



Schlussbericht

Mai 2012

QS-WP/QP: FORTSETZUNG DES FELD- MONITORINGS VON WP-ANLAGEN MITTELS FELDMESSUNGEN, ANALYSE DES LANG- ZEITVERHALTENS UND BESTIMMUNG DER EFFIZIENZ FÜR DAS MODELL DER WÄRME- PUMPENSTATISTIK FÜR DIE JAHRE 2008 BIS 2011

Impressum

Datum: Mai 2012

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Wärmepumpen, WKK, Kälte
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

Hubacher Engineering
Tannenbergstrasse 2
9032 Engelburg



Autoren:

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

Projektnummer: 102590

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

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

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	4
Abstract	4
1. Projektziele	5
2. Vorgehen/Methodik	5
2.1 Anlagenverzeichnis und Aufteilung	5
2.2 Anlagenevaluation	8
2.3 Datenerhebung	8
2.4 Wärmepumpenstatistik	9
3. Analyse und Ergebnisse	9
3.1 Analyse der Jahresarbeitszahlen JAZ	10
3.1.1 Vergleich nach Betriebsjahren	10
3.1.2 Vergleich nach Kalenderjahren	11
3.2 Analyse der Betriebsstunden	12
3.3 Analyse der Wärmeproduktion	13
3.4 Analyse des Elektro-Energiekonsums	14
3.5 Einfluss des Kältemittels auf die Effizienz	14
3.6 Einfluss der Anlagenstandorthöhe bei Luft/Wasser-Wärmepumpen	15
3.7 Störungsanalyse (Verfügbarkeit von Wärmepumpen)	15
4. Wartung und Reparaturen	16
4.1 Wartung an Wärmepumpen	16
4.2 Reparaturen an Wärmepumpen	17
4.3 Gesamte Kosten für Wartung und Reparaturen	18
5. Nationale Zusammenarbeit	18
6. Internationale Zusammenarbeit	18
7. Schlussfolgerung	19
8. Literaturverzeichnis	19

Zusammenfassung

Das Langzeitprojekt "Feldanalysen an Kleinwärmepumpen" wird nun seit 15 Jahren konsequent betrieben. In dieser Zeit wurde mehr als 250 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. 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. Es gibt auch Anlagen mit guten bis sehr guten Resultaten, bei denen alle Voraussetzungen erfüllt sind.

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 mit ca. 1700 Stunden bei LW-WP und 1900 Stunden bei SW-WP im Rahmen der Vorgabe von 2000–2300 Stunden pro Jahr, ohne oder mit Warmwasserbereitung. Es ist wichtig, dass diese Betriebsstunden bei den Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen stimmen, 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 Wärmeerzeugungssystemen stand. Die logische Konsequenz ist dann auch die Analyse 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.

Aufgrund dieser Forschungsarbeit darf die Aussage gemacht werden, dass Kleinwärmepumpenanlagen insgesamt sehr gut dastehen. Die Effizienz ist zwar vernünftig, hat jedoch Verbesserungspotential und die Betriebssicherheit, sowie die Betriebskosten zeigen ein sehr gutes Bild.

Die Fortsetzung dieser 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.

1 Projektziele

Die Zielsetzung orientieren sich an der Qualitätssicherungsstrategie von BFE und FWS¹. Dieses Projekt ist in einer Nische angesiedelt, die von grosser Wichtigkeit geprägt ist. Es müssen im Rahmen der weiteren Vertrauensbildung auf allen Ebenen Informationen und Erkenntnisse über das Langzeitverhalten und den Wartungs- und Unterhaltsaufwand erhoben und nach aussen kommuniziert werden.

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 neuerdings auch in England) aufgegriffen worden. Wir haben in der Schweiz mit diesem Projekt einen riesengrossen Vorsprung, da wir als einzige Resultate bis zu 15 Jahren Betrieb erfasst und analysiert haben. Dieses Projekt ist ein Folgeprojekt der 1995 begonnenen Feldanalyse im Rahmen des FAWA-Projekts²

Mit der konsequenten Fortsetzung dieses Projekts sind wir in der Lage die bisher erfolgreich ermittelten Erhebungen und deren Erkenntnisse bezüglich Alterung und Verfügbarkeit als Langzeiterfahrungen zu kommunizieren. Es gibt weltweit nirgends eine solche Langzeit-Feldstudie mit derart umfangreichen Resultaten:

- Datenaufnahme beim bisherigen Anlagensample von 165 Anlagen.
- Jährliche Neuaufnahme von 10 Wärmepumpenanlagen zwecks Feststellung „Stand der Technik“ und Vergleich mit den älteren Anlagen
- Datenerhebung zwecks JAZ-Bestimmung zuhanden der Wärmepumpen- und der Gesamtenergiestatistik des BFE zwecks Ermittlung von effektiv gemessenen Werten.
- Langzeitbeobachtung zwecks Alterung: Ermittlung der jährlichen JAZ-Werte und Vergleich mit den bisherigen Werten
- Verfügbarkeit (Störungsanalyse): Ermittlung und Vergleich der jährlichen Betriebswerte mit den bisherigen Werten
- Die Erhebung von Unterhalts- und Reparaturkosten an einem statistisch relevanten Anlagensample von 61 Wärmepumpenanlagen (aus dem Sample von 165 Anlagen) zwecks Aufarbeitung von betriebswirtschaftlichen Kennzahlen. Hier fehlten bisher Langzeitaussagen, die sehr wertvoll sind und im Markt auch gesucht werden.

2 Vorgehen/Methodik

Das Langzeitprojekt läuft seit 15 Jahren und insgesamt wurden in diesen Jahren 250 Anlagen besucht, instrumentiert und der technische Status der Anlagen aufgenommen. Im Laufe der Jahre sind über 40% der Anlagen aus verschiedenen Gründen weggefallen oder aufgegeben worden. In die Analyse wurden jedes Jahr 10 neue Anlagen in das Anlagensample aufgenommen (Ta. 1–3). Damit ist es möglich allfällige Unterschiede und auch technische Differenzen, resp. Fortschritte zu erkennen.

2.1 Anlagenverzeichnis und Aufteilung

Tab. 1: Verzeichnis der neu aufgenommenen Anlagen im Jahr 2008

Nr.	Kurzzeichen	Segment	Bauobjekt	Wärmequelle	WW-Bereit.	JAZ	Beginn Dat. erfass.	Fabrikat
1205	SENDOR14	Neubau	EFH	Aussenluft	ja	2.43	Okt 08	Alpha Innotec
1206	STEHOU43	Neubau	EFH	Erdsonde	ja	5.23	Nov 08	Weider
1207	GOSFLO15	Neubau	EFH	Erdsonde	ja	3.92	Nov 08	CTA
1208	ZEIHOC20	Sanierung	EFH	Aussenluft	nein	2.40	Dez 08	Six Madun
1209	MÜHIMH00 *	Neubau	EFH	Aussenluft	ja	2.88	Jan 09	Hoval
1210	ABTMÜH06	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	3.79	Nov 08	ElcoTherm
1211	RUSMUS11	Sanierung	EFH	Erdsonde	nein	3.54	Nov 08	CTC-Giersch
1212	HERBUR03	Neubau	EFH	Aussenluft	nein	3.33	Apr 09	Six Madun
1213	INSBUR22	Neubau	EFH	Erdsonde	ja	3.22	Okt 08	CTA
1214	BRÜOBM00	Neubau	EFH	Erdsonde	nein	4.05	Feb 09	Waterkotte

¹ Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS, Steinerstrasse 37, 3006 Bern, www.fws.ch

² FAWA-Feldanalyse an Kleinwärmepumpen, ein BFE-Projekt, Schlussbericht 2004

Eine Anlage (*) aus dem Sample 2008 (Tab. 1) entspricht nicht den Anforderungen, da die Anlagenbesitzer die Messdaten nicht zuverlässig aufnimmt. Das verbleibende Anlagensample wurde weiterhin aktiv bearbeitet. Mit den meisten Anlagenbesitzern, die weiterhin Daten ablesen, hatte man im Verlaufe des letzten Jahres per Mail oder Telefon persönliche Kontakte. Es gab auch ein paar Anlagenbesitzer, die nicht mehr weiter ablesen wollen und deshalb aus dem Projekt entlassen werden mussten.

Tab. 2: Verzeichnis der neu aufgenommenen Anlagen im Jahr 2009

Nr.	Kurzzeichen	Segment	Bauobjekt	Wärmequelle	WW-Bereit.	JAZ	Beginn Dat.erfass.	Fabrikat
1215	WALLEI01	Sanierung	EFH	Aussenluft	nein	3.30**	Feb 10	Hoval
1216	ROSOBE08	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	3.56	Sep 09	Alpha Innotec
1217	NIEHAM25	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja	2.14	Nov 09	Vaillant
1218	MURMÜH04	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja	2.28	Okt 09	CTA
1219	ETTBÜH28	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	4.37	Sep 09	Wieder
1220	MUOGRO26	Neubau	EFH	Aussenluft	ja	2.96	Dez 09	Siemens
1221	OBEAMS09	Neubau	EFH	Aussenluft	nein	2.80	Dez 09	Oertli/Bartl
1222	STGHÜT29	Neubau	EFH	Aussenluft	ja	3.64	Feb 10	Viessmann
1223	ERLALL11	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	4.49	Dez 09	Störi Mantel
1224	BRUSAN02	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja	3.83	Dez 09	Heliotherm

Tab. 3: Verzeichnis der neu aufgenommenen Anlagen im Jahr 2010

Nr.	Kurzzeichen	Segment	Bauobjekt	Wärmequelle	WW-Bereit.	JAZ **	Beginn Dat.erfass.	Fabrikat
1225	SARBAH58	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja	1.83	Apr 10	Krüeger
1226	WITBET17	Neubau	EFH	Erdsonde-W	ja	5.23	Jun 10	CTA
1227	RONAU10	Sanierung	EFH	Erdsonde-W	ja	4.62	Apr 10	CTA
1228	GRÜBÖS35	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja	Zu wenig Messdaten für JAZ-Bestimmung	Okt 10	Striegatherm
1229	GRAAMA23	Sanierung	EFH	Erdsonde	nein		Sep 10	Kibernetik
1230	MATALT28	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja		Dez 10	Weider
1231	WILALT20	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja		Jan 10	AlphaInnotec
1232	GÜMRÜT08	Sanierung	EFH	Erdsonde	ja		Jun 11	CTA
1233	AAROBEL13	Sanierung	EFH	Aussenluft	ja		Jan 11	Stiebel Eltron
1234	THABUE09	Sanierung	EFH	Aussenluft	nein		Dez 10	Elco

Die JAZ-Werte (**) sind tw. noch auf ein Jahr hochgerechnet worden. Es ist deshalb möglich, dass per 2010 noch kleine Veränderungen feststellbar werden.

Tab. 4: Gesamt-Anlagensample, die für die Analyse zur Verfügung stehen

Jahr der Inbetriebnahme	Gesamtanzahl Anlagen in Betrieb	SW-WP		LW-WP	WW-WP	Warmwasser-Bereitung mit WP	Anteil Sanierungsanlagen	Betriebsjahre seit Inbetriebsetzung
		mit Sole	mit Wasser					
1995	12	8		4		7	12	15
1996	8	5		2	1	5	4	14
1997	13	5		7	1	10	6	13
1998	10	6		4		6		12
1999	12	9		3		7	6	11
2000	9	5		3	1	4	4	10
2001	20	11		9		8	6	9
2002	21	10		11		16	6	8
2003	25	17	1	7		13	12	7
2004	1	1				1	1	6
2005	4	3		1		4	3	5
2006								4
2007								3
2008	10	6		4		6	3	2
2009	10	4		6		8	6	1
2010	10	4	2	4		10	8	
Total	165	94	3	65	3	105	77	

Anmerkung: In den Jahren 2006 und 2007 wurden keine Anlagen mehr aufgenommen. Die konsequente Fortführung dieser Feldstudie wurde erst im Verlaufe des Jahres 2007 zwischen Hubacher Engineering und dem BFE diskutiert und neu aufgegriffen.

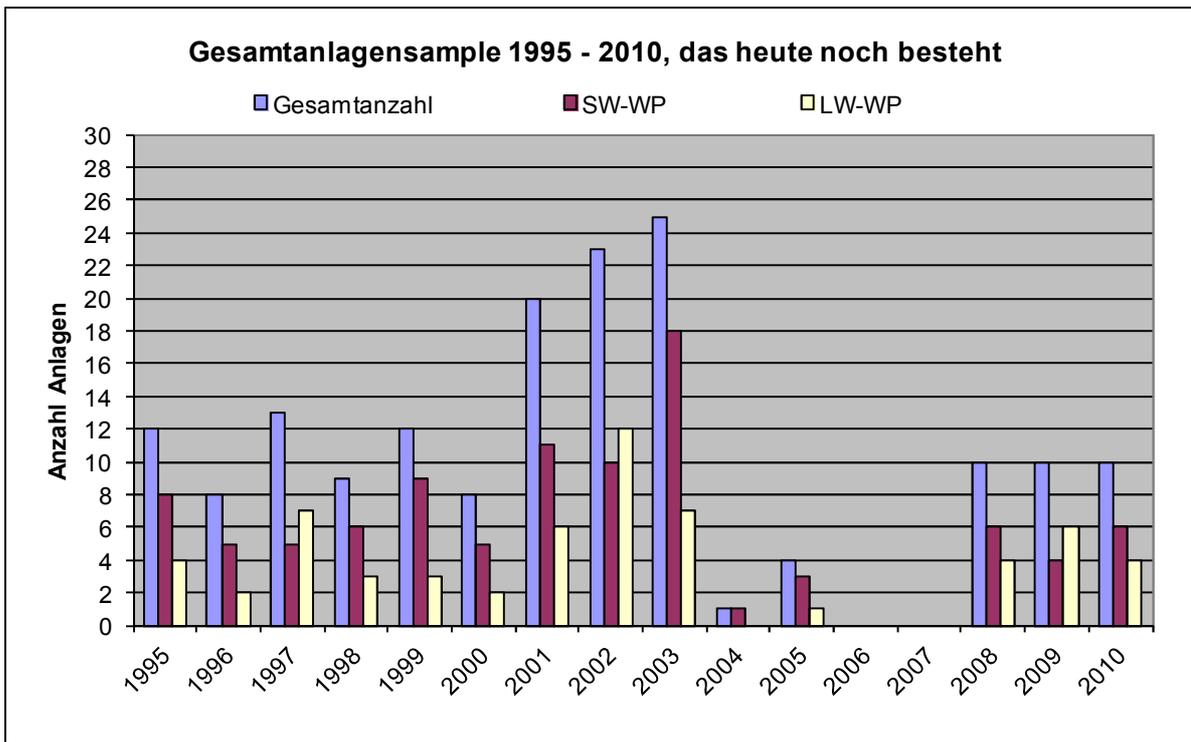


Abb. 1: Anlagensample, das heute noch erfasst und bearbeitet wird

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 vier Anlagen mit Erdwärmesonden, die mit Wasser (ohne Soleanteil) betrieben werden. Zur Frostschutzsicherung bedingt dies längere Erdwärmesonden, um höhere Quellentemperaturen zu erreichen. Diese Anlagen haben deshalb fast alle eine deutlich bessere Effizienz.

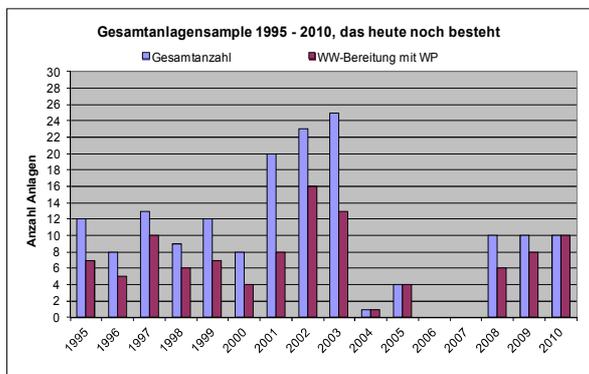


Abb. 2: Anteil Anlagen mit Warmwasserbereitung

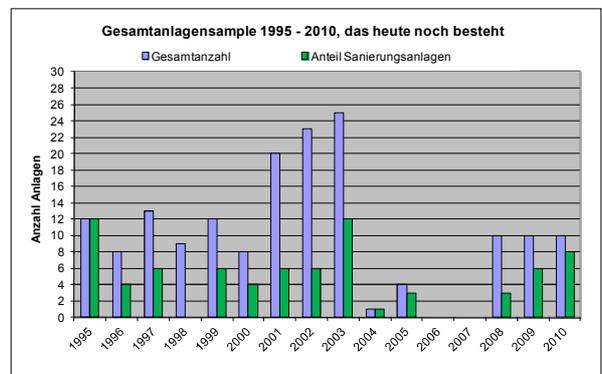


Abb. 3: Anteil Anlagen im Sanierungsbereich

Die Anlagenevaluation, die aufgrund der bereits beim FAWA-Projekt festgelegten Aufnahmekriterien, erfolgte, ist mit recht grossem Aufwand verbunden. So wird darauf geachtet, dass Anlagen mit Warmwasserbereitung (Abb. 2) und der Anteil Sanierungen und Neubauten (Abb. 3) ausgewogen sind. 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.

2.2 Anlagenevaluation

Um die Ermittlungen statistisch gesichert durchzuführen, ist eine Minimalzahl von Anlagen notwendig. Das heute noch verfügbare Anlagensample, inkl. die 30 neuen Anlagen aus diesem Projekt (Jahre 2008, 2008 und 2010) und diejenigen Anlagen aus den auslaufenden Verpflichtungen, besteht immer noch aus 165 Anlagen, aufgeteilt in Luft/Wasser- und Sole/Wasser- und einzelne Wasser/Wasser-

Anlagen. Das Anlagensample für die Analyse der Langzeituntersuchungen bezüglich Service und Reparaturen besteht aus 61 Anlagen mit unterschiedlichem Alter von fünf bis über zwölf Jahren.

Die Evaluation von je 10 neuen Anlagen in den Jahren 2008 bis 2010 erfolgte analog den damals bei FAWA aufgestellten Kriterien:

- a. **Thermische Leistung:** Die Wärmepumpenanlagen sollten eine thermische Leistung von $20 \text{ kW}_{\text{th}}$ nicht überschreiten, da diese Anlagengruppe den Markt dominiert.
- b. **Wärmequellen:** Luft/Wasser- und Sole/Wasser-Anlagen, je etwa 50% Anteil
- c. **Produktionsart:** Seriegeräte, keine Sonderanfertigungen und keine Exoten.
- d. **Betriebsart:** Monovalent, ausnahmsweise bivalent mit erfassbarer zweiter Wärmeenergieerzeugung.
- e. **Standort:** Geographisch unterschiedliche Lagen.
- f. **Objekte:** Die Anlagen befinden sich in Neubauten und Sanierungsobjekten.
- g. **Warmwasser:** Anlagen mit Warmwasserbereitung mit der Wärmepumpe sollen gemäss ihrem Anteil an den real installierten Systemen vertreten sein.
- h. **Besitzverhältnisse:** Es werden nur private Anlagen berücksichtigt, keine öffentlichen Objekte.
- i. **Prüfung:** Die Wärmepumpen sollten, wenn möglich das FWS-Gütesiegel haben.
- j. **Instrumentierung:** Es ist von Vorteil, wenn die Anlagen bereits mit Elektro- und Wärmehähler ausgerüstet sind. Andernfalls müssen die Anlagen kostengünstig nachrüstbar sein.
- k. **Hydraulische Einbindung:** Die Anlagen sind in der Regel nach bekannten Standardschaltungen erstellt, komplizierte oder exotische Hydraulikschaltungen werden nicht berücksichtigt.

2.3 Datenerhebung

Die Entgegennahme der Messdaten und die damit verbundene Kontrolle wurden weiterhin durchgeführt. Kleine Probleme auf den Anlagen, wie der Ausfall von Messinstrumenten, sowie Anlagenprobleme sind wieder in Ordnung gestellt worden.

Die Messinstrumente, insbesondere die Wärmehähler, Fabrikat NeoVac, die nach dem Ultraschallprinzip aufgebaut sind, 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.

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.

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

Es ist nicht immer einfach alle die Messdaten rechtzeitig zu erhalten, um die gemäss Vertrag vereinbarten Analysen samt Resultatpräsentation (Statusbericht, Begleitgruppensitzung und Jahresbericht) durchzuführen. Damit die Anlagenbesitzer ihre Ablesungen nicht vergessen und keine grösseren Ableselücken entstehen, ist ein regelmässiger Kontakt notwendig.

Um die Anlagenbesitzer weiter zu motivieren und bei der Stange zu halten, wurde im Jahr 2010 verbunden mit einem Dankesbrief des BFE eine kleine Aktion, mit Zustellung eines kleinen Präsensts, durchgeführt. Dies kam sehr gut an. Gibt es doch Anlagenbesitzer, die seit mehr als 10 Jahren mehr oder weniger regelmässig ihre Daten liefern.

2.4 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 bestimmt. D.h. dass die Resultate in der schweizerischen Gesamtenergiestatistik im Teil Erneuerbare Energie einfließen.

3 Analyse und Ergebnisse

Damit die Vergleichbarkeit der Anlagenresultate mit dem früheren Projekt FAWA gewährleistet ist, wurden die gleichen Massstäbe und Kriterien angewendet. So wird bei der Datenanalyse nur noch die JAZ2 (Abb. 4) ermittelt und verglichen.

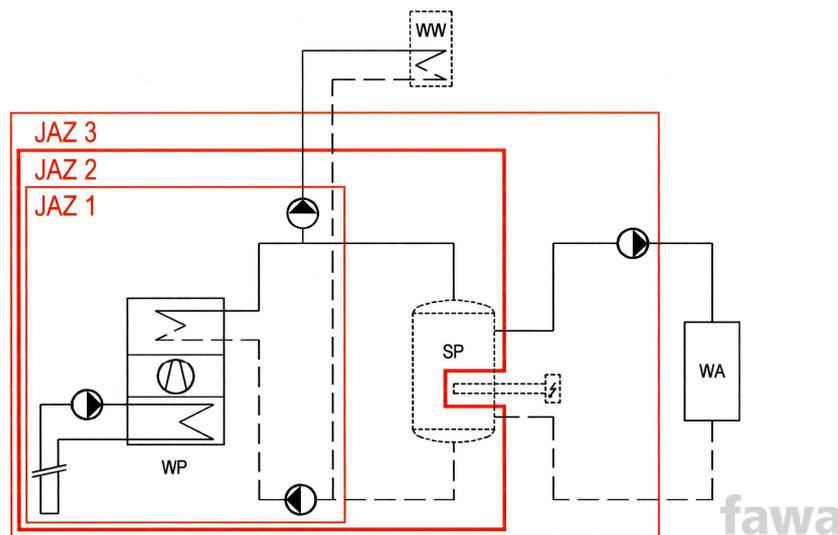


Abb. 4: Systemgrenzen zur Beurteilung, JAZ 1, 2 und 3.

Für die Beurteilung und Vergleiche wurden hier nur die Bilanzgrenze für JAZ 2 verwendet, welche allfällige Speicherverluste berücksichtigt. Bei Anlagen ohne Speicher wird der abgabeseitige Umwälzpumpen-Stromverbrauch gemäss dem Druckverlust über dem Verflüssiger berücksichtigt.

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 mehr als 15 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.

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.

3.1 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.

3.1.1 Vergleich nach Betriebsjahren

Wir sind nun in einer spannenden Phase, wo es sich zeigen wird, ob unsere Erwartungen bezüglich der längerfristigen Alterung richtig sind. Da die letzten drei Betriebsjahre allein schon wegen der Anzahl analysierter Anlagen nicht voll bewertet werden dürfen, ist für eine verlässliche Beantwortung eine mindestens in den nächsten drei Jahren weitergehende Feldanalyse wichtig.

Die Veränderungen gegenüber dem ersten Betriebsjahr sind bis zum elften Betriebsjahr kaum feststellbar. Die kleinen Abweichungen sind viel eher in der Genauigkeit der Ermittlung, resp. in der Messgenauigkeit, zu suchen. Die letzten drei Betriebsjahre sind noch mit Vorsicht zu betrachten, da vorerst wenige Anlagen mit dem Alter von 12 und mehr Betriebsjahren untersucht wurden. Dazu kommt noch, dass genau diese älteren Anlagen im Gegensatz zu den neueren Wärmepumpen noch vorwiegend Hubkolbenkompressoren haben, bei denen wir aufgrund des grösseren Verschleisses bei den Kolbendichtungen eher eine merkbare Alterung erwarten würden.

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.

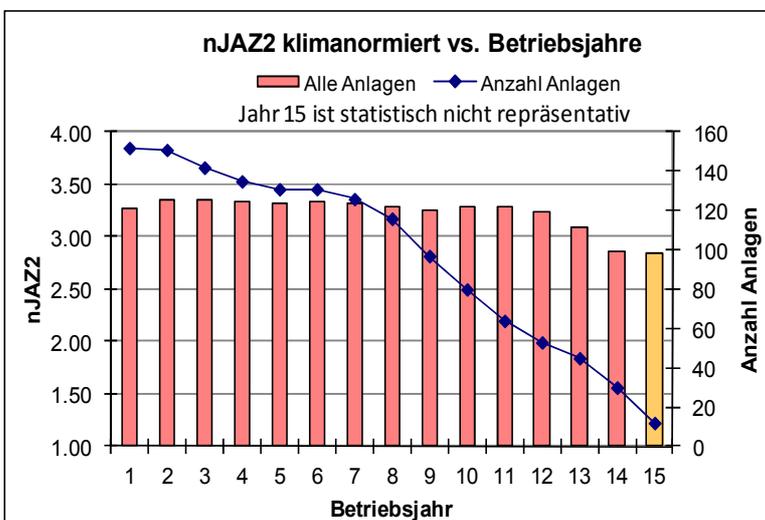


Abb. 5: Zeitreihe des Verlaufs der absoluten Jahresarbeitszahlen (nJAZ2_{abs}), nach Betriebsjahren

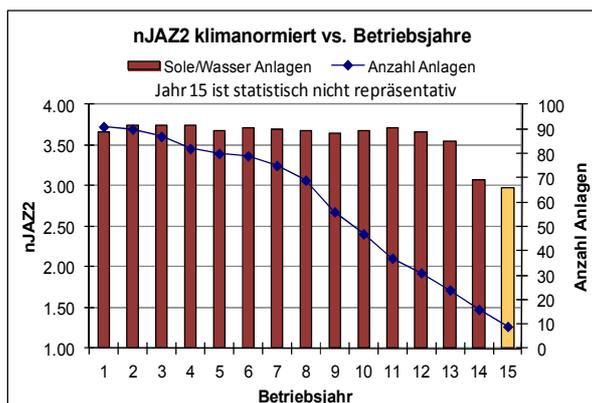


Abb. 6: Zeitreihe für Teilsample Sole/Wasser-Anlagen

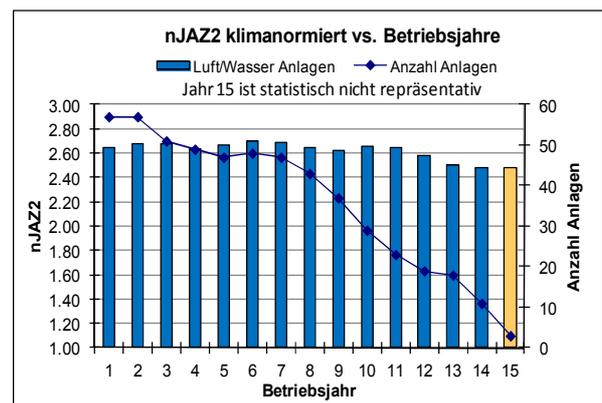


Abb. 7: Zeitreihe für Teilsample Luft/Wasser-Anlagen

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.

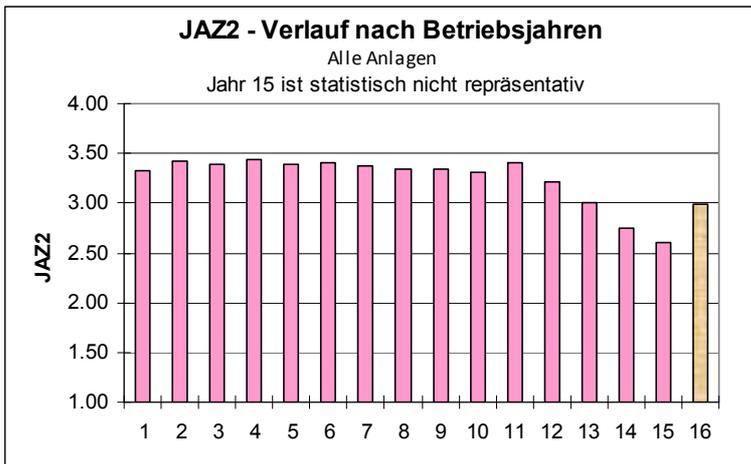


Abb. 8: Zeitreihe des Verlaufs der absoluten Jahresarbeitszahlen ($JAZ2_{abs}$), nach Betriebsjahren

Die Mittelwerte der beiden im Vergleich stehenden Grafiken Abb. 5 und Abb. 8 liegen sehr nahe beieinander. Die mittlere $nJAZ2$ beträgt über 15 Jahre $nJAZ2=3.23$ und die nicht normierte $JAZ2=3.25$. Dies ist, wie bereits erwähnt, auf die Tatsache zurückzuführen, dass die meisten Anlagen im Schweizer Mittelland auf ca. 400-500 m ü. Meer stehen.

3.1.2 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. Da aber in der Branche keine grösseren Technologieschübe bekannt sind und die Verkaufszahlen ohnehin dauernd angestiegen sind, hat die Branche derzeit andere Probleme, wie Fachpersonal-Aufstockung und –Schulung, etc., die gelöst werden müssen.

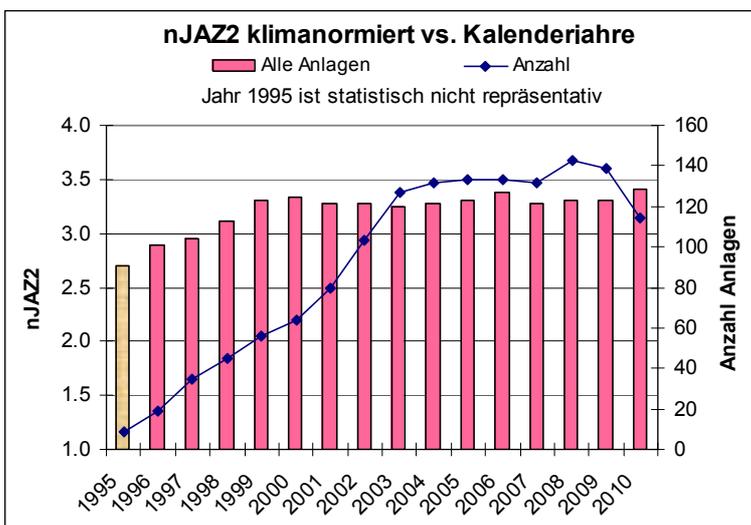


Abb. 9: Zeitreihe des Verlaufs der absoluten Jahresarbeitszahlen ($nJAZ2_{abs}$), Klima normiert, nach Kalenderjahren

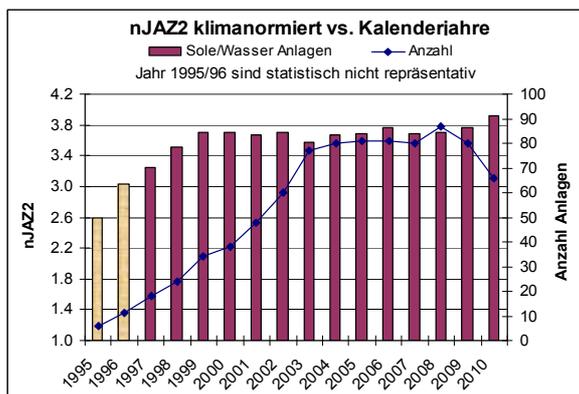


Abb. 10: Zeitreihe für Teilsample Sole/Wasser-Anlagen

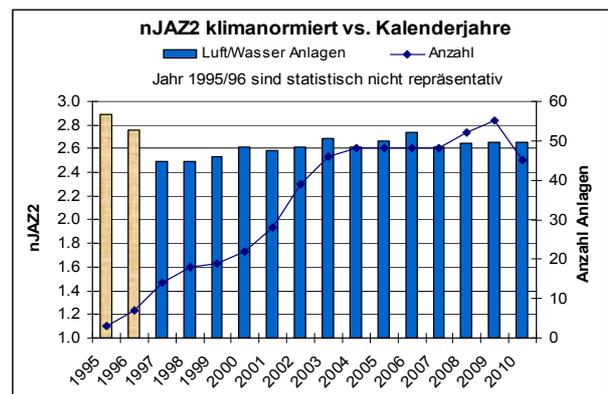


Abb. 11: Zeitreihe für Teilsample Luft/Wasser-Anlagen

In der nachstehenden Tabelle 5 sind zusätzlich die vier Wasser/Wasser-Anlagen (WW) aufgeführt. Dies sowohl zum Vergleich wie auch als weitere Information. Da es nur vier Anlagen sind, dürfen diese Werte nicht als repräsentativ betrachtet werden. Trotzdem sind die Werte tendenziell richtig, da die Wärmequelle bei vielen kleinen Wasser/Wasseranlagen wenig effizient sind. Dies hängt mit der offenen Förderhöhe ab Grundwasserspiegel (geodätische Förderhöhe) zusammen und dass diese kleinen Grundwasseranlagen sehr oft auch überdimensioniert sind. Es gibt gar keine Grundwasserpumpen, die genügend klein sind.

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

WQ	Betriebsjahr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
LW	nJAZ2	2.60	2.67	2.69	2.66	2.68	2.73	2.67	2.65	2.61	2.62	2.67	2.63	2.47	2.56	2.59	3.25
	Anzahl	49	48	46	45	44	45	41	35	26	21	16	16	12	5	1	1
SW	nJAZ2	3.61	3.73	3.69	3.69	3.67	3.69	3.68	3.64	3.75	3.70	3.71	3.54	3.25	2.80	2.47	
	Anzahl	85	86	80	78	79	77	71	54	46	36	30	22	17	11	6	
WW	nJAZ2	3.56	3.71	3.74	3.63	3.53	3.48	3.51	3.37	3.50	3.21	2.89	2.94	2.95	2.50		
	Anzahl	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	1		

Mit den Grafiken nach Kalenderjahren (Abb. 9-11) 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 übrigens auch im damaligen FAWA-Bericht festgehalten wurde.

3.2 Analyse der Betriebsstunden

Die Laufzeiten spielen vor allem bei den Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen eine grosse Rolle. Die Dimensionierungsvorgaben für die Wärmequellenanlage mit Erdwärmesonden basieren auf den Betriebsstundenvorgaben von max. 2'000 ohne Warmwasserbereitung und von 2300 mit Warmwasserbereitung. Die Vorgaben für die Dimensionierung von Wärmepumpenanlagen sind generell in der BFE Broschüre "Leistungsgarantie Haustechnik" enthalten. Für die Erdwärmesondenanlagen sind die Vorgaben auch in der 2010 erschienenen SIA-Norm 384/6 festgelegt.

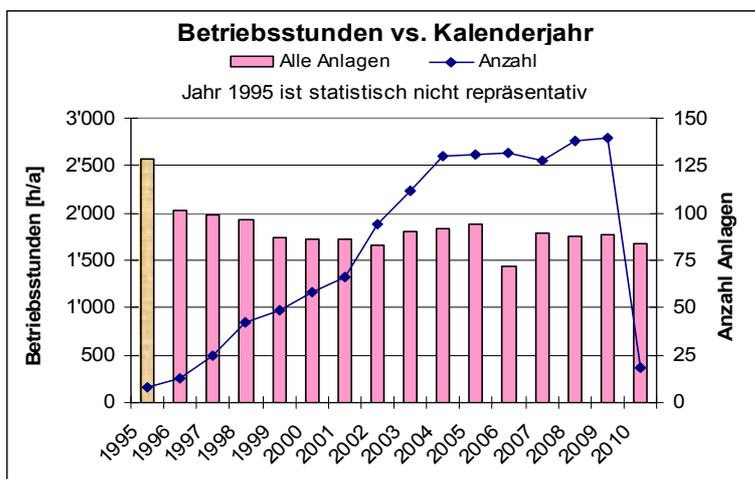


Abb. 12: Zeitreihe der Anlagen-Betriebsstunden, nach Kalenderjahr

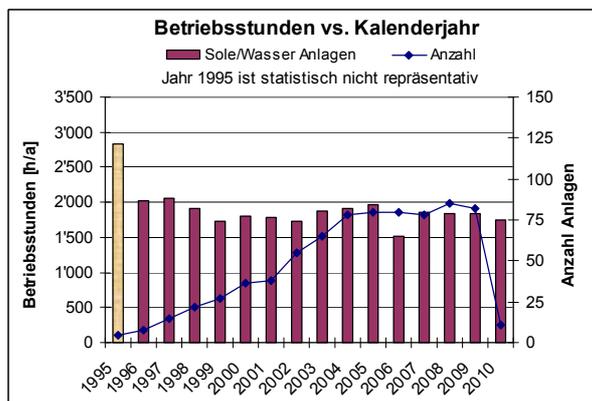


Abb. 13: Zeitreihe für Teilsample Sole/Wasser-Anlagen

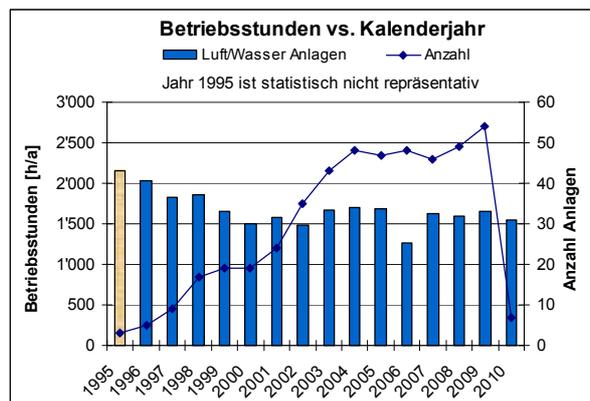


Abb. 14: Zeitreihe für Teilsample Luft/Wasser-Anlagen

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

Wärmequelle	Kalenderjahr	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
LW-WP Aussenluft	Betriebsstunden Stufe 1	2154	2025	1835	1866	1664	1496	1580	1481	1669	1700	1694	1263	1631	1592	1653	1548
	Anzahl Anlagen	3	5	9	17	19	19	24	35	43	48	47	48	46	49	54	7
SW-WP Erdsonden	Betriebsstunden Stufe 1	2824	2018	2061	1918	1726	1810	1778	1728	1867	1885	1950	1501	1829	1813	1835	1748
	Anzahl Anlagen	5	8	15	22	27	36	38	55	65	79	81	81	79	86	83	12
WW-WP Wasser	Betriebsstunden Stufe 1			2190	2489	2394	2021	2163	2165	2216	2188	2182	1794	2323	2248	2065	
	Anzahl Anlagen			1	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	

Aus der Abbildung 9 geht klar hervor, dass die Dimensionierungsvorgaben eingehalten werden. Die Jahreswerte liegen bei knapp 2000 Betriebsstunden pro Jahr. Es ist wichtig, dass gerade diese Betriebsstunden bei den Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen (Abb. 10) stimmen, da sonst Befürchtungen über längerfristige Problemfälle mit ausgekühlten Erdwärmesonden entstehen könnten.

Bei den Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen (Abb. 11) 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 Kalenderjahren für die einzelnen Wärmequellenarten

Wärmequelle	Kalenderjahr	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
LW-WP Aussenluft	Betriebsstunden Stufe 2		67	256	898	472	515	511	565	855	1139	831	1018	392	639	
	Anzahl Anlagen		2	2	2	2	4	4	4	5	5	5	5	5	6	
SW-WP Erdsonden	Betriebsstunden Stufe 2	702	266	47	329	847	1158	795	1009	947	1157	819	1079	1148	1637	
	Anzahl Anlagen	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
WW-WP Wasser	Betriebsstunden Stufe 2		369	763	868	703	1342	1370	1424	1440	1502	1088	1404	1373	1239	
	Anzahl Anlagen		1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	

Die Auswertung der zweiten Stufe ist nicht sehr relevant, da im analysierten Anlagensample nur 5 Luft/Wasser-, 3 Sole/Wasser- und 2 Wasser/Wasser-Wärmepumpenanlagen enthalten sind.

3.3 Analyse der Wärmeproduktion

Die mittlere Wärmeproduktion der Wärmepumpenanlagen im analysierten Anlagensample beträgt bei den Sole/Wasseranlagen ca. $Q_a=19'000$ [kWh/a] und bei Luft/Wasseranlagen ca. $Q_a=15'100$ [kWh/a].

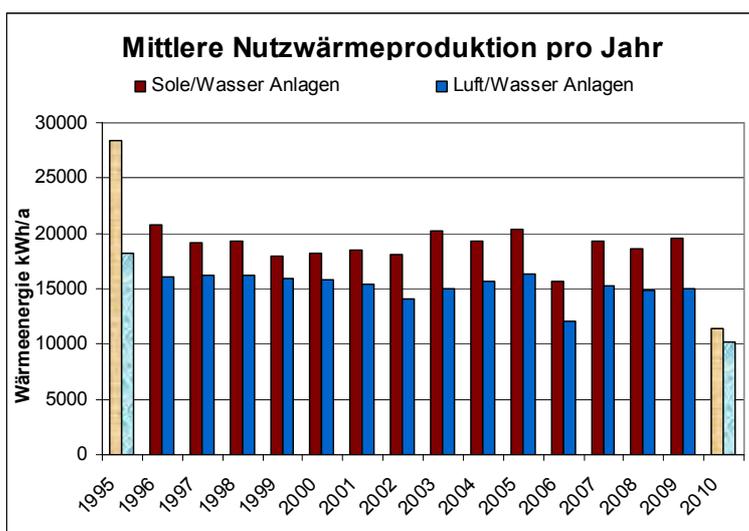


Abb. 15: Zeitreihe mittlere Anlagen-Wärmeproduktion, nach Kalenderjahr.

Im Jahr 1995 waren nur 5 Anlagen, die ausgewertet werden konnten und dabei ist eine Anlage mit einem extrem hohen Wärmeproduktionsanteil von $>43'000$ [kWh/a].

Ebenso ist die Aussage für das Jahr 2010 statistisch noch nicht gesichert, da noch einige Resultate fehlten.

3.4 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).

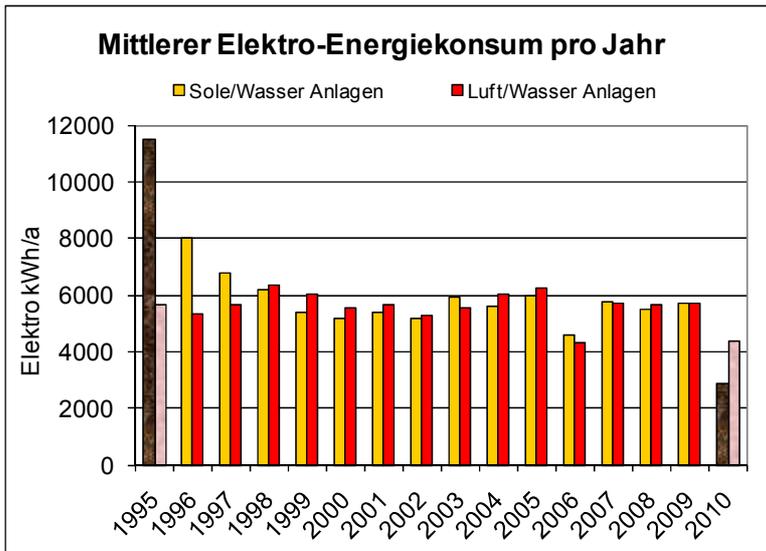


Abb. 16: Zeitreihe mittlerer Anlagen-Elektro-Energiekonsum, nach Kalenderjahr.

Das Jahr 1995 ist nicht repräsentativ, da nur 5 Anlagen ausgewertet werden konnten. Zudem ist eine Anlage mit extrem hohem Elektro-Energiekonsum von $>17'000$ [kWh/a] dabei.

Ebenso ist die Aussage für das Jahr 2010 statistisch noch nicht gesichert, da noch einige Resultate fehlten.

3.5 Einfluss des Kältemittels auf die Effizienz

Die Effizienz der Wärmepumpen in Bezug auf die eingesetzten Kältemittel wurden ebenfalls untersucht. Als Vergleich sind noch einige Anlagen mit R22 in die Analyse aufgenommen worden. Ebenso ist auch das umweltfreundliche Kältemittel Propan (R290) einbezogen worden.

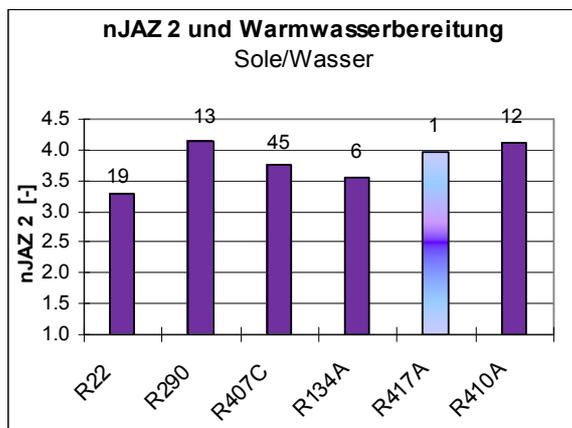


Abb. 17: Effizienz vs. Kältemittel bei Sole/Wasser-WP

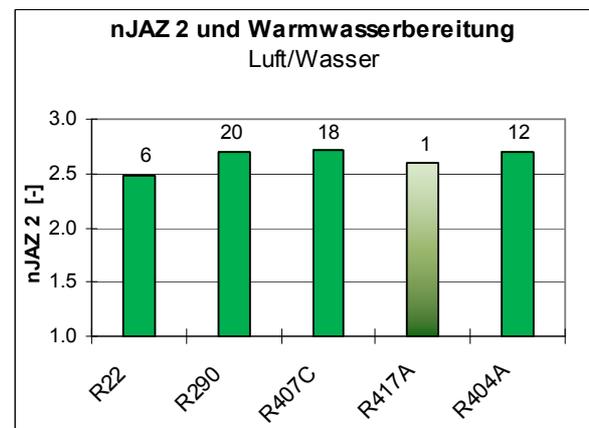


Abb. 18: Effizienz vs. Kältemittel bei Luft/Wasser-WP

Es fällt auf, dass das heute nicht mehr verwendete und nicht mehr zugelassene Kältemittel R22 bei beiden Gruppen deutlich schlechtere Resultate ergeben hat.

Bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen schneiden die beiden Kältemittel R290 und R410A am besten ab, was eigentlich auch so erwartet wurde. Das Kältemittel R417A konnte nur an je einer Anlage untersucht werden. Bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen gibt es insgesamt, ausser bei R22, keine grossen Unterschiede zwischen den Kältemittelanwendungen.

Diese Analyse zeigt sehr gut, dass bei Wärmepumpenanlagen der Einfluss auf die Effizienz wesentlich mehr von anderen verschiedenen Punkten abhängt, wie vom Temperaturhub (Quellen- und Heiztemperaturen), der Dimensionierung, der hydraulischen Einbindung, etc.

3.6 Einfluss der Anlagenstandorthöhe bei Luft/Wasser-Wärmepumpen

Verschiedentlich wurde die Frage gestellt, bis zu welcher Höhe über Meer man Luft/Wasser-Wärmepumpen mit genügender Effizienz einsetzen kann. Die Frage konnte einigermaßen genügend beantwortet werden. Es gibt im Anlagensample nur etwa 10 Luft/Wasser-Anlagen mit Standorthöhe über 600 m ü. M.

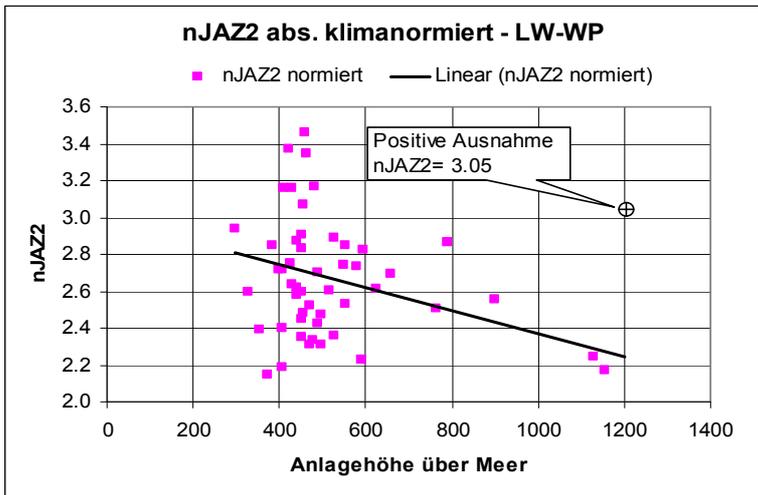


Abb. 19: Luft/Wasser-Anlagen mit unterschiedlichen Anlagestandorten

Dass es trotzdem auch möglich wäre bei höheren Anlagestandorten gute Resultate, trotz der tieferen mittleren Aussenlufttemperatur, zu erreichen, dokumentiert die Anlage auf 1200 m ü. M. mit einer sehr guten nJAZ von 3.05.

3.7 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.

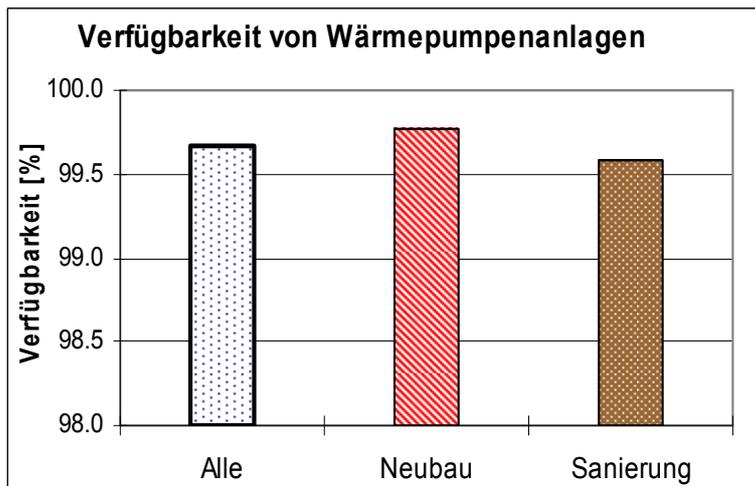


Abb. 20: Verfügbarkeit von Wärmepumpenanlagen insgesamt und für die beiden Hauptgruppen Neubau und Sanierung

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

Tab. 8: Störungsanalyse, aufgeteilt in verschiedene Gruppen

Störung	Alle	Neubau	Sanierung	L/W	S/W	mono-valent	bivalent	ohne Speicher	mit Speicher
LZ total [h]	2'257'079	1'139'108	1'117'971	759'978	1'339'321	2'122'269	128'034	868'400	1'388'679
Störung [h]	7'416	2'655	4'761	5'308	1'705	6'966	450	3'962	3'454
Verfügbarkeit [-]	99.673	99.767	99.576	99.306	99.873	99.673	99.650	99.546	99.752

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.

4 Wartung und Reparaturen

Die Erhebung und Auswertung der Wartungs- und Reparaturkosten erfolgt 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 allenfalls Einstellung der Wärmepumpe und ihrer 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.

4.1 Wartung an Wärmepumpen

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

Diese Analysen wurden mit einem früheren BFE-Projekt³ mit einem Anlagensample von 50 Anlagen begonnen. Mittlerweile sind 61 Anlagen in diesem Sample und wir haben diese Analyse in das vorliegende Projekt integriert, weil es ebenfalls von grosser Wichtigkeit ist, dass über die Kostensituation statistisch abgesicherte Informationen vorliegen und entsprechend kommuniziert werden können.

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.

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.

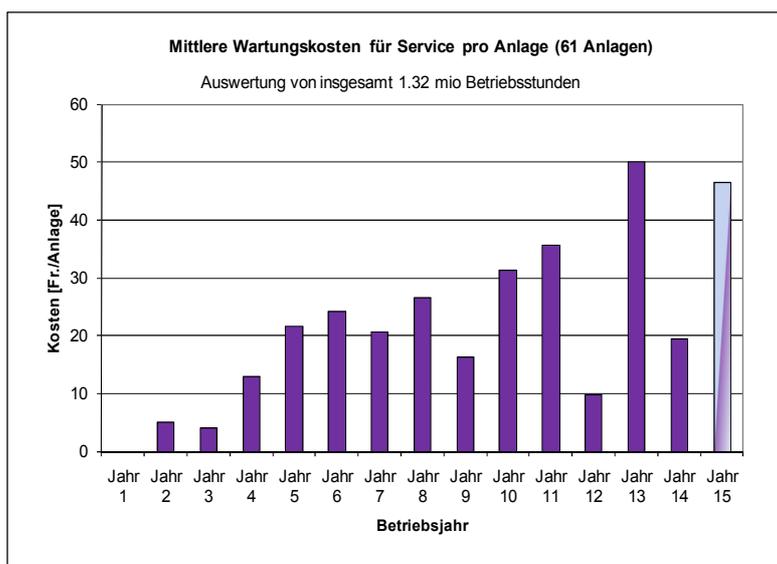


Abb. 21: Mittlere Wartungskosten (Service- und Unterhaltskosten) über die Betriebsjahre der Wärmepumpen.

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

³ Forschungsprojekt des BFE, Projekt-Nr. 100'454

Die Wartungskosten (Service und Unterhalt) sind für eine Wärmepumpenanlage im Rahmen von ca. [Fr./a] 21.60 und damit äusserst günstig. Dass die ersten Jahre fast wegfallen, hat mit der Garantiezeit von 2 Jahren und einer relativ grossen Kulanz zu tun. Die leicht ansteigenden Kosten stehen im Zusammenhang mit vermehrten Servicegängen für Kontrollen und kleine Störungsbehebungen an den Anlagen.

4.2 Reparaturen an Wärmepumpen

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.

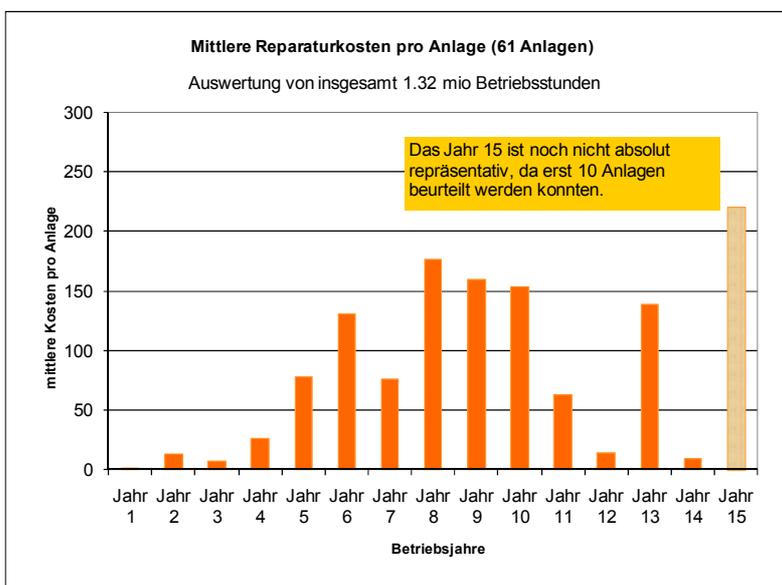


Abb. 22: Mittlere Reparaturkosten über die Betriebsjahre bei total 61 Wärmepumpen ermittelt

Die Reparaturkosten sind über die 15 analysierten Betriebsjahre bei den 61 Anlagen sehr unterschiedlich angefallen. Vorallem war nicht festzustellen, dass die Reparaturhäufigkeit mit zunehmendem Alter der Anlagen auch zunimmt. Diese günstigen Werte, sprechen für die Qualität der Kleinwärmepumpen.

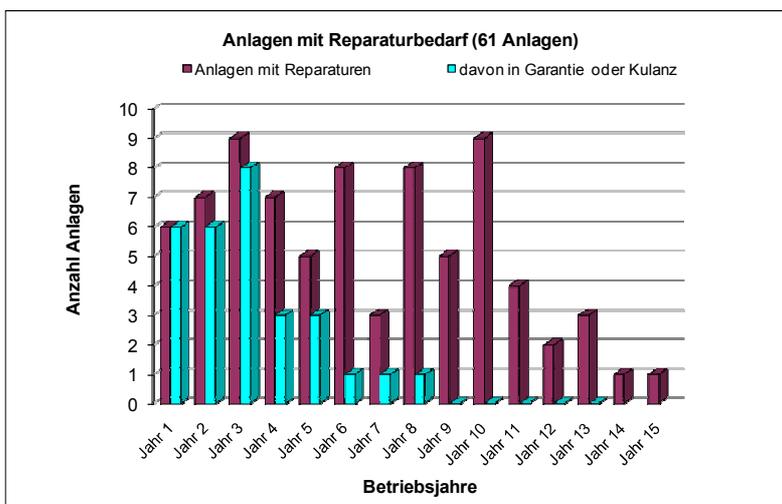


Abb. 23: Anzahl Anlagen mit Reparaturbedarf in Abhängigkeit der Betriebsjahre

In Abb. 14 sind die Anzahl Anlagen ersichtlich, für die in den entsprechenden Betriebsjahren kleinere und grössere Reparaturleistungen erbracht werden mussten. Deutlich ist feststellbar, dass vor allem in den ersten drei Jahren die Reparaturen mehrheitlich in Garantie oder Kulanz behoben wurden.

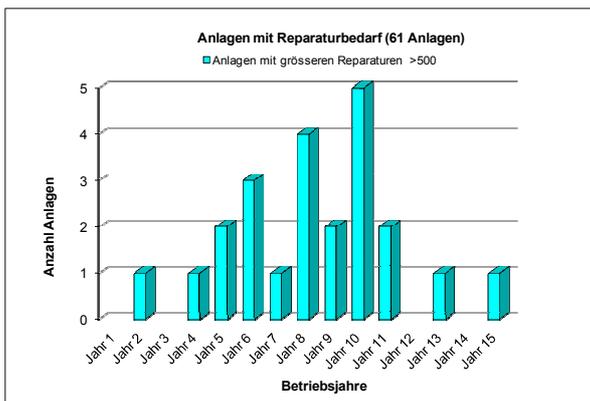


Abb. 24: Anlagen mit >500.00 [Fr./a] Reparaturkosten

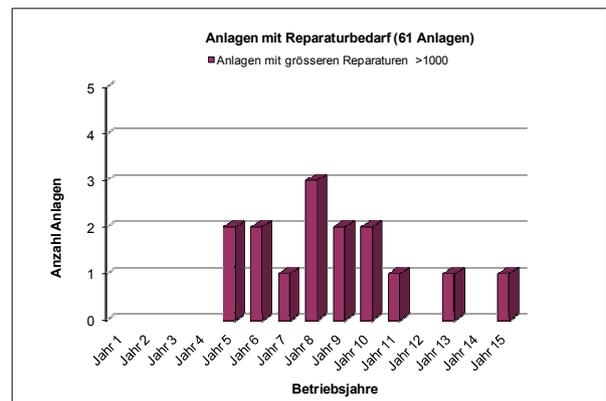


Abb. 25: Anlagen mit >1000.00 [Fr./a] Reparaturkosten

Wie aus Grafiken Abb. 15 und 16 hervorgeht, sind sehr wenige Anlagen mit grösseren Reparaturen aufgetreten. 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. Trotzdem ist es nicht so, dass keine Reparaturen angefallen sind. In den analysierten Kosten sind immerhin fünf Kompressoren sowie je ein Brandfall und ein Vereisungsschaden am Verdampfer enthalten.

Weitere Details zu den mittleren jährlichen Unterhaltskosten sind der Tab. 7 zu entnehmen. 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 an den 61 Wärmepumpenanlagen basiert immerhin auf insgesamt 1.32 Mio. Betriebsstunden.

Tab. 9: Unterhaltskosten für Wärmepumpenanlagen

	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5	Jahr 6	Jahr 7	Jahr 8	Jahr 9	Jahr 10	Jahr 11	Jahr 12	Jahr 13	Jahr 14	Jahr 15	Durchschnitt
Anzahl Anlagen	33	62	62	61	60	61	60	58	55	52	51	42	36	21	10	
Wartungskosten	0.00	5.10	4.03	13.02	21.67	24.11	20.60	26.59	16.22	31.30	35.61	9.71	50.09	19.47	46.56	21.60
Reparaturkosten	0.02	13.56	7.40	26.00	78.26	130.76	76.00	176.51	159.10	153.43	63.17	13.73	138.76	9.52	220.40	84.40
Gesamte Unterhaltskosten	0.02	18.65	11.43	39.01	99.92	154.87	96.60	203.10	175.32	184.72	98.78	23.45	188.85	29.00	266.96	106.00

Das letzte Betriebsjahre (Jahr 15) ist noch nicht repräsentativ, da im Anlagensample nur 10 Anlagen mit 15 Betriebsjahren ausgewertet werden konnten.

5 Nationale Zusammenarbeit

Es fanden jährlich zwei Begleitgruppensitzungen statt mit den Herren Dr. Richard Phillips und Gerold Truniger vom BFE, sowie Prof. Dr. Max Ehrbar als Fachexperte.

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.

6 Internationale Zusammenarbeit

Der Projektleiter konnte am 29. Oktober 2009 am internationalen Wärmepumpensymposium der TWK-Karlsruhe (Prof. Dr. Ing. Reichelt) in Deutschland sowie an der Vorarlberger Wärmepumpentagung 2011 über dieses Projekt einen Vortrag halten.

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.

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 meilenweit voraus.

7 Schlussfolgerung

Die Auswertungen zeigen eine gute Kontinuität. Es gibt wenig Streuungen und die Qualität der Resultate stimmt. 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 Weiterführung der Untersuchungen von Kleinwärmepumpen im Feld ist sehr wichtig. Die Erfahrungswerte über Effizienz und auch die Unterhaltskosten während der gesamten Lebensdauer sind von grossem Interesse. Die Anlagen sind nun in einem Stadium, wo es erst recht interessant wird. Erst jetzt bekommt man allmählich gesicherte Informationen über die gesamte Lebensdauer von Wärmepumpenanlagen, die für den Wärmepumpenmarkt, resp. für die Käuferschaft von Wärmepumpen interessant sind.

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 Mithilfe der Anlagenbesitzer, die regelmässig ihre Daten notiert haben, massgeblich unterstützt wurde. Der Dank geht auch an diese Gruppe, die teilweise seit 15 Jahren ihre Daten zur Verfügung stellen.

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;

Engelburg, Frühjahr 2012

Hubacher Engineering
Peter Hubacher