



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

## TEILPROJEKT LANGZEITVERHALTEN 2007- 2008

### Jahresbericht 2007

Autor und Koautoren	Peter Hubacher, dipl. Ing. HTL/Prof. Dr. Max Ehrbar
beauftragte Institution	Hubacher Engineering
Adresse	Tannenbergstrasse 2, 9032 Engelburg
Telefon, E-mail, Internetadresse	071/260 27 27; E-Mail: he-ko@bluewin.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	Projekt Nr. 100'454, Verfügung Nr. 152'379
BFE-Projektbegleiter	Prof. Dr. Thomas Kopp, externer F&E-Programmleiter Ressortforschungsprogramm Umgebungswärme, WKK, Kälte
Dauer des Projekts (von – bis)	1. Jan. 2007 – 31. Aug. 2008
Datum	22. Nov. 2007

#### ZUSAMMENFASSUNG

Mit dem vorliegenden Forschungsprojekt wird das Langzeitverhalten der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen (Alterung) und die Wartungs- und Reparaturkosten in Abhängigkeit vom Alter der Maschine untersucht.

Für das Langzeitverhalten ist aufgrund der langjährigen Kontakte zu Anlagenbesitzern (FAWA Analyse mit insgesamt 250 Anlagen), heute immer noch ein Anlagensample von über 120 Anlagen, deren Jahresdaten ausgewertet werden, verfügbar. Diese Daten werden von den Anlagenbesitzern immer noch regelmässig aufnotiert und an uns weitergeleitet. 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 Werten der Neuanlagen.

Ein zweiter Schwerpunkt ist die Kostenanalyse für die Wartungs- und Reparaturkosten. Hier werden 61 Anlagen mit vollständigen Datensätzen ausgewertet. Die Höhe der mittleren Wartungskosten pro Maschine liegt mit durchschnittlich ca. 25 Franken/Jahr sehr günstig (inklusive tw. Serviceabonnements). Ein ähnlicher Trend kann auch bei den Reparaturkosten vorgefunden werden. Der Mittelwert über alle ausgewerteten Anlagen liegt trotz der relativ hohen Kosten für die Jahre 8 und 11 nur bei rund 65 Franken/Jahr und ist ebenfalls sehr günstig. Diese Kostenanalyse muss jedoch noch weiter vertieft werden, um die Anlagen mit längeren Betriebsjahren, resp. grösseren Betriebsstundenzahlen noch genauer zu erfassen. Zurzeit sind noch zuwenige Anlagen mit 10 und mehr Betriebsjahren, die ausgewertet werden können. Diese Auswertungen sollten unbedingt fortgeführt werden.

## Projektziele

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 Entwicklungsschritt
- 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

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### 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 121 Anlagen, aufgeteilt in Luft/Wasser- und Sole/Wasser- und einzelne Wasser/Wasser-Anlagen.

### Mehodik

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 Energiekosten 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.) nachvollzogen.

### Langzeitverhalten der Jahresarbeitszahl JAZ

Die Erhebungen dienen der Beantwortung der Frage, wie sich die Jahresarbeitszahl in Folge des zunehmenden Alters einer Maschine ändert. Die Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe können hauptsächlich durch zunehmende Abnutzung (Verschleiss von Kompressor, Ventilatoren und Umwälzpumpen) oder durch Verschmutzung von Wärmetauschern erfolgen. Bei Wärmenutzung aus dem Erdreich kann sich auch die Quelltemperatur als Folge von Übernutzung im Verlauf der Zeit ändern. Aus der nachstehenden Tabelle 1 und dem Abb. 1 sind die Resultate samt einigen Details, wie Stückzahlen, etc. ersichtlich.

Tabelle 1: Erhobene Jahresarbeitszahlen in Abhängigkeit von Betriebsalter der WP

Betriebsjahre		Mittlere Abweichung [-]	Anzahl auswertbare Anlagen	SD [-]
Jahr 2	(2-1)/1	1.013	121*	0.11
Jahr 3	(3-1)/3	1.015	124	0.13
Jahr 4	(4-1)/4	1.017	116	0.16
Jahr 5	(5-1)/5	1.016	95	0.11
Jahr 6	(6-1)/6	1.023	75	0.13
Jahr 7	(7-1)/7	1.014	63	0.12
Jahr 8	(8-1)/8	1.018	53	0.12
Jahr 9	(9-1)/9	1.034	41	0.15
Jahr 10	(10-1)/10	1.005	31	0.16
Jahr 11	(11-1)/11	0.995	15	0.12
Jahr 12	(12-1)/12	0.987	6	0.11
Jahr 13	(13-1)/13	0.941	3	0.16

Anmerkung: Im ersten und zweiten Betriebsjahr gab es Datensätze, die nicht in die Auswertung übernommen werden konnten. Wenn im ersten Betriebsjahr keine Auswertung möglich war, wurde das zweite Betriebsjahr als Referenz genommen.

Die Veränderung gegenüber dem ersten Betriebsjahr ist kaum feststellbar. Die kleinen Abweichungen sind viel eher in der Genauigkeit der Ermittlung, resp. in der Messgenauigkeit, zu suchen. Die letzten beiden Jahre sind noch mit grosser Vorsicht zu betrachten, da die Anzahl der Anlagen mit dem Alter von 12 und 13 Jahren noch sehr klein ist.

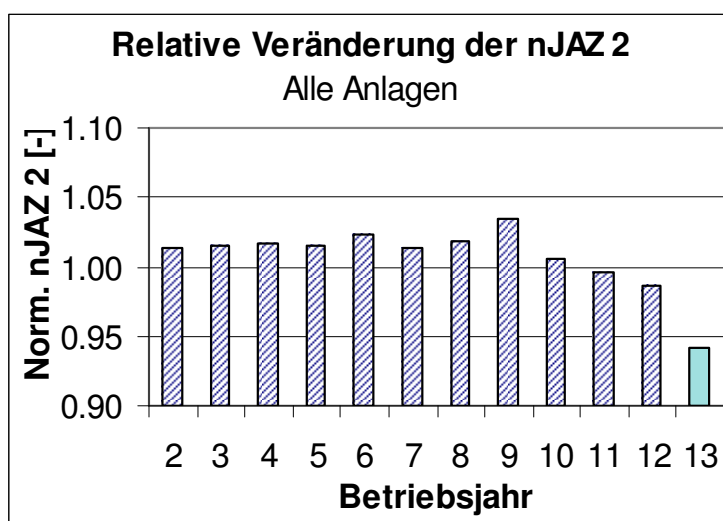


Abb. 1: Zeitreihe des Verlaufs Jahresarbeitszahlen (JAZ) von Luft-Wasser- und Sole-Wasser-Wärmepumpen in Abhängigkeit vom Betriebsjahr (1. Jahr = 100 %), Klima normiert

Das Resultat ist jedoch sehr erfreulich und zeigt, dass die eingesetzten Wärmepumpenanlagen in den untersuchten 12 Jahren kaum einem Verschleiss unterworfen und demzufolge über die gesamte Beobachtungszeit mit gleich bleibender Leistung gelaufen sind.

### Verfügbarkeit

Die 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.

Die ausgewerteten Daten, gemäss Tabelle 2, zeigen die grosse Betriebsstundenzahl von über 1,36 mio, die der Analyse zugrunde liegt. Weiter ist auch ersichtlich, dass die Anlagen im Sanierungsbe-  
reich unwesentlich mehr Störungen aufweisen als im Neubau.

Tabelle 2: Daten zur Verfügbarkeit

Anzahl untersuchte Anlagen 121 Stück unterschiedlichen Alters

Störungen	Alle	Neubau	Sanierung	L/W	S/W
LZ total [h]	1'360'580	702'430	658'150	333'886	713'336
Störung [h]	5'279	1'701	3'578	3'988	1'291
Verfügbarkeit [-]	0.9961	0.9976	0.9946	0.9882	0.9982
<b>Gestörte Anlagen</b>					
Anlagen [Stk.]	31	15	16	13	18
Anteil [-]	0.25	0.21	0.30	0.37	0.29

Insgesamt ist diese Tatsache, dass die Verfügbarkeit im Rahmen von 99.5 % liegt, ist sehr erfreulich und zeigt, dass die werkgefertigten Kleinwärmepumpen einen hohen Qualitätsstandard aufweisen. In Abb. 2 sind die Vergleiche zwischen Neubau und Sanierung dargestellt im Vergleich zum Gesamt-  
sample. Diese hohe Verfügbarkeit hält einem Vergleich mit anderen Wärmeerzeugungen sicher stand.

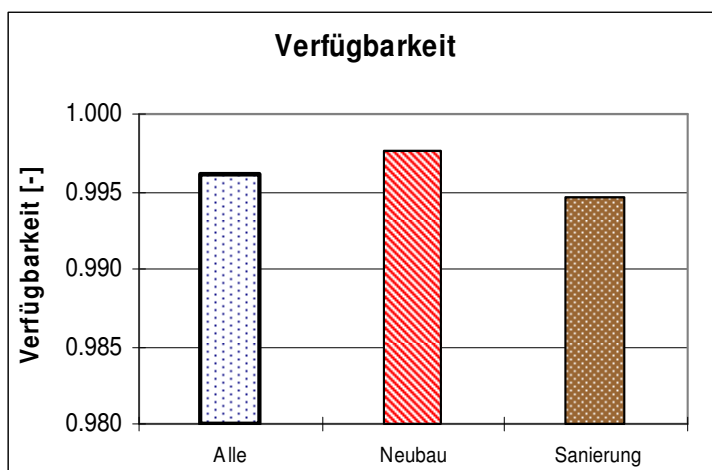


Abb. 2: Verfügbarkeit der Wärmepumpenanlagen

### Warmwasserbereitung

Die Warmwasserbereitung mit Wärmepumpen wurde lange Zeit als Nachteil betrachtet, da wegen der höheren Vorlauftemperaturen im Endladezustand die Effizienz negativ beeinflusst wird. Die gesamt-  
heitliche Betrachtung über längere Zeit, die mit dem vorliegenden Anlagensample möglich ist, zeigt, dass dies nicht stimmt, da die Anlagen mit Warmwasserbereitung tendenziell sogar eher besse-  
re JAZ haben als die reinen Heizwärmepumpen (siehe Abb. 3).

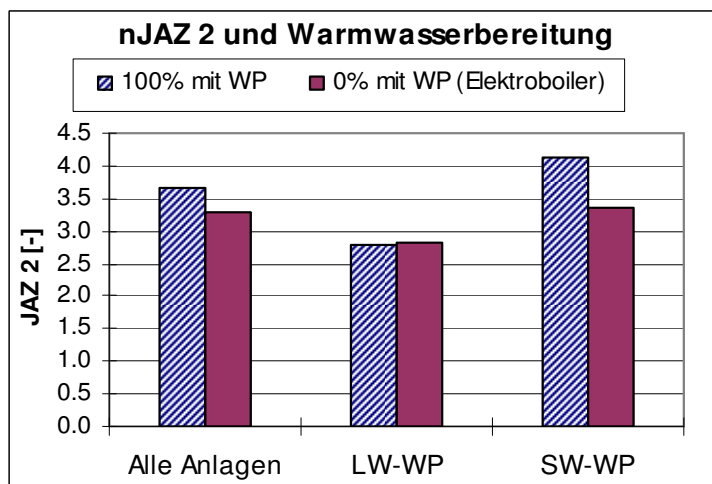


Abb. 3: JAZ-Vergleich für Wärmepumpen mit und ohne Warmwasserbereitung

Daraus ist abzuleiten, dass die Warmwasserbereitung mit der Wärmepumpe bezüglich der Effizienz immer besser ist als ein Elektroboiler. Vergleicht man den Systemnutzungsgrad wird diese Situation sehr deutlich (siehe Abb. 4).

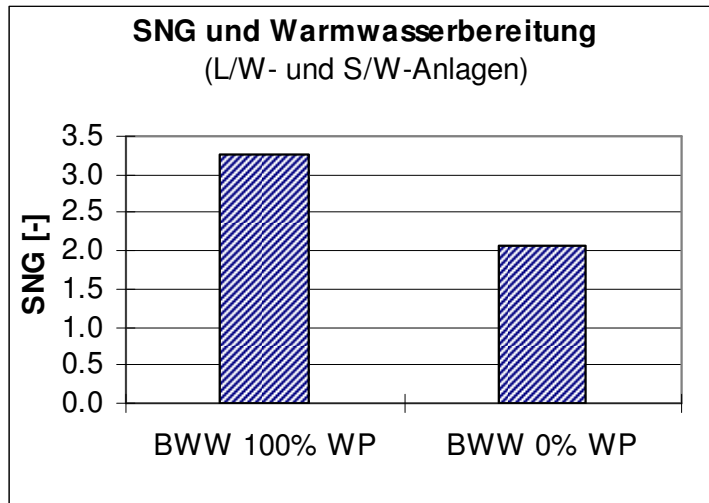


Abb. 4: Vergleich des Systemnutzungsgrades für die Warmwasserbereitung mit Wärmepumpe oder mit Elektroboiler

### Wartung und Reparaturen bei Wärmepumpenanlagen

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 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 das Sample der Anlagen „Langzeituntersuchung“ 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.

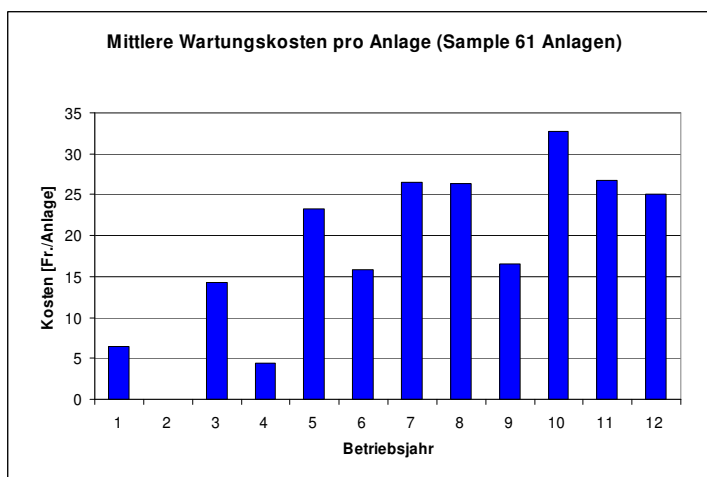


Abb. 5: Mittlere Wartungskosten (Service- und Unterhaltskosten) in Abhängigkeit der Betriebsjahre der Wärmepumpen

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. Wie aus Abb. 5 ersichtlich ist sind die Wartungskosten (Service und Unterhalt) im Rahmen von ca. Fr./a 25.00 äusserst günstig. Dass die ersten Jahre fast wegfallen, hat mit Sicherheit mit der Garantiezeit von 2 Jahren und einer relativ grossen Kulanz zu tun.

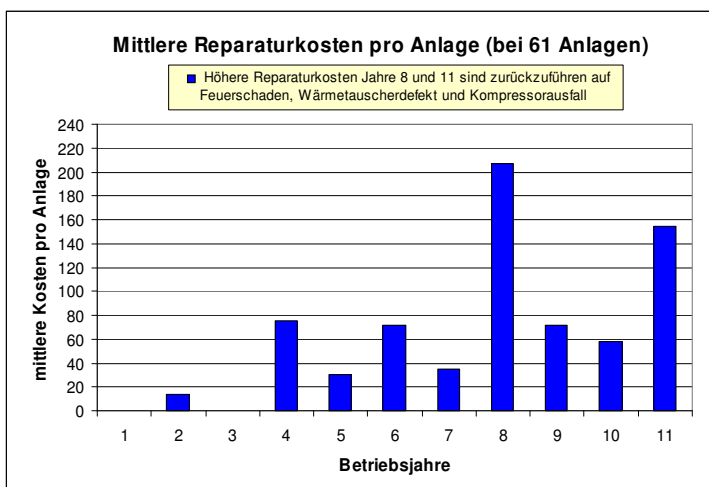


Abb. 6: Mittlere Reparaturkosten in Abhängigkeit der Betriebsjahre

In Abb. 6 fällt auf, dass die Reparaturkosten unterschiedlich anfallen. Die beiden überhöhten Jahre 8 und 11 sind aufgrund der bereits in der Grafik erwähnten grösseren Reparaturen, 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 Verschlammung des hydraulischen Systems, Mischventil und Umwälzpumpe. Der Mittelwert über alle Reparaturkosten liegt pro Anlage bei Fr./a 65.00 und ist ebenfalls sehr günstig.

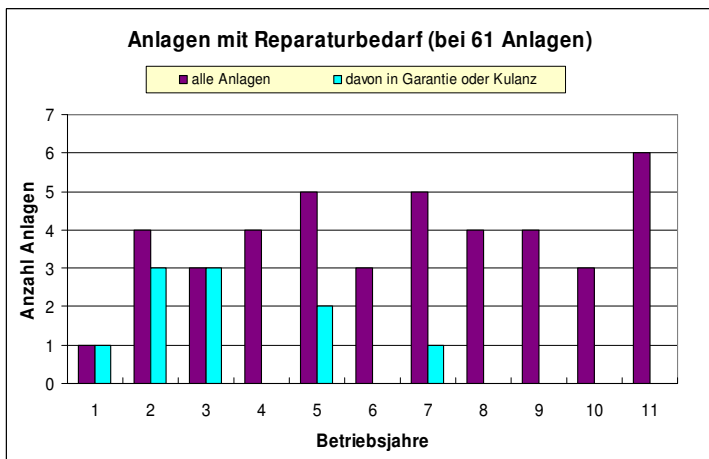


Abb. 7: Anzahl Anlagen mit Reparaturbedarf in Abhängigkeit der Betriebsjahre

In Abb. 7 sind noch die Anzahl Anlagen ersichtlich, für die man in den entsprechenden Betriebsjahren Reparaturleistungen erbringen musste. Deutlich ist feststellbar, dass vor allem in den ersten drei Jahren praktisch alle Reparaturen in Garantie oder Kulanz behoben wurden.

## Nationale Zusammenarbeit

Da der Projektverantwortliche Peter Hubacher bei FWS das Ressort Qualitätssicherung leitet, ist die zielgerichtete Weitergabe der Erkenntnisse auf einfachem Wege sichergestellt.

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**

Es sind vorerst keine internationalen Kontakte vorgesehen. Da sowohl in Deutschland, wie auch in Oesterreich 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-WO/QP), sind wir meilenweit voraus.

## **Bewertung 2007 und Ausblick 2008**

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. Vorerst müssen diese Auswertungen jedoch noch vertieft angegangen werden. Wir haben noch zu wenige Anlagen mit 10 und mehr Betriebsjahren für die Analyse.

## **Referenzen**

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

Engelburg, 28.11.2007

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