

F. K. M. G. P. 14239, Aug. 2000

Grundwasser-Wärmepumpenanlage Wohnüberbauung „Husrüti“ in 3110 Münsingen/BE

**Erfolgskontrolle und Umsetzung
Projekt-Nr. 14239**

Ausgearbeitet durch
Markus Kurz
Ingenieurbüro Iten, Kaltenrieder und Partner AG
Höheweg 2
3053 Münchenbuchsee

im Auftrag des
Bundesamtes für Energie

Juni 2000

Schlussbericht

Zusammenfassung

1. Eine Jahresarbeitszahl von 4.0 kann mit einer optimierten Wärmepumpe bei Grundwasserbetrieb erreicht werden.
2. Die Optimierung muss jedoch bis ins letzte Detail vorgeplant sein.
3. Der sichere Weg zum Erfolg führt über:
 - Grosse Tauscherflächen
 - Gleitende, möglichst tiefe Kondensationstemperaturen.
 - Der Heizungskondensator muss nach Aussentemperatur geregelt werden.
 - Der Kondensator für das Brauchwarmwassers soll auf 40-45°C konstant eingestellt sein. Die Vollladung erfolgt dann gleitend bis 55°C.
 - Lange Laufzeiten und Ausschaltintervalle sind anzustreben.
 - Die Arbeitszahlen fallen im Sommer bei kleinem Warmwasserbedarf auf 3.5 zurück. Die Brauchwarmwasserspeicher sollen deshalb für einen normalen Tagesbedarf ausgelegt und in der Niedertarifzeit aufgeheizt werden.
 -

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für Inhalt und Schlussfolgerung ist ausschliesslich der Autor verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage

- 1.1 Der Studie waren folgende Energiekosten zu Grunde gelegt
- 1.2 Investitionen
- 1.3 Jahresbetriebskosten
- 1.4 Vorschlag an die Bauherrschaft
 - Situationsplan

2. Konzept

- 2.1 Technische Daten
- 2.2 Anlagebeschrieb
 - Schema Aufbau Wärmepumpe
 - Hydraulisches Schema Heizung und Brauchwarmwasser

3. Bauphasen mit Schwierigkeiten

- 4. **Messergebnisse vom Januar 1998 bis Dezember 1999**
 - Diagramm mit Arbeitszahlen und Heizgradtagen

5. Beurteilung der Messergebnisse

6. Erfahrungen und Empfehlungen

1. Ausgangslage

Die Bernische Lehrerversicherungskasse plante im Jahr 1995 an der Belpbergstrasse in Münsingen eine Wohnüberbauung, umfassend 42 Wohneinheiten aufgeteilt auf 4 Häuser.

(Situationsplan Seite 4a)

In diesem Gebiet ist genügend Grundwasser vorhanden und für die Rückgabe stand die „Innere Giesse“ zur Verfügung.

Die Bauherrschaft beauftragte das Ingenieurbüro IKP mit einer Vergleichsstudie zwischen konventioneller Oelfeuerung und Wärmepumpen-Heizung.

1.1 Der Studie waren folgende Energiekosten zu Grunde gelegt:

Stromtarif HT	21 Rp/kWh
Stromtarif NT	10.5 Rp/kWh
Oelpreis	40 Rp/kg
Energiepreisteuerung Mittelwertfaktor	1,234
Annuität	9.96%

Das Ergebnis der Studie ist nachfolgend festgehalten.

1.2 <u>Investitionen</u>	Wärmepumpen	Oelfeuerung
Wärmeerzeugung inkl. Grundwasserversorgung	Fr. 218'000.--	
Wärmeerzeugung inkl. Kamin und Oeltank		Fr. 102'000.--
Honorare und Baunebenkosten	<u>Fr. 42'500.--</u>	<u>Fr. 19'500.--</u>
Vergleichbare Kosten	Fr. 260'500.--	Fr. 121'500.--

1.3 Jahresbetriebskosten

Der Jahresenergiebedarf für Heizung und Brauchwarmwasser im Haus 1 beträgt 356'300 kWh

Kapitalkosten	Fr. 27'950.--	Fr. 12'100.--
Energieverbrauch	89'000 kWh	405'000 kWh
Energiekosten	Fr. 21'050.--	Fr. 16'980.--
Wartungskosten	<u>Fr. 2'600.--</u>	<u>Fr. 1'200.--</u>
Jahresbetriebskosten	Fr. 51'600.--	Fr. 30'280.--
Wärmepreis pro kWh Nutzenergie	14.4 Rp.	8.4 Rp

1.4 Vorschlag an die Bauherrschaft

Unser Vorschlag lautete auf eine optimierte Wärmepumpe, die eine Jahresarbeitszahl von 4.0 erreichen kann.

Dank der Subvention des Bundesamtes für Energie von Fr. 32'600.--, konnte die Bauherrschaft diesem Vorschlag zustimmen.

Gleichzeitig erhielt das Ingenieurbüro IKP den Auftrag für Erfolgskontrolle und Umsetzung.

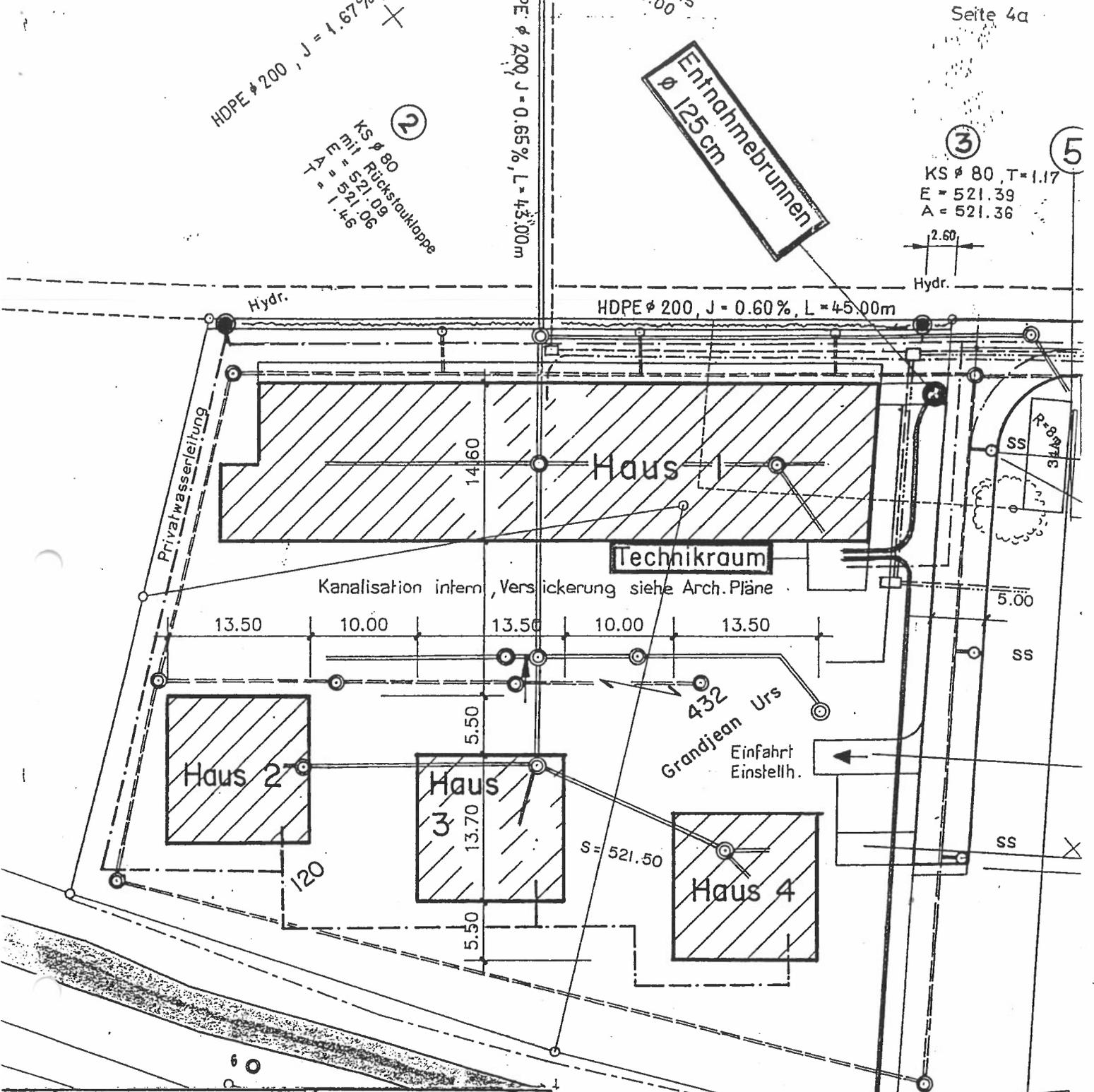
HDPE ϕ 200, J = 1.67%

KS ϕ 80
 \rightarrow m mit Rückstauklappe
 E = 521.09
 A = 521.06
 J = 1.46

PE ϕ 200, J = 0.65%, L = 45.00m

Entnahmebrunnen
 ϕ 125 cm

KS ϕ 80, T = 1.17
 E = 521.39
 A = 521.36



GEZ. :	cb
KONT. :	
DAT. :	15.04.96
GR. :	42.48
MST. :	1:500
REV. :	
A :	
B :	
C :	PL 001

CH-3600 THUN
 BÄLLIZ 36

TELEFON 033 22 17 33
 TELEFAX 033 22 95 33

ER AG THUN
 NEHMUNG

2158

Innere Glesse

Abgabe in Glesse

BERNISCHE LEHRER
 ÜBERBAUUNG HAUSREUTENEN M

HILTBRUNNER + ROTHEN
 SONNEGGWEG 11
 TF : 031 721 11 33

ARC
 311
 FAX

1 : 500

singen

2. Konzept

2.1 Technische Daten

Heizleistungsbedarf für 42 Wohnungen	124 kW
Brauchwassererwärmung für 30 Wohnungen unter Berücksichtigung der Nachtaufheizung vor Heizbeginn	<u>10 kW</u>
Notwendige Heizleistung	Total 134 kW

Dabei ist zu berücksichtigen, dass das EW in Münsingen nur eine Sperrzeit von 1 h verlangt.

Daten der schlussendlich eingebauten Wärmepumpe

- 4 Verdichter Fabrikat Bitzer (4 Zylinder)	
- Verdampferleistung	102 kW
- Strombedarf	40 kW
- Verluste	3 kW
- Kondensatorleistung bei 56° Kondensationstemperatur	139 kW
- Ungünstigste Arbeitszahl	3.475

2.2 Anlagebeschrieb

Die Wärmepumpe besitzt 2 getrennte Kreisläufe mit separaten Grundwasserpumpen, Verdampfern, Heizungskondensatoren und BWW-Kondensatoren.

Damit ist eine grössere Betriebssicherheit gewährleistet und der Stromverbrauch für die Grundwasserpumpen kann dem Bedarf angepasst werden.

Die 4 Verdichter werden stufenweise geschaltet, um lange Laufzeiten zu erreichen.

Der Betrieb der Wärmepumpe wird erst frei gegeben, wenn das Heizventil der Bodenheizung voll offen ist, oder wenn die Brauchwarmwasserspeicher aufgebraucht sind.

Die Ladung des Heizungsspeichers erfolgt gleitend nach Aussentemperatur wobei die Ausschalttemperatur ca. 5 Kelvin über dem Bedarf der Bodenheizung liegt.

Die Brauchwassererwärmung erfolgt nur über eine Kompressorengruppe mit einer konstanten Ladetemperatur von ca. 56°C. Die zweite Kompressorengruppe steht immer dem Heizbetrieb zur Verfügung.

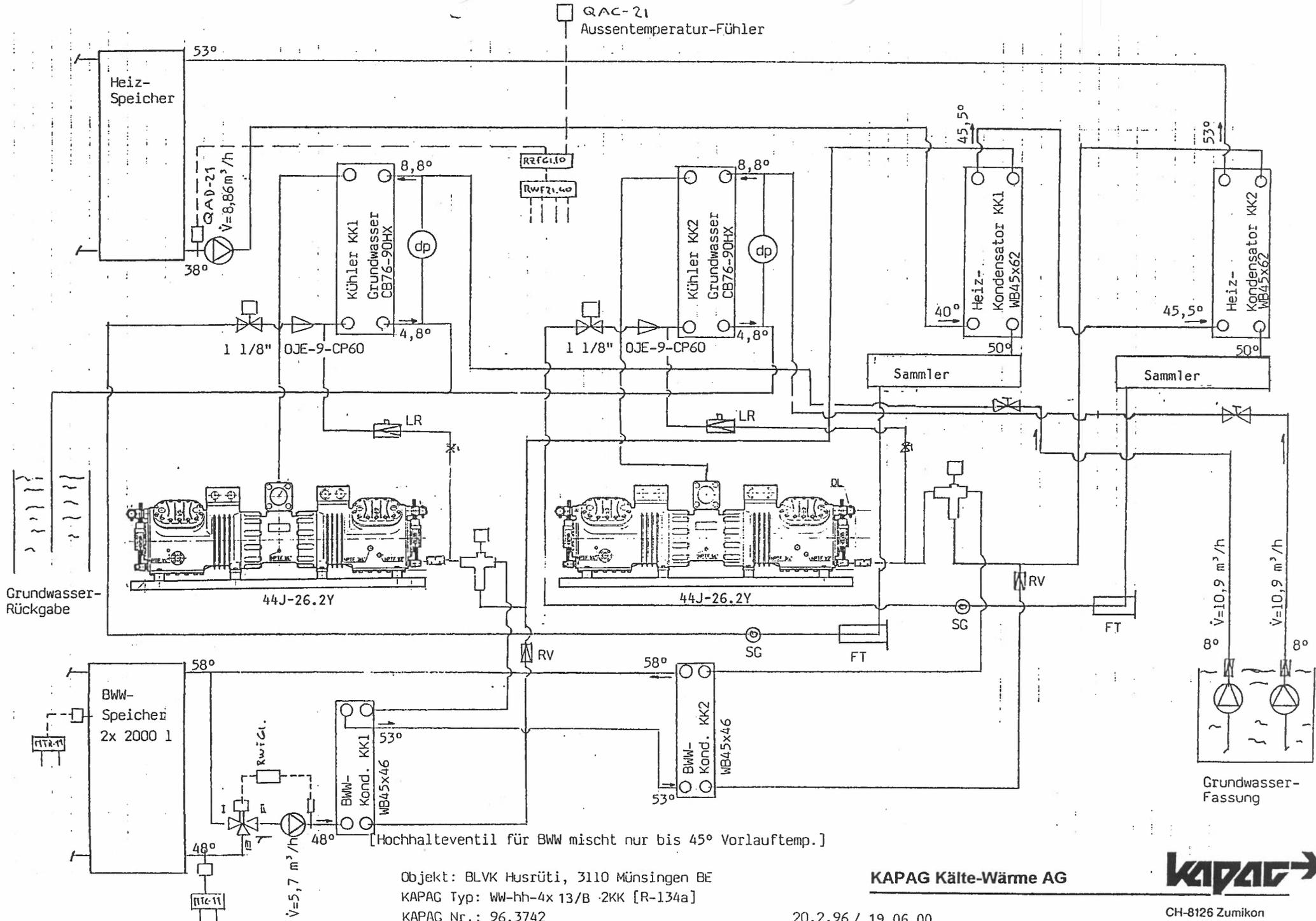
Eine DDC-Regulierung ermöglicht es alle Betriebsdaten laufend abzulesen.

Die Brauchwassererwärmung in den drei entfernten Häusern (12 Wohnungen) erfolgt mit Elektroboiler und ist in der Untersuchung nicht enthalten.

Die Brauchwarmwasser-Verteilung im Haus 1 ist mit Begleitheizung versehen, um eine Speicherdurchmischung zu verhindern.

Beilagen:

- Schematischer Aufbau der Wärmepumpe (Seite 5a)
- Hydraulisches Schema für Heizung und Brauchwassererwärmung (Seite 5b)



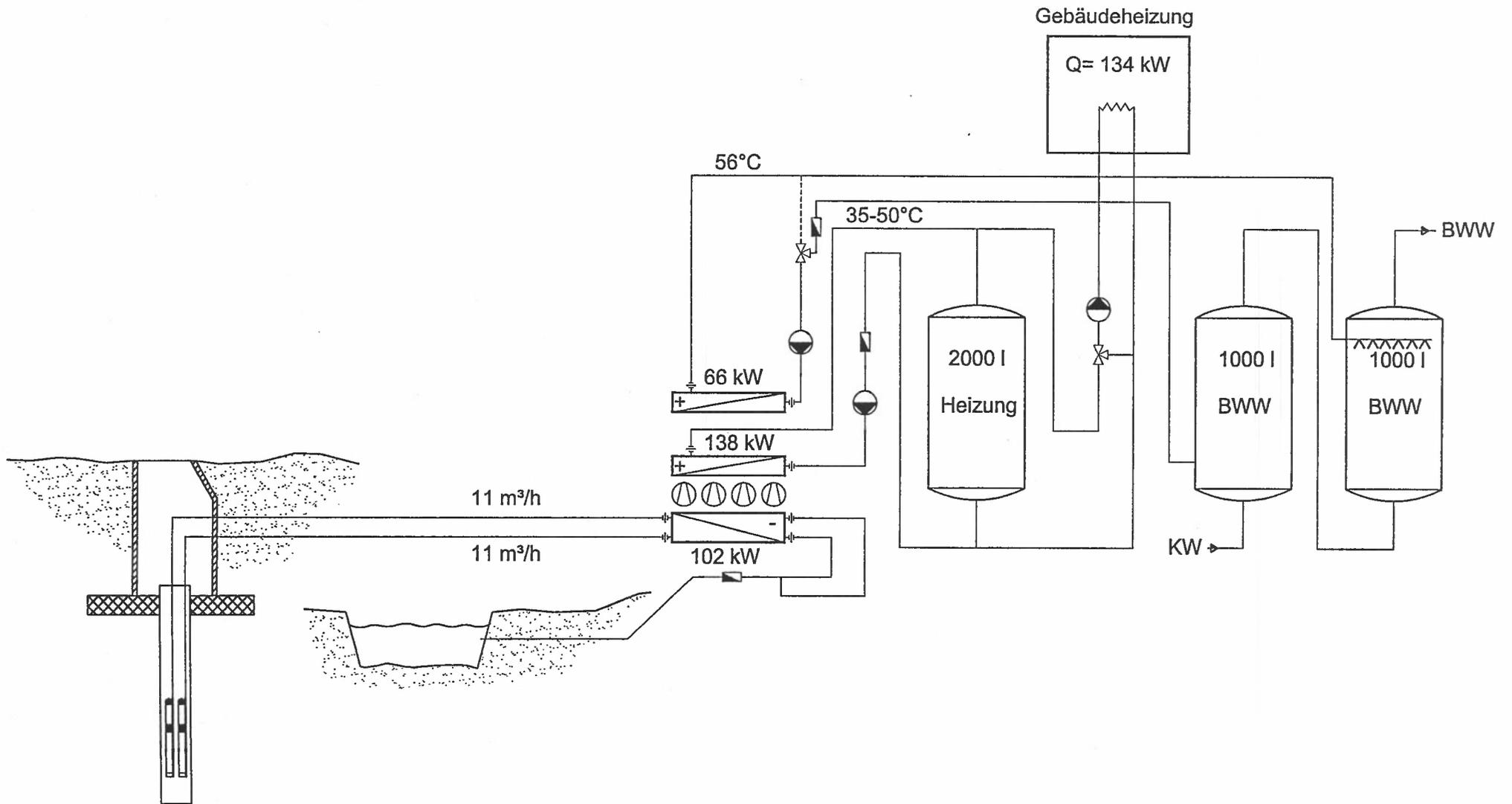
Objekt: BLVK Husrüti, 3110 Münsingen BE
 KAPAG Typ: WW-hh-4x 13/B 2KK [R-134a]
 KAPAG Nr.: 96.3742

20.2.96 / 19.06.00

KAPAG Kälte-Wärme AG



CH-8126 Zumikon
 Telefon 01 918 07 72



Wohnüberbauung "Husrüti"
Münsingen

Hydraulisches Schema der Wärmeerzeugung

3. Bauphasen mit Schwierigkeiten

Trotz sorgfältiger Planung traten in der Bauphase markante Schwierigkeiten auf.

- 3.1 Aus Kostengründen wollte der Planer der Grundwasserbrunnen für die zwei Grundwasserpumpen je einen Kleinbrunnen erstellen. Beide Brunnen förderten dauernd Sand und auch ein dritter war nicht zu gebrauchen. Schlussendlich wurde ein Brunnen mit Normaldurchmesser gebohrt, der nun problemlos funktioniert.
- 3.2 Die optimierte Wärmepumpe war ergänzt worden mit zwei Unterkühlern, die theoretisch je 10 KW zusätzliche Heizleistung bringen sollten. Sie hatten die Aufgabe das Freon zu unterkühlen und das Grundwasser vorzuwärmen. Die Arbeitszahl bei Vollbetrieb (56°C Kondensationstemperatur) wurde mit 4.2 gemessen. Die Leistung lag jedoch ca. 18% unter den Garantiewerten, so dass das Gebäude bei kalter Witterung nicht genügend beheizt werden konnte. Ausserdem erzeugten die 3-Zylinder Verdichter Vibrationen, die trotz maximaler Schall- und Schwingungsdämpfung nicht wegzubringen waren. Dies führte zum totalen Umbau der Wärmepumpe. Es wurden 4-Zylinder Kompressoren (Fabrikat Bitzer) eingebaut. Die Unterkühler entfielen und dafür wurden alle Tauscher grösser dimensioniert. Nach dem Umbau waren Leistung und Schallemissionen perfekt und die Messreihe konnte neu gestartet werden.
- 3.3 Unser Messkonzept enthielt klar getrennte Strommessungen für Wärmepumpe und Grundwasserpumpen. In der Ausführungsphase koordinierten die Unternehmer ohne unser Wissen den Schaltschrank der Wärmepumpe mit den übrigen Verbrauchern in der Heizzentrale. Der ganze Schaltschrank erhielt einen eigenen Stromzähler. Für die Grundwasserpumpen mussten nun interne Zähler hinzu gebaut werden. Die Umwälzpumpen und der Garageventilator besaßen Betriebsstundenzähler, so dass der Verbrauch exakt erfasst werden konnte. Der Verbrauch für das Begleitheizkabel an der Brauchwarmwasserleitung ist leider nicht erfassbar, da dieses selbstregulierend ist. Die Begleitheizung ist nur tagsüber freigegeben. Momentanmessungen ergaben einen so kleinen Tagesverbrauch, dass dieser für die Beurteilung der Arbeitszahl unbedeutend ist. Wir entschlossen uns deshalb an Stelle einer Schätzung, diesen Verbrauch ganz wegzulassen. Er liegt längstens im Ungenauigkeitsbereich der Wärmezähler.

4. Messergebnisse vom Januar 1998 bis Dezember 1999

Die gesamte Statistik vom Januar 1998 bis April 2000 steht Interessenten zur Verfügung.

Unsere Beurteilung umfasst die 2 Jahre 1998 und 1999.

Das Diagramm mit den Arbeitszahlen und Heizgradtagen liegt bei (Seite 7a).

Jahresarbeitszahlen:

1998

Gesamter Wärmebezug	360'752	kWh
Stromverbrauch Wärmepumpe	90'637.22	kWh
Jahresarbeitszahl	3.98	

1999

Gesamter Wärmebezug	343'535	kWh
Stromverbrauch Wärmepumpe	86'943.18	kWh
Jahresarbeitszahl	3.951	

5. Beurteilung der Messergebnisse

5.1 Der Zielwert einer Jahresarbeitszahl 4.0 konnte im Jahr 1998 mit 3.98 knapp erreicht werden.

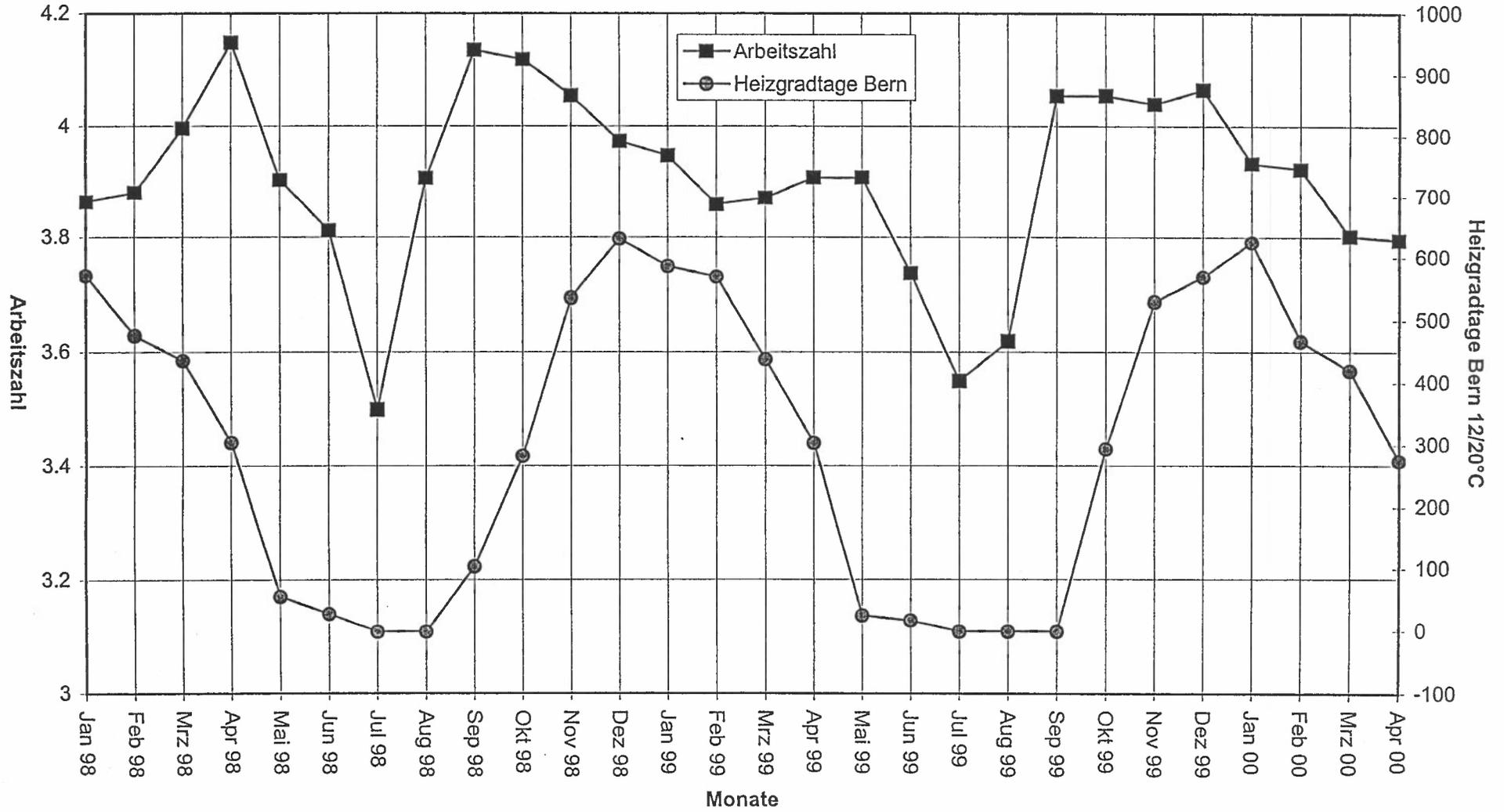
Im Jahr 1999 wurde die Grundwassermenge auf den Sollwert reduziert. Dies kann für die leichte Verschlechterung der Arbeitszahl verantwortlich sein.

5.2 Für April/Mai 1999 wurde falsch abgelesen. Hier mussten im Diagramm die Mittelwerte eingesetzt werden.

5.3 Das Diagramm Seite 7a zeigt folgendes:

- Die besten Arbeitszahlen werden erreicht in der Übergangszeit, wenn für die Heizung eher tief kondensiert wird.
- Im Sommer wird für die Brauchwassererwärmung hoch kondensiert, womit die Arbeitszahl logischerweise zurück fällt. Zudem fallen die Verluste der Maschine bei kleiner Wärmeabgabe mehr ins Gewicht.

Arbeitszahl / Heizgradtage



6. Erfahrungen und Empfehlungen

6.1 Damit eine laufende Kontrolle der Arbeitszahlen möglich ist, müssen die Kompressoren unbedingt mit separaten Stromzählern versehen sein.

6.2 Die Optimierung der Wärmepumpe über Unterkühler ist offensichtlich problematisch. Sie funktioniert, wenn mit dem Heizmedium unterkühlt werden kann. Die Unterkühlung durch Erwärmen des Grundwassers brachte die theoretischen Werte nicht. Eine sichere Verbesserung der Leistung erfolgt jedoch über grosse Tauscherflächen, das heisst hohe Verdampfungstemperaturen und niedrige Kondensationstemperaturen.

Im vorliegenden Fall konnten mit Mehrkosten von Fr. 6'000.— eine Leistungsverbesserung von ca. 10% erreicht werden. Dies entspricht einer Reduktion der Jahreskosten um ca. Fr. 1'600.— oder einer Annuität von 26.6%.

Bei unseren Messungen stellten wir fest, dass die Verdichter beim anfahren einen schlechten Wirkungsgrad aufweisen.

Die Regulierung muss deshalb lange Laufzeiten gewährleisten.

6.3 Der Hauptanteil der Verbesserung an der Arbeitszahl liegt bei der tiefen Kondensationstemperatur. Diese wurde im vorliegenden Fall erreicht durch:

- Bodenheizung mit einer mittleren Vorlauftemperatur von 38°C
- Gleitende Erwärmung des Heizungswassers ohne Mischer, wobei sich die Ausschalttemperatur bei sinkender Aussentemperatur nach oben verschiebt bis auf max. 50°C.
- Einschalten der Wärmepumpe erst bei voll geöffnetem Mischventil an der Bodenheizung oder bei leeren Brauchwarmwasserspeichern.

6.4 Die Erfahrung zeigt, dass Sperrzeiten bis zu 2 h problemlos von der Bodenheizung überbrückt werden können. Ca. 1 h vor Beginn der Sperrzeit wird jedoch der 2000 Liter Speicher über ein Signal nochmals voll geladen.

6.5 Die Boilerladung vor Heizbeginn bewährt sich. Leider wird oft noch am Abend in der Hochtarifzeit ein Befehl zur Vollladung gegeben. Es wäre deshalb von Vorteil, wenn die Tagesnachladung nur ¼ des Boilerinhaltes umfassen würde, an Stelle der vollen 2000 Liter.

6.6 Vergleich des effektiven Jahresverbrauchs mit den Zahlen der Vorstudie gibt Abweichungen.

		Vorstudie	Heizperiode 98/99
Jahresverbrauch Heizung	kWh	273'800	305'882
Jahresverbrauch BWW Haus 1 mit 30 Wohneinheiten in	kWh	<u>82'500</u>	<u>43'951</u>
Total	kWh	356'300	349'833

Die Abweichungen gegenüber den theoretischen Mittelwerten können folgendermassen erklärt werden.

- Der Heizbedarf liegt über den theoretischen Mittelwerten. Offensichtlich geben sich die Bewohner mit 20°C Raumtemperatur nicht zufrieden. Bei Kontrollen stellten wir jeweils Raumtemperaturen von eher 22°C fest.
- Der Brauchwarmwasserbedarf ist ganz offensichtlich kleiner als er in der Vorstudie angenommen wurde.

Da es sich zum grossen Teil um 4 ½ Wohnungen handelt, sind wir von 145 Liter pro Tag und Wohnung ausgegangen.
Der effektive Tagesverbrauch pro Wohnung liegt im Durchschnitt etwa bei 80 Liter.

Die gesamten Auswertungstabellen stehen Interessierten zur Verfügung.