kWh/a] und bei Luft/Wasseranlagen ca. $Q_a=15'400$ [kWh/a].

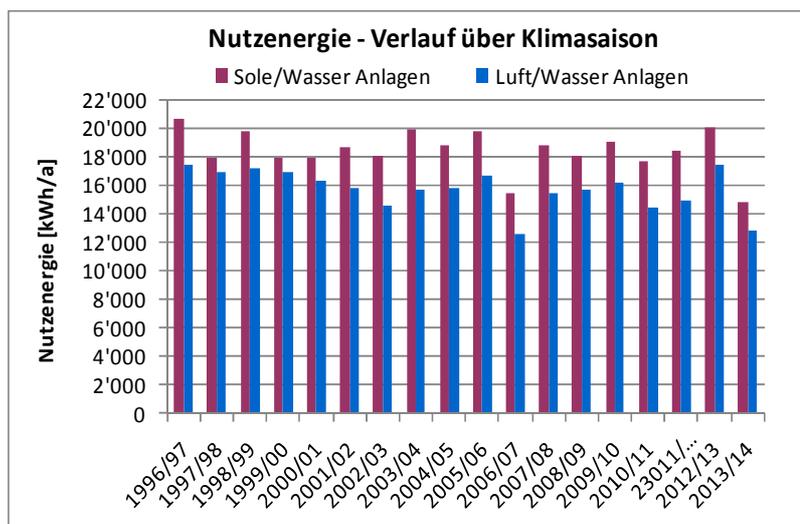


Abb. 14: Zeitreihe mittlere Wärmeproduktion, nach Klimasaison.

2.4 Analyse des Elektro-Energiekonsums

Der mittlere Elektro-Energiekonsum der Wärmepumpen im analysierten Anlagensample (165 Anlagen) beträgt bei den Sole/Wasseranlagen ca. $Q_a=6'000$ [kWh/a] und bei Luft/Wasseranlagen ca. $Q_a=5'600$ [kWh/a]. Dass die Sole/Wasser-Wärmepumpen einen höheren mittleren Stromkonsum benötigen, hängt mit der grösseren Wärmeproduktion zusammen (siehe Abb. 15).

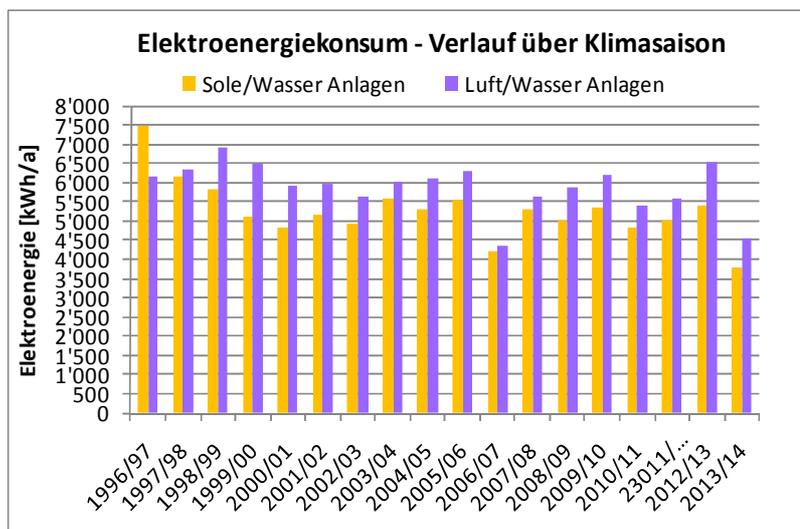


Abb. 15: Zeitreihe mittlerer Elektro-Energiekonsum, nach Klimasaison.

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 werden von 93 Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen bei 15 Anlagen mittlere n_{JAZ} -Werte von über 4.50 und bei den Luft/Wasser-Anlagen von 68 Anlagen bei 5 Anlagen der Wert von 3.5 und mehr erreicht.

Die Bestanlagen zeigen in erster Linie, 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, 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.
- Richtigen 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).

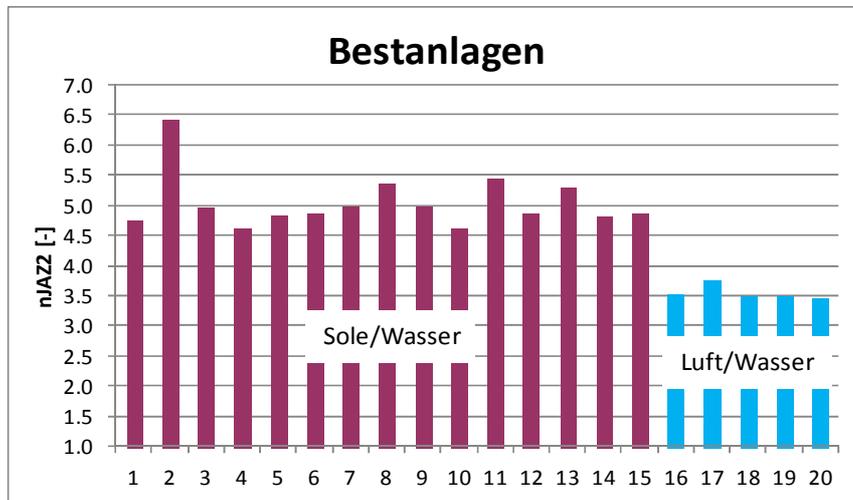


Abb. 16: Bestanlagen mit absoluten Jahresarbeitszahlen ($nJAZ2_{abs}$) bei den SW-Anlagen ≥ 4.50 und LW-Anlagen ≥ 3.50

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 berechnet 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. 8: Mittlere Abweichungen zwischen Realwerten und WPesti-Berechnungen

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

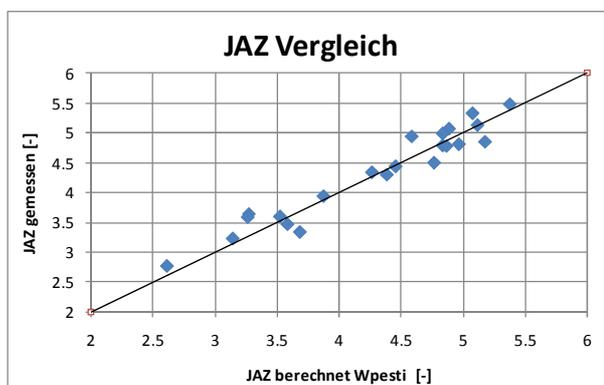


Abb. 17: JAZ Vergleich

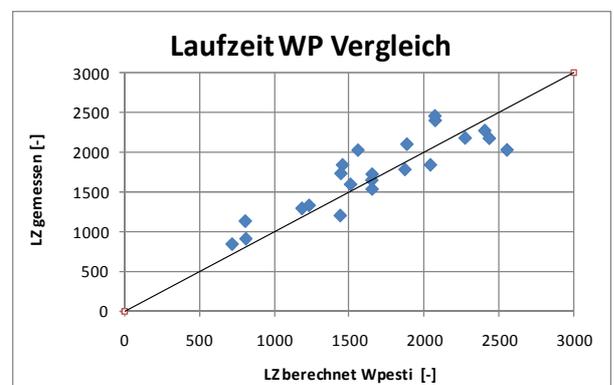


Abb. 18: Laufzeit Vergleich

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

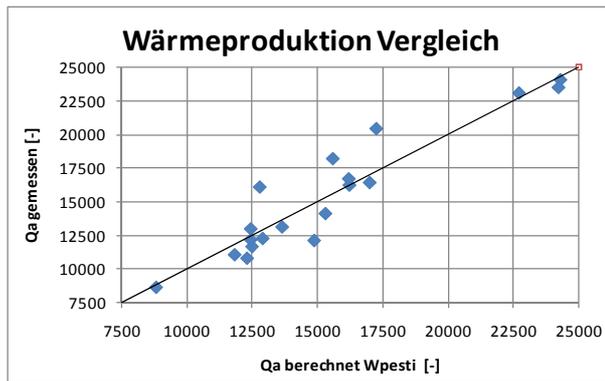


Abb. 19: Wärmeproduktion Vergleich

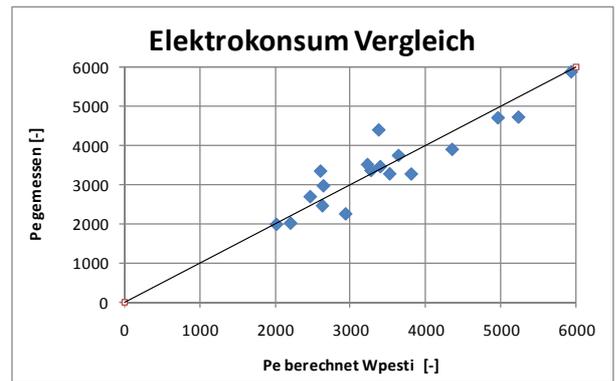


Abb. 20: Elektrokonsum Vergleich

Tab. 9: 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

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.

Für die Vergleichsberechnungen wurden bei diesen Anlagen die realen Werte eingesetzt, wie bspw. bei Erdwärmesonden höhere Soletemperaturen, die aufgrund der langjährigen Anlagenanalysen bekannt waren. Die weiteren Werte für die Verluste von Verteilsystemen, etc. konnten jedoch auch nur nach Systembeurteilung und Schätzwerten integriert werden. Hier besteht noch eine kleine Unsicherheit, die jedoch insgesamt kaum von Bedeutung ist. Es wurden nur Anlagen ausgewählt, die einen stabilen Betriebsverlauf aufweisen und bei den Dateneingaben somit kaum grössere Unsicherheiten entstanden sind.

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.

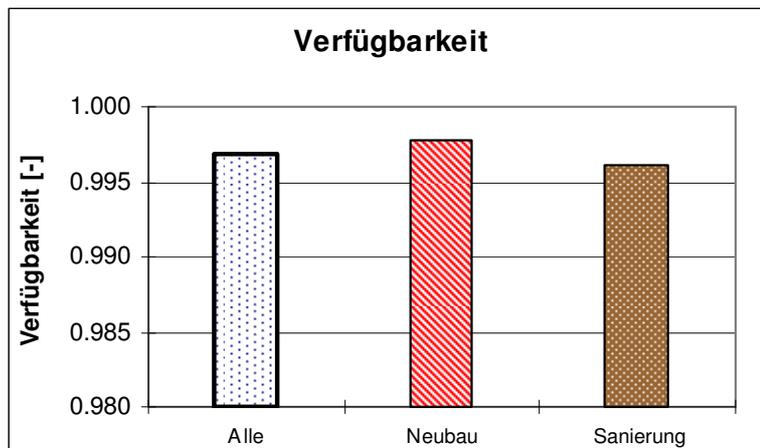


Abb. 18: Verfügbarkeit von Wärmepumpenanlagen insgesamt und für die beiden Hauptgruppen Neubau und Sanierung

Weitere Informationen über Sole/Wasser- und Luft/Wasseranlagen, etc. können der nachstehenden Tabelle entnommen werden.

Tab. 10: Störungsanalyse, aufgeteilt in verschiedene Gruppen

Störung	Alle	Neubau	Sanierung	L/W	S/W
LZ total [h]	2'578'846	1'231'748	1'347'098	932'054	1'508'426
Störung [h]	8'049	2'783	5'266	5'973	1'722
Verfügbarkeit [-]	0.9969	0.9977	0.9961	0.9936	0.9989

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 nur ca. 0.2% Differenz ebenfalls gut da.

3 Wartung und Reparaturen

Die Erhebung und Auswertung der Wartungs- und Reparaturkosten erfolgte getrennt nach Wartung und Reparatur. Die beiden Kategorien werden wir 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 Verschleisssteilen (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.

3.1 Wartung an Kleinwärmepumpen

Die gesamten Betriebskosten für eine Wärmepumpenanlage werden nebst den Energiekosten auch von den Wartungs- und Reparaturkosten beeinflusst. Die Anlagenbesitzer müssen für eine Wärmepumpenanlage etwas mehr investieren als für eine herkömmliche Öl- oder Gasheizungsanlage. Die Wartungskosten haben deshalb bei einer Wärmepumpenanlage einen grösseren Stellenwert. Für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist es wichtig zu wissen, wie hoch dieser Kostenanteil ist. Diese Untersuchung ist für die Beurteilung von Wärmepumpensystemen von grossem Interesse und kann auch für die Imagewerbung direkt verwendet werden.

Bei der Ermittlung der Wartungs- und Energiekosten werden die Besitzer individuell befragt. Ein Verschicken von Fragebogen hat sich nicht bewährt. Statt dessen muss eine Befragung am Telefon oder vor Ort durchgeführt werden, um Unklarheiten und Widersprüche direkt klären zu können. Die Wartungs- und Reparaturkosten werden anhand von Belegen (Serviceapporte, Rechnungen, etc.) festgehalten. Diese Analysen wurden in einem früheren BFE-Projekt mit einem Anlagensample von 50 Anlagen begonnen. Mittlerweile sind 61 Anlagen in diesem Sample.

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.

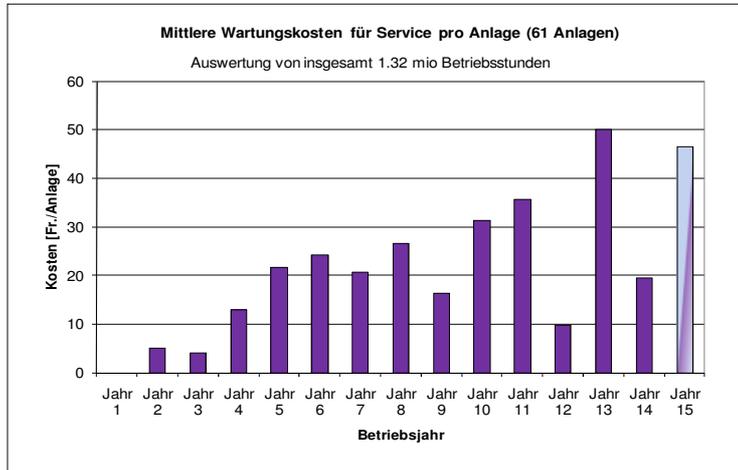


Abb. 19: Mittlere Wartungskosten (Service- und Unterhaltskosten) über die Betriebsjahre der Wärmepumpen. Es fällt auf, dass in der Garantiezeit (normalerweise 2 Jahre) auch Kosten angefallen sind. Diese betreffen Kosten, die keinen Garantieanspruch haben, wie Fehlbedienungen, etc.

Die Wartungskosten (Service und Unterhalt) sind für Kleinwärmepumpen, die in Serieproduktion hergestellt werden, mit ca. [Fr./a] 21.60 günstig. Dass die ersten Jahre fast wegfallen, hat mit der Garantiezeit von 2 Jahren und auch Kulanzleistungen zu tun. Die leicht ansteigenden Kosten stehen im Zusammenhang mit vermehrten Servicegängen für Kontrollen und kleine Störungsbehebungen an den Anlagen.

3.2 Reparaturen an Kleinwärmepumpen

Die Reparaturkosten sind über die 15 analysierten Betriebsjahre bei den 61 Anlagen sehr unterschiedlich angefallen. Vor allem war nicht festzustellen, dass die Reparaturhäufigkeit mit zunehmendem Alter der Anlagen auch zunimmt. Insgesamt betrachtet, widerspiegelt dieses Resultat die Qualität dieser Kleinwärmepumpen.

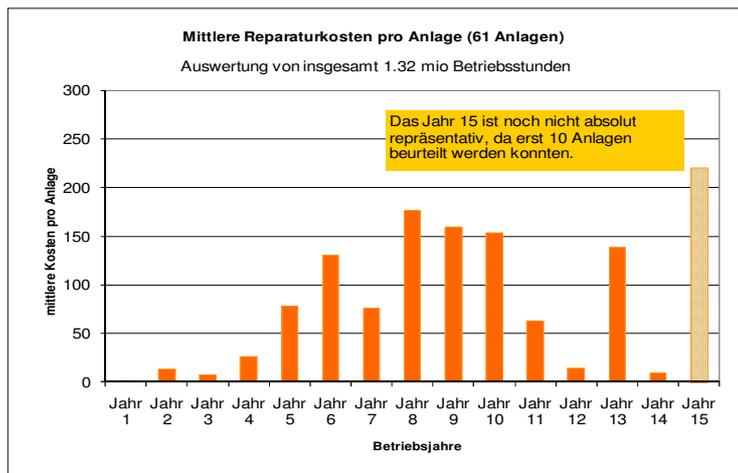


Abb. 20: Mittlere Reparaturkosten über die Betriebsjahre bei total 61 Wärmepumpen ermittelt

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. 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.

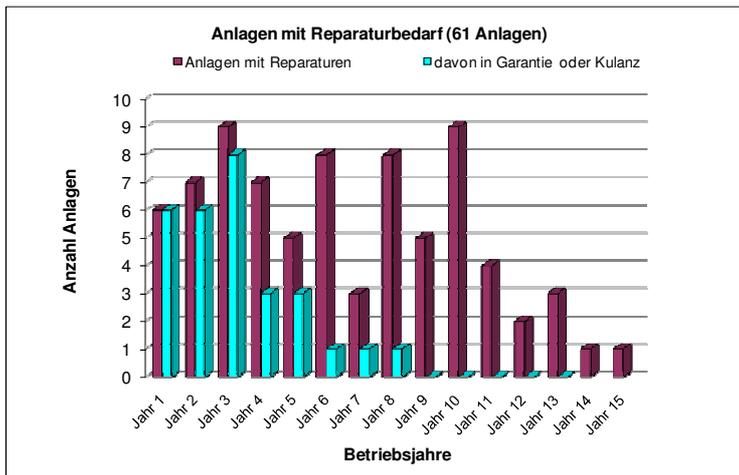


Abb. 21: Anzahl Anlagen mit Reparaturbedarf in Abhängigkeit der Betriebsjahre

In Abb. 21 sind die Anzahl Anlagen ersichtlich, bei denen kleinere und grössere Reparaturleistungen erbracht werden mussten. Deutlich ist feststellbar, dass vor allem in den ersten drei Jahren die Reparaturen mehrheitlich in Garantie oder tw. auch in Kulanz behoben wurden.

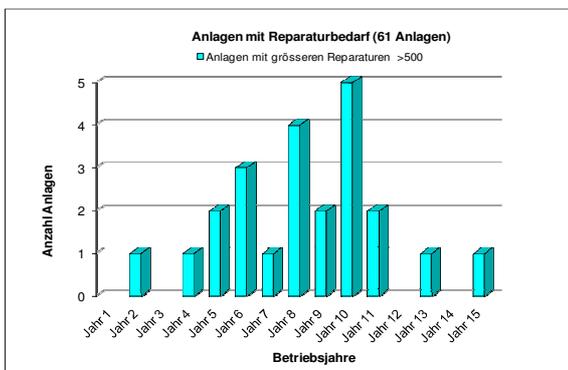


Abb. 22: Anlagen mit >500.00 [Fr./a] Reparaturkosten

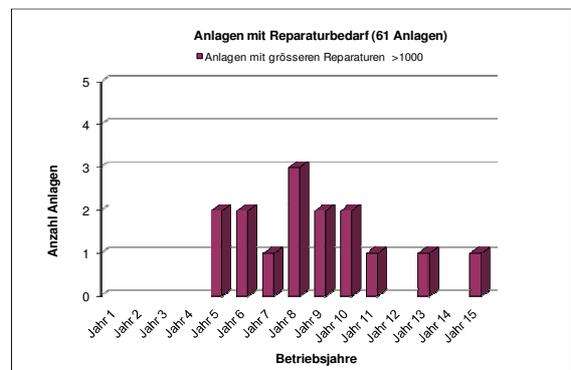


Abb. 23: Anlagen mit >1000.00 [Fr./a] Reparaturkosten

Aus den Abb. 22 und 23 ist ersichtlich, dass sehr wenig grössere Reparaturen aufgetreten sind. Eine grössere Reparatur kann natürlich trotz dieser guten Aussichten immer vorkommen.

3.3 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.

4 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. Fließen doch die Erkenntnisse direkt in die Schulungsunterlagen ein.

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

5 Internationale Zusammenarbeit

Weiter waren keine offiziellen internationalen Kontakte vorgesehen. Zu den Projektgruppen in Deutschland, wie auch in Österreich bestehen Kontakte und die Berichte und Veröffentlichungen werden gegenseitig verglichen.

6 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 den Auftrag bestens. Hubacher Engineering konnte im Rahmen dieses BFE Projekts wertvolle Arbeit zugunsten der Fachbranche leisten. Diese Feldanalysen erfordern eine grosse Erfahrung und einen steten Einsatz, der durch die wertvolle Hilfe 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 stellen.

7 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, 16. November 2014

Hubacher Engineering
Peter Hubacher