

Schlussbericht Oktober 2004

Messdaten von sieben Wärmepumpenanlagen in der Schweiz

ausgearbeitet durch
Hans Rudolf Gabathuler, Hans Mayer
Gabathuler AG, Beratende Ingenieure
Kirchgasse 23, 8253 Diessenhofen

Autoren:

Hans Rudolf Gabathuler
Hans Mayer
Gabathuler AG
Beratende Ingenieure
Kirchgasse 23
8253 Diessenhofen
gabathuler.ag@bluewin.ch

Begleitgruppe:

Dr. Thomas Afjei
FHBB
Fachhochschule beider Basel
Fichtenhaagstrasse 4
4132 Muttenz

Markus Erb
Dr. Eicher + Pauli AG
Kasernenstrasse 21
4410 Liestal

Daniel Trüssel
KWT
Kälte-Wärme-Technik AG
Hühnerhubelstrasse 79
3123 Belp

Dr. Thomas Kopp
HSR
Hochschule Rapperswil
Oberseestrasse 10
8640 Rapperswil

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie
3003 Bern

Vertreten durch den Projektbe-
gleiter Dr. Thomas Kopp

www.waermepumpe.ch/fe

Zusammenfassung

Es gibt immer wieder Anfragen nach Messdaten von Wärmepumpenanlagen zur Validierung von Modellen, zur Beschreibung dynamischer Vorgänge usw. Oft gibt es auch erst im Nachhinein Hinweise, dass solche Daten gesucht wurden, deren Existenz aber nicht bekannt war oder der Aufwand an diese heranzukommen zu gross erschienen war. Aus Forschungsprojekten des Bundesamtes für Energie sind Messdatensätze verschiedener Wärmepumpenanlagentypen vorhanden. Die folgenden sieben Wärmepumpenanlagen wurden einheitlich beschrieben und aufbereitet:

- Waltalingen-Ziletten: Erdwärmesonde, Fussbodenheizung, ohne Speicher, mit Warmwasserbereitung
- Barzheim: Aussenluft, Fussbodenheizung, Seriespeicher im Vorlauf
- Oberseen: Erdwärmesonde, Fussbodenheizung, Kombispeicher mit Solarnutzung
- Seen: Aussenluft, 67% Fussbodenheizung mit 33% Heizkörperheizung und 33% Fussbodenheizung mit 67% Heizkörperheizung, Seriespeicher im Rücklauf
- Münsingen: Aussenluft, Heizkörperheizung, Parallelspeicher, mit Warmwasserbereitung
- Waltalingen-Steig: Aussenluft, Heizkörperheizung, Seriespeicher im Rücklauf
- Richigen: Erdwärmesonde, Heizkörperheizung, ohne Speicher, mit Warmwasserbereitung

Die Messdaten sind in Tages- oder Wochen-CSV-Files als Summen- oder Mittelwerte der jeweils letzten 1, 5 oder 10 Minuten abgespeichert. Der Beobachtungszeitraum ist jeweils mindestens einige Monate, meist eine Heizperiode oder mehr.

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren verantwortlich.

Abstract

Enquires are constantly received for test data on heat pump installations for the purpose of validating simulations, analysing dynamic performance, etc. Cases often come to our attention in which data had been unsuccessfully sought – or assumed not to exist – or where the effort to locate data appeared unwarranted. Measurements are available from Swiss Federal Office of Energy research projects for various heat pump systems. Details of the following seven installations have been published and the test data presented in standard form:

- Waltalingen-Zileten: heat well, floor heating, no heating storage tank, domestic hot water
- Barzheim: ambient air, floor heating, series heating storage tank in the flow circuit
- Oberseen: heat well, floor heating, tank-in-tank storage with solar coupling
- Seen: ambient air, 67% floor heating with 33% radiator heating, 33% floor heating with 67% radiator heating, series heating storage tank in the return circuit
- Münsingen: ambient air, radiator heating, parallel heating storage tank, domestic hot water
- Waltalingen-Steig: ambient air, radiator heating, series heating storage tank in the return circuit
- Richigen: heat well, radiator heating, no heating storage tank, domestic hot water

The data are available on CSV files consisting of daily or weekly values summed or averaged over 1.5 or 10 minute intervals. The periods of observation cover several months, mostly extending over one or more heating periods.

This project was carried out on behalf of the Swiss Federal Office of Energy. Responsibility for the content and conclusions of the report lies entirely with the authors.
--

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Abstract.....	4
Inhaltsverzeichnis	5
1. Ausgangslage.....	7
2. Ziel der Arbeit	7
3. Messdaten	8
3.1 Wichtige Hinweise	8
3.2 Übersicht	8
3.3 Waltalingen Ziletten.....	9
3.3.1 Beschreibung der Versuchsanlage.....	9
3.3.2 Prinzipschema und Messstellenliste	10
3.3.3 Beobachtungsperiode	12
3.4 Barzheim	13
3.4.1 Beschreibung der Versuchsanlage.....	13
3.4.2 Prinzipschema und Messstellenliste	13
3.4.3 Beobachtungsperiode	16
3.5 Oberseen.....	17
3.5.1 Beschreibung der Versuchsanlage.....	17
3.5.2 Prinzipschema und Messstellenliste	18
3.5.3 Beobachtungsperiode	20
3.6 Seen	21
3.6.1 Beschreibung der Versuchsanlage.....	21
3.6.2 Prinzipschema und Messstellenliste	22
3.6.3 Beobachtungsperiode	24
3.7 Münsingen.....	25
3.7.1 Beschreibung der Versuchsanlage.....	25
3.7.2 Prinzipschema und Messstellenliste	26
3.7.3 Beobachtungsperiode	28
3.8 Waltalingen Steig	29
3.8.1 Beschreibung der Versuchsanlage.....	29
3.8.2 Prinzipschema und Messstellenliste	30
3.8.3 Beobachtungsperiode	32
3.9 Richigen.....	33
3.9.1 Beschreibung der Versuchsanlage.....	33
3.9.2 Prinzipschema und Messstellenliste	34
3.9.3 Beobachtungsperiode	36
4. Literaturverzeichnis	37

1. Ausgangslage

Es gibt immer wieder Anfragen nach Messdaten von Wärmepumpenanlagen zur Validierung von Modellen, zur Beschreibung dynamischer Vorgänge usw. Oft gibt es auch erst im Nachhinein Hinweise, dass solche Daten gesucht wurden, deren Existenz aber nicht bekannt war oder der Aufwand an diese heranzukommen zu gross erschienen war.

Aus den Forschungsprojekten des Bundesamtes für Energie sind Messdaten verschiedener Anlagentypen vorhanden (siehe [3] bis [7]), die mehr oder weniger die STASCH-Schaltungen gemäss [1] und [2] abdecken. Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurde auch noch eine Heizkörperheizung ohne Speicher untersucht (siehe [8]), die bisher bei STASCH noch nicht vorgesehen war.

2. Ziel der Arbeit

Einheitliche Beschreibung und Aufbereitung der Messdatensätze der folgenden sieben Wärmepumpenanlagen:

- Waltalingen Ziletten [3]: Erdwärmesonden, Fussbodenheizung, ohne Speicher, mit Warmwasserbereitung
- Barzheim [3] [4]: Aussenluft, Fussbodenheizung, Seriespeicher im Vorlauf
- Oberseen [7]: Erdwärmesonden, Fussbodenheizung, Kombispeicher mit Solarnutzung
- Seen [5]: Aussenluft, 67% Fussbodenheizung mit 33% Heizkörperheizung und 33% Fussbodenheizung mit 67% Heizkörperheizung, Seriespeicher im Rücklauf
- Münsingen [6]: Aussenluft, Heizkörperheizung, Parallelspeicher, mit Warmwasserbereitung
- Waltalingen Steig [6]: Aussenluft, Heizkörperheizung, Seriespeicher im Rücklauf
- Richigen [8]: Erdwärmesonden, Heizkörperheizung, ohne Speicher, mit Warmwasserbereitung

3. Messdaten

3.1 Wichtige Hinweise

Die aufbereiteten Messdaten werden als CSV-Files zur Verfügung gestellt. CSV heisst «comma searated value». Die einzelnen Messwerte werden also definitionsgemäss durch Kommas getrennt.

- Zum Einlesen in EXCEL muss das Listentrennzeichen auf Komma gestellt sein
- z. B. WINDOWS 2000: Systemsteuerung – Ländereinstellungen – Zahlen – Listentrennzeichen = Komma
- Datum/Zeit ist als Text dargestellt

3.2 Übersicht

Tabelle 1 gibt eine Übersicht der Messdaten, die aufbereitet wurden. Die ersten 6 Anlagentypen sind ehemalige Forschungsprojekte des BFE, die mehr oder weniger die STASCH-Schaltungen gemäss [1] und [2] abdecken. Der letzte Anlagentyp, den es bei STASCH noch nicht gibt, ist im Rahmen des vorliegenden Messprojekts ausgemessen worden (separater Schlussbericht [8]).

Ref.	Bezeichnung	Wärmequelle	Wärmeabgabesystem	Schaltung
[3]	Waltalingen Ziletten	Erdwärmesonden	Fussbodenheizung	Ohne Speicher, mit Warmwasserbereitung STASCH 1/2
[3] [4]	Barzheim	Aussenluft	Fussbodenheizung	Seriespeicher im Vorlauf STASCH 3
[7]	Oberseen	Erdwärmesonden	Fussbodenheizung	Kombispeicher mit Solarnutzung STASCH 7
[5]	Seen	Aussenluft	67% Fussboden, 33% Heizkörper 33% Fussboden, 67% Heizkörper	Seriespeicher im Rücklauf STASCH 3
[6]	Münsingen	Aussenluft	Heizkörperheizung	Parallelspeicher, mit Warmwasserbereitung STASCH 5/6 (Retrofit)
[6]	Waltalingen Steig	Aussenluft	Heizkörperheizung	Seriespeicher im Rücklauf, mit Warmwasser- bereitung, STASCH 3/4 (Retrofit)
[8]	Richigen	Erdwärmesonden	Heizkörperheizung	Ohne Speicher, mit Warmwasserbereitung Noch nicht bei STASCH

Tabelle 1: Zusammenstellung der aufbereiteten Messdaten

3.3 Waltalingen Ziletten

3.3.1 Beschreibung der Versuchsanlage

Beim vorliegenden Projekt wurde eine neue Regelstrategie mit Pulsbreitenmodulation erprobt. Näheres dazu ist im Schlussbericht zu finden:

- [3] Hans Rudolf Gabathuler, Hans Mayer, Esfandiar Shafai, Roger Wimmer: Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpenanlagen. Phase 1. Bern: Bundesamt für Energie, 1999.



Abbildung 2: Versuchsanlage Waltalingen Ziletten, Ansicht von Norden

3.3.2 Prinzipschema und Messstellenliste

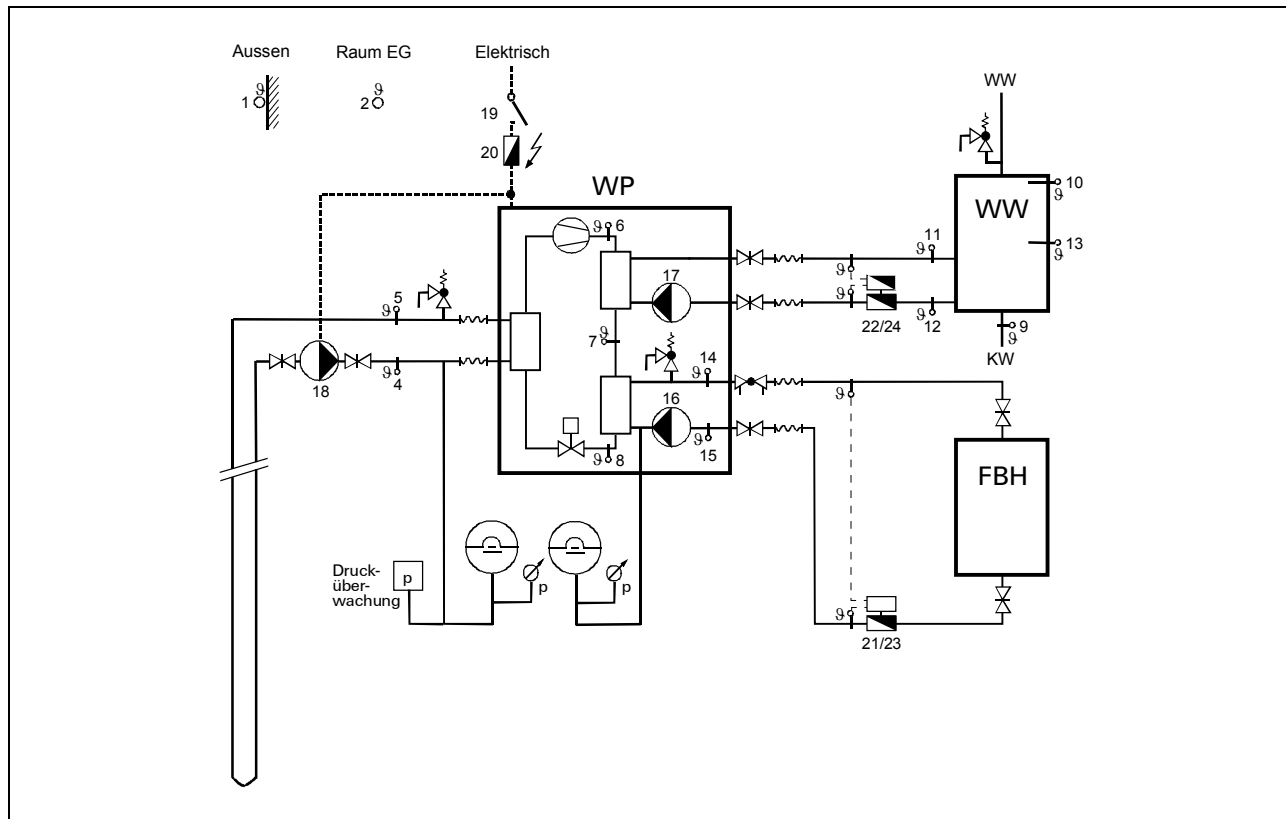


Abbildung 3: Prinzipschema der Wärmepumpenanlage in Waltalingen Ziletten

Nr.	Excel-Spalte	Messgrösse	Messort	Kurzname	Messfühler Messsignal
1	C	Temperatur	Südseite: Aussenluft (ventiliert)	AT-Süd	Ni 1000
2	D	Temperatur ¹⁾	Wohnzimmer EG: Raumluft	EG-RT	NTC
4	E	Temperatur	Wärmequelle: Verdampfer-Eintritt	Verd.-Ein	NTC (103AT-11)
5	F	Temperatur	Wärmequelle: Verdampfer-Austritt	Verd.-Aus	NTC (103AT-11)
6	G	Temperatur	Arbeitsmittel: WW-Wärmetauscher-Eintritt	WWWT-Ein	NTC (103AT-11)
7	H	Temperatur	Arbeitsmittel: Heizungswärmetauscher-Eintritt	HWT-Ein	NTC (103AT-11)
8	I	Temperatur	Arbeitsmittel: Heizungswärmetauscher-Austritt	HWT-Aus	NTC (103AT-11)
9	J	Temperatur	Warmwasser: Speicher-Eintritt (Kaltwasser)	KW	NTC (103AT-11)
10	K	Temperatur	Warmwasser: Speicher-Austritt (Warmwasser)	WW	NTC (103AT-11)
11	L	Temperatur	Warmwasser: Speicherladekreis-Vorlauf	WWLK-VL	NTC (103AT-11)
12	M	Temperatur	Warmwasser: Speicherladekreis-Rücklauf	WWLK-RL	NTC (103AT-11)
13	N	Temperatur	Warmwasser: Speichermitte	WW-Spei	NTC (103AT-11)
14	O	Temperatur	Bodenheizung: Vorlauf	FBH-VL	NTC (103AT-11)
15	P	Temperatur	Bodenheizung: Rücklauf	FBH-RL	NTC (103AT-11)
16	Q	Betriebszeit	Bodenheizung: Umwälzpumpe FBH	UP-FBH	1 Imp./s
17	R	Betriebszeit	Wärmepumpe: Umwälzpumpe WW-Ladekreis	UP-WW	1 Imp./s
18	S	Betriebszeit	Wärmepumpe: Umwälzpumpe Sole	UP-Verd.	1 Imp./s
19	T	Betriebszeit	Wärmepumpe: EKZ Wärmepumpen-Freigabe	EKZ-Frei	1 Imp./s
20	U	Elektrizität ²⁾	Wärmepumpe: Gesamtanlage	WPA-Elek.	120 Imp. kWh
21	V	Wärme ³⁾	Wärmepumpe: Bodenheizung	WZ-FBH	1 Imp./kWh
22	W	Wärme ⁴⁾	Wärmepumpe: Warmwasser	WZ-WWLK	1 Imp./kWh
23	X	Volumen ³⁾	Wärmepumpe: Bodenheizung	Dfl.-FBH	10 Imp./m ³
24	Y	Volumen ⁴⁾	Wärmepumpe: Warmwasser	Dfl.-WWLK	10 Imp./m ³
-	Z	Wärmeleistung ⁵⁾	Wärmepumpe: Bodenheizung	WZ-FBH	Berechnet
-	AA	Wärmeleistung ⁵⁾	Wärmepumpe: WW-Ladekreis	WZ-WWLK	Berechnet
-	AB	Elektroleistung ⁶⁾	Wärmepumpe: Wärmepumpenanlage	WPA-Elek	Berechnet

¹⁾ Autonome Temperatur-Logger (Messung nur im Winter)

²⁾ Elektrozähler (Privatzähler)

³⁾ Wärmezähler Ista mit Rechenwerk T1 und Volumenmessteil VMT 1,5 (Q_n = 1,5 m³/h, DN 15) mit Reed-Impulsausgang

⁴⁾ Wärmezähler Ista mit Rechenwerk T1 und Volumenmessteil VMT 1,5 (Q_n = 1,5 m³/h, DN 15) mit Reed-Impulsausgang

⁵⁾ Wärmezählung via Durchflusszähler und Temperaturmessung des Datenloggers (Kontrolle)

⁶⁾ Korrektur des Elektrozählers um 15,7 W

Messintervall	10 sec
Aufzeichnungsintervall (Mittel- bzw. Summenwerte)	5 min

Tabelle 4: Messstellenliste; die Numerierung bezieht sich auf Abbildung 3

3.3.3 Beobachtungsperiode

Betrieb mit Rücklauftemperaturregler

File-Name: Waltalingen_Zilet_RLR_19JJ_WXX.csv

Beobachtungsperiode 1: 1997 Woche 39 bis 1998 Woche 20 (= 34 Wochen)

Beobachtungsperiode 2: 1998 Woche 40 bis 1998 Woche 44 (= 5 Wochen)

Betrieb mit PBM-Regler

File-Name: Waltalingen_Zilet_PBM_19JJ_WXX.csv

Beobachtungsperiode: 1998 Woche 45 bis 1999 Woche 18 (= 27 Wochen)

3.4 Barzheim

3.4.1 Beschreibung der Versuchsanlage

Beim vorliegenden Projekt wurde eine Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen erprobt. Später wurden die Messdaten auch noch im Projekt über Pulsbreitenmodulation verwendet. Näheres dazu ist in den Schlussberichten zu finden:

- [3] Hans Rudolf Gabathuler, Hans Mayer, Esfandiar Shafai, Roger Wimmer: Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpenanlagen. Phase 1. Bern: Bundesamt für Energie, 1999.
- [4] G. Reiner et al.: Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen. Phase 1 bis 3: Messung, Modellierung und Erprobung der Parameteridentifikation. Bern: Bundesamt für Energie, 1998.



Abbildung 5: Versuchsanlage Barzheim, Ansicht von Südosten

3.4.2 Prinzipschema und Messstellenliste

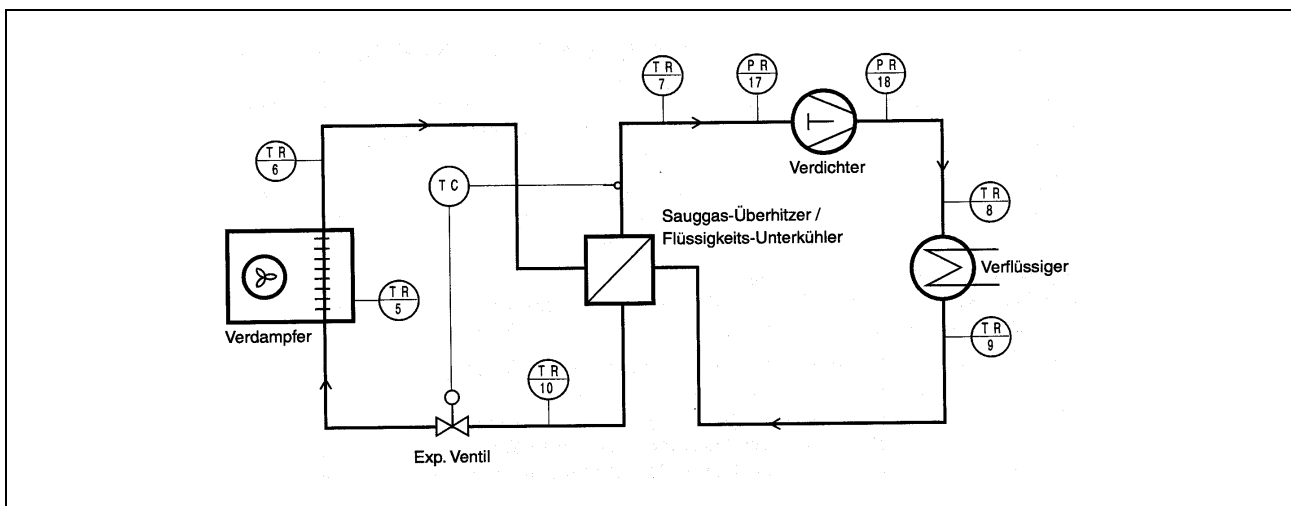


Abbildung 6: Prinzipschema des Arbeitsmittelkreislaufes der Wärmepumpe in Barzheim

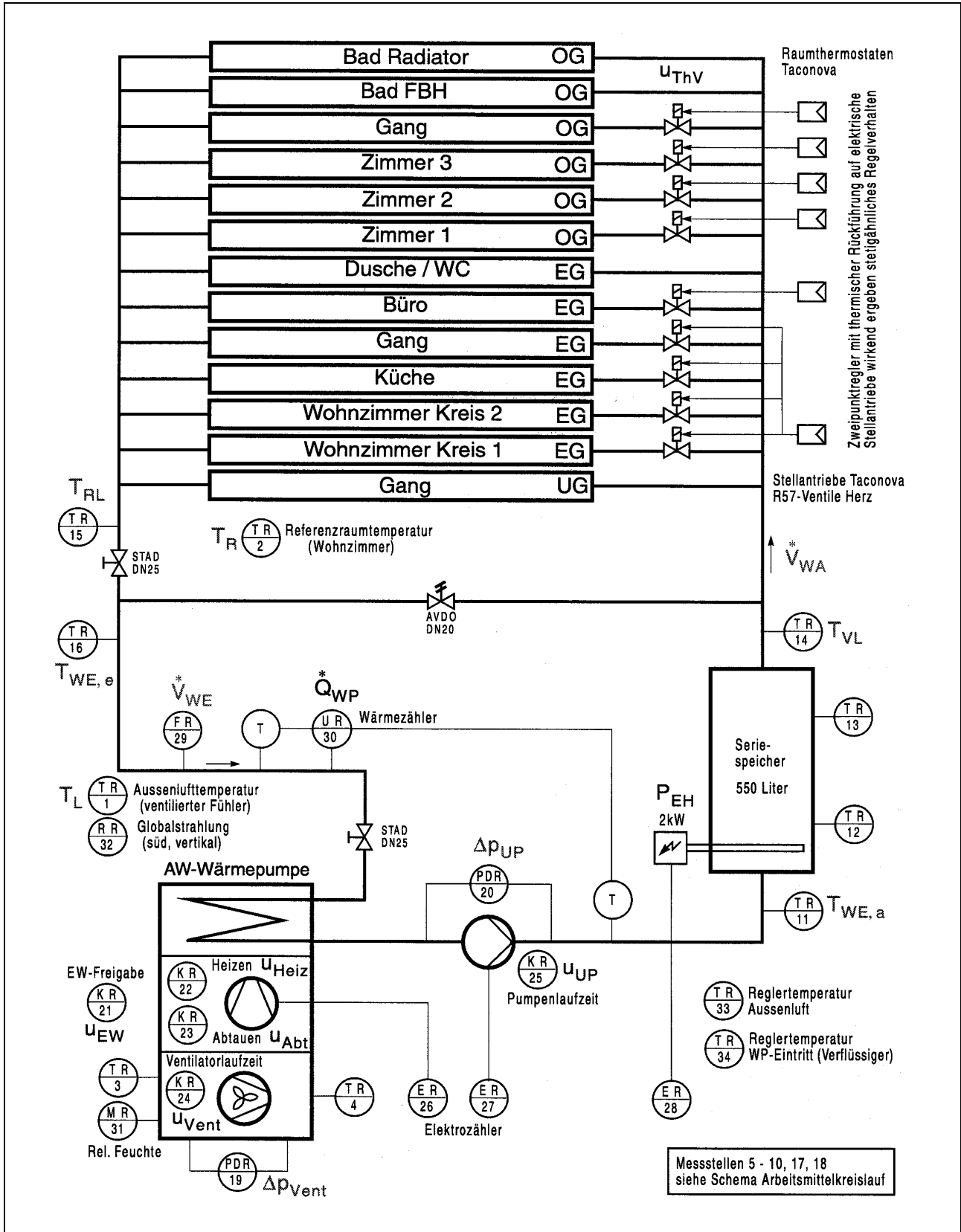


Abbildung 7: Prinzipschema der Wärmepumpenanlage in Barzheim

Nr.	Excel-Spalte	Messgrösse	Messort	Kurzname	Messfühler Messsignal
1	C	Temperatur	Nordseite: Aussenluft (ventiliert)	AT-No	Ni 1000
2	D	Temperatur	Wohnzimmer EG: Raumluft	RT-Whz	NTC (861-S103)
3	E	Temperatur	Wärmequelle: Verdampfer Eintritt (luftseitig)	WQ-Ein	Ni 1000
4	F	Temperatur	Wärmequelle: Verdampfer Austritt (luftseitig)	WQ-Aus	4fach Ni 1000
5	G	Temperatur	Wärmequelle: Verdampfer Abtaufühler	Abtauen	NTC (103AT-11)
6	H	Temperatur	Arbeitsmittelkreis: Verdampfer Austritt	Verd-Aus	NTC (103AT-11)
7	I	Temperatur	Arbeitsmittelkreis: Verdichter Eintritt	Komp-Ein	NTC (103AT-11)
8	J	Temperatur	Arbeitsmittelkreis: Verflüssiger Eintritt	Verf-Ein	Ni 1000
9	K	Temperatur	Arbeitsmittelkreis: Verflüssiger Austritt	Verf-Aus	NTC (103AT-11)
10	L	Temperatur	Arbeitsmittelkreis: Expansionsventil Eintritt	Exp-Ein	NTC (103AT-11)
11	M	Temperatur	Verbraucherkreis: WP Austritt (Verflüssiger)	WP-Aus	NTC (103AT-11)
12	N	Temperatur	Verbraucherkreis: Speicher unten (ca. 1/3)	SP unten	NTC (103AT-11)
13	O	Temperatur	Verbraucherkreis: Speicher oben (ca. 2/3)	SP oben	NTC (103AT-11)
14	P	Temperatur	Verbraucherkreis: Fussbodenheizung Vorlauf	VL-FBH	NTC (103AT-11)
15	Q	Temperatur	Verbraucherkreis: Fussbodenheizung Rücklauf	RL-FBH	NTC (103AT-11)
16	R	Temperatur	Verbraucherkreis: WP Eintritt (Verflüssiger)	WP-Ein	NTC (103AT-11)
17	S	Druck	Arbeitsmittelkreis: Niederdruck	ND	4...20 mA
18	T	Druck	Arbeitsmittelkreis: Hochdruck	HD	4...20 mA
19	U	Druckdifferenz ⁴⁾	Wärmequelle: Verdampfer Ein-/Austritt (luftseit.)	DD-Verd	0...10 V
20	V	Druckdifferenz	Verbraucherkreis: Umwälzpumpe Ein-/Austritt	DD-UP	0...10 V
21	W	Betriebsstunden	Wärmepumpe: EW-Freigabe	EW-Frei	1 Imp./s
22	X	Betriebsstunden	Wärmepumpe: Verdichter Heizen	Heizen	1 Imp./s
23	Y	Betriebsstunden	Wärmepumpe: Verdichter Abtauen	Abtauen	1 Imp./s
24	Z	Betriebsstunden	Wärmepumpe: Ventilator	Vent	1 Imp./s
25	AA	Betriebsstunden	Wärmepumpe: Umwälzpumpe	UP	1 Imp./s
26	AB	Elektrizität ¹⁾	Wärmepumpe: Gesamtanlage	WPA	1 Imp./Wh
27	AC	Elektrizität ¹⁾	Wärmepumpe: Umwälzpumpe	UP	1 Imp./Wh
28	AD	Elektrizität ¹⁾	Wärmepumpe: Elektro-Heizeinsatz (im Speicher)	El-Heiz	1 Imp./Wh
29	AE	Volumen ²⁾	Wärmepumpe: Verflüssiger Eintritt	Dfl-WP	1 Imp./l
30	AF	Wärme ³⁾	Wärmepumpe: Verflüssiger Ein-/Austritt	WZ-WP	1 Imp./kWh
31	AG	Relative Feuchte	Wärmequelle: Verdampfer Eintritt (luftseitig)	WQ-Ein	0...1 V
32	AH	Globalstrahlung ⁴⁾	Südseite: Globalstrahlung Süd, vertikal	Solar	CM-5
-	AI	Wärmeleistung ⁵⁾	Wärmepumpe: Verflüssiger Ein-/Austritt	WZ-WP	Berechnet
-	AJ	Wärmeleistung ⁵⁾	Wärmepumpe: Fussbodenheizung	WZ-FBH	Berechnet

¹⁾ Elektrozähler (Privatzähler)

²⁾ Magnetisch-induktiver-Volumenstromzähler Danfoss (DN 15) mit Impulsausgang für Volumen

³⁾ Wärmezähler ($V_{WP} = 0,95 \text{ m}^3/\text{h}$; Volumenmessteil 1", $k_v = 6,4$) mit Impulsausgang für Wärmeenergie

⁴⁾ Ab 10.11.1997

⁵⁾ Wärmezählung via Durchflussmessung (Nr. 29) und Temperaturmessung des Datenloggers

Messintervall 10 sec

Aufzeichnungsintervall (Mittel- bzw. Summenwerte) 5 min

Tabelle 8: Messstellenliste; die Numerierung bezieht sich auf Abbildung 6 und Abbildung 7

3.4.3 Beobachtungsperiode

File-Name: Barzheim_19JJ_WXX.csv

Beobachtungsperiode: 1997 Woche 41 bis 1998 Woche 19 (= 31 Wochen)

3.5 Oberseen

3.5.1 Beschreibung der Versuchsanlage

Die vorliegende Versuchsanlage wurde im Rahmen des Pilot- und Demonstrationsprogrammes von Energie 2000 ausgemessen. Näheres dazu ist im Schlussbericht zu finden:

[7] Siedlung Chräbsbach, Oberseen, Haus Uetz. Messresultate des Pilot- und Demonstrationsprogrammes von Energie 2000. Aarau: Infoenergie, 1999.

Als Referenzanlage wurde ein Haus (Haus 11) vollständig instrumentiert und ausgemessen.



Abbildung 9: Versuchsanlage Oberseen, Ansicht von Süden

3.5.2 Prinzipschema und Messstellenliste

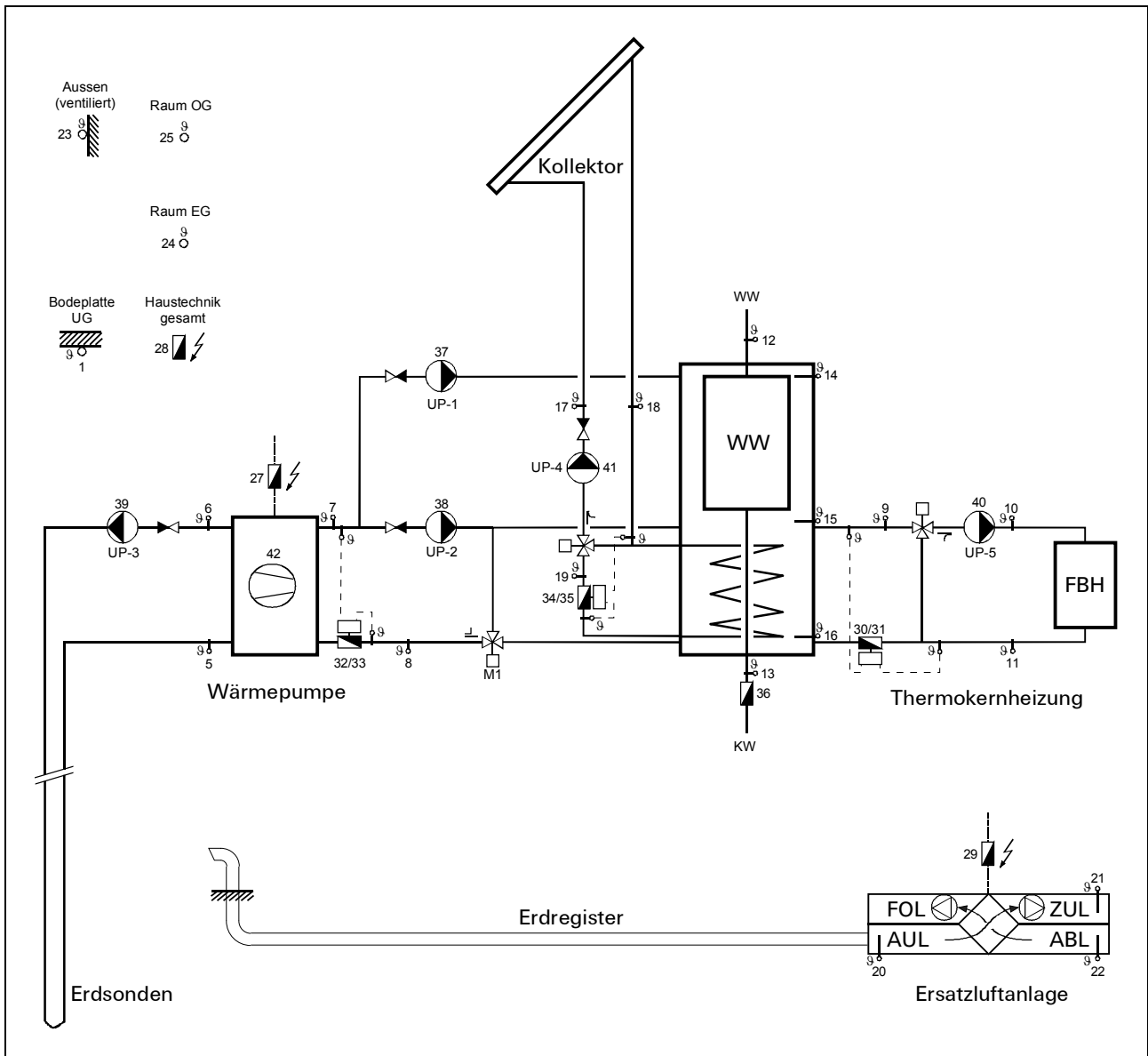


Abbildung 10: Prinzipschema der Wärmepumpenanlage in Oberseen

Nr.	Excel-Spalte	Messgrösse	Messort	Kurzname	Messfühler Messsignal
1	C	Temperatur	Erdreich: unter Bodenplatte	Bodenpl.	Pt100
5	D	Temperatur	Zentrale: WP Verdampfer-Eintritt	Verd-Ein	NTC (103AT-11)
6	E	Temperatur	Zentrale: WP Verdampfer-Austritt	Verd-Aus	NTC (103AT-11)
7	F	Temperatur	Zentrale: WP Verflüssiger-Austritt (zum Speicher)	Verf-Aus	NTC (103AT-11)
8	G	Temperatur	Zentrale: WP Verflüssiger-Eintritt (vom Speicher)	Verf-Ein	NTC (103AT-11)
9	H	Temperatur	Zentrale: Thermokernheizung Speicher-Austritt	Th-S-Aus	NTC (103AT-11)
10	I	Temperatur	Zentrale: Thermokernheizung Vorlauf	Th-VL	NTC (103AT-11)
11	J	Temperatur	Zentrale: Thermokernheizung Rücklauf	Th-RL	NTC (103AT-11)
12	K	Temperatur	Zentrale: Warmwasser Speicher-Austritt	WW-S-Aus	NTC (103AT-11)
13	L	Temperatur	Zentrale: Kaltwasser (WW-Speicher-Eintritt)	KW-S-Ein	NTC (103AT-11)
14	M	Temperatur	Zentrale: Speicher oben	SP oben	NTC (103AT-11)
15	N	Temperatur	Zentrale: Speicher mitte	SP mitte	NTC (103AT-11)
16	O	Temperatur	Zentrale: Speicher unten	SP unten	NTC (103AT-11)
17	P	Temperatur	Zentrale: Sonnenkollektor-Eintritt	Soko-Ein	NTC (103AT-11)
18	Q	Temperatur	Zentrale: Sonnenkollektor-Austritt	Soko-Aus	NTC (103AT-11)
19	R	Temperatur	Zentrale: Sonnenkollektor Speicher-Austritt	So-S-Aus	NTC (103AT-11)
20	S	Temperatur	Zentrale: Zuluft vor WRG (nach Erdregister)	ZU-WRG-E	Ni1000
21	T	Temperatur	Zentrale: Zuluft nach WRG	ZU-WRG-A	Ni1000
22	U	Temperatur	Zentrale: Abluft vor WRG	AB-WRG-E	Ni1000
23	V	Temperatur	Aussen: Aussenluft Süd (ventiliert)	AT	Ni1000
24	W	Temperatur	Wohnzimmer: Raumtemperatur EG	RT-EG-WZ	NTC (861-S103)
25	X	Temperatur	Kinderzimmer: Raumtemperatur OG	RT-OG-KZ	NTC (861-S103)
27	Y	Elektroenergie	Zentrale: Wärmepumpe inkl. Hilfsantriebe	WP total	1 Imp./Wh
28	Z	Elektroenergie	Zentrale: Haustechnik gesamt	HT total	1 Imp./Wh
29	AA	Elektroenergie	Zentrale: Lüftungsanlage	Lueftung	1 Imp./Wh
30	AB	Wärmeenergie	Zentrale: Thermokernheizung (Nutzwärme)	N-Waerme	10 Imp./kWh
31	AC	Volumenstrom	Zentrale: Thermokernheizung (zum Speicher)	Th-S-Ein	1 Imp./l
32	AD	Wärmeenergie	Zentrale: WP Verflüssiger (Wärmeproduktion)	WP-Waerm	10 Imp./kWh
33	AE	Volumenstrom	Zentrale: WP Verflüssiger	WP-Verfl	100 Imp./m ³
34	AF	Wärmeenergie	Zentrale: Solarwärme an Speicher	So-Waerm	10 Imp./kWh
35	AG	Volumenstrom	Zentrale: Solarwärme (vom Speicher)	So-S-Aus	1 Imp./l
36	AH	Volumenstrom	Zentrale: Warmwasserverbrauch	WW	1 Imp./l
37	AI	Betriebszeit	Zentrale: UP1 Speicherladung WW u. Ventil M1	UP-1	1 Imp./s
38	AJ	Betriebszeit	Zentrale: UP2 Speicherladung Heizung	UP-2	1 Imp./s
39	AK	Betriebszeit	Zentrale: UP3 Verdampferkreis	UP-3	1 Imp./s
40	AL	Betriebszeit	Zentrale: UP5 Thermokernheizung	UP-5	1 Imp./s
41	AM	Betriebszeit	Zentrale: UP4 Solarkreis	UP-4	1 Imp./s
42	AN	Betriebszeit	Zentrale: Wärmepumpe (Verdichter)	WP-Komp.	1 Imp./s
-	AO	Wärmeenergie ¹⁾	Zentrale: Thermokernheizung (Nutzwärme)	N-Waerme	Berechnet
-	AP	Wärmeenergie ¹⁾	Zentrale: Solarwärme an Speicher	So-Waerm	Berechnet
-	AQ	Wärmeenergie ¹⁾	Zentrale: Warmwasserverbrauch	WW	Berechnet
-	AR	Wärmeenergie ¹⁾	Zentrale: WP Verflüssiger (Wärmeproduktion)	WP-Waerm	Berechnet

¹⁾ Berechnet aus Durchfluss und Temperaturdifferenz

Messintervall	10 Sekunden
Aufzeichnungsintervall (Mittel- bzw. Summenwerte)	10 Minuten

Tabelle 11: Messstellenliste; die Numerierung bezieht sich auf Abbildung 10

3.5.3 Beobachtungsperiode

File-Name: Oberseen_JJJJ_WXX.csv

Beobachtungsperiode: 1999 Woche 11 bis 2000 Woche 11 (= 53 Wochen)

3.6 Seen

3.6.1 Beschreibung der Versuchsanlage

Beim vorliegenden Projekt wurde eine neue Regelstrategie mit Pulsbreitenmodulation erprobt. Näheres dazu ist im Schlussbericht zu finden:

- [5] Hans Rudolf Gabathuler, Hans Mayer, Esfandiar Shafai, Roger Wimmer: Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpenanlagen. Phase 2: Implementierung in handelsübliche Regler und Erprobung in einem Wohnhaus. Bern: Bundesamt für Energie, 2002.



Abbildung 12: Versuchsanlage Seen, Ansicht von Südosten; das Wohnzimmer (grosse Fenster im EG) bekommt morgens und nachmittags Sonne, das Büro auf der Nordseite bekommt keine Sonne

3.6.2 Prinzipschema und Messstellenliste

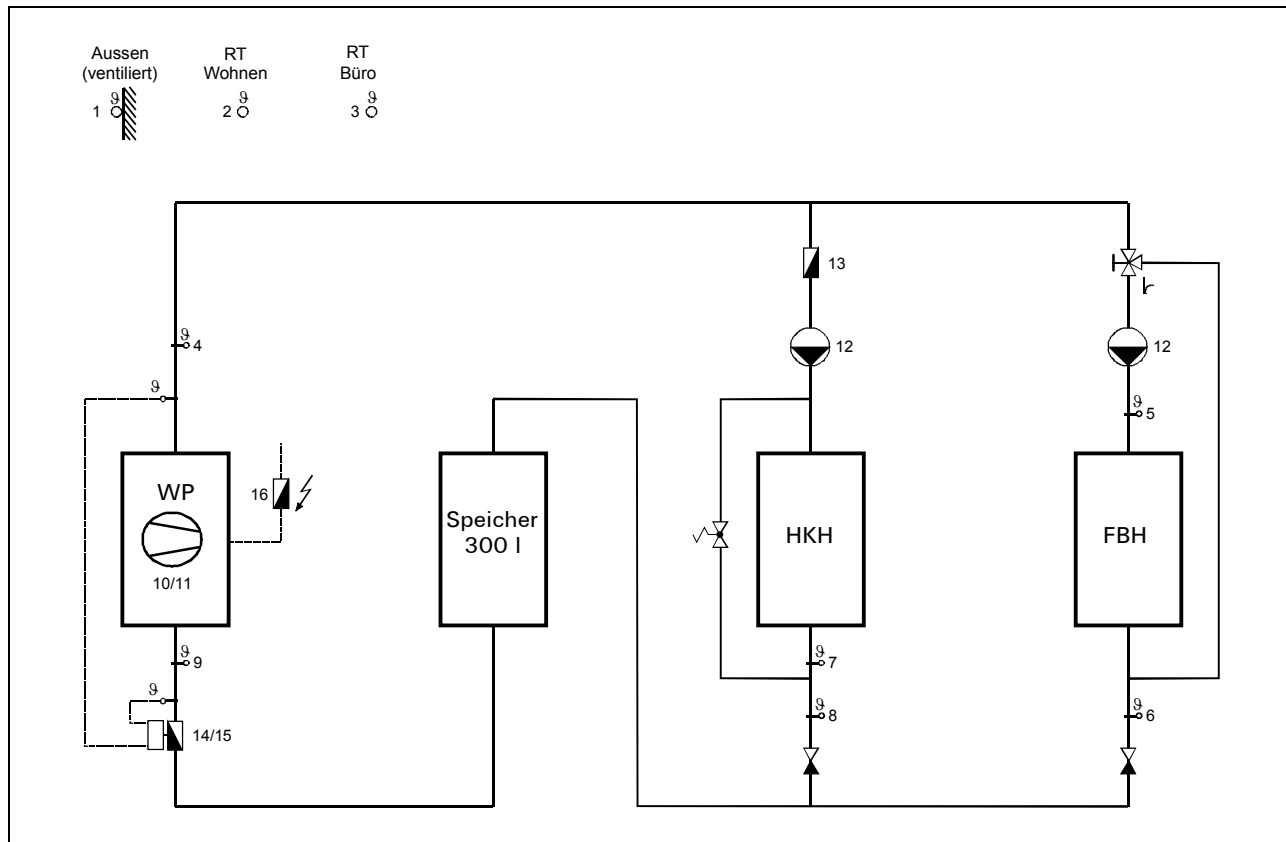


Abbildung 13: Prinzipschema der Wärmepumpenanlage in Seen

Nr.	Excel-Spalte	Messgrösse	Messort	Kurzname	Messfühler Messsignal
1	C	Temperatur	Nordseite: Aussenluft (ventiliert)	AT Nord	Ni 1000
2	D	Temperatur ¹⁾	Wohnzimmer EG: Raumluft	RT Wohnen	NTC
3	E	Temperatur ¹⁾	Büro EG: Raumluft	RT Büro	NTC
4	F	Temperatur	Wärmepumpe: Verflüssiger-Austritt	WP-Austritt	NTC (103AT-11)
5	G	Temperatur ⁵⁾	Fussbodenheizung: Vorlauf	FBH-VL	NTC (103AT-11)
6	H	Temperatur	Fussbodenheizung: Rücklauf	FBH-RL	NTC (103AT-11)
7	I	Temperatur	Heizkörperheizung: Rücklauf vor Überströmer	HKH-RL vor Überströmer	NTC (103AT-11)
8	J	Temperatur	Heizkörperheizung: Rücklauf nach Überstr.	HKH-RL nach Überströmer	NTC (103AT-11)
9	K	Temperatur	Wärmepumpe: Verflüssiger-Eintritt	WP-Eintritt	NTC (103AT-11)
12	L	Betriebszeit ⁶⁾	Umwälzpumpen FBH + HKH	UP-Betrieb	1 Imp./s
10	M	Betriebszeit	Verdichter	Heizbetrieb	1 Imp./s
11	N	Betriebszeit	Abtauen	Abtaubetrieb	1 Imp./s
16	O	Elektrizität ²⁾	Wärmepumpe: Verdichter + Hilfsenergie	WP-Gesamt	10 Imp. kWh
13	P	Volumen ³⁾	Heizkörperheizung	HKH-VL	1 Imp./Liter
14	Q	Volumen ⁴⁾	Wärmepumpe	WP-Eintritt	10 Imp./m ³
15	R	Wärme ⁴⁾	Wärmepumpe	WP-Gesamt	1 Imp./kWh
–	S	Volumen ^{6) 7)}	Wärmepumpe	WP-Eintritt	Berechnung
–	T	Wärme ⁸⁾	Heizkörperheizung	HKH	Berechnung
–	U	Wärme ⁸⁾	Fussbodenheizung	FBH	Berechnung
–	V	Wärme ⁸⁾	Wärmepumpenanlage	WP-Gesamt	Berechnung

¹⁾ Autonome Temperatur-Logger

²⁾ Wirkenergiezähler Mesuco mit Impulsausgang

³⁾ Durchflusszähler DN 20 Aquametro

⁴⁾ Wärmezähler DN 25 Neo Vac US-51305N mit Impulsausgängen für Energie und Volumen

⁵⁾ Nicht vorhanden in der ganzen Heizsaison 2000/2001

⁶⁾ Nicht vorhanden 2000 Woche 46 bis 2001 Woche 02

⁷⁾ Berechnet aus Spalte Q mit höherer Auflösung

⁸⁾ Berechnet aus Durchfluss und Temperaturdifferenz

Messintervall	10 Sekunden
Aufzeichnungsintervall (Mittel- bzw. Summenwerte)	5 Minuten

Tabelle 14: Messtellenliste; die Numerierung bezieht sich auf Abbildung 13

3.6.3 Beobachtungsperiode

File-Name: Seen_JJJJ_WXX.csv

Heizsaison 2000/2001: 2000 Woche 46 bis 2001 Woche 19 (= 26 Wochen)

Heizsaison 2001/2002: 2001 Woche 42 bis 2002 Woche 19 (= 30 Wochen)

3.7 Münsingen

3.7.1 Beschreibung der Versuchsanlage

Beim vorliegenden Projekt wurde eine Retrofit-Wärmepumpe erprobt. Näheres dazu ist im Schlussbericht zu finden:

- [6] Hans Rudolf Gabathuler, Hans Mayer, Juraj Cizmar, Erich Zahnd: Messungen an Retrofit-Wärmepumpen. Phase 2. Bern: Bundesamt für Energie, 2002.



Abbildung 15: Versuchsanlage Münsingen, Ansicht von Norden; der Luftkühler (Bild rechts) steht links neben dem Eingang auf einem Parkplatz

3.7.2 Prinzipschema und Messstellenliste

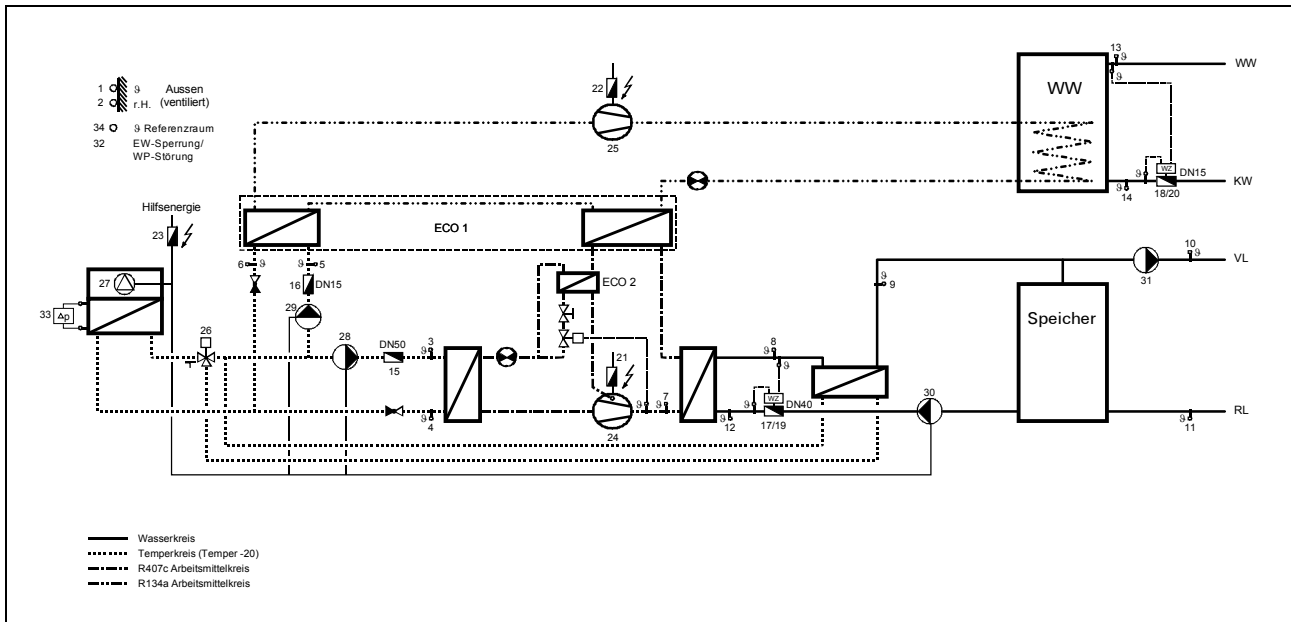


Abbildung 16: Prinzipschema der Wärmepumpenanlage in Münsingen

Nr.	Excel-Spalte	Messgrösse	Messort	Kurzname	Messfühler Messsignal
1	C	Temperatur	Wärmequelle: Aussenluft (ventiliert)	AT	NTC
2	D	Relative Feuchte	Wärmequelle: Aussenluft (ventiliert)	AF	Vaisala (kapazitiv)
3	E	Temperatur	Zwischenkreis: Heizungs-WP Verdampfer Eintritt	HWP-VEin	Ni 1000
4	F	Temperatur	Zwischenkreis: Heizungs-WP Verdampfer Austritt	HWP-VAus	Ni 1000
5	G	Temperatur	Zwischenkreis: WW-WP Verdampfer Eintritt	WWP-VEin	Ni 1000
6	H	Temperatur	Zwischenkreis: WW-WP Verdampfer Austritt	WWP-VAus	Ni 1000
7	I	Temperatur	Arbeitsmittel: Heizungs-WP Verdichter Austritt	HWP-AAus	Ni 1000
8	J	Temperatur	Heizkreis: WP Austritt (Verflüssiger)	HK-WPAus	Ni 1000
9	K	Temperatur	Heizkreis: Abtau-WT Austritt	HK-AWTAu	Ni 1000
10	L	Temperatur	Heizkreis: Heizung Vorlauf	HK-VL	Ni 1000
11	M	Temperatur	Heizkreis: Heizung Rücklauf	HK-RL	Ni 1000
12	N	Temperatur	Heizkreis: WP Eintritt (Verflüssiger)	HK-WPEin	Ni 1000
13	O	Temperatur	Warmwasser: Speicher Austritt (WW)	WW-SPAus	Ni 1000
14	P	Temperatur	Warmwasser: Speicher Eintritt (KW)	KW-SPEin	Ni 1000
15	Q	Volumen ²⁾	Zwischenkreis: Heizungs-WP Verdampfer Eintritt	HWP-VDfl	1 Liter/Imp.
16	R	Volumen ²⁾	Zwischenkreis: WW-WP Verdampfer Eintritt	WWP-VDfl	1 Liter/Imp.
17	S	Volumen ²⁾	Heizkreis: Heizungs-WP Verflüssiger Eintritt	HK-WPDfl	10 Liter/Imp.
18	T	Volumen ²⁾	Warmwasser: Speicher Eintritt (KW)	WW-SPDfl	1 Liter/Imp.
19	U	Wärme ³⁾	Heizkreis: Heizungs-WP Verflüssiger	HK-WPWae	10 Wh/Imp.
20	V	Wärme ³⁾	Warmwasser: WW-Speicherbezug	WW-SPWae	10 Wh/Imp.
21	W	Elektrizität ¹⁾	Wärmepumpe: Verdichter Heizen	HWP-EI	1 Wh/Imp.
22	X	Elektrizität ¹⁾	Wärmepumpe: Verdichter WW	WWP-EI	1 Wh/Imp.
23	Y	Elektrizität ¹⁾	Wärmepumpe: Hilfsenergie (Ventilator, UP's etc.)	Hilfs-EI	1 Wh/Imp.
24	Z	Betriebsstunden	Wärmepumpe: Verdichter Heizen	HWP	1 s/Imp.
25	AA	Betriebsstunden	Wärmepumpe: Verdichter WW	WWP	1 s/Imp.
26	AB	Betriebsstunden	Wärmepumpe: Abtauen	Abtauen	1 s/Imp.
27	AC	Betriebsstunden	Wärmepumpe: Ventilator	Venti	1 s/Imp.
28	AD	Betriebsstunden	Wärmepumpe: Umwälzpumpe Zwischenkreis Heizungs-WP	HWP-UP	1 s/Imp.
29	AE	Betriebsstunden	Wärmepumpe: Umwälzpumpe Zwischenkreis WW-WP	WWP-UP	1 s/Imp.
30	AF	Betriebsstunden	Wärmepumpe: Umwälzpumpe Ladekreis	Ladek-UP	1 s/Imp.
31	AG	Betriebsstunden	Wärmeabgabe: Umwälzpumpe Heizkreis	LZ HK-UP	1 s/Imp.
32	AH	Betriebsstunden	Wärmepumpe: EW-Sperrung/WP-Störung	LZ Sperr	1 s/Imp.
33	AI	Druckdifferenz	Wärmepumpe: Rückkühler (luftseitig)	DD	0...10 V
34	AJ	Temperatur	Referenzraum: Raumluft	RT	NTC

¹⁾ Elektrozähler (Privatzähler) mit Impulsausgang (1 Wh/Impuls)

²⁾ Flügelrad-Volumenstromzähler mit Impulsausgang (1 Liter/Impuls bzw 10 Liter/Impuls)

³⁾ Wärmezähler mit Impulsausgängen (10 Wh/Impuls)

Messintervall	10 Sekunden
Aufzeichnungsintervall (Mittel- bzw. Summenwerte)	1 Minute (5 Kanäle mit 5 Minuten)

Tabelle 17: Messstellenliste Münsingen; die Numerierung bezieht sich auf Abbildung 16

3.7.3 Beobachtungsperiode

File-Name: Münsingen_JJJJ-MM-TT.csv

Tagesfiles: 1.12.2001 bis 30.4.2002 (= 151 Tage)

3.8 Waltalingen Steig

3.8.1 Beschreibung der Versuchsanlage

Beim vorliegenden Projekt wurde eine Retrofit-Wärmepumpe erprobt. Näheres dazu ist im Schlussbericht zu finden:

- [6] Hans Rudolf Gabathuler, Hans Mayer, Juraj Cizmar, Erich Zahnd: Messungen an Retrofit-Wärmepumpen. Phase 2. Bern: Bundesamt für Energie, 2002.

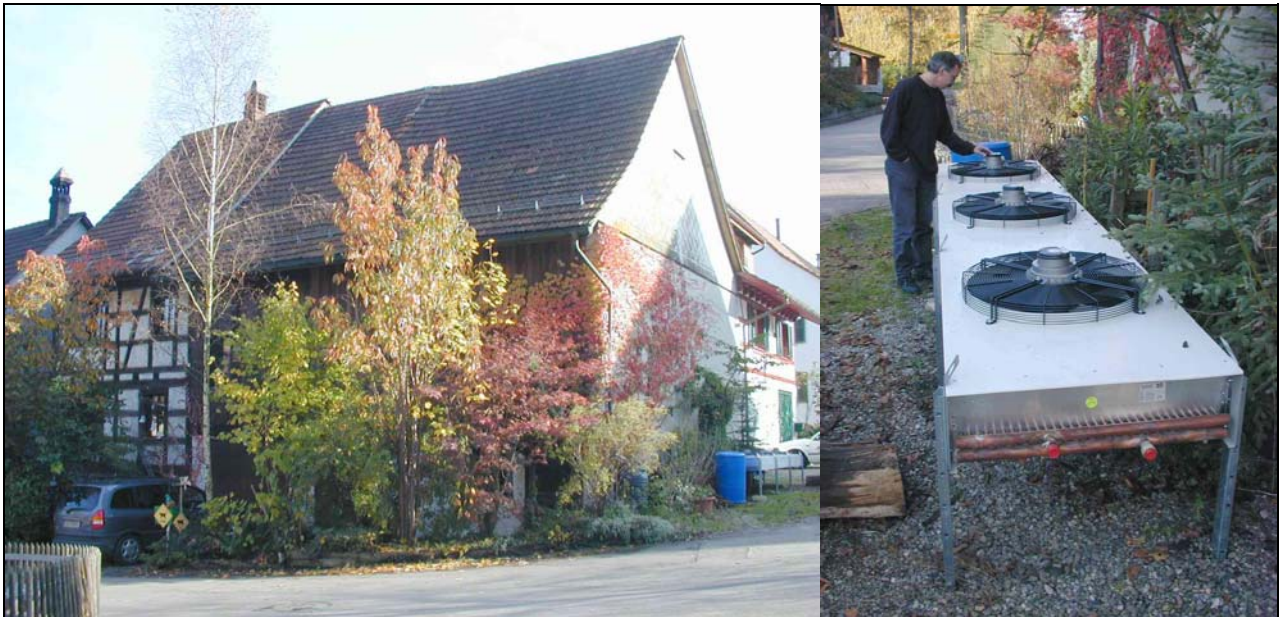


Abbildung 18: Versuchsanlage Waltalingen, Ansicht von Norden; das Wohnhaus ist der Fachwerkbau links und der Mittelteil der ehemaligen Scheune; der Luftkühler (Bild rechts) steht rechts neben der Scheune

3.8.2 Prinzipschema und Messstellenliste

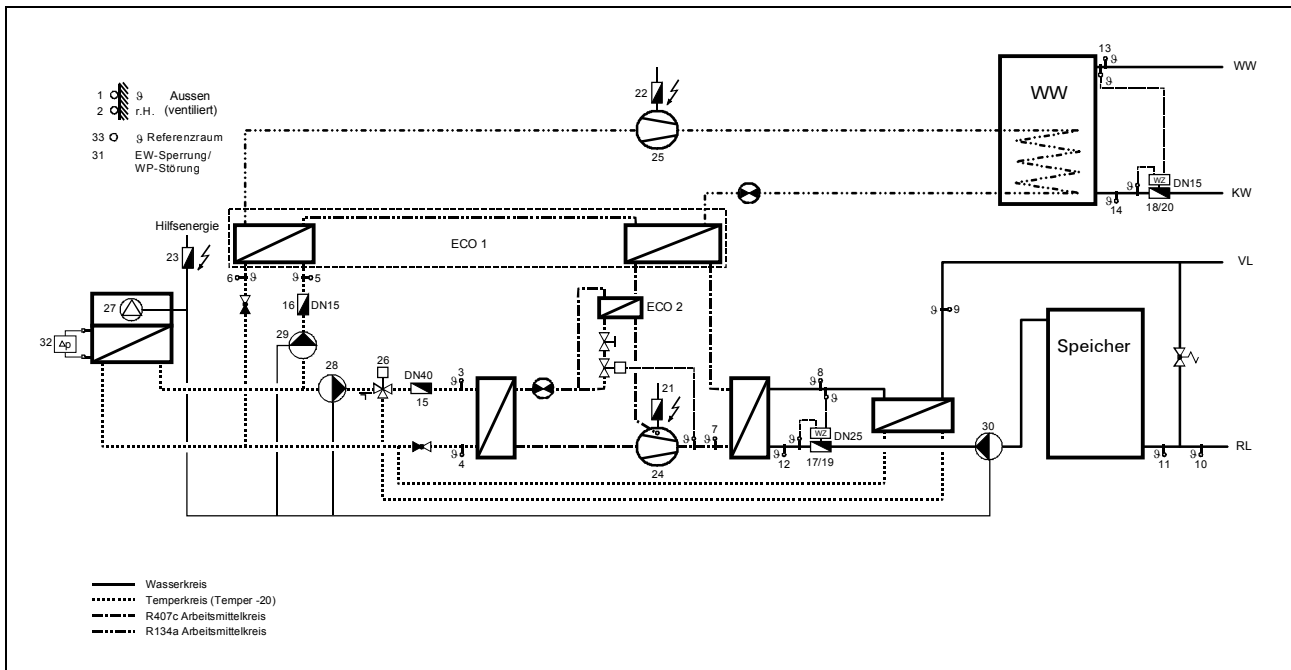


Abbildung 19: Prinzipschema der Wärmepumpenanlage in Waltalingen

Nr.	Excel-Spalte	Messgrösse	Messort	Kurzname	Messfühler Messsignal
1	C	Temperatur	Wärmequelle: Aussenluft (ventiliert)	AT	NTC
2	D	Relative Feuchte	Wärmequelle: Aussenluft (ventiliert)	AF	Vaisala (kapazitiv)
3	E	Temperatur	Zwischenkreis: Heizungs-WP Verdampfer Eintritt	HWP-VEin	Ni 1000
4	F	Temperatur	Zwischenkreis: Heizungs-WP Verdampfer Austritt	HWP-VAus	Ni 1000
5	G	Temperatur	Zwischenkreis: WW-WP Verdampfer Eintritt	WWP-VEin	Ni 1000
6	H	Temperatur	Zwischenkreis: WW-WP Verdampfer Austritt	WWP-VAus	Ni 1000
7	I	Temperatur	Arbeitsmittel: Heizungs-WP Verdichter Austritt	HWP-AAus	Ni 1000
8	J	Temperatur	Heizkreis: WP Austritt (Verflüssiger)	HK-WPAus	Ni 1000
9	K	Temperatur	Heizkreis: Heizung Vorlauf (Abtau-WT Austritt)	HK-VL	Ni 1000
10	L	Temperatur	Heizkreis: Heizung Rücklauf (RL vor Überströmventil)	SP mitte	Ni 1000
11	M	Temperatur	Heizkreis: Speicher Eintritt (RL nach Überströmventil)	HK-RL	Ni 1000
12	N	Temperatur	Heizkreis: WP Eintritt (Verflüssiger)	HK-WPEin	Ni 1000
13	O	Temperatur	Warmwasser: Speicher Austritt (WW)	WW-SPAus	Ni 1000
14	P	Temperatur	Warmwasser: Speicher Eintritt (KW)	KW-SPEin	Ni 1000
15	Q	Volumen ²⁾	Zwischenkreis: Heizungs-WP Verdampfer Eintritt	HWP-VDfl	1 Liter/Imp.
16	R	Volumen ²⁾	Zwischenkreis: WW-WP Verdampfer Eintritt	WWP-VDfl	1 Liter/Imp.
17	S	Volumen ²⁾	Heizkreis: Heizungs-WP Verflüssiger Eintritt	HK-WPDfl	1 Liter/Imp.
18	T	Volumen ²⁾	Warmwasser: Speicher Eintritt (KW)	WW-SPDfl	1 Liter/Imp.
19	U	Wärme ³⁾	Heizkreis: Heizungs-WP Verflüssiger	HK-WPWae	10 Wh/Imp.
20	V	Wärme ³⁾	Warmwasser: WW-Speicherbezug	WW-SPWae	10 Wh/Imp.
21	W	Elektrizität ¹⁾	Wärmepumpe: Verdichter Heizen	HWP-EI	1 Wh/Imp.
22	X	Elektrizität ¹⁾	Wärmepumpe: Verdichter WW	WWP-EI	1 Wh/Imp.
23	Y	Elektrizität ¹⁾	Wärmepumpe: Hilfsenergie (Ventilator, UP's etc.)	Hilfs-EI	1 Wh/Imp.
24	Z	Betriebsstunden	Wärmepumpe: Verdichter Heizen	HWP	1 s/Imp.
25	AA	Betriebsstunden	Wärmepumpe: Verdichter WW	WWP	1 s/Imp.
26	AB	Betriebsstunden	Wärmepumpe: Abtauen	Abtauen	1 s/Imp.
27	AC	Betriebsstunden	Wärmepumpe: Ventilator	Venti	1 s/Imp.
28	AD	Betriebsstunden	Wärmepumpe: UP Zwischenkreis Heizungs-WP	HWP-UP	1 s/Imp.
29	AE	Betriebsstunden	Wärmepumpe: Umwälzpumpe Zwischenkreis WW-WP	WWP-UP	1 s/Imp.
30	AF	Betriebsstunden	Wärmeabgabe: Umwälzpumpe Heizkreis	LZ HK-UP	1 s/Imp.
31	AG	Betriebsstunden	Wärmepumpe: EW-Sperrung/WP-Störung	LZ Sperr	1 s/Imp.
32	AH	Druckdifferenz	Wärmepumpe: Rückkühler (luftseitig)	DD	0...10 V
33	AI	Temperatur	Referenzraum: Raumluft	RT	NTC

¹⁾ Elektrozähler (Privatzähler) mit Impulsausgang (1 Wh/Impuls)

²⁾ Flügelrad-Volumenstromzähler mit Impulsausgang (1 Liter/Impuls)

³⁾ Wärmehzähler mit Impulsausgängen (10 Wh/Impuls)

Messintervall	10 Sekunden
Aufzeichnungsintervall (Mittel- bzw. Summenwerte)	1 Minute (5 Kanäle mit 5 Minuten)

Tabelle 20: Messstellenliste; die Numerierung bezieht sich auf Abbildung 19

3.8.3 Beobachtungsperiode

File-Name: Waltalingen_Steig_JJJJ-MM-TT.csv
Tagesfiles: 1.12.2001 bis 30.4.2002 (= 151 Tage)

3.9 Richigen

3.9.1 Beschreibung der Versuchsanlage

Beim vorliegenden Projekt wurde eine Wärmepumpenanlage mit Heizkörperheizung ohne Speicher erprobt. Näheres dazu ist im Schlussbericht zu finden:

- [8] Hans Rudolf Gabathuler, Hans Mayer: Wärmepumpenanlage mit Heizkörperheizung ohne Speicher. Bern: Bundesamt für Energie, 2004.



Abbildung 21: Versuchsanlage Richigen, Ansicht von Südwesten

3.9.2 Prinzipschema und Messstellenliste

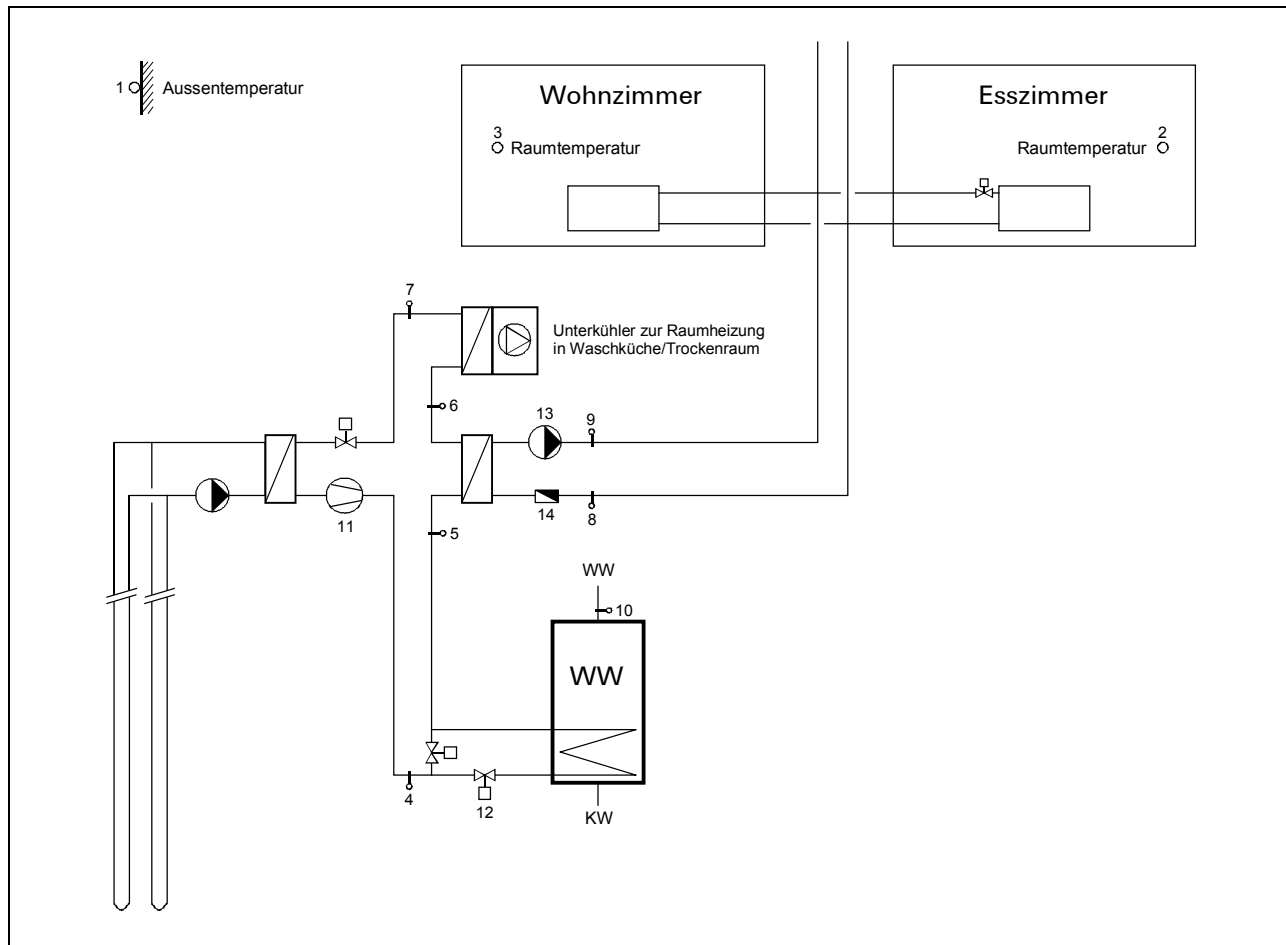


Abbildung 22: Prinzipschema der Wärmepumpenanlage in Richigen

Nr.	Excel-Spalte	Messgrösse	Messort	Kurzname	Messfühler Messsignal
1	C	Temperatur	Nordfassade: Aussenluft (ventiliert)	Aussen Nord	NTC
2	D	Temperatur	Raum mit Thermostatventil: Raumluft	RT mit TV	NTC
3	E	Temperatur	Raum ohne Thermostatventil: Raumluft	RT ohne TV	NTC
4	F	Temperatur	Arbeitsmittelkreis: Austritt Verdichter	Verdichter-Aus	NTC
5	G	Temperatur	Arbeitsmittelkreis: Eintritt Verflüssiger Heizung	Verflüssiger-Ein	NTC
6	H	Temperatur	Arbeitsmittelkreis: Austritt Verflüssiger Heizung	Verflüssiger-Aus	NTC
7	I	Temperatur	Arbeitsmittelkreis: Austritt Unterkühler	Unterkühler-Aus	NTC
8	J	Temperatur	Heizkreis: Rücklauf	HKH-VL	NTC
9	K	Temperatur	Heizkreis: Vorlauf	HKH-RL	NTC
10	L	Temperatur	Warmwasserspeicher	WW	NTC
11	M	Betriebsstunden	Arbeitsmittelkreis: Verdichter	WP-Verdichter	
12	N	Betriebsstunden	Arbeitsmittelkreis: Ventil Verflüssiger WW / Bypass	Ventil WW	
13	O	Betriebsstunden	Heizkreis: Heizungspumpe	HKH-UP	
14	P	Volumen	Heizkreis: Rücklauf	HKH-Durchfluss	1 Liter/Puls
-	Q	Wärmeleistung ¹⁾	Heizkreis	HKH-Wärme	Berechnet

¹⁾ Berechnet aus Volumen (Nr. 14) und den VL-/RL-Temperaturen (Nr. 9 und 8)

Messintervall	10 sec
Aufzeichnungsintervall (Mittel- bzw. Summenwerte)	5 min

Tabelle 23: Messstellenliste; die Numerierung bezieht sich auf Abbildung 22

3.9.3 Beobachtungsperiode

File-Name: Richigen_JJJJ-WXX.csv

Beobachtungsperiode: 2004 Woche 03 bis 2004 Woche 23 (= 21 Wochen)

4. Literaturverzeichnis

- [1] Hans Rudolf Gabathuler, Hans Mayer, Thomas Afjei: Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen. Teil 1: STASCH-Planungshilfen. Bern: Bundesamt für Energie, 2002.
- [2] Thomas Afjei et. al.: Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen. Teil 2: Grundlagen und Computersimulationen. Bern: Bundesamt für Energie, 2002.
- [3] Hans Rudolf Gabathuler, Hans Mayer, Esfandiar Shafai, Roger Wimmer: Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpenanlagen. Phase 1. Bern: Bundesamt für Energie, 1999.
- [4] G. Reiner et al.: Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen. Phase 1 bis 3: Messung, Modellierung und Erprobung der Parameteridentifikation. Bern: Bundesamt für Energie, 1998.
- [5] Hans Rudolf Gabathuler, Hans Mayer, Esfandiar Shafai, Roger Wimmer: Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpenanlagen. Phase 2: Implementierung in handelsübliche Regler und Erprobung in einem Wohnhaus. Bern: Bundesamt für Energie, 2002.
- [6] Hans Rudolf Gabathuler, Hans Mayer, Juraj Cizmar, Erich Zahnd: Messungen an Retrofit-Wärmepumpen. Phase 2. Bern: Bundesamt für Energie, 2002.
- [7] Siedlung Chräbsbach, Oberseen, Haus Uetz. Messresultate des Pilot- und Demonstrationsprogrammes von Energie 2000. Aarau: Infoenergie, 1999.
- [8] Hans Rudolf Gabathuler, Hans Mayer: Wärmepumpenanlage mit Heizkörperheizung ohne Speicher. Bern: Bundesamt für Energie, 2004.