



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

QS-WP/QP: QUALITÄTSPRÜFUNG VON KLEIN-WÄRMEPUMPEN MITTELS NORM- UND FELDMESSUNGEN

TEILPROJEKT LANGZEITVERHALTEN 2007- 2008

Schlussbericht 2008

Ausgearbeitet durch

Peter Hubacher, Hubacher Engineering

Carlos Bernal, Hubacher Engineering

Tannenbergstrasse 2, 9032 Engelburg

Tel. +41 (0)71 260 27 27

Fax +41 (0)71 260 27 28

Mail: he-ko@bluewin.ch

Begleitender Experte

Prof. Dr. Max Ehrbar

Im Sixer, 7306 Sargans

Tel. +41 (0)81 723 36 35

Mail: ehrbar.max@bluewin.ch

Impressum

Datum: 30. September 2008

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm UAW Umgebungswärme, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 (0)31 322 56 11, Fax +41 (0)31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

BFE-Programmleiter F&E: Thomas Kopp tkopp@hsr.ch

BFE-Bereichsleiter F&E: Andreas Eckmanns andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

BFE-Bereichsleiter Markt: Fabrice Rognon fabrice.rognon@bfe.admin.ch

Projektnummer: 100'454

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

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

Inhaltsverzeichnis

| | Seite |
|--|-------|
| Zusammenfassung | 5 |
| Abstract | 5 |
| 1. Ausgangslage | 6 |
| 2. Ziel der Arbeit | 6 |
| 3. Lösungsweg | 7 |
| 3.1 Anlagensample | 7 |
| 3.2 Methodik | 7 |
| 4. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse | 8 |
| 4.1 Langzeitverhalten der Effizienz von Kleinwärmepumpen | 8 |
| 4.2 Absolute JAZ-Werte | 9 |
| 4.3 Verfügbarkeit | 11 |
| 4.4 Warmwasserbereitung | 12 |
| 4.5 Wärmeproduktion und Laufzeiten | 13 |
| 4.6 Wartung und Reparaturen bei Kleinwärmepumpenanlagen | 14 |
| 5. Diskussion | 16 |
| 6. Schlussfolgerung | 17 |
| Referenzen | 17 |

ZUSAMMENFASSUNG

Nach dem Abschluss des FAWA-Forschungsprojekts wurde vom BFE im Rahmen des vorliegenden Projekts eine Fortsetzung beschlossen. Die Schwerpunkte wurden auf das Langzeitverhalten der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen (Alterung) und die Wartungs- und Reparaturkosten in Abhängigkeit vom Alter der Maschine gelegt.

Für das Langzeitverhalten ist aufgrund der langjährigen Kontakte zu Anlagenbesitzern (FAWA Analyse mit insgesamt 250 Anlagen), heute immer noch ein Anlagensample von über 130 Anlagen, deren Jahresdaten ausgewertet werden, verfügbar. Diese Daten werden von den Anlagenbesitzern immer noch regelmässig aufnotiert und für die Analyse zur Verfügung gestellt. Mittlerweile kann man für die Analyse und Auswertung bei den ältesten Anlagen auf 12-13 Betriebsjahre zurückblicken. Das Resultat ist sehr positiv, denn man kann keinen Leistungsabfall und auch kein Nachlassen der Effizienz feststellen. Die Werte unterscheiden sich kaum von den Daten, die im ersten und zweiten Betriebsjahr ermittelt wurden.

Die Verfügbarkeit von Wärmepumpenanlagen ist insofern interessant, weil damit die Qualität des Betriebsverhaltens dargestellt werden kann. Per Definition ist die Verfügbarkeit so zu verstehen, dass eine Störung dann eintritt, wenn die Wärmepumpe in Betrieb sein sollte, jedoch wegen einer Störung still steht. Die Analyse über die grosse Betriebsstundenzahl von insgesamt mehr als 1.6 Mio. Betriebsstunden ergibt nur eine Ausfallquote von 0.25%. Diese Tatsache, dass die Verfügbarkeit bei 99.75% liegt, ist sehr erfreulich und zeigt, dass die werkgefertigten Kleinwärmepumpen einen hohen Qualitätsstandard aufweisen.

Ein zweiter Schwerpunkt ist die Kostenanalyse für die Wartungs- und Reparaturkosten. Dabei wurden 61 Anlagen mit vollständigen Datensätzen ausgewertet. Die Höhe der mittleren Wartungskosten pro Maschine liegt mit durchschnittlich ca. 18.50 [Fr./a] (inklusive tw. Serviceabonnements) sehr günstig. Ein ähnlicher Trend kann auch bei den Reparaturkosten vorgefunden werden. Der Mittelwert über alle untersuchten Anlagen liegt trotz der relativ hohen Kosten für die Jahre 6 und 8-10 nur bei rund 74.50 [Fr./a] und ist ebenfalls sehr günstig. Diese Kostenanalyse muss noch weiter vertieft werden, um die Anlagen mit längeren Betriebsjahren, resp. grösseren Betriebsstundenzahlen, noch genauer zu erfassen. Zurzeit sind noch zu wenige Anlagen mit 10 und mehr Betriebsjahren, die ausgewertet werden können. Diese Auswertungen werden mit dem Ziel der Erfassung von einem mittleren Lebensdauerzyklus fortgeführt.

ABSTRACT

After completion of the FAWA project the Swiss Federal Office of Energy (SFOE) have decided to continue with the following project. The main aims of this project are to investigate the long term efficiency of Heat Pumps (aging) and also the service and repair cost over the same period.

Basis for this project are the collected data from more 130 Heat Pumps for the FAWA analysis (with 250 machines). This data extends over a continuous period of 12 to 13 years. The results have proven to be very positive. No measurable reduction in efficiency or effectiveness was found. The system performance is practically identical with a comparable new Heat Pump.

The availability of Heat Pumps is of interest because it demonstrates the operational reliability. By definition the operational reliability is when the system is non functional when it should otherwise be operational. The analysis from more than 1.6 Million operational hours shows a 0.25% down time. This fact showing operational reliability to be 99.75% demonstrates the exceptional quality standard of small Heat Pumps.

The cost analysis for service and repair were taken from total of 61 Heat Pumps for which complete data was available. The average yearly service cost is approximately 17.50 Swiss Francs/year (including the service contract from several installations). This result is very good. A similar tendency was found in the repair costs. Even with two exceptional years (6 and 8 to 10), the average repair over all installations was 74.50 Swiss Francs/year which is low. This cost analysis must be improved and focussed to more closely investigate the installations with more than 10 operating time, because at present there are too few installations over 10 years which supply data. The data collection and analysis of small Heat Pumps to find their average life time must be continued

1. Ausgangslage

Ursprüngliches Ziel von FAWA (Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen) war es, die energetische Effizienz von Kleinwärmepumpen bis 20 kW_{th} im Feld mit statistischen Methoden zu dokumentieren und Verbesserungspotentiale aufzuzeigen. Das Projekt wurde 1996 vom Bundesamt für Energie als Begleitmassnahme zur Wärmepumpenförderstrategie gestartet.

Während der Laufzeit von FAWA zeigte sich, dass mit den erhobenen Daten auch tiefer gehende Analysen zum Anlagenverhalten über längere Zeit und empfehlenswerten Anlagenkonzepten durchgeführt werden konnten. Dank der FAWA-Studie wurde die heutige Realität im Feld beschrieben und es konnten Hinweise für die Planung abgegeben werden.

Beim Abschluss der FAWA-Studie 2003 konnte man bei den ältesten ca. 30 Anlagen auf einen Beobachtungszeitraum von 8-9 Jahren zurückblicken. Eine konsequente Fortsetzung der Analyse, um weitere Erkenntnisse über das Langzeitverhalten der Jahresarbeitszahl (JAZ) zu gewinnen und auch die Betriebs- und Unterhaltskosten zu ermitteln, war und ist im allgemeinen Interesse der Konsumenten. Diese Erkenntnisse dienen auch der Qualitätssicherung bei Wärmepumpen. Deshalb sollen in diesem Projekt die bisher erfolgreich ermittelten Erkenntnisse bezüglich Alterung und Verfügbarkeit im Jahr 2007 und 2008 konsequent weitergeführt werden.

Die Schwerpunkte dieses Projekts sind:

- Datenaufnahme bei einem kleinen Anlagensample von 50 Anlagen (mindest repräsentative Anzahl)
- Alterung: Ermittlung der jährlichen JAZ-Werte und Vergleich mit den bisherigen Werten
- Verfügbarkeit: Ermittlung und Vergleich der jährlichen Betriebswerte mit den bisherigen Werten
- Die Erhebung der Wartungs- und Reparaturkosten zwecks Aufarbeitung von betriebswirtschaftlichen Kennzahlen. Hier fehlen Langzeitaussagen, die sehr wertvoll sind und im Markt auch gesucht werden.

Wegen den derzeit stark steigenden Verkaufszahlen beschäftigen sich auch immer mehr Installationsbetriebe mit Wärmepumpenanlagen. Die Konsumenten entscheiden sich heute im Neubausektor mehrheitlich für Wärmepumpen (ca. 75%) und bei Sanierungen werden ebenfalls immer mehr Wärmepumpen berücksichtigt. Es ist von zentraler Bedeutung, dass hinsichtlich Qualitätssicherung die richtigen und wichtigen Informationen an die Fachbranche abgegeben werden können. Mit dieser Arbeit werden die zentralen Fakten über das Langzeitverhalten, die Verfügbarkeit und die Kennwerte für Wartung und Reparaturen in statistisch einigermaßen gesicherter Grössenordnung erhoben.

2. Ziel der Arbeit

Die Zielsetzungen orientieren sich an der Qualitätssicherungsstrategie des BFE und der FWS. Dieses Projekt ist in einer Nische angesiedelt, die von grosser Wichtigkeit geprägt ist. Es müssen im Rahmen der weiteren Vertrauensbildung auf allen Ebenen weitere 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 und Österreich) aufgegriffen worden. Unser meilenweiter Vorsprung kann mit diesem Projekt weiterhin aufrechterhalten werden.

Das Projekt sieht folgende Zielsetzungen vor:

- a) Fortführung der Zeitreihe „Langzeitverhalten“ an Kleinwärmepumpen
- b) Fortführung der Datenerhebung zwecks Bestimmung der Verfügbarkeit von Kleinwärmepumpen
- c) Erhebung Unterhalts- und Reparaturkosten zwecks Aufarbeitung von betriebswirtschaftlichen Kennzahlen
- d) Erhebung der Lebensdauer (wegen Abschreibungszeit für Wirtschaftlichkeitsberechnungen)
- e) Aufarbeitung der JAZ-Entwicklung nach Baujahren zwecks Erkennung von Entwicklungsfortschritt
- f) Erarbeitung von zusätzlichen Erkenntnissen über das wichtige Thema von Kältemittelleckagen
- g) Lieferung von Daten für die DB-Statistik über Lebensdauer-Erwartung und Effizienz von WP-Anlagen

3. Lösungsweg

3.1 Anlagensample

Um die Ermittlungen auch statistisch gesichert durchzuführen, ist eine Minimalzahl von Anlagen notwendig. Das Anlagensample für die Projektvorgabe bezüglich der Langzeituntersuchungen wurde mit 50 Anlagen mit unterschiedlichem Alter von fünf bis über zwölf Jahren definiert. Das heute noch verfügbare Anlagensample, inkl. diejenigen Anlagen aus den auslaufenden Verpflichtungen, besteht jedoch immer noch aus über 130 Anlagen, aufgeteilt in Luft/Wasser- und Sole/Wasser- und einzelne Wasser/Wasser-Anlagen.

Für die Erhebungen der Wartungs- und Unterhaltskosten konnte wegen der sehr aufwändigen Erfassung nur ein kleineres Anlagensample erfasst werden. Hier muss man einerseits die Rapporte und Rechnungen beschaffen und auswerten, um an die relevanten Werte und Grössen heranzukommen. Andererseits sollen die dafür ausgewählten Anlagen ein Mindestalter von über 6-7 Jahren haben, damit eine einigermaßen relevante und aussagekräftige Statistik aufgestellt werden kann.

3.2 Methodik

Für die Ermittlung der Jahresarbeitszahlen sind in jeder Anlage Wärme-, Elektro- und Betriebsstundenzähler installiert, die in regelmässigen Abständen von der Bauherrschaft abgelesen und an uns gemeldet werden. Für die Berechnung der Jahresarbeitszahlen werden die wärmepumpenbedingten 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 Reparaturkosten werden die Besitzer individuell befragt. Ein Verschicken von Fragebogen hat sich nicht bewährt. Stattdessen muss eine Befragung vor Ort durchgeführt werden, um bei Unklarheiten und Widersprüchen direkt nachhaken zu können. Die Wartungs- und Reparaturkosten werden anhand von Belegen (Serviceapporte, Rechnungen, etc.) kontrolliert.

4. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

4.1 Langzeitverhalten der Effizienz von Kleinwärmepumpen

Die Erhebungen dienen der Beantwortung der Frage, wie sich die Jahresarbeitszahl in Folge des zunehmenden Alters einer Maschine ändert. Die Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe wird hauptsächlich durch zunehmende Abnutzung (Verschleiss von Kompressor, Ventilatoren und Umwälzpumpen) oder durch Verschmutzung von Wärmetauschern beeinflusst. Bei Wärmenutzung aus dem Erdreich kann sich auch die Quelltemperatur als Folge von Übernutzung im Verlauf der Zeit ändern. Aus der vorliegenden Untersuchung sind die Resultate und Erkenntnisse ersichtlich.

Das Anlagensample, bestehend aus 132 Anlagen, wurde auch auf die wichtigen Bereiche Wärmequellen Erdwärme und Aussenluft, mit und ohne Warmwasserbereitung, sowie Sanierung und Neubau fokussiert. Die Anteile der vertretenen Anlagen sind der nachstehenden Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Anlagensample

| Jahr der Inbetriebnahme | Gesamtanzahl | Sole-WP | Luft-WP | Wasser-WP | WW-Bereitung mit WP | Anteil bestehende Gebäude | Betriebsjahre bis heute |
|-------------------------|--------------|---------|---------|-----------|---------------------|---------------------------|-------------------------|
| 1995 | 11 | 8 | 3 | | 7 | 8 | 13 |
| 1996 | 10 | 5 | 4 | 1 | 6 | 3 | 12 |
| 1997 | 12 | 5 | 6 | 1 | 10 | 6 | 11 |
| 1998 | 13 | 8 | 4 | 1 | 8 | 5 | 10 |
| 1999 | 7 | 6 | 1 | | 5 | 3 | 9 |
| 2000 | 11 | 6 | 4 | 1 | 6 | 6 | 8 |
| 2001 | 16 | 10 | 6 | | 7 | 4 | 7 |
| 2002 | 24 | 12 | 12 | | 17 | 7 | 6 |
| 2003 | 25 | 18 | 7 | | 13 | 12 | 5 |
| 2004 | 2 | 2 | | | 2 | | 4 |
| 2005 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 3 |
| Total | 132 | 81 | 47 | 4 | 82 | 55 | |

Anmerkung: Die Wasser/Wasser-Wärmepumpen sind bei Kleinanlagen nicht sehr verbreitet. Aus diesem Grund sind nur vier Anlagen zwecks Vergleichs in das Anlagensample aufgenommen worden.

Die Veränderungen gegenüber dem ersten Betriebsjahr sind kaum feststellbar. Die kleinen Abweichungen sind viel eher in der Genauigkeit der Ermittlung, resp. in der Messgenauigkeit, zu suchen. Das letzte Betriebsjahr ist noch mit Vorsicht zu betrachten, da erst 8 Anlagen mit dem Alter von 13 Jahren untersucht wurden.

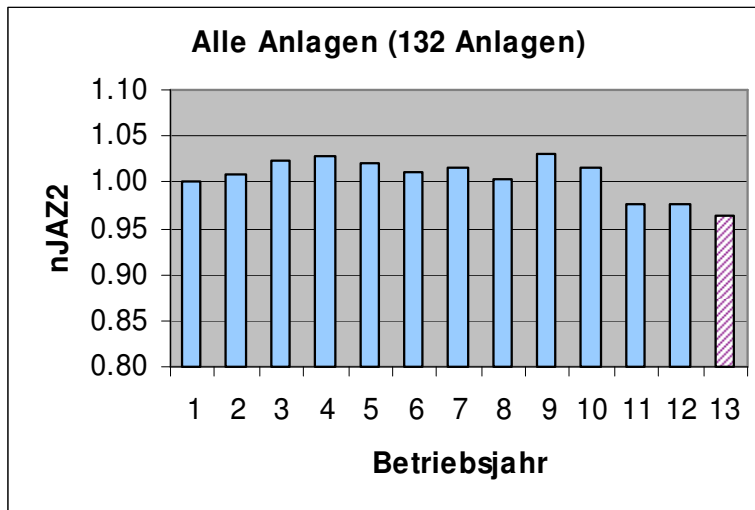


Abb. 1: Zeitreihe des Verlaufs der relativen Jahresarbeitszahlen (nJAZ) von allen analysierten Wärmepumpen in Abhängigkeit vom Betriebsjahr (1. Jahr = 100 %), Klima normiert

Anmerkung: Bei vereinzelten Anlagen konnten die Datensätze des ersten Betriebsjahres nicht in die Auswertung übernommen werden. Wenn im ersten Betriebsjahr keine Auswertung möglich war, wurde das zweite Betriebsjahr als Referenz genommen.

Das Resultat ist jedoch sehr erfreulich und zeigt, dass die eingesetzten Wärmepumpenanlagen in den untersuchten 13 Jahren kaum einem Verschleiss unterworfen und demzufolge über die gesamte Beobachtungszeit mit praktisch gleich bleibender Leistung gelaufen sind.

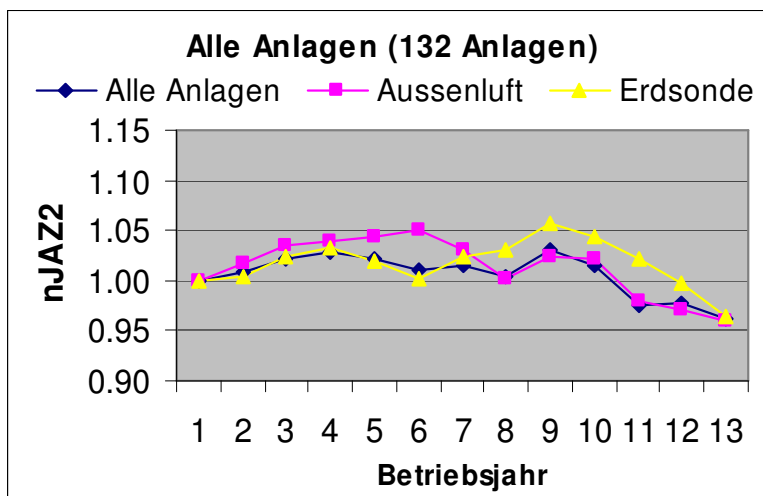


Abb. 2: Relativer Vergleich des gesamten Verlaufs mit den beiden Hauptgruppen, Sole/Wasser- und Luft/Wasser-Wärmepumpen

Es gibt keine wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Anlagensample (Luft- und Sole/Wasser-Maschinen). Der ab dem zehnten Betriebsjahr fallende Trend kann aufgrund der statistisch nicht relevanten Anzahl Anlagen noch zu wenig beurteilt werden. Zudem ist die Differenz zwischen dem zehnten und dem dreizehnten Betriebsjahr mit 8-10 % ohnehin nicht allzu bedeutend.

Für den ab 10. Betriebsjahr erkennbaren Abfall der nJAZ liegt schon eine Begründung vor. In Abb. 5 auf Seite 10 ist ersichtlich, dass die absoluten Jahresarbeitszahlen bis zum Jahr 2000 laufend gesteigert werden konnten. Nun sind bei der Betrachtung des Langzeitverhaltens genau diese schlechteren Anlagen schwergewichtig verantwortlich für diesen Effizienzabfall bei den Wärmepumpen, die mehr als 10 Jahre in dieser Analyse mitgezogen werden. Dies muss sich bei der weitergehenden Betrachtung über die nächsten 2-3 Jahre nach oben korrigieren.

Die separate Betrachtung der Luft/Wasser- und der Sole/Wasser-Anlagen manifestiert sich ähnlich. Selbst bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen ist der positive Verlauf deutlich erkennbar. Gerade bei diesen Anlagen könnte man annehmen, dass die Verschmutzung einen stärkeren Einfluss hat.

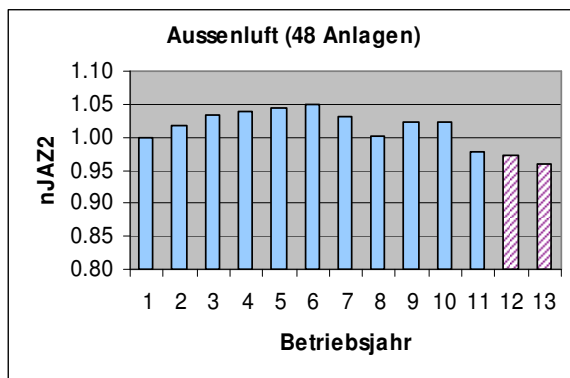


Abb. 3: Anlagensample LW-WP (total 48), nJAZ2_{rel}

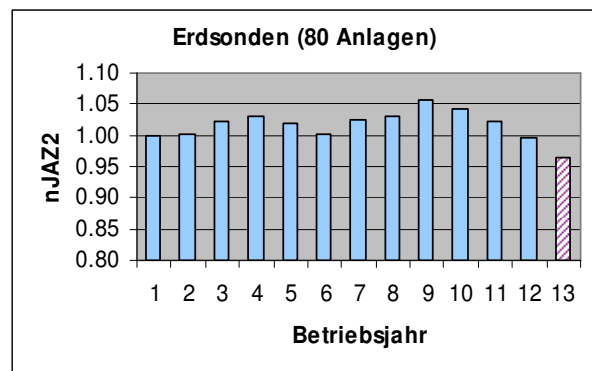


Abb. 4: Anlagensample SW-WP (total 80), nJAZ2_{rel}

Die wenigen Wasser/Wasser-Wärmepumpen (4 Anlagen), die ebenfalls im Anlagensample aufgenommen wurden, verhalten sich ebenfalls praktisch gleich. Da es nur wenige Anlagen sind, wird auf eine graphisch Darstellung verzichtet.

Die Streuungen der Werte hängen insbesondere auch von der Qualität der Messwerte in den ersten zwei Jahren ab. Da es immer wieder Anlagen, resp. Wärmepumpen, gibt, die erst nach einiger Betriebszeit richtig laufen, entsprechen die Werte des ersten und tw. auch des zweiten Betriebsjahres nicht überall den Durchschnittswerten über die Messdauer. Da für diese Untersuchung des Langzeitverhaltens das erste oder wenn dieser Wert wegen zu wenigen Messwerten nicht genügt, das zweite Betriebsjahr als Referenzwert herangezogen wird, beeinflussen abweichende Werte die Genauigkeit und führen zu grösseren Streuungen.

4.2 Absolute JAZ-Werte

Die Jahresarbeitszahlen JAZ2 haben als Bilanzgrenze die Wärmepumpenanlage samt Wärmeverlust für den 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, gehören ebenfalls in die Energiebilanz für JAZ2. Weiter wird der gesamte quellenseitige Kraftbedarf (Pumpen- oder Ventilatorenergieaufwand) in die Bilanzierung für die JAZ2 einbezogen. Die mit nJAZ bezeichneten Werte, resp. Grafiken sind ausserdem Klima normierte Werte. D.h. diese Werte sind zwecks Vergleich alle auf die mittlere Aussentemperatur von +3 °C bezogen worden. Das Verfahren wurde bereits im FAWA-Bericht [siehe Referenz 1] beschrieben.

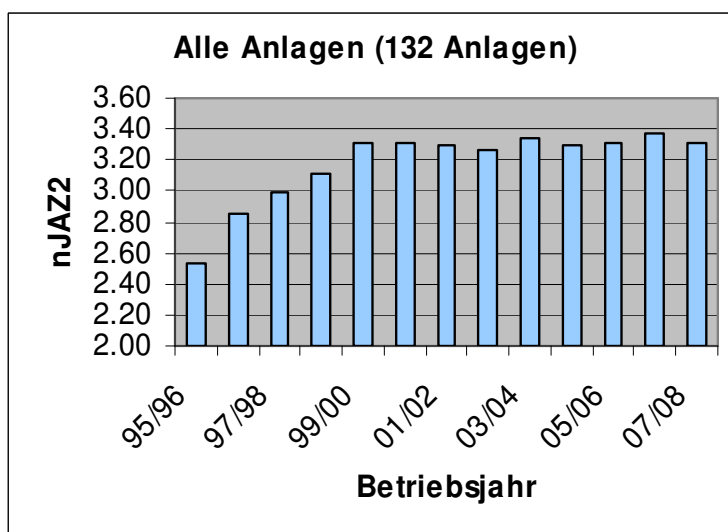


Abb. 5: Zeitreihe des Verlaufs der absoluten Jahresarbeitszahlen (nJAZ2_{abs}) von allen analysierten Wärmepumpen, Klima normiert

Der Verlauf der absoluten Jahresarbeitszahlen nJAZ2 entspricht den Werten und Erkenntnissen, die bereits bei der früheren FAWA-Analyse kommuniziert worden ist. Nach einer Phase, wo jährlich bessere JAZ-Werte festgestellt werden konnten, sind die Werte ab der Heizsaison 2000/2001 stagniert

und bis heute auf gleichem Niveau geblieben. Dies leuchtet auf den ersten Blick nicht unbedingt ein. Da aber in der Branche keine grösseren Technologieschübe bekannt sind und die Verkaufszahlen ohnehin dauernd ansteigen, hat die Branche derzeit andere Probleme, wie Fachpersonal-Aufstockung und –Schulung, sowie die Konsolidierung und der weitere Ausbau der Tätigkeit.

Am Horizont sind trotz dieser Situation derzeit einige technologische Weiterentwicklungen zuerkennen, wie CO₂-Wärmepumpe, CO₂-Erdwärmesonden, sowie gemäss einigen Erkenntnissen aus der Forschung und Entwicklung, Verbesserungen an den heutigen Geräten, bspw. bei der Luft/Wasser-Wärmepumpe die Abtauung mit Luft bis auf ca. +3 - 4 °C herunter.

Die beiden Anlagensample Luft/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen unterscheiden sich deutlich. Der ansteigende Trend bis Heizsaison 2000/2001 ist beim Anlagensample Luft/Wasser nicht erkennbar, hingegen bei den Sole/Wasser-Anlagen praktisch identisch zum Gesamtanlagensample.

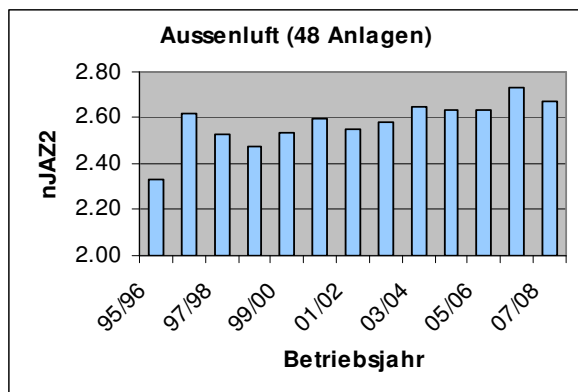


Abb. 6: Anlagensample LW-WP (total 48), nJAZ_{2abs}

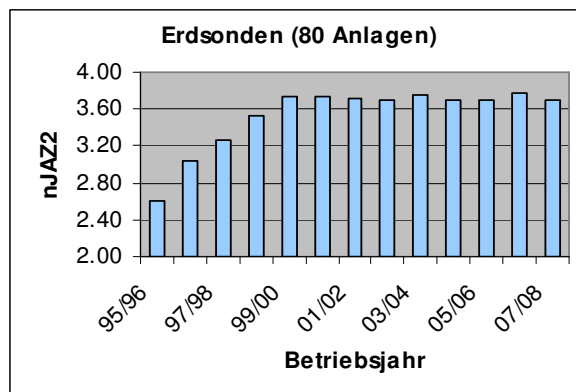


Abb. 7: Anlagensample SW-WP (total 80) , nJAZ_{2abs}

Die Werte der mittleren Jahresarbeitszahlen (nJAZ₂) sind auf relativ tiefem Niveau. Wenn man bedenkt, dass es problemlos möglich ist bei LW-WP eine JAZ von 3.0 und bei SW-WP eine von 4.0 zu erreichen, müssten die heutigen Werte auf höherem Niveau liegen. Hier könnten flankierende Massnahmen, wie das Anheben der Bedingungen für das Gütesiegel Wärmepumpen mithelfen.

Es besteht auf jeden Fall ein nicht zu unterschätzendes Entwicklungspotential bei den Kleinwärmepumpen, die als Seriefertigung und im Werk hergestellt werden. Dies ist eine wichtige Voraussetzung, denn nur bei diesen Vorgaben sind einheitliche und gleich bleibende Qualität gewährleistet. So kann bspw. die Kältemittelmenge praktisch auf Gramm genau eingefüllt werden.

Das Potential ist nach oben weit offen. Die in den letzten Jahren durchgeführte Analyse an Bestanlagen hat deutlich höhere JAZ-Werte ergeben und dies ebenfalls mit Werk gefertigten Serieprodukten. Es ist jedoch klar hervorgekommen, dass sowohl die hydraulische Einbindung, die Dimensionierung (auch der Wärmequelle) und der Betrieb optimiert sein müssen. Es konnte aber auch erkannt werden, dass diese optimalen Voraussetzungen nicht wesentliche Mehrkosten bedingen (< 10%).

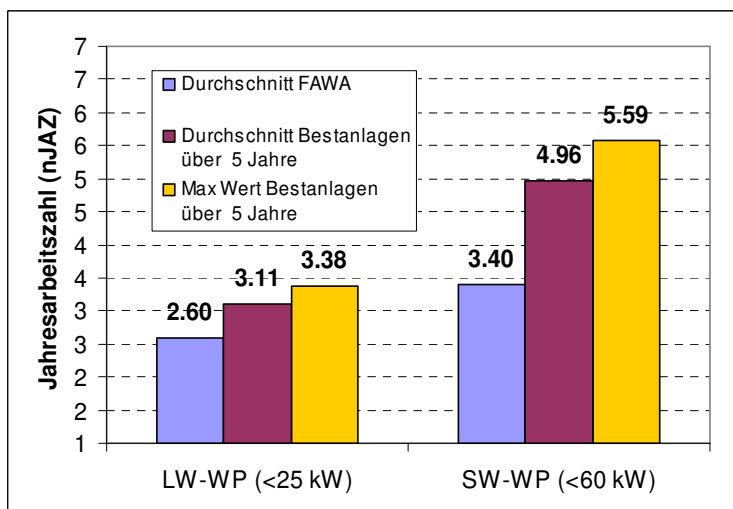


Abb. 8: JAZ-Entwicklung:
Die JAZ hat noch ein Entwicklungspotential, wenn man die Analyse aus den Bestanlagen vergleicht.

4.3 Verfügbarkeit

Eine weitere interessante Auswertung über das gesamte Anlagensample ist die Verfügbarkeit der Anlagen. Per Definition ist die Verfügbarkeit so zu verstehen, dass eine Störung dann eintritt, wenn die Wärmepumpe in Betrieb sein sollte, jedoch wegen einer Störung still steht. Über die gesamte Beobachtungszeit von bis zu 13 Betriebsjahren ist eine grosse Datenmenge für die Analyse verfügbar. Es ist nicht ganz einfach, diese Störungs-, resp. Ausfallstatistik, verlässlich zu führen. Es braucht sehr oft Rückfragen und vertiefte Abklärungen dazu.

Tabelle 2: Daten zur Verfügbarkeit

| Anzahl untersuchte Anlagen: 130 Stück unterschiedlichen Alters | | | | | |
|--|-----------|---------|-----------|---------|---------|
| Störungen | Alle | Neubau | Sanierung | L/W | S/W |
| Laufzeit total [h] | 1'646'091 | 811'206 | 834'885 | 551'422 | 953'931 |
| Störungszeit [h] | 3'944 | 2'065 | 1'879 | 2'427 | 1'311 |
| Verfügbarkeit [-] | 0.9976 | 0.9975 | 0.9978 | 0.9956 | 0.9986 |

Die ausgewerteten Daten (Tabelle 2), zeigen die grosse Betriebsstundenzahl von ca. 1,65 Mio, die der Analyse zugrunde liegt. Weiter ist auch ersichtlich, dass die Anlagen im Sanierungsbereich nicht mehr Störungen aufweisen als im Neubau. Auch die Luft/Wasser-Maschinen schneiden nicht schlechter ab.

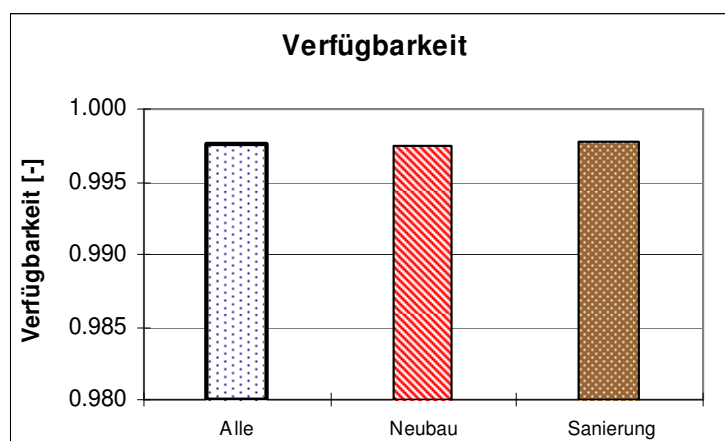


Abb. 9: Verfügbarkeit von Wärmepumpen bei Neubau und Sanierung

Insgesamt ist diese Tatsache, dass die Verfügbarkeit über 99.75% liegt, sehr erfreulich und zeigt, dass die werkgefertigten Kleinwärmepumpen einen hohen Qualitätsstandard aufweisen. In Abb. 9 sind die Vergleiche zwischen Neubau und Sanierung zum Gesamtanlagensample dargestellt. Diese hohe Verfügbarkeit hält einem Vergleich mit anderen Wärmeerzeugungen sicher stand. Es darf angenommen werden, dass das von der Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz FWS erteilte Gütesiegel, das nebst der technischen Qualität auch die Serviceorganisation beinhaltet, zu dieser positiven Situation auch einen Beitrag erbringt.

4.4 Warmwasserbereitung

Die Warmwasserbereitung mit Wärmepumpen wurde lange Zeit als Nachteil betrachtet, da wegen der höheren Vorlauftemperaturen im Endladezustand scheinbar die Effizienz negativ beeinflusst wird. Es war deshalb wichtig auch diesbezüglich frühere Erkenntnisse von FAWA hier nochmals zu bestätigen.

Die gesamtheitliche Betrachtung über längere Zeit, die mit dem vorliegenden Anlagensample möglich ist, zeigt, dass dies nicht stimmt. Die Anlagen mit Warmwasserbereitung haben tendenziell sogar eher bessere JAZ als die reinen Heizwärmepumpen (siehe Abb. 10).

Da beim Ladevorgang die mittlere Warmwassertemperatur unwesentlich höher ist als bei der Heizwärmeproduktion, ist dies auch klar. Die Anfangstemperatur des Warmwassers ist meistens bei ca. 20-30 °C, denn im unteren Boilerbereich strömt beim Warmwasserbezug das kalte Ersatzwasser ein. Dadurch ist die Effizienz der Wärmepumpe im Anfangsladezustand bedeutend besser. Jedoch im Endladezustand, wenn das Warmwasser im Boiler bereits eine höhere Temperatur aufweist, wird die Effizienz schlechter.

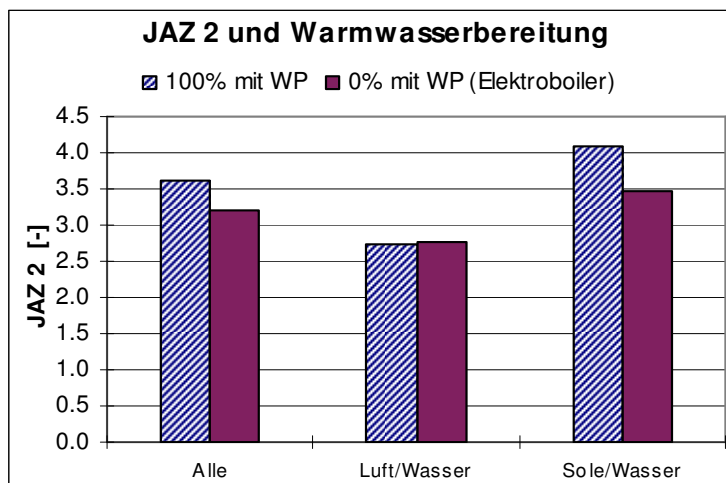


Abb. 10: JAZ-Vergleich für Wärmepumpen mit und ohne Warmwasserbereitung

Daraus ist abzuleiten, dass die Warmwasserbereitung mit der Wärmepumpe bezüglich der Effizienz der Wärmepumpenanlage nie einen Nachteil bewirkt. Vergleicht man den Systemnutzungsgrad (SNG) über die Gesamtanlage (inkl. Warmwasser-Bereitung), wird diese Situation sehr deutlich.

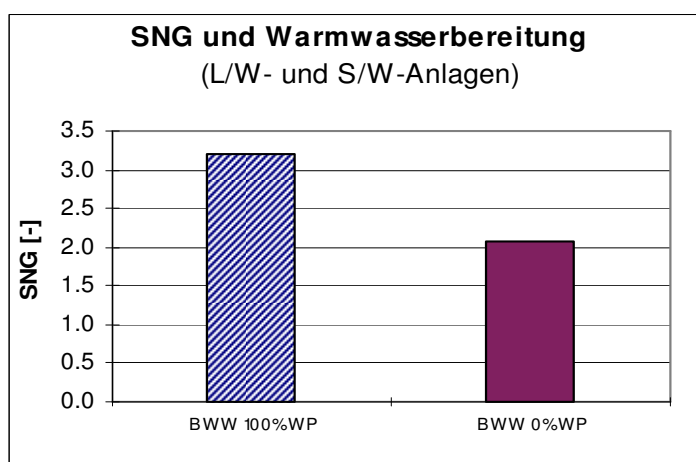


Abb. 11: Vergleich des Systemnutzungs-grades für die Warmwasserbereitung mit Wärmepumpe oder mit Elektroboiler

Gemäss der neu eingeführten MuKE n08¹ ist der Einsatz von reinen Elektroboilern sowie der Einsatz von Elektroregistern für den monoenergetischen Betrieb ab 2009 nicht mehr gestattet. Die Warmwasserbereitung mit der Wärmepumpe oder der speziell dafür vorgesehene Wärmepumpenboiler sind die richtigen Lösungen, um dieser neuen Vorschrift gerecht zu werden.

4.5 Wärmeproduktion und Laufzeiten

Bei der Gesamtbetrachtung des vorliegenden Anlagensamples sind auch die Wärmeproduktion und die Betriebszeiten interessant.

Die Wärmeproduktion folgt logischerweise genau den klimatischen Verhältnissen, die hier mit den Heizgradtagen abgebildet werden. Die Definition der Heizgradtage stellt die Abweichung der mittleren Tagestemperatur von 20 °C dar. Die in den letzten Jahren laufend verstärkten Energievorschriften können in der vorliegenden Datenanalyse nicht erkannt werden, da diese erst bei den neuesten Anlagen wirklich greifen. Zudem sind im Anlagensample 42% Anlagen, die in bestehende Gebäude eingebaut wurden. Dabei wurde bei der Aufnahme keine Bedingung gesetzt, die auch eine energetische Sanierung der Bauhülle vorausgesetzt hat.

Das Energiebedarfsniveau wird jedoch in den nächsten Jahren einiges kleiner werden. Dazu tragen nicht nur die laufend verschärften Vorschriften bei, sondern auch das hohe Niveau der Energiekosten. Dadurch wird eine energetische Massnahme an einem Gebäude schneller wirtschaftlich und ist interessant.

¹ Neue Musterverordnung Kantonalen Energievorschriften „MuKE n08“

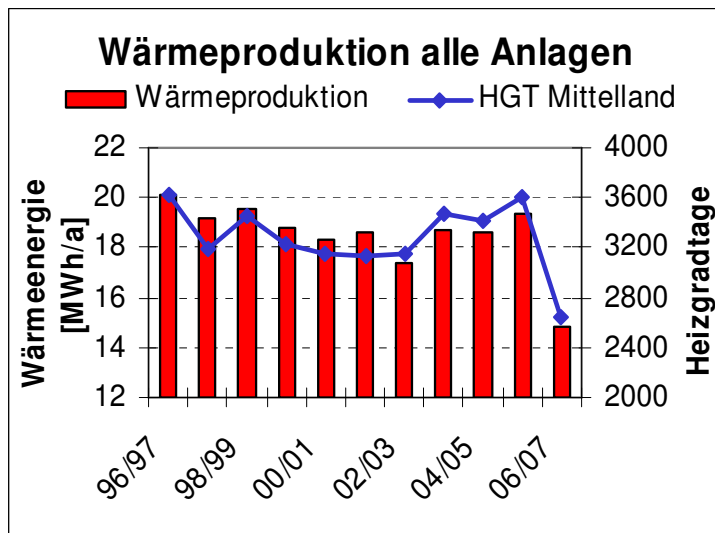


Abb. 12: Wärmeproduktion im Vergleich mit der Anzahl Heizgradtage für das Schweizer Mittelland

Die Laufzeiten der Wärmepumpen sind einerseits von der benötigten Wärmemenge des zu beheizen- den Gebäudes abhängig, die wie aus der obigen Grafik (Abb. 12) ersichtlich ist, je nach den klimati- schen Verhältnissen (Heizgradtage) ändern. Andererseits ist die Dimensionierung der Wärmepumpe gleichermassen für die Anzahl der aufzuwendenden Betriebsstunden bei der Wärmeproduktion ver- antwortlich. Eine zu grosse Wärmepumpe benötigt entsprechend der grösseren Leistung weniger Be- tribsstunden für die Produktion der aufzuwendenden Jahresenergiemenge eines Gebäudes.

Die Laufzeiten widerspiegeln die Qualität der Dimensionierung der untersuchten Anlagen. Für die Di- mensionierung von Heizungsanlagen (Wärmebedarf bei Neuanlagen) ist die SIA-Richtlinie Nr. 384/2 massgebend. Nach dieser Richtlinie wird der passive Wärmegewinn nicht berücksichtigt. Es ist eine rein statische Berechnung für den „Worst case“-Fall, wo weder Sonneneinstrahlung, Beleuchtung, Personen oder Maschinenabwärme berücksichtigt wird. Da dieser schlechteste Fall fast nie eintritt, sind mehr oder weniger alle Anlagen ca. 20-30% überdimensioniert. Dies zeigt sich auch in der Analy- se des vorliegenden Samples, wo der Auslastungsgrad für die monovalenten Anlagen bei ca. 65% liegt.

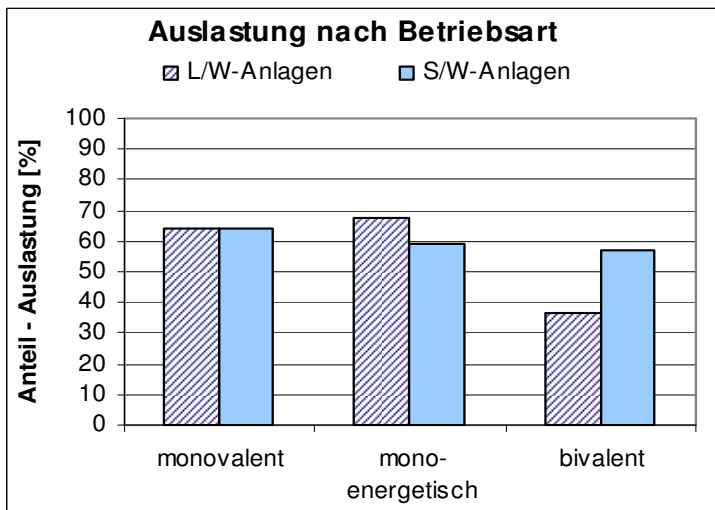


Abb. 13: Auslastungsgrad für die bei- den Anlagen LW und SW. Die Werte für monoenergetische und bivalente Anlagen sind wegen zuweni- gen Anlagen statistisch nicht erhärtet.

Bei den Wärmepumpen für Sanierungen sieht es etwas anders aus. Hier wird für die Dimensionierung der Wärmepumpenanlage der bisherige Energieverbrauch zu Hilfe genommen. Dieser Wert entspricht nicht mehr dem Dimensionierungswert nach SIA 384/2 sondern eher dem für den Energienachweis ebenfalls bekannten Wert nach SIA 380/1, der den passiven Energiegewinn berücksichtigt. Somit ist bei Anlagen im Sanierungsbereich der Auslastungsgrad etwas höher (bei ca. 80%).

Speziell für die Beurteilung der Qualität der Wärmequellennutzung bei den Sole/Wasser-Wärme- pumpen sind die mittleren Laufzeiten massgebend für die massvolle Nutzung der Erdwärmesonden.

Will man verhindern, dass es zu einer Übernutzung des angekoppelten Erdreichs kommt, muss die via die Erdwärmesonden dem Erdreich entzogene Wärmemenge, die über den Verdampfer der Wärme

pumpe als Umweltenergie bezogen wird, beschränkt sein. Eine einfache Kontrolle ist die Laufzeit der Wärmepumpenanlagen, die gemäss Planungsrichtlinien bei ca. 2'000 Betriebsstunden pro Jahr für Anlagen ohne Warmwasserbereitung und bei 2'300 [h/a] für Anlagen mit Warmwasserbereitung liegen soll.

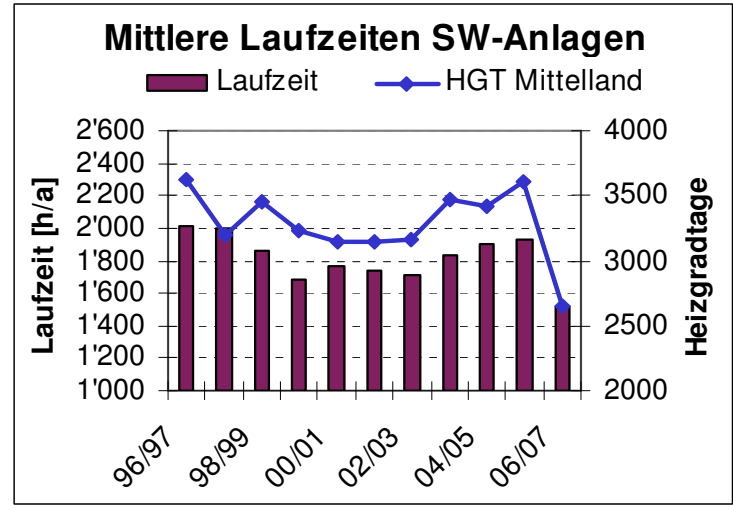


Abb. 14: Laufzeiten im Vergleich mit der Anzahl Heizgradtage für das Schweizer Mittelland

Die mittleren Laufzeiten für das gesamte Anlagensample liegen nur rund 1-2% und diejenigen für die Luft/Wasser-Maschinen ca. 5% unter den Werten der obigen Grafik (Abb. 14). Beim gesamten Anlagensample sind die mittleren Betriebsstunden pro Jahr mit 1'800-1'900 [h/a] deutlich unter dem Planungswert von 2'000 bis 2'300 [h/a].

Höhere Betriebsstunden (Maximalwerte) haben bei den Luft/Wasser-WP vier Anlagen (8.5% von den untersuchten Anlagen). Da es bei den LW-WP keine Limitierung analog zu den SW-WP gibt, spielt dies bei diesen Anlagen keine Rolle.

Bei den analysierten Sole/Wasser-Wärmepumpen liegen jedoch bei 15% aller SW-WP die Betriebsstunden über der Dimensionierungsrichtlinie. Die höchsten Werte liegen im Durchschnitt über die untersuchten Betriebsjahre bei ca. 3'000 [h/a]. Es ist mit Sicherheit anzunehmen, dass bei diesen Anlagen günstige Verhältnisse für die Wärmegewinnung vorliegen (Wasserströmung, etc.).

4.6 Wartung und Reparaturen bei Wärmepumpenanlagen

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

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

Für diese Auswertung konnte nur ein beschränktes Anlagensample „Langzeituntersuchungen“ herangezogen werden, von denen wir erweiterte Informationen zum Thema Service und Unterhalt bekommen. Das gesamte untersuchte Anlagensample unterscheidet sich einerseits durch unterschiedliche Wärmequellen (31 EWS, 3 Erdregister, 1 Energiepfähle, 22 Luft und 4 Wasser) und andererseits durch 31 Anlagen für Heizung und Warmwasserbereitung sowie 30 Anlagen nur für Heizzwecke.

Die Betriebskosten für eine Wärmepumpenanlage werden nebst den Energiekosten auch von den Wartungs- und Reparaturkosten beeinflusst. Es ist wichtig zu wissen, wie hoch man diesen Kostenanteil in einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einsetzen muss. Aus diesem Grund ist diese Untersuchung von grossem Interesse.

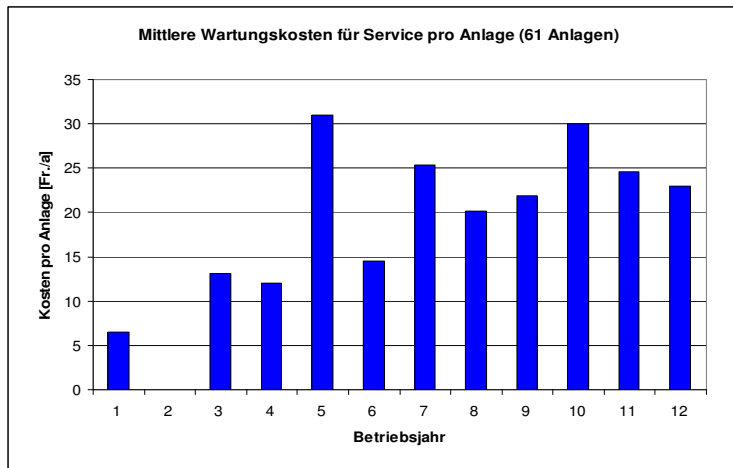


Abb. 15: Mittlere Wartungskosten (Service- und Unterhaltskosten) über die Betriebsjahre der Wärmepumpen

Wie aus Abb. 15 ersichtlich ist sind die Wartungskosten (Service und Unterhalt) im Rahmen von ca. Fr./a 18.50 äusserst günstig. Dass die ersten Jahre fast wegfallen, hat mit der Garantiezeit von 2 Jahren und einer relativ grossen Kulanz zu tun.

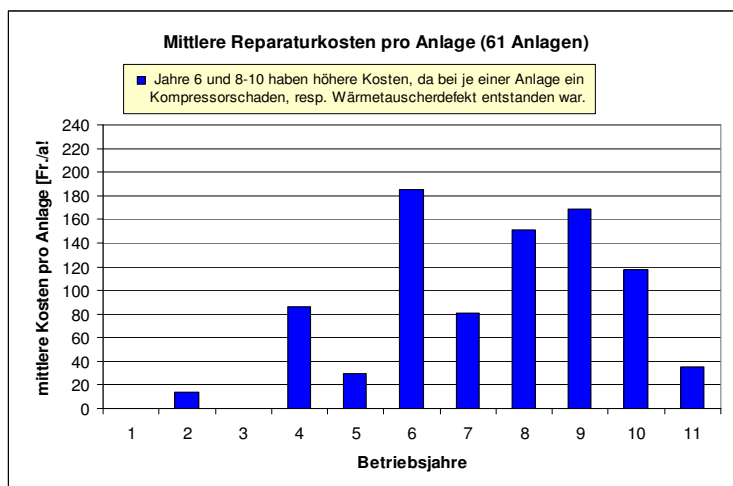


Abb. 16: Mittlere Reparaturkosten über die Betriebsjahre der Wärmepumpen

In Abb. 16 fällt auf, dass die Reparaturkosten unterschiedlich anfallen. Die beiden überhöhten Jahre 8 und 11 sind aufgrund der bereits in der Grafik erwähnten grösseren Reparaturen, wie Kompressorschaden, Wärmetauscherdefekt und Brandschaden (Propananlage wegen Elektrodefekt) entstanden. Die übrigen Reparaturkosten sind auf ganz normale Gegebenheiten verteilt, wie Expansionsventil, Strömungswächter, Regulierung, etc. sowie auch äussere Einflüsse, wie Verschlämmung des hydraulischen Systems, Mischventil und Umwälzpumpe. Der Mittelwert über alle Reparaturkosten liegt pro Anlage bei rund 74.50 [Fr./a]. Diese niedrigen Reparaturkosten sind ebenfalls sehr günstig und beeinflussen die Betriebskostenrechnung für eine Wärmepumpenanlage positiv.

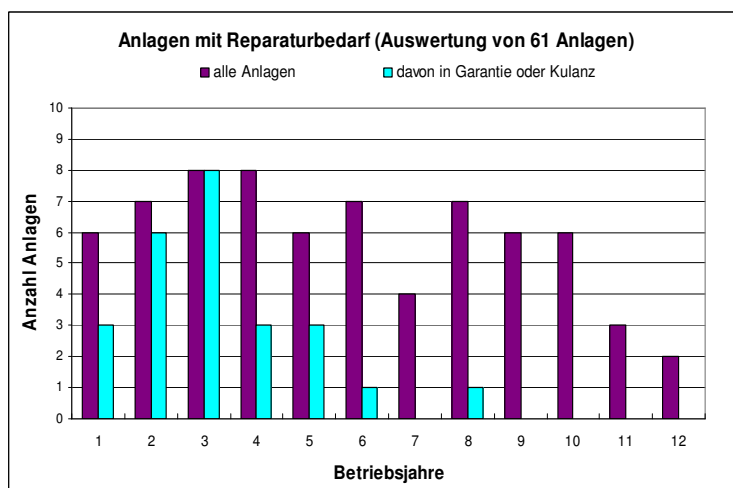


Abb. 17: Anzahl Anlagen mit Reparaturbedarf in Abhängigkeit der Betriebsjahre

Die gesamten Kosten für Wartung und Reparaturen belaufen sich im Mittel über die 12 analysierten Betriebsjahre bei den 61 Anlagen auf 92.80 [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. Die Ausfälle der Kompressoren verteilen sich auf die Jahre 1 (Garantiefall) sowie Jahre 6-9. Der Brandfall bezieht sich auf eine Wärmepumpe mit Propanfüllung.

In Abb. 17 sind noch die Anzahl Anlagen ersichtlich, für die in den entsprechenden Betriebsjahren Reparaturleistungen erbracht werden musste. Deutlich ist feststellbar, dass vor allem in den ersten drei Jahren praktisch alle Reparaturen in Garantie oder Kulanz behoben wurden.

5. Diskussion

Die Resultate dieser Untersuchung, schliessen nahtlos an die früheren Projekte, FAWA und Folgeprojekte, die zu diesem Thema vom BFE in Auftrag gegeben wurden, an. Nur deshalb ist es möglich heute auf über 12 Jahre Erfahrungen zurückgreifen zu können. Zu den Schwerpunktthemen Langzeitverhalten und Verfügbarkeit können nach wie vor positive Resultate vorgezeigt werden.

Die Effizienz der Anlagen ist seit dem Jahr 2000 praktisch unverändert. Es gibt keine grossen Sprünge und die Erwartungen sind kurzfristig ebenfalls nicht euphorisch. Die mittleren JAZ-Werte verharren auf den Werten, die bereits in der FAWA-Studie veröffentlicht wurden.

Das Langzeitverhalten ist auch heute nach 12 Jahren praktisch unverändert gut. Die kleinen Schwankungen im Rahmen von ca. $\pm 5\%$ sind aufgrund von Messdifferenzen und unvorhersehbaren Einflüssen, die nur mit extrem hohem Aufwand eliminiert werden könnten. Zudem ist das Anlagensample mit vielen Betriebsjahren immer noch zu klein, um statistisch gesicherte Erkenntnisse zu gewinnen.

Der Ruf nach besserer Effizienz von Kleinwärmepumpen sollte vermehrt geäussert werden. So könnte mit moderat angehobenen Voraussetzungen der Mindest-COP-Werte für das Wärmepumpen-Gütesiegel ebenfalls ein Schritt in die richtige Richtung getan werden.

Die Verfügbarkeit ist bei den Wärmepumpenanlagen nach wie vor beachtlich hoch. Lediglich während 0.25% der jährlich benötigten Betriebsstunden laufen aufgrund von Störungen die Wärmepumpenanlagen nicht. Dies ist bedeutet, dass man beim Betrieb einer Wärmepumpe kaum ein Manko an Wärmeenergie gewärtigen muss.

Die Warmwasserbereitung mit Wärmepumpen, ob Luft/Wasser- oder Sole/Wasser-Maschinen, ist kein Problem und die Effizienz wird nicht geschmälert durch den Betrieb bei der Warmwasserladung. Die neu eingeführte Musterverordnung Kantonaler Energievorschriften „MuKE08“ lässt ab 2009 die Warmwasserbereitung mit Elektroheizstab nicht mehr zu. Die Warmwasser-Bereitung mit der Heizwärmepumpe oder Wärmepumpenboiler ist in Zukunft wohl die beste Lösung nebst Solareinsatz.

Die Wärmeproduktion von Kleinwärmepumpen ist in erster Linie von den klimatischen Verhältnissen abhängig. Die planerischen Vorgaben für die Dimensionierung von Wärmepumpen liegen für reine Heizwärmepumpen bei 2'000, resp. für WP, die auch Warmwasser produzieren bei 2'300 Betriebsstunden pro Jahr. Die Analyse zeigt, dass diese Werte gut eingehalten werden. Der Mittelwert liegt mit ca. 1'800-1'900 [h/a] deutlich unter dem Planungswert. Es gibt jedoch vor allem bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen auch einige Anlagen (15% der SW-WP), die mit bis zu 3'000 [h/a] stark über den Sollwerten liegen. Da uns keine nachteiligen Informationen zu deren Betrieb vorliegen, ist mit Sicherheit anzunehmen, dass günstige Verhältnisse für die Wärmegewinnung vorliegen (Wasserströmung, etc.).

Neu ist die Analyse über den Betrieb von Wärmepumpen und zwar unterteilt in Service/Wartung sowie Reparatur. Diese Untersuchung wurde wegen der aufwändigen Analyse und Kostenkontrolle bisher nur an 61 Anlagen durchgeführt. Die Resultate sind trotz günstigen Erwartungen überraschend niedrig. Ergeben sich doch als Durchschnitt über 12 Jahre zusammengefasste Kosten für Wartung und Reparatur von weniger als 100 Fr./Jahr. Natürlich hat es Anlagen mit Kompressorschäden oder eingefrorenen Verdampfern darunter, doch diese fallen bei den vielen überaus zuverlässigen Maschinen gesamtheitlich betrachtet nicht ins Gewicht.

Diese Erhebungen über die Wartungskosten zeigen auch, dass die Fachbranche, insbesondere die Hersteller von Wärmepumpen bei Schäden und Problemen im Allgemeinen kulant sind. So wurden im fünften und sogar im siebten Betriebsjahr noch Garantieleistungen erbracht, was nicht selbstverständlich ist.

6. Schlussfolgerung

Die jährlichen Auswertungen zeigen eine gute Kontinuität. Es gibt wenige Abweichungen und die Resultate sind gut. Speziell die Kostenanalysen sind komplett neu. 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.

Sobald man über die Kostenanalyse noch mehr Informationen hat und diese mit weitergehender hoher Qualität ausgewertet werden können, müssen diese Informationen breit kommuniziert werden.

Die Weiterführung der Untersuchungen von Kleinwärmepumpen im Feld ist sehr wichtig und führt gerade im Bereich der Langzeitermittlungen nach weiteren 2-3 Jahren zu gesicherten Erkenntnissen über die Effizienz während der gesamten Lebensdauer. Weiter können für die Erfassung der Wartungskosten ebenfalls qualitativ gesteigerte Informationen gewonnen werden.

Nationale Zusammenarbeit

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

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.

Internationale Zusammenarbeit

Der Projektleiter konnte, resp. kann an zwei internationalen Vorträgen in Deutschland über dieses Projekt im Rahmen eines Vortrags informieren.

Am 5. Juni 2008 am Wärmepumpensymposium der TWK-Karlsruhe (Prof. Dr. Ing. Reichelt und am 27. Nov. 2008 an der Hochschule Biberach am 5. Geothermietag (Prof. Dr. Ing. Koenigsdorff)

Weiter sind vorerst keine internationalen Kontakte bekannt. Da sowohl in Deutschland, wie auch in Österreich seit kurzer Zeit analoge Projekte angelaufen sind, könnte ein Erfahrungsaustausch sinnvoll sein. Da man in der Schweiz aus weitsichtiger Planung beim BFE bereits seit 1996 solche Analysen im Feld durchführt (FAWA-Studie und vorliegendes Folgeprojekt QS-WP/QP), sind wir bezüglich Informationen und Erkenntnissen meilenweit voraus.

Referenzen

- [1] *FAWA-Schlussbericht BFE: Feldanalysen von Wärmepumpenanlagen FAWA, 1996 - 2003 Schlussbericht April 2004, Autoren: P. Hubacher, M. Erb, M. Ehrbar.*

Engelburg, 30.Sept. 2008

P. Hubacher, dipl. Ing. HTL
Hubacher Engineering
Projektleiter