

*Schlussbericht November 2003*

# Tiefe Erdwärmesonde Weggis

Messkampagne zur Dokumentierung der neuen  
Einflüsse beim Ausbau der Abnehmerleistung

ausgearbeitet durch

Dr. Walter J. Eugster  
Polydynamics Engineering Zürich  
Malojaweg 19, 8048 Zürich  
wje@polydynamics.ch

Hans Füglistner  
Seestrasse 54, 6353 Weggis

## Zusammenfassung

Die tiefe Erdwärmesonde Weggis wurde 1994 in Betrieb genommen. In den Jahren 1995 bis 2000 lieferte sie jährlich eine Wärmemenge von rund 220 MWh für Direktheizung sowie als Quelle für Wärmepumpen zur Heizung und Warmwassererwärmung. Der Direktheizungsanteil lag bei über 60 %. Die Abnehmerleistung hat rund 100 kW betragen. Die mittlere Quellentemperatur der Sonde hat bei 40.5°C und die mittlere Rückgabetemperatur bei 33.3°C gelegen.

Im Laufe des Betriebsjahres 2000/2001 wurde die Abnehmerstruktur um drei Mehrfamilienhäuser erweitert. Dadurch hat sich die nominelle Abnehmerleistung praktisch verdoppelt. Die dem Sondenkreislauf entnommene Wärme hat sich in den drei neu untersuchten Betriebsjahren 2001/02 bis 2002/03 ebenfalls auf knapp 440 MWh nahezu verdoppelt. Der Direktheizungsanteil ging auf 8 % zurück. Die mittlere Quellentemperatur der Sonde liegt nun noch bei 37.2°C und die mittlere Rückgabetemperatur in die Sonde bei 29.9°C.

Die Jahresarbeitszahl hat sich in dieser Zeit ebenfalls von ca. 6 auf 4.3 verringert. Die reinen Stromkosten pro kWh Wärme liegen für die Gesamtanlage bei 3.55 Rp/kWh.

## Résumé

La sonde géothermique profonde de Weggis est opérationnelle depuis 1994. Pendant les années 1995 – 2000 elle a délivrée une quantité de 220 MWh de chaleur - soit pour le chauffage direct ou comme source pour les PACs. La part du chauffage direct était plus qu 60%. La puissance de chauffage se montait à environ 100 kW. La température moyenne délivrée de la sonde était 40.5°C et la température moyenne de l'eau recirculé dans la sonde 33.3°C.

Pendant les années 2000/2001 la puissance nominelle de chauffage était presque doublée. La sonde géothermique profonde à délivrée une quantité de 440 MWh par année pendant 2001/2002. La part du chauffage direct est maintenant encore 8 %. La température moyenne de source s'est diminuée à 37.2°C et la température moyenne de retour à 29.9°C.

Le facteur de performance annuelle s'est diminué de env. 6 à 4.3 dans la même période. Les coûts pour l'électricité par kWh de chaleur pour l'installation entière est environ 3.55 Rp/kWh.

## Summary

The deep borehole heat exchanger of Weggis is operational since 1994. During the years 1995 to 2000 the BHE has produced for both, direct heating and as a source for the heat pumps, a yearly amount of heat of 220 MWh. The share of direct heating has been more than 60%. The average power of all consumers has been about 100 kW. This has yielded to a mean source temperature out of the deep BHE of 40.5°C and to a mean return temperature of 33.3°C.

During the years 2000 and 2001 three additional multi-family dwellings have been connected as consumers to the BHE. The amount of delivered heat has nearly been doubled (from 220 to 440 MWh per year) as well as the nominal load. This has induced a small reduction of the delivery and significant reduction of the return temperature to the BHE (37.2°C and 29.9°C, respectively). As a result, the direct heating share has been reduced to 8 %.

The seasonal performance factor has changed from over 6 to 4.3 during the same period. Pure electricity cost per kWh of heat for the entire plant is about 3.55 Rp/kWh.

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

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	1
Résumé .....	1
Summary .....	1
1. Einleitung.....	3
1.1. Ausgangslage.....	3
1.2. Projektziele.....	3
1.3. Vorgehen, Messprogramm.....	3
2. Anlagebeschreibung.....	4
2.1. Chronologie.....	4
2.2. Anlagebeschrieb.....	5
3. Resultate der Wärme-, Energie- und Temperaturmessungen.....	11
3.1. Grobübersicht über sämtliche bisherige Betriebsjahre (1994 – 2002) .....	11
3.2. Energiebilanz Betriebsjahr 2000/01 .....	12
3.3. Energiebilanz Betriebsjahr 2001/02 .....	14
3.4. Energiebilanz Betriebsjahr 2002/03 .....	17
3.5. Temperaturmessungen .....	20
4. Schlussfolgerungen .....	24
5. Literaturverzeichnis .....	25

## 1. Einleitung

### 1.1. Ausgangslage

In den Jahren 1992 und 1993 wurde die Bohrung Weggis mit einer Endteufe von 2'302 m erstellt. Da keine nutzbaren Tiefenwässer mit genügend hoher Schüttung erschlossen werden konnten, wurde die Bohrung als weltweit erste tiefe geschlossene Erdwärmesonde ausgebaut. Diese Variante stand von Anfang an als Alternative zur Verfügung.

Im Herbst 1994 ging die Anlage mit einem ersten Verbraucher an der Kreuzstrasse in Betrieb. Obwohl laufend neue Verbraucher angeschlossen werden konnten, wurde die theoretisch mögliche Leistung der tiefen Erdwärmesonde nur zu rund einem Drittel genutzt. Die Anfangsphase der Jahre 1994 bis 1997 wurde mit einem Messprojekt begleitet (Eugster & Füglistner, 1997).

Im Jahre 2000 stand wieder eine wesentliche Änderung in der Abnehmerstruktur bevor: Mit dem Anschluss von drei zusätzlichen Mehrfamilienhäusern soll nahezu eine Verdopplung der Abnehmerleistung erreicht werden. Dieser Umstand war der Grund für diese zweite Messkampagne, welche vom Herbst 2000 bis Herbst 2003 dauerte.

### 1.2. Projektziele

Hauptziel dieses Projektes ist es, den Einfluss der längeren Laufzeit bzw. der stärkeren Abkühlung des Wärmeträgers auf die Quelltemperatur zu dokumentieren. Dies soll schwergewichtig mit Hilfe der bestehenden, aus der früheren Messkampagne stammenden Messgeräte durchgeführt werden. Gleichzeitig wird die Wärmebilanz der Bohrung erstellt.

### 1.3. Vorgehen, Messprogramm

Aus dem vorhergegangenen Projekt sind zwei Temperaturfühler für den Vor- und Rücklauf der bestehenden Abnehmer, ein Durchflussmesser im Sondenkreislauf mit Impulsgeber sowie der Datalogger vorhanden und in Betrieb. Nach der Erweiterung der Abnehmerstruktur ist der bestehende Rücklauf gleichzeitig der Vorlauf für die neuen Abnehmer. Es muss also lediglich ein weiterer Temperaturmessfühler gleichen Typs für den Gesamtrücklauf am Bohrlochkopf installiert werden. Zur Erhöhung der Messsicherheit werden alle drei Temperaturfühler in einem Eichbad überprüft.

Die gesamte Messausrüstung besteht also aus:

- Datalogger, Typ Campbell BDR 320. 4 analoge Eingänge, 2 Pulseingänge; inkl. Modem-/Telefonanschluss zur Datenübertragung
- 3 Temperaturfühler „Analog Device Two-Terminal IC Temperature Transducer“, Typ Campbell AD250.
- Magnetisch-induktiver Durchflussmesser, Typ Krohne Aquaflux

Der neu eingebaute Temperaturfühler weist unglücklicherweise im Gegensatz zu den bestehenden Fühlern kein absolut stabiles Verhalten auf. Er musste deshalb mehrfach pro Jahr mit Hilfe des Temperaturbades nachgeeicht werden. Da im Datalogger die Spannung aufgezeichnet wird, konnten die Messwerte am Bohrlochkopf jeweils nachträglich korrigiert werden.

Die Messkampagne konzentriert sich auf die Energiebilanz der tiefen Erdwärmesonde.

Die Quelltemperatur, die Temperatur in die Ringleitung für die Häuser F-H, die Rücklauf-temperatur in die Erdwärmesonde sowie der Durchfluss wird alle 10 Minuten gemessen. Daraus lässt sich die der Erdwärmesonde entzogene Energiemenge für den bestehenden Teil und für die Erweiterung berechnen.

Ergänzt werden diese Messungen durch eine Vielzahl von Wärmezähler- und Stundenzählerab-lesungen von verschiedenen Verbrauchern. Die Ablesungen werden alle paar Tage, mindes- tens aber einmal monatlich von Herrn Füglister bzw. vom Hauswart durchgeführt und protokol- liert.

Es ist dies einerseits die Wärmemenge aus den Sonnenkollektoren. Nicht benötigte Über- schusswärme wird in den Erdwärmesondenkreislauf vor der Ringleitung eingespiesen. Diese Überschüsse sind also im Wärmeverbrauch durch die bestehenden Nutzer enthalten.

Andererseits werden folgende Ablesungen vorgenommen:

- Gelieferte Wärmemenge für Heizung an die Häuser Kreuzstrasse 16/18
- Gelieferte Wärmemenge an die Häuser Seestrasse 64 und 64a
- Gelieferte Wärmemenge aus der Erdwärmesonde an die Häuser F, G und H (einzelne Zähler)
- Betriebsstundenzähler an der WP2 für die Warmwasseraufbereitung für die Kreuzstrasse 16/18. Daraus wird die gelieferte Wärmemenge abgeschätzt.
- Gesamter Stromverbrauch für Pumpen und Wärmepumpen WP1 und WP2
- Betriebsstundenzähler der drei Wärmepumpen der Häuser F, G, H im Heiz- und Warmwassererwärmungsmodus.
- Warmwasserverbrauch sämtlicher Wohnungen in den Häusern F, G, H
- Heizenergieverbrauch für sämtliche Wohnungen in den Häusern F, G, H
- Stromverbrauch für Pumpen und Wärmepumpen in den Häusern F, G, H

Diese Zähler definieren also den effektiven Wärmeverbrauch sämtlicher Abnehmer.

## 2. Anlagebeschreibung

### 2.1. Chronologie

Der Vollständigkeit halber wird nachfolgend der zeitliche Ablauf der wichtigsten Arbeiten und Installationen an der tiefen Erdwärmesonde Weggis aufgezeigt:

Dez 1992	Bohrbeginn am 11.12.
Sep 1993	Erreichen der Endteufe von 2'302 m am 14.09.
Nov 1993	Ausbau der Bohrung zur geschlossenen Erdwärmesonde am 9.11. fertiggestellt Aufnahme der 1. Testbetriebsphase am 20.11., Dauer bis 08.04.1994
Apr 1994	Response Tests mit Bachwasser (Dauer bis 20.05.)
Sep 1994	Installation eines Ölkessels (90 kW Heizleistung) im Heizraum der Häuser Kreuzstrasse 16+18. Dieser Ölkessel deckt den Wärmebedarf der beiden Wohnhäuser und dient im Gesamtsystem als Spitzenabdeckung bei Vollausbau sowie als Ersatzheizung bei einem Ausfall der Erdwärmesonde.
Okt 1994	Aufnahme des Langzeit-Messbetriebes der 1. Messkampagne
Feb 1995	Anschluss der Gebäude Kreuzstrasse 16 und 18 an die Erdwärmesonde am 20.02. für Heizbetrieb und Warmwasseraufbereitung. Inbetriebnahme der beiden Wärmepumpen WP1 und WP2 im Heizkeller: WP1: für Heizbetrieb, Heizleistung 50 kW

	WP2: für Warmwassererwärmung (48 kW) und für Heizbetrieb (50 kW). Diese Wärmepumpe ist entsprechend mit zwei Verflüssigern ausgerüstet
Okt 1995	Anschluss des bestehenden Mehrfamilienhauses Seestrasse 54 für Heizbetrieb
Sep 1997	Abschluss der 1. Messkampagne
Feb 1999	Anschluss des neu erstellten Fabrikationsgebäudes mit aufgesetztem Châlet an der Seestrasse 54a.
Aug 2000	Aufnahme der 2. Messkampagne
Okt 2000	Anschluss des neu erstellten Mehrfamilienhauses Parkstrasse 39 (Haus H)
Dez 2000	Anschluss des neu erstellten Mehrfamilienhauses Parkstrasse 43 (Haus G)
Jan 2001	Anschluss des neu erstellten Mehrfamilienhauses Parkstrasse 41 (Haus F)
Sep 2003	Abschluss der 2. Messkampagne

## 2.2. Anlagebeschrieb

Die aktuelle Wärmeabnehmerstruktur der tiefen Erdwärmesonde (EWS) ist in Figur 1 dargestellt. Sämtliche bereits bestehenden Gebäude sind energetisch vollständig saniert.

Als Wärmeabnehmer dienen zur Zeit:

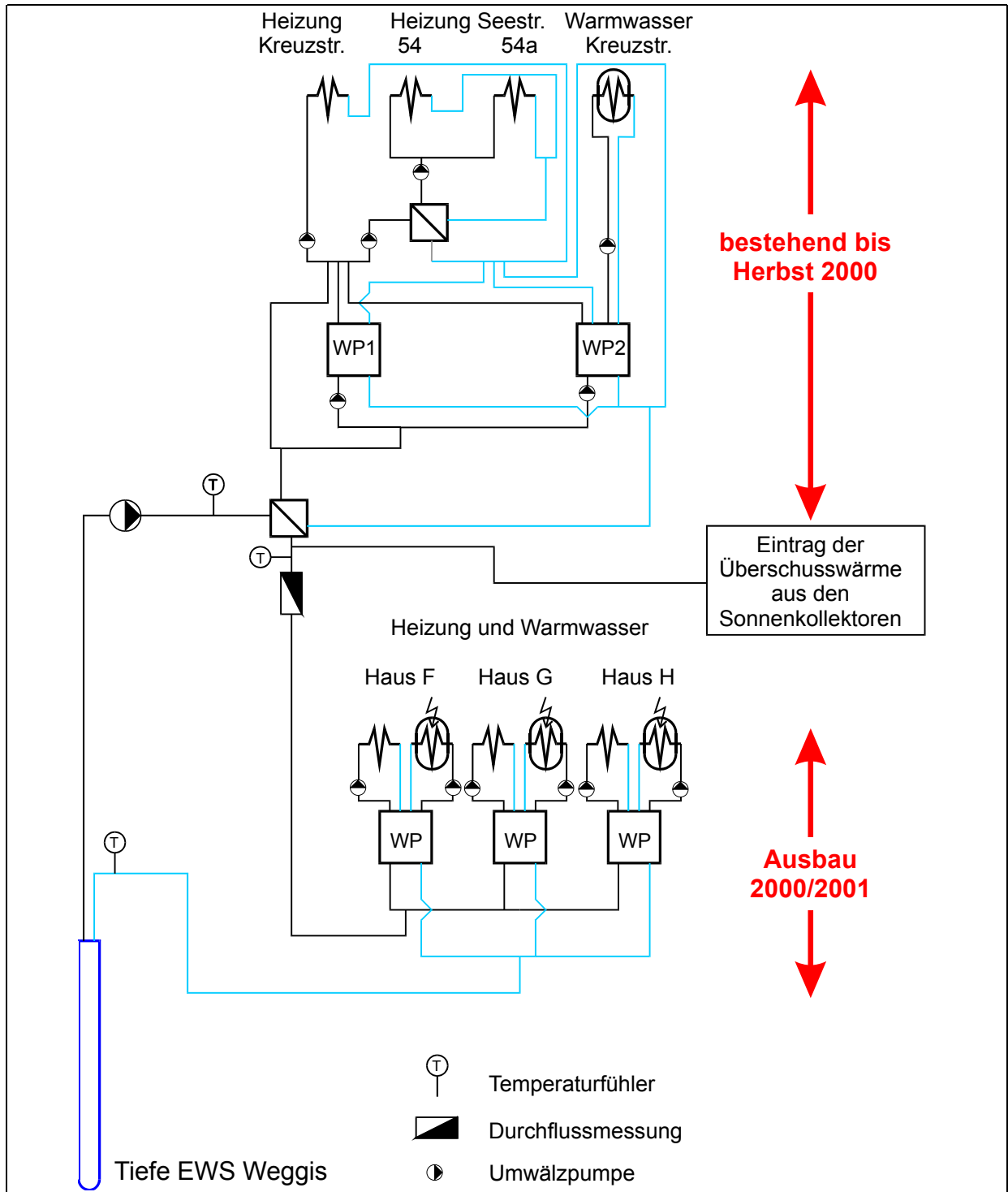
- Mehrfamilienhäuser Kreuzstrasse 16 und 18 (je 8 Wohnungen): Heizenergie direkt ab EWS oder über die Wärmepumpen WP1 und WP2; Warmwasser über die Wärmepumpe WP2 (siehe Figur 7).
- Mehrfamilienhaus Seestrasse 54 (8 Wohnungen und 2 Büros) und Gebäude Seestrasse 54a (kleines Fabrikationsgebäude und EFH): Heizenergie direkt ab EWS oder über die Wärmepumpen WP1 und WP2. Warmwasservorwärmung (siehe Figuren 8 und 9)
- Mehrfamilienhaus Parkstrasse 39 (Haus H) mit 4 Wohnungen. Wärme für Heizung und Warmwasser ab gemeinsamer Wärmepumpe (siehe Figur 10).
- Mehrfamilienhaus Parkstrasse 41 (Haus F) mit 6 Wohnungen. Wärme für Heizung und Warmwasser ab gemeinsamer Wärmepumpe.
- Mehrfamilienhaus Parkstrasse 43 (Haus G) mit 6 Wohnungen. Wärme für Heizung und Warmwasser ab gemeinsamer Wärmepumpe.

Die Abnehmerleistung der Gebäude an der Kreuz- und Seestrasse beträgt rund 100 kW für Heizung und 48 kW für Warmwasser. Für diesen Teil der Anlage wurde die gesamte Wärmeerzeugung im Keller des Gebäudes Kreuzstrasse 16 installiert: Wärmetauscher, Wärmepumpen und sämtliche Speicher (siehe Figuren 5 und 6).

Die drei neuen Häuser an der Parkstrasse sind am Rücklauf der bestehenden Nutzung parallel angeschlossen und beziehen je einen Drittel der Durchflussmenge als Wärmequelle für die Wärmepumpe (Heizung und Warmwasser, letzteres jedoch nur bis zu einer Temperatur von 53°C). Die neu erstellten Gebäude benötigen gesamthaft eine Heizleistung von 60 kW sowie 40 kW für die Warmwassererwärmung. Die Warmwasserboiler sind mit einer elektrischen Nachheizung ausgerüstet um die erforderliche Temperatur von 55 – 60°C zu erreichen.

Die gesamte Wärmeerzeugung der Anlagen in Weggis erfolgt also durch direkte Nutzung der Wärme aus der tiefen Erdwärmesonde, mit Hilfe der fünf Wärmepumpen sowie der elektrischen Nachheizung. Die Gesamtleistung für Heizung und Warmwasser beträgt rund 200 kW. Der 1994 installierte Heizkessel mit 96 kW Wärmeleistung dient als Redundanz, ist aber noch nie in Betrieb gegangen.

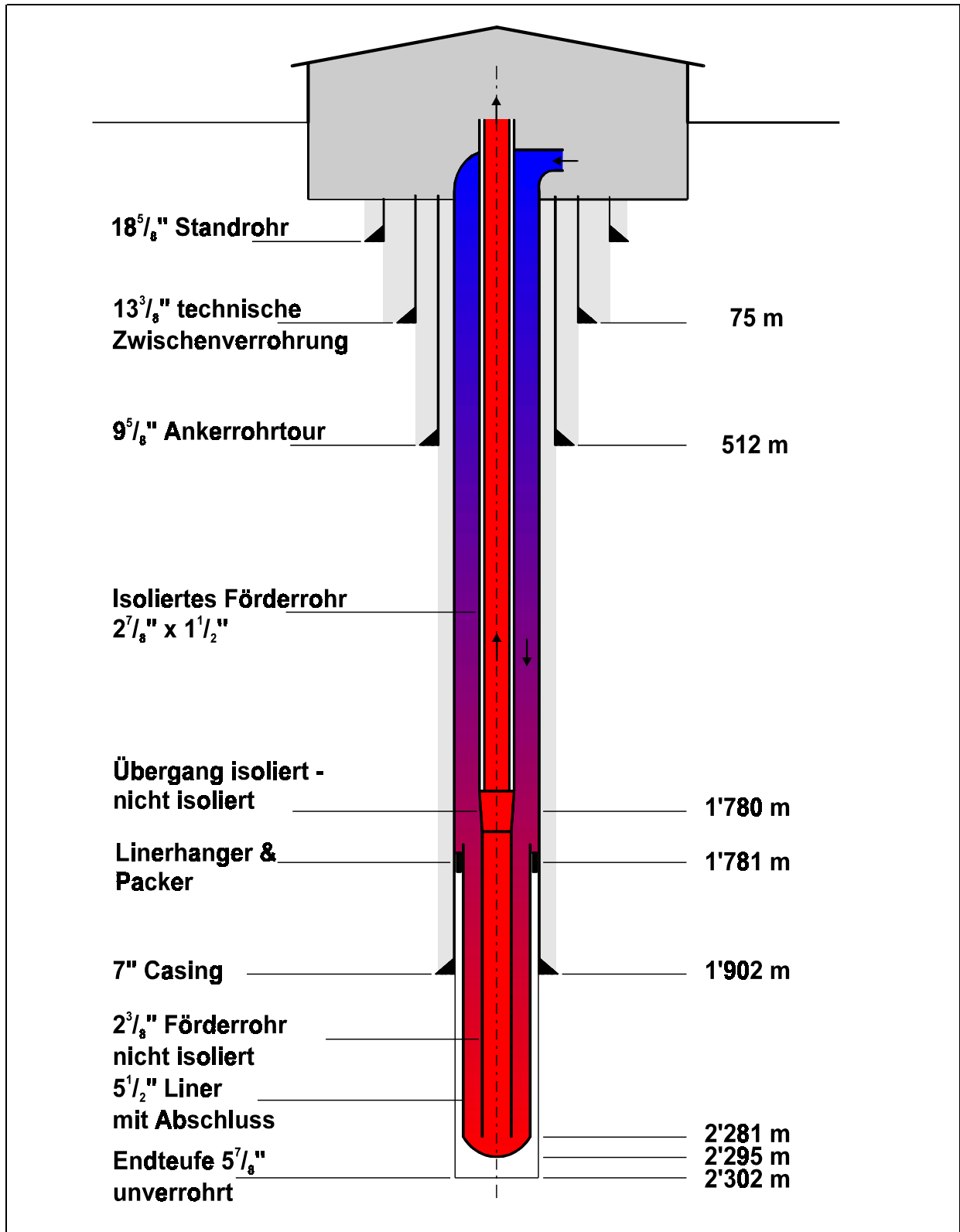
Auf dem Dach der Häuser Kreuzstrasse 16 und 18 sind zusätzlich Sonnenkollektoren angebracht. Diese dienen zur Warmwassererwärmung dieser Häuser und unterstützen damit die Wärmepumpe WP2. Ein allfälliger Wärmeüberschuss wird in den Erdwärmesondenkreislauf gegeben.



Figur 1: Aktuelle Abnehmerstruktur der tiefen Erdwärmesonde Weggis

Vor der neuesten Ausbauphase war der Betrieb der tiefen Erdwärmesonde bedarfsgesteuert, d.h. die Hauptzirkulationspumpe ging erst in Betrieb, wenn ein Wärmebedarf anstand. Seit Herbst 2001 ist diese Pumpe andauernd in Betrieb, also auch dann, wenn kein unmittelbarer Wärmebedarf ansteht. Je nach Aussentemperatur werden die Durchflussmengen zwischen 50 und 104 l/Min variiert.

Diese Betriebsart führt selbstverständlich zu massiven Wärmeverlusten und zu erhöhten Pumpenstromkosten durch unnötige Zirkulation. Allerdings stehen dem massiv reduzierte Investitionskosten für die Steuerung gegenüber.



Figur 2: Ausbau der Bohrung Weggis als tiefe koaxiale Erdwärmesonde (nach Eugster & Füglistler, 1997).

Der technische Ausbau der Bohrung ist u.a. in Eugster & Füglistler (1997) im Detail beschrieben. Das zentrale Förderrohr besteht bis in eine Tiefe 1780 m aus einem doppelwandigen Stahlrohr, dessen Zwischenraum mit einer Vakuumpumpe nahezu luftfrei gehalten wird. Dies dient als Wärmedämmung zwischen dem Vor- und Rücklauf der koaxialen Sonde. Unterhalb dieser Tiefe ist das Förderrohr nicht mehr isoliert (siehe Figur 2).



Figur 3: Ein gegenüber früher leicht erhöhtes Châlet beherbergt den Bohrlochkopf.



Figur 4: Der Bohrlochkopf innerhalb des Châlets mit den isolierten Verbindungsleitungen.

Das Bohrloch samt Bohrlochkopf (Figur 4) und tiefer Erdwärmesonde ist unter einem Châlet versteckt. Von der gesamten Wärmequelle ist also nichts zu sehen.



Figur 5: Die Umwälzpumpe und der Hauptwärmetauscher der ersten Ausbaustufe befindet sich zusammen mit der Messausrüstung im Keller der Kreuzstrasse 16.



Figur 6: Redundanz-Heizkessel und die Wärmepumpen WP1 (oben) und WP2 (unten) ebenfalls im Keller der Kreuzstrasse 16.



Figur 7: Die Mehrfamilienhäuser Kreuzstrasse 16 und 18 in Weggis. Nicht sichtbar sind die auf dem Flachdach des Verbindungsbaus montierten Sonnenkollektoren.



Figur 8: Das Gebäude Seestrasse 54 wird über eine Fernleitung direkt aus der Wärmezentrale in der Kreuzstrasse 16 beheizt.



Figur 9: Das Gebäude Seestrasse 54a (Fabrikationsgebäude mit aufgesetztem Châlet) ist parallel zur Seestrasse 54 ebenfalls an die Fernleitung angeschlossen.



Figur 10: Die neu erstellten Häuser an der Parkstrasse: Haus H links, Haus F rechts und – nicht sichtbar – unmittelbar dahinter das Haus G.

### 3. Resultate der Wärme-, Energie- und Temperaturmessungen

#### 3.1. Grobüberblick über sämtliche bisherige Betriebsjahre (1994 – 2002)

In Tabelle 1 sind die groben Energiebilanzen für sämtliche vollständigen Betriebsperioden (1. Oktober bis 30. September) zwischen Herbst 1994 und Herbst 2003 dargestellt. Die letzten drei Betriebsjahre (2000/01 – 2002/03) werden in den folgenden Kapitel im Detail diskutiert.

Tabelle 1: Energiebilanzen für die Betriebsperioden 1994/95 – 2002/03

Be- triebs- periode	Wärme- abgabe total	Energie aus EWS	davon als				Pumpen- strom	Gesamt- strom	$\alpha$ EWS	$\eta$ EWS	$\eta$ total
			Direkt- heizung	Quelle WP Hei- zung	Quelle WP WW	Quelle WP Parkstr.					
	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[-]	[-]	[-]
1994/95		112.6					16.9		<7.7		
1995/96	268.7	238.8	117.4	77.0	44.4		22.2	43.1	>6.2		
1996/97	251.7	223.4	126.5	45.8	51.1		19.7	46.3	>5.4		
1997/98	226.4	213.0	177.3	7.7	28.0		15.5	30.6	8.1	7.0	<7.4
1998/99	271.3	219.9	139.3	50.8	29.8		14.2	39.6	7.0	6.3	<6.8
1999/00	313.8	245.3	132.1	81.0	32.1		19.1	53.4	5.9	5.4	<5.9
2000/01	499.1	385.5	96.0	107.9	34.5	126.8	19.0	108.5	5.3	4.4	4.6
2001/02	549.8	436.4	34.5	165.1	38.3	179.7	19.7	130.8	4.4	4.0	4.2
2002/03	531.9	438.3	33.4	159.1	43.6	149.7	20.3	142.0	4.3	3.9	4.1

Zwischen Herbst 1995 und Herbst 2000 ist die aus der tiefen Erdwärmesonde entzogene Energiemenge recht konstant geblieben. Sie schwankt zwischen rund 90 und 110 kWh/m und Jahr. Dies entspricht den Kennwerten einer herkömmlichen Erdwärmesonde.

Die abgegebene Energiemenge hat sich in der gleichen Periode um knapp 20% erhöht. Dies hat zu signifikant längeren Betriebszeiten der WP1 geführt. Im letzten Betriebsjahr ist ein gewisser Anteil Bauaustrocknung des Hauses H enthalten. Dieser wurde allerdings noch nicht separat erfasst.

Seit 1997 wurde die Erfassung der verschiedenen Einzelverbraucher laufend optimiert. Die Handaufzeichnungen wurden transparent und nachvollziehbar protokolliert. Die Anlagekenngrößen wie Arbeitszahl  $\alpha$  und Nutzungsgrad  $\eta$  (siehe Tabelle 1) können wesentlich besser erhoben werden, selbst wenn noch verschiedene Schätzungen enthalten sind.

Die Jahresarbeitszahl der tiefen Erdwärmesonde umfasst die Direktnutzung sowie die beiden Wärmepumpen. Der Stromverbrauch der Wärmepumpen kann anhand der gemessenen Betriebsstunden sowie anhand der gemessenen Wärmeproduktion abgeschätzt werden. Im Nutzungsgrad der tiefen Erdwärmesonde sind zusätzlich sämtliche Verteilpumpen enthalten. Der Nutzungsgrad total umfasst zusätzlich die Wärmeproduktion der Sonnenkollektoren. In diesem Nutzungsgrad ist aber die Warmwasserproduktion in den Häusern Seestrasse 54 und 54a nicht enthalten.

Die Jahresarbeitszahl der Erdwärmesonde verringert sich wegen der längeren Laufzeiten der Wärmepumpen WP1 und WP2 zwischen Herbst 1997 und Herbst 2000 von 8.1 auf 5.9. Es ist aber nach wie vor ein hoher Wert! Der Nutzungsgrad total liegt am Schluss bei 5.9.

Die Quellentemperatur der Erdwärmesonde liegt über den betrachteten Zeitraum nach wie vor bei Werten um mehr als 40°C, dies bei starker Belastung in den Wintermonaten Dezember - Februar. Die Rückgabetemperatur in die Sonde liegt bei 35°C (siehe Figur 2).

### **3.2. Energiebilanz Betriebsjahr 2000/01**

Im Verlauf des Betriebsjahres 2000/01 wurden sukzessive die neuen Abnehmer angeschlossen. Die Bauaustrocknung erfolgte über das Heizsystem.

Tabelle 2 zeigt die eigentliche Wärmeproduktion aus der tiefen Erdwärmesonde und aus den Sonnenkollektoren. Die Produktion der Sonnenkollektoren wird einmal monatlich von Hand erfasst. Die übrigen Werte sind kontinuierlich gemessene Daten. Unter Berücksichtigung der Verluste aus dem Leerlaufbetrieb wurden knapp 400 MWh an Wärme aus der Sonde und aus den Sonnenkollektoren zur Verfügung gestellt.

Tabelle 3 fasst die Energieabgabe an die Verbraucher zusammen. Diese Angaben basieren auf mehrheitlich täglichen Handaufzeichnungen (Laufzeit Wärmepumpen bzw. deren Wärmeproduktion, Wärmehähler zum Haus Seestrasse 54/54a). Die täglichen Ablesungen der Wärmehähler Häuser F – H erfassen die der Ringleitung entnommene Wärme. Der Warmwasser- und Heizverbrauch dieser Häuser ist aufgrund der Messwerte 2001/02 anhand der bezogenen Quellenenergie abgeschätzt. Gesamthaft wurden knapp 500 MWh an die einzelnen Verbraucher abgegeben.

Tabelle 4 zeigt die zusammenfassende Energiebilanz der Gesamtanlage im Betriebsjahr 2000/01. Rund ¼ der Erdwärmesonde entnommenen Wärme konnte noch zur Direktheizung für die Gebäude an der Kreuz- und an der Seestrasse verwendet werden. Verluste, hauptsächlich aus dem durchgehenden Betrieb resultierend, machen rund 5 % aus. Der Rest der Wärme dient als Quellenenergie für die Wärmepumpen (37 % für die bestehenden Gebäude und 33 % für die neu angeschlossenen Häuser F – H).

Tabelle 2: Energiebezug aus der Erdwärmesonde und aus den Sonnenkollektoren im Betriebsjahr 2000/01 (Messwerte; *kursive* Zahlen: hergeleitete bzw. aus Richtgrößen abgeschätzte Werte).

Monat	Tiefe Erdwärmesonde						Sonnenkollektor	Total Sonde und Sonne
	bestehende Nutzung	Häuser F – H	Total	Eintrag Sonnenkoll.	Verluste	Total		
	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]		
Okt 00	24.0	5.0	29.0	-0.2	<i>1.4</i>	30.2	0.7	30.9
Nov 00	27.8	4.5	32.3	-0.1	<i>2.1</i>	34.3	0.7	35.0
Dez 00	32.3	13.3	45.6	0.0	<i>1.2</i>	46.8	0.1	47.0
Jan 01	34.8	17.3	52.1	0.0	<i>1.3</i>	53.4	0.5	53.9
Feb 01	28.3	21.8	50.1	0.0	<i>1.0</i>	51.1	1.0	52.1
Mar 01	26.9	17.8	44.7	-0.2	<i>1.5</i>	46.0	1.2	47.2
Apr 01	23.9	18.6	42.5	-0.7	<i>1.2</i>	42.9	2.0	45.0
Mai 01	9.2	7.1	16.3	-1.9	<i>2.6</i>	17.0	3.7	20.7
Jun 01	9.1	5.5	14.6	-2.0	<i>2.9</i>	15.5	3.7	19.2
Jul 01	3.5	2.9	6.4	-3.2	<i>2.1</i>	5.3	4.3	9.6
Aug 01	2.5	2.6	5.1	-3.2	<i>1.9</i>	3.8	4.1	7.9
Sep 01	15.9	10.4	26.4	-1.0	<i>1.1</i>	26.4	1.6	28.0
<b>Total</b>	<b>238.4</b>	<b>126.8</b>	<b>365.1</b>	<b>-12.6</b>	<b><i>20.4</i></b>	<b>372.9</b>	<b>23.6</b>	<b>396.5</b>

Tabelle 3: Energieabgabe an die Verbraucher im Betriebsjahr 2000/01 (Messwerte; *kursive* Zahlen: hergeleitete bzw. aus Richtgrößen abgeschätzte Werte).

Monat	Kreuzstrasse 16/18			Seestrasse	Häuser F – H		Total
	Heizung	Warmwasser		Heizung	Heizung	Warmwasser	
		WP2	Sonnenkoll.				
[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	
Okt 00	12.4	3.6	0.7	11.6	<i>4.8</i>	<i>1.7</i>	34.8
Nov 00	15.7	3.8	0.7	13.8	<i>4.3</i>	<i>1.5</i>	39.8
Dez 00	19.1	3.9	0.1	18.2	<i>15.5</i>	<i>1.7</i>	58.5
Jan 01	22.9	3.9	0.5	20.6	<i>20.5</i>	<i>1.8</i>	70.0
Feb 01	22.2	3.9	1.0	17.2	<i>26.2</i>	<i>1.6</i>	72.1
Mar 01	16.3	3.9	1.2	15.9	<i>20.1</i>	<i>2.8</i>	60.2
Apr 01	14.4	4.0	2.0	13.7	<i>21.1</i>	<i>2.7</i>	58.0
Mai 01	3.5	3.8	3.7	3.5	<i>4.8</i>	<i>4.5</i>	23.9
Jun 01	3.4	3.5	3.7	5.6	<i>2.8</i>	<i>4.5</i>	23.5
Jul 01	0.7	3.2	4.3	1.0	<i>0.0</i>	<i>4.0</i>	13.2
Aug 01	0.2	3.2	4.1	0.2	<i>0.0</i>	<i>3.6</i>	11.3
Sep 01	7.4	3.8	1.6	7.4	<i>8.7</i>	<i>5.0</i>	33.8
<b>Total</b>	<b>138.1</b>	<b>44.5</b>	<b>23.6</b>	<b>128.7</b>	<b><i>128.8</i></b>	<b><i>35.4</i></b>	<b>499.1</b>

Tabelle 4: Zusammenfassung und Kennzahlen für das Betriebsjahr 2000/01

Text	Energiemenge	Anteil
	[MWh]	[%]
<b>Total Wärme aus der Sonde</b>	<b>385.5</b>	<b>100.0</b>
Anteil davon für Direktheizung	96.0	24.9
Anteil als Quelle für die Heizungs-Wärmepumpe (bestehend)	107.9	28.0
Anteil als Quelle für die Warmwasser-Wärmepumpe (bestehend)	34.5	8.9
Anteil als Quelle für die Wärmepumpen (Heizung und WW) in der Ringleitung	126.8	32.9
Anteil an Verlusten wegen Leerlauf und übrige Verluste	20.4	5.3
Wärmeeintrag aus den Sonnenkollektoren in die Sonde	-12.6	-3.3
<b>Netto-Energie aus der Sonde</b>	<b>372.9</b>	<b>96.7</b>
<b>Gesamtproduktion Sonde und Sonnenkollektoren</b>	<b>396.5</b>	<b>100.0</b>
<b>Total an Verbraucher abgegebene Energie</b>	<b>499.1</b>	<b>125.9</b>
<b>Gesamter Stromverbrauch</b>	<b>108.5</b>	<b>27.4</b>
Text	Kennzahl	
	[-]	
Jahresarbeitszahl Erdwärmesonde	5.3	
Nutzungsgrad Erdwärmesonde	4.4	
Nutzungsgrad Gesamtanlage	4.6	

Die Jahresarbeitszahl der Erdwärmesondenanlage für den reinen Heizbetrieb hat im Betriebsjahr 2000/01 5.3 betragen. In dieser Zahl ist jedoch die ganze aufgewendete Energie für die Hauptzirkulationspumpe (inkl. Leerlaufzeiten) enthalten. Wird die Warmwasseraufbereitung mit der tiefen Sonde als Wärmequelle mitberücksichtigt sowie sämtliche aufgewendete Energie für die Wärmeverteilung etc. so ergibt sich ein Nutzungsgrad von 4.4. Der Nutzungsgrad der Gesamtanlage inkl. Produktion aus den Sonnenkollektoren erhöht sich dann wieder auf 4.6.

### 3.3. Energiebilanz Betriebsjahr 2001/02

Der Energiebezug aus der tiefen Erdwärmesonden sowie die Wärmeproduktion aus den Sonnenkollektoren für das Betriebsjahr 2001/02 ist in Tabelle 5 dargestellt. Da in diesem Betriebsjahr die neuen Häuser F – H während der gesamten Zeit angeschlossen waren, hat der Entzug aus der Erdwärmesonde um rund 60 MWh zugenommen. Die Gesamtproduktion inkl. Sonnenkollektoren hat rund 450 MWh betragen.

In Tabelle 6 ist die gesamte Energieabgabe an die Verbraucher zusammengefasst. Die Gesamtabgabe an Wärme beträgt rund 550 MWh, also ca. 10 % mehr als im Vorjahr. Tabelle 7 zeigt die Details für die neuen Häuser F – H. Die Warmwasserproduktion wurde bis zur monatlichen Ablesung der Verbrauchszahlen im Juni 2002 abgeschätzt.

Tabelle 8 zeigt den anhand der einzelnen Messdaten aufgeschlüsselten Stromverbrauch für das aktuelle Betriebsjahr. Die angegebenen Stromkosten basieren auf dem aktuellen Kostenmix (Verhältnis Niedertarif- und Hochtarifstrom) der bestehenden Wärmeproduktion für die Häuser Kreuzstrasse und Seestrasse (14.29 Rp/kWh).

Tabelle 5: Energiebezug aus der Erdwärmesonde und aus den Sonnenkollektoren im Betriebsjahr 2001/02 (Messwerte; *kursive* Zahlen: hergeleitete bzw. aus Richtgrößen abgeschätzte Werte).

Monat	Tiefe Erdwärmesonde						Sonnenkollektor	Total Sonde und Sonne
	bestehende Nutzung	Häuser F – H	Total	Eintrag Sonnenkoll.	Verluste	Total		
	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]		
Okt 01	14.1	8.2	22.2	-1.6	<i>1.0</i>	21.6	2.5	24.1
Nov 01	33.0	25.0	57.9	-0.1	<i>0.8</i>	58.7	0.3	58.9
Dez 01	37.1	27.6	64.6	-0.3	<i>0.8</i>	65.1	0.1	65.2
Jan 02	37.4	27.5	64.8	-0.1	<i>1.0</i>	65.8	0.5	66.3
Feb 02	29.2	22.9	52.1	-0.1	<i>0.6</i>	52.6	0.0	52.6
Mar 02	25.1	22.3	47.3	-1.0	<i>0.8</i>	47.1	3.4	50.4
Apr 02	20.8	16.7	37.5	-1.9	<i>1.0</i>	36.6	3.1	39.8
Mai 02	14.3	11.2	25.5	-2.1	<i>3.1</i>	26.6	3.4	30.0
Jun 02	5.4	3.8	9.2	-2.9	<i>2.8</i>	9.1	4.4	13.5
Jul 02	3.1	3.2	6.3	-2.5	<i>2.6</i>	6.4	3.8	10.2
Aug 02	4.6	3.1	7.7	-2.1	<i>2.5</i>	8.1	3.4	11.5
Sep 02	14.0	8.4	22.4	-1.2	<i>1.7</i>	22.8	2.1	24.9
<b>Total</b>	<b>237.9</b>	<b>179.7</b>	<b>417.6</b>	<b>-15.9</b>	<b><i>18.8</i></b>	<b>420.5</b>	<b>26.9</b>	<b>447.5</b>

Tabelle 6: Energieabgabe an die Verbraucher im Betriebsjahr 2001/2002 (Messwerte).

Monat	Kreuzstrasse 16/18			Seestrasse	Abgabe Häuser F - H	Total Abgabe
	Heizung	Warmwasser		Heizung		
		WP2	Sonnenkoll.			
[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	
Okt 01	5.9	3.9	2.5	7.1	10.2	29.6
Nov 01	18.5	4.1	0.3	19.3	29.4	71.6
Dez 01	22.7	4.1	0.1	22.3	32.5	81.7
Jan 02	21.8	4.1	0.5	21.7	33.7	81.8
Feb 02	16.4	4.1	0.0	17.0	25.3	62.8
Mar 02	15.2	4.1	3.4	16.1	25.3	64.0
Apr 02	10.5	4.1	3.1	11.0	19.3	48.0
Mai 02	5.8	4.1	3.4	6.5	14.1	33.9
Jun 02	1.2	4.1	4.4	1.6	6.4	17.7
Jul 02	0.2	4.1	3.8	0.2	5.6	13.8
Aug 02	0.8	4.2	3.4	1.2	5.6	15.2
Sep 02	5.7	4.1	2.1	6.4	11.3	29.7
<b>Total</b>	<b>124.6</b>	<b>49.4</b>	<b>26.9</b>	<b>130.3</b>	<b>218.6</b>	<b>549.8</b>

Tabelle 7: Energieabgabe an die Verbraucher Häuser F – G im Betriebsjahr 2001/02 (Messwerte; *kursive* Zahlen: hergeleitete bzw. aus Richtgrössen abgeschätzte Werte).

Monat	Wärmeabgabe aus Ringleitung						Total [MWh]
	Haus F		Haus G		Haus H		
	Heizung	WW	Heizung	WW	Heizung	WW	
	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	
Okt 01	2.0	<i>1.2</i>	2.4	<i>1.7</i>	1.2	<i>1.7</i>	10.2
Nov 01	9.2	<i>1.2</i>	8.1	<i>1.8</i>	6.3	<i>2.9</i>	29.4
Dez 01	9.1	<i>1.9</i>	9.0	<i>1.9</i>	7.6	<i>3.1</i>	32.5
Jan 02	10.8	<i>2.1</i>	9.1	<i>1.7</i>	7.3	<i>2.7</i>	33.7
Feb 02	8.3	<i>1.4</i>	6.9	<i>1.7</i>	5.3	<i>1.7</i>	25.3
Mar 02	7.6	<i>1.6</i>	6.5	<i>1.8</i>	5.4	<i>2.4</i>	25.3
Apr 02	5.2	<i>1.6</i>	4.3	<i>2.0</i>	3.7	<i>2.5</i>	19.3
Mai 02	3.2	<i>1.8</i>	1.9	<i>2.0</i>	2.3	<i>2.9</i>	14.1
Jun 02	0.2	1.5	0.3	1.9	0.4	2.1	6.4
Jul 02	0.0	1.7	0.0	1.5	0.0	2.3	5.6
Aug 02	0.0	1.9	0.0	1.4	0.0	2.3	5.6
Sep 02	2.1	1.4	1.6	2.0	1.8	2.4	11.3
<b>Total</b>	<b>57.5</b>	<b>19.2</b>	<b>50.1</b>	<b>21.4</b>	<b>41.4</b>	<b>28.9</b>	<b>218.6</b>

Tabelle 8: Stromverbrauch im Betriebsjahr 2001/02 (Messwerte; *kursive* Zahlen: hergeleitete bzw. aus Richtgrössen abgeschätzte Werte). Als Strompreis wurde der Kostenmix der Kreuzstrasse verwendet: 14.29 Rp/kWh.

Monat	Stromverbrauch							Kosten CHF
	Pumpe [MWh]	Bestehend		Häuser F – H		Verteilung [MWh]	Total [MWh]	
		Heizung	WW	Heizung	WW			
		[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]			
Okt 01	0.85	0.00	0.97	<i>1.35</i>	<i>0.68</i>	0.93	4.78	684
Nov 01	2.48	6.47	1.04	<i>5.61</i>	<i>1.32</i>	0.72	17.63	2'520
Dez 01	2.41	8.11	1.04	<i>6.12</i>	<i>2.82</i>	1.52	22.01	3'146
Jan 02	2.59	7.68	1.04	6.48	1.68	1.45	20.92	2'989
Feb 02	2.38	5.56	1.04	4.88	1.29	0.83	15.98	2'284
Mar 02	2.27	4.61	1.04	4.65	0.63	0.98	14.16	2'024
Apr 02	1.80	2.71	1.04	3.14	0.88	0.61	10.18	1'456
Mai 02	1.35	1.02	1.04	1.73	1.38	0.49	7.02	1'003
Jun 02	0.78	0.00	1.02	0.21	1.84	0.20	4.06	580
Jul 02	0.65	0.00	1.03	0.00	1.53	0.12	3.34	477
Aug 02	0.75	0.00	1.05	0.00	1.74	0.16	3.71	530
Sep 02	1.35	0.52	1.04	1.29	1.34	1.44	6.98	998
<b>Total</b>	<b>19.66</b>	<b>36.68</b>	<b>12.36</b>	<b>35.48</b>	<b>17.14</b>	<b>9.45</b>	<b>130.77</b>	<b>18'691</b>

Tabelle 9 zeigt schliesslich die zusammenfassende Energiebilanz der Gesamtanlage im Betriebsjahr 2001/02. Aktuell konnte nur noch 8 % der aus der Erdwärmesonde entnommenen Wärme zur Direktheizung für die Gebäude an der Kreuz- und an der Seestrasse verwendet werden. Im Vorjahr waren dies noch 25%. Die Verluste, hauptsächlich aus dem durchgehenden Betrieb resultierend, machen gut 4 % aus. Der Rest der Wärme dient als Quellenenergie für die Wärmepumpen (neu 47 % für die bestehenden Gebäude und 41 % für die Häuser F – H).

Tabelle 9: Zusammenfassung und Kennzahlen für das Betriebsjahr 2001/02

Text	Energiemenge	Anteil
	[MWh]	[%]
<b>Total Wärme aus der Sonde</b>	<b>436.4</b>	<b>100.0</b>
Anteil davon für Direktheizung	34.5	7.9
Anteil als Quelle für die Heizungs-Wärmepumpe (bestehend)	165.1	37.8
Anteil als Quelle für die Warmwasser-Wärmepumpe (bestehend)	38.3	8.8
Anteil als Quelle für die Wärmepumpen (Heizung und WW) in der Ringleitung	179.7	41.2
Anteil an Verlusten wegen Leerlauf und übrige Verluste	18.8	4.3
Wärmeeintrag aus den Sonnenkollektoren in die Sonde	-15.9	-3.6
<b>Netto-Energie aus der Sonde</b>	<b>420.5</b>	<b>96.4</b>
<b>Gesamtproduktion Sonde und Sonnenkollektoren</b>	<b>447.5</b>	<b>100.0</b>
<b>Total an Verbraucher abgegebene Energie</b>	<b>549.8</b>	<b>122.9</b>
<b>Gesamter Stromverbrauch</b>	<b>130.8</b>	<b>29.2</b>
Text	Kennzahl	
	[-]	
Jahresarbeitszahl Erdwärmesonde	4.4	
Nutzungsgrad Erdwärmesonde	4.0	
Nutzungsgrad Gesamtanlage	4.2	

Die Jahresarbeitszahl der Erdwärmesondenanlage für den reinen Heizbetrieb hat sich auf 4.4 reduziert (in dieser Zahl ist auch die ganze aufgewendete Energie für die Hauptzirkulationspumpe enthalten). Wird wiederum die Warmwasseraufbereitung mit der tiefen Sonde als Wärmequelle mitberücksichtigt sowie sämtliche aufgewendete Energie für die Wärmeverteilung etc., so ergibt sich ein Nutzungsgrad von noch 4.0. Der Nutzungsgrad der Gesamtanlage inkl. Produktion aus den Sonnenkollektoren erhöht sich dann wieder auf 4.2.

Die Kosten für die Wärmeerzeugung haben gesamthaft 3.40 Rp/kWh betragen. Für den reinen Heizbetrieb betragen diese 3.25 Rp/kWh.

### 3.4. Energiebilanz Betriebsjahr 2002/03

Im letzten untersuchten Betriebsjahr herrscht in Bezug auf den Wärmeverbrauch der Bewohner wie auch in Bezug auf die Messungen Normalbetrieb. Deshalb konnten einerseits die Verluste im Gesamtsystem besser untersucht und abgeschätzt werden. Die Abkühlung des Wärmeträgers aus der tiefen Erdwärmesonde bei reiner Zirkulation, wenn kein Verbraucher angeschlossen ist, beträgt rund 1K. Deshalb sind die Verluste gegenüber dem Vorjahr scheinbar deutlich grösser.

Andererseits hat sich herausgestellt, dass der gemessene Stromverbrauch in den Häusern an der Parkstrasse den gesamten Allgemeinstrom (Wärmepumpe, Pumpen, Aufzug, Beleuchtung, Garagebeleuchtung und Torantrieb) enthält. Diese Zahlen wurden gegenüber dem Vorjahr ebenfalls entsprechend korrigiert.

Der Energiebezug aus der tiefen Erdwärmesonden sowie die Wärmeproduktion aus den Sonnenkollektoren für das letzte Betriebsjahr 2002/03 ist in Tabelle 10 dargestellt. Der gesamte

Entzug aus der Erdwärmesonde hat gegenüber dem Vorjahr um rund 30 MWh abgenommen. Die Gesamtproduktion inkl. Sonnenkollektoren ist jedoch mit rund 450 MWh gleichgeblieben.

In Tabelle 11 ist die gesamte Energieabgabe an die Verbraucher zusammengefasst. Die Gesamtabgabe an Wärme beträgt rund 530 MWh, also knapp 3.5 % weniger als im Vorjahr. Tabelle 12 zeigt die Details für die neuen Häuser F – H.

Tabelle 10: Energiebezug aus der Erdwärmesonde und aus den Sonnenkollektoren im Betriebsjahr 2002/03 (Messwerte; *kursive* Zahlen: hergeleitete bzw. aus Richtgrößen abgeschätzte Werte).

Monat	Tiefe Erdwärmesonde						Sonnenkollektor	Total Sonde und Sonne
	bestehende Nutzung	Häuser F – H	Total	Eintrag Sonnenkoll.	Verluste	Total		
	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]		
Okt 02	24.4	14.7	39.0	-0.7	<i>4.1</i>	42.4	1.5	43.9
Nov 02	31.1	20.0	51.0	0.0	<i>3.9</i>	54.9	0.4	55.3
Dez 02	34.7	24.4	59.1	0.0	<i>3.6</i>	62.7	0.1	62.7
Jan 03	37.8	26.8	64.6	-0.1	<i>3.1</i>	67.6	0.2	67.8
Feb 03	36.9	25.6	62.6	-0.3	<i>3.8</i>	66.1	0.7	66.8
Mar 03	24.2	16.1	40.3	-1.1	<i>4.7</i>	43.9	3.5	47.5
Apr 03	19.4	12.5	31.8	-1.9	<i>4.5</i>	34.4	3.4	37.8
Mai 03	11.4	4.5	15.9	-2.1	<i>4.9</i>	18.7	3.2	22.0
Jun 03	2.0	1.2	3.2	-3.7	<i>4.7</i>	4.2	5.4	9.6
Jul 03	2.5	1.2	3.6	-3.0	<i>4.9</i>	5.5	4.4	9.9
Aug 03	2.5	1.3	3.8	-3.2	<i>4.9</i>	5.5	4.6	10.1
Sep 03	9.2	1.6	10.8	-2.2	<i>5.3</i>	13.8	3.2	17.0
<b>TOTAL</b>	<b>236.1</b>	<b>149.7</b>	<b>385.9</b>	<b>-18.5</b>	<b><i>52.5</i></b>	<b>419.8</b>	<b>30.5</b>	<b>450.4</b>

Tabelle 11: Energieabgabe an die Verbraucher im Betriebsjahr 2002/03 (Messwerte).

Monat	Kreuzstrasse 16/18			Seestrasse	Abgabe Häuser F - H	Total Abgabe
	Heizung	Warmwasser		Heizung		
		WP2	Sonnenkoll.			
[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	
Okt 02	11.5	5.3	1.5	12.4	18.2	48.9
Nov 02	17.3	5.1	0.4	16.6	23.8	63.2
Dez 02	20.6	5.1	0.1	19.5	28.2	73.5
Jan 03	23.4	5.1	0.2	21.2	31.9	81.7
Feb 03	23.9	5.1	0.7	21.0	30.4	80.9
Mar 03	14.0	5.1	3.5	10.9	20.0	53.6
Apr 03	10.1	5.1	3.4	10.3	15.6	44.6
Mai 03	4.0	5.2	3.2	4.7	8.8	25.9
Jun 03	0.0	3.7	5.4	0.0	4.4	13.6
Jul 03	0.2	3.7	4.4	0.3	4.5	13.1
Aug 03	0.3	3.4	4.6	0.4	4.8	13.5
Sep 03	2.9	4.6	3.2	3.9	5.0	19.6
<b>Total</b>	<b>128.2</b>	<b>56.3</b>	<b>30.5</b>	<b>121.2</b>	<b>195.7</b>	<b>531.9</b>

Tabelle 13 zeigt den anhand der einzelnen Messdaten aufgeschlüsselten Stromverbrauch für das letzte gemessene Betriebsjahr. Die angegebenen Stromkosten basieren auf dem aktuellen Kostenmix (Verhältnis Niedertarif- und Hochtarifstrom) der bestehenden Wärmeproduktion für die Häuser Kreuzstrasse und Seestrasse (14.53 Rp/kWh).

Tabelle 12: Energieabgabe an die Verbraucher Häuser F – G im Betriebsjahr 2002/03 (Messwerte).

Monat	Wärmeabgabe aus Ringleitung						Total [MWh]
	Haus F		Haus G		Haus H		
	Heizung	WW	Heizung	WW	Heizung	WW	
	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	
Okt 02	5.0	1.6	3.3	2.5	3.3	2.5	18.2
Nov 02	7.0	1.5	5.2	2.5	4.8	2.6	23.8
Dez 02	8.4	1.6	7.6	2.1	5.8	2.7	28.2
Jan 03	10.3	1.6	8.8	1.9	7.3	1.9	31.9
Feb 03	9.6	1.5	8.7	1.4	6.8	2.3	30.4
Mar 03	6.1	1.6	4.6	1.5	4.3	2.0	20.0
Apr 03	4.6	1.6	3.4	1.7	2.7	1.5	15.6
Mai 03	1.5	1.5	0.8	1.7	1.5	1.8	8.8
Jun 03	0.0	1.2	0.0	1.4	0.0	1.8	4.4
Jul 03	0.0	1.3	0.0	1.5	0.0	1.7	4.5
Aug 03	0.0	1.4	0.0	1.4	0.0	2.0	4.8
Sep 03	0.3	1.0	0.3	1.3	0.0	2.0	5.0
<b>Total</b>	<b>52.8</b>	<b>17.5</b>	<b>42.8</b>	<b>21.1</b>	<b>36.6</b>	<b>25.0</b>	<b>195.7</b>

Tabelle 13: Stromverbrauch im Betriebsjahr 2002/03 (Messwerte). Als Strompreis wurde der Kostenmix der Kreuzstrasse verwendet: 14.53 Rp/kWh.

Monat	Stromverbrauch							Kosten CHF
	Pumpe [MWh]	Bestehend		Häuser F – H		Verteilung [MWh]	Total [MWh]	
		Heizung	WW	Heizung	WW			
		[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]			
Okt 02	2.03	1.64	1.32	2.94	0.33	1.33	9.60	1'395
Nov 02	2.57	4.99	1.27	4.37	-0.03	0.79	13.96	2'029
Dez 02	2.73	6.80	1.27	5.59	-0.65	1.02	16.74	2'433
Jan 03	2.71	7.62	1.27	6.76	0.74	1.32	20.41	2'967
Feb 03	2.46	8.21	1.27	6.45	0.68	1.58	20.65	3'002
Mar 03	2.18	3.34	1.27	3.80	1.62	0.79	13.00	1'889
Apr 03	1.77	2.76	1.27	2.74	2.09	0.52	11.15	1'620
Mai 03	1.09	0.00	1.31	0.97	2.50	0.48	6.35	922
Jun 03	0.57	0.00	0.93	0.00	2.77	0.13	4.41	641
Jul 03	0.61	0.00	0.93	0.00	2.68	0.16	4.38	636
Aug 03	0.65	0.00	0.85	0.00	2.71	0.17	4.37	635
Sep 03	0.90	0.00	1.14	0.17	2.22	0.33	4.76	692
<b>Total</b>	<b>20.27</b>	<b>35.36</b>	<b>14.07</b>	<b>33.79</b>	<b>17.66</b>	<b>8.63</b>	<b>129.78</b>	<b>18'862</b>

Tabelle 14 zeigt schliesslich die zusammenfassende Energiebilanz der Gesamtanlage im Betriebsjahr 2002/03. Wie im Vorjahr konnte nur noch 8 % der aus der Erdwärmesonde entnommenen Wärme zur Direktheizung für die Gebäude an der Kreuz- und an der Seestrasse verwendet werden. Die Verluste, hauptsächlich aus dem durchgehenden Betrieb resultierend, ma-

chen gut 12 % aus. Dies ist scheinbar wesentlich mehr als im Vorjahr. Der Grund für die Differenz ist eine angepasste Abschätzung in der Auswertung. Der Rest der Wärme dient als Quellenenergie für die Wärmepumpen (wie im Vorjahr rund 47 % für die bestehenden Gebäude und 34 % für die Häuser F – H). Der Anteil der Häuser F – H ist etwas rückläufig.

Tabelle 14: Zusammenfassung und Kennzahlen für das Betriebsjahr 2002/03

Text	Energiemenge	Anteil
	[MWh]	[%]
<b>Total Wärme aus der Sonde</b>	<b>438.3</b>	<b>100.0</b>
Anteil davon für Direktheizung	33.4	7.6
Anteil als Quelle für die Heizungs-Wärmepumpe (bestehend)	159.1	36.3
Anteil als Quelle für die Warmwasser-Wärmepumpe (bestehend)	43.6	10.0
Anteil als Quelle für die Wärmepumpen (Heizung und WW) in der Ringleitung	149.7	34.2
Anteil an Verlusten wegen Leerlauf und übrige Verluste	52.5	12.0
Wärmeeintrag aus den Sonnenkollektoren in die Sonde	-18.5	-4.2
<b>Netto-Energie aus der Sonde</b>	<b>419.8</b>	<b>95.8</b>
<b>Gesamtproduktion Sonde und Sonnenkollektoren</b>	<b>450.4</b>	<b>100.0</b>
<b>Total an Verbraucher abgegebene Energie</b>	<b>531.9</b>	<b>118.1</b>
<b>Gesamter Stromverbrauch</b>	<b>129.8</b>	<b>28.8</b>
Text	Kennzahl	
	[-]	
Jahresarbeitszahl Erdwärmesonde	4.3	
Nutzungsgrad Erdwärmesonde	3.9	
Nutzungsgrad Gesamtanlage	4.1	

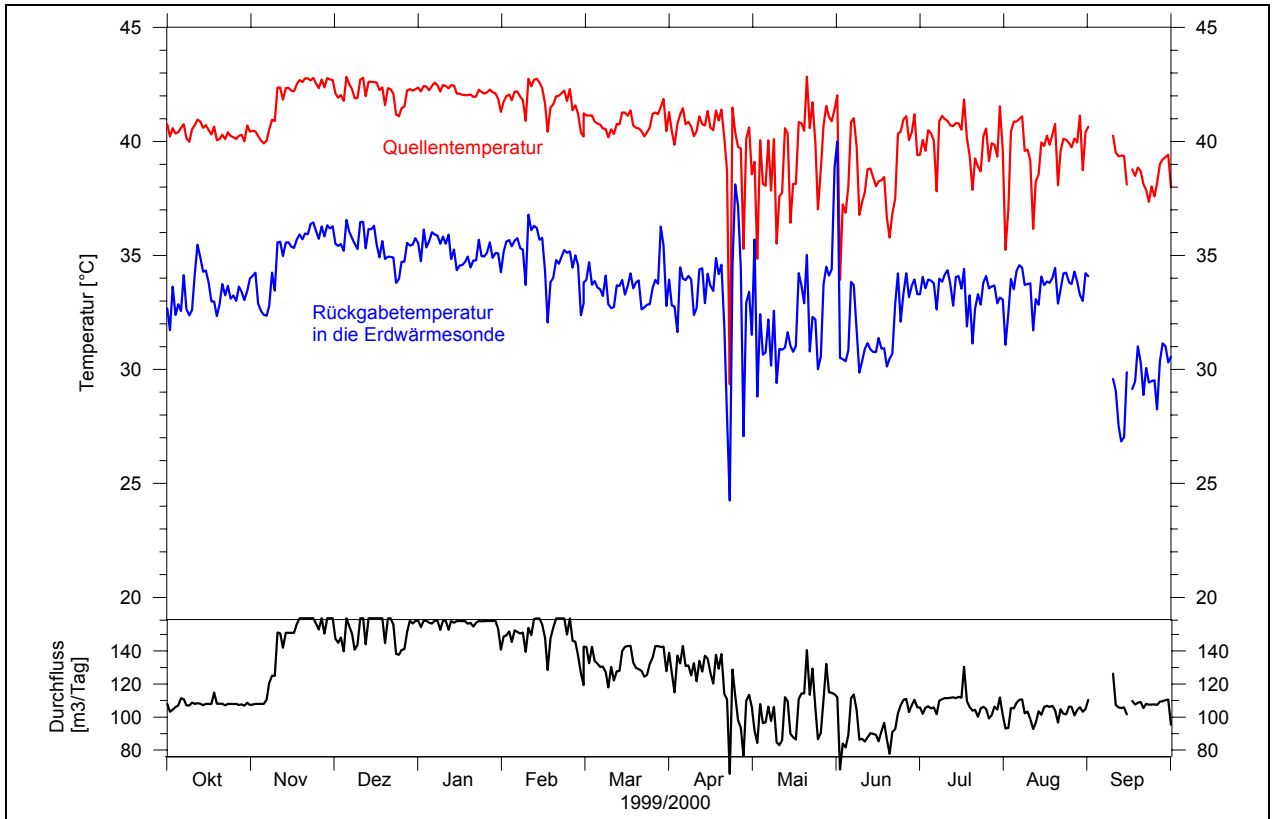
Die Jahresarbeitszahl der Erdwärmesondenanlage für den reinen Heizbetrieb hat sich wie im Vorjahr bei 4.3 eingependelt (in dieser Zahl ist auch die ganze aufgewendete Energie für die Hauptzirkulationspumpe enthalten). Wird wiederum die Warmwasseraufbereitung mit der tiefen Sonde als Wärmequelle mitberücksichtigt sowie sämtliche aufgewendete Energie für die Wärmeverteilung etc., so ergibt sich ein „Nutzungsgrad“ von noch 3.9. Der Nutzungsgrad der Gesamtanlage inkl. Produktion aus den Sonnenkollektoren erhöht sich dann wieder auf 4.1.

Die Kosten für die Wärmeerzeugung haben neu gesamthaft 3.55 Rp/kWh betragen. Für den reinen Heizbetrieb betragen diese 3.40 Rp/kWh. Diese Werte sind knapp 5 % höher als im Vorjahr.

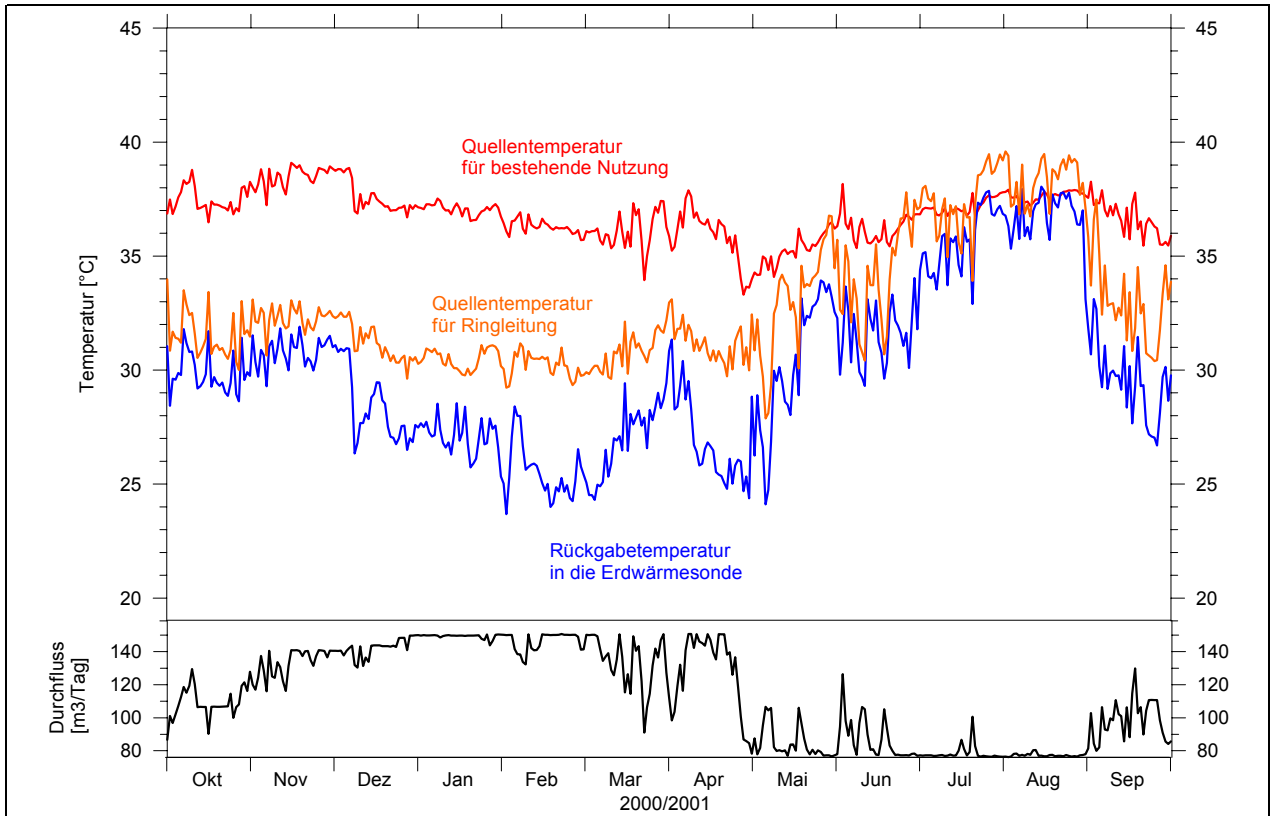
### 3.5. Temperaturmessungen

Bis Herbst 2000, dem Zeitpunkt des Ausbaus der Abnehmerleistung, lag die Quelltemperatur aus der Erdwärmesonde ganzjährig typischerweise bei 40 – 43 °C - abhängig von der Durchflussrate: Je höher der Durchfluss, desto höher die Quelltemperatur. Die Rückgabetemperatur in die Erdwärmesonde bewegte sich bei 35°C.

In Figur 11 sind die Quellen- und Rückgabetemperaturen im Betriebsjahr 1999/2000 dargestellt. Aus der Figur ist ebenfalls die momentane Durchflussmenge ersichtlich. Im September 2000 ist



Figur 11: Verlauf der gemessenen Quellen- und Rückgabetemperatur in die Erdwärmesonde für das Heizjahr 1999/2000. Dargestellt ist ebenfalls der tägliche Durchsatz durch die Erdwärmesonde ( $144 \text{ m}^3/\text{Tag} = 100 \text{ l/Min}$ ).



Figur 12: Verlauf der gemessenen Kreislaufemperaturen vor und nach der bestehenden Nutzung sowie der Rückgabetemperatur in die Erdwärmesonde für das Heizjahr 2000/2001. Dargestellt ist ebenfalls der tägliche Durchsatz durch die Erdwärmesonde ( $144 \text{ m}^3/\text{Tag} = 100 \text{ l/Min}$ ).

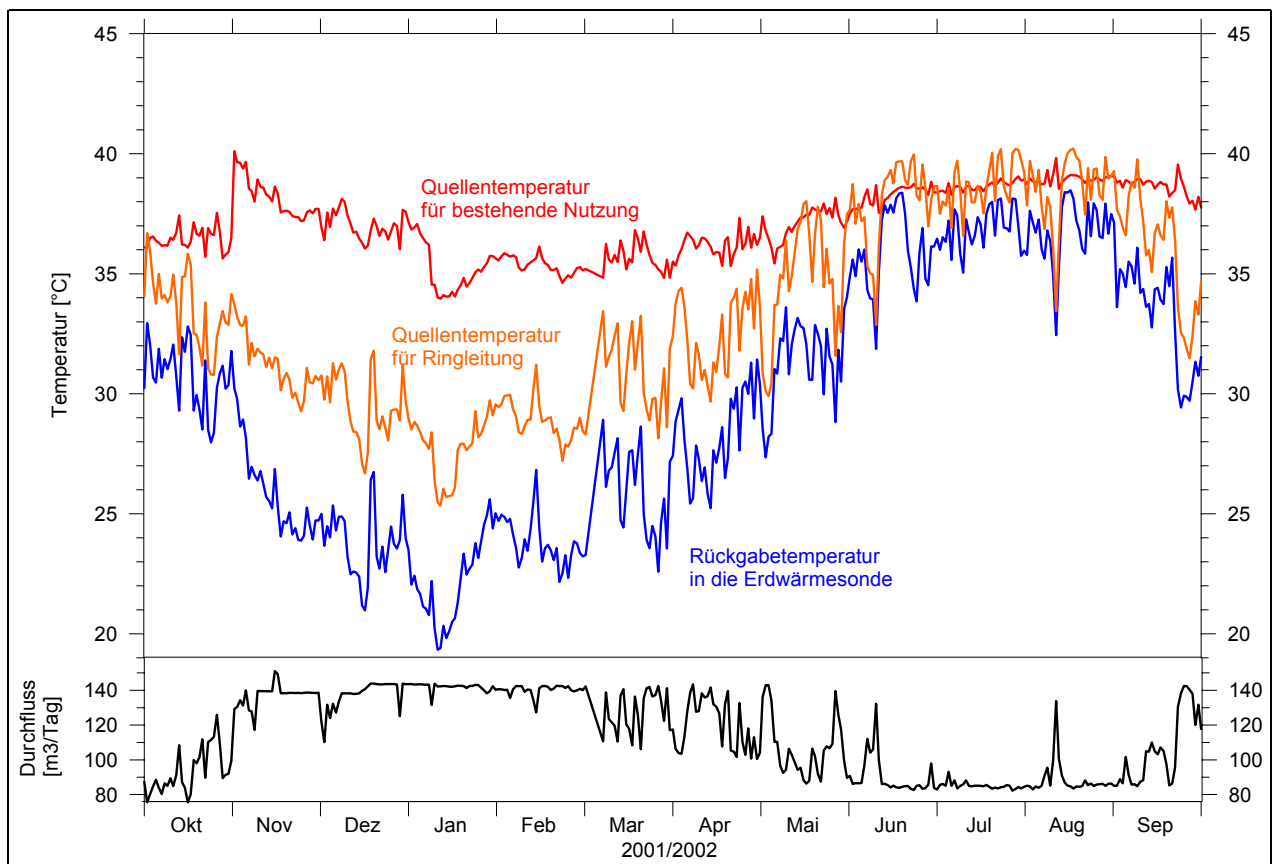
bereits das Gebäude Parkstrasse 39 (Haus H) zur Bauaustrocknung angeschlossen. Dies hat die markante Abkühlung der Rückgabetemperatur zur Folge.

Die hier bis August 2000 dargestellten Temperaturen sind typisch für die Verhältnisse vor dem Ausbau.

In Figur 12 sind die Temperaturen des Betriebsjahres 2000/2001 dargestellt. Die frühere Rückgabetemperatur entspricht jetzt der „Quellentemperatur für Ringleitung“. Ebenfalls aufgezeichnet sind die täglichen Durchflussmengen durch die Erdwärmesonde des Betriebsjahres 2000/01. Die Durchflussrate wird nach der Aussentemperatur stufenweise geregelt (Details siehe Eugster & Füglistler, 2001 und Eugster & Füglistler, 2002). Zwischen September 2000 und Mai 2001, also während des Winterhalbjahres, wurden sukzessive die neuen Verbraucher zugeschaltet – in einer ersten Phase jeweils zur Bauaustrocknung.

Bereits im ersten Jahr liegen die Quelltemperaturen 3 – 5 K tiefer als vor dem Ausbau. Die 40°C- Marke wird nicht mehr erreicht. Die Rückgabetemperatur in die Erdwärmesonde liegt im Winterhalbjahr zwischen 35 und 30°C – also 5 – 10 K tiefer als vor dem Ausbau.

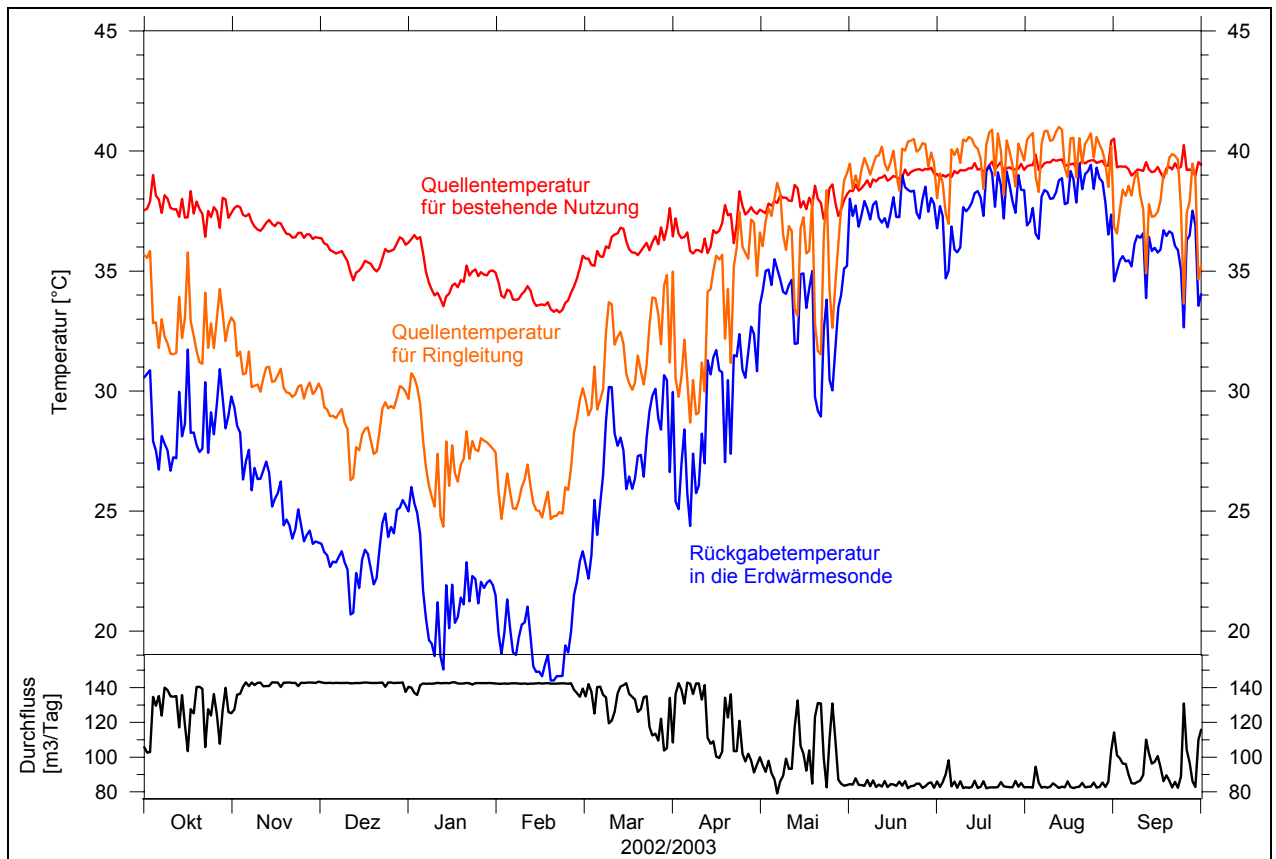
In Figur 13 sind die selben Grössen für das zweite Betriebsjahr nach dem Ausbau (Betriebsjahr 2001/02) dargestellt. Jetzt die volle Ausbaulast erreicht. Auffallend ist, dass sich die Quelltemperatur gegenüber dem Vorjahr kaum verändert hat. Deutlich ist die Veränderung hingegen bei der Rückgabetemperatur in die Erdwärmesonde: Im Winter fallen diese Werte bis auf 20°C zurück.



Figur 13: Verlauf der gemessenen Kreislauftemperaturen vor und nach der bestehenden Nutzung sowie der Rückgabetemperatur in die Erdwärmesonde für das Heizjahr 2001/2002. Dargestellt ist ebenfalls der tägliche Durchsatz durch die Erdwärmesonde ( $144 \text{ m}^3/\text{Tag} = 100 \text{ l/Min}$ ).

Das letzte gemessene Betriebsjahr ist in Figur 14 dargestellt. Der Temperaturverlauf entspricht in etwa jenem aus der Figur 13. Die Minima der Quellen- und der Rückgabetemperaturen liegen noch einmal knapp unter jenen des Vorjahres. Die Unterschiede sind aber kaum signifikant, so dass diese wahrscheinlich mit dem von der Lufttemperatur abhängigen Lastprofil und unterschiedlichem Benutzerverhalten erklärt werden können.

Ein wesentlicher Unterschied im heutigen Anlagebetrieb gegenüber der Periode vor dem Ausbau der Abnehmerleistung ist der Umstand, dass die Anlage nun Sommer wie Winter durchgehend in Betrieb ist. Vorher herrschte eine Bedarfssteuerung, auch wenn in den Hauptwintermonaten die Anlage praktisch durchgehend lief.



Figur 14: Verlauf der gemessenen Kreislauftemperaturen vor und nach der bestehenden Nutzung sowie der Rückgabetemperatur in die Erdwärmesonde für das Heizjahr 2002/2003. Dargestellt ist ebenfalls der tägliche Durchsatz durch die Erdwärmesonde ( $144 \text{ m}^3/\text{Tag} = 100 \text{ l/Min}$ ).

Während der Übergangsmonate war die Anlage jedoch deutlich reduziert in Betrieb (ca. 400 – 600 Std.). Im Sommer zur reinen Warmwassererwärmung sogar weniger als 100 Std./Monat.

Durch diese Betriebsweise werden die Verluste etwas erhöht, da die Temperaturdifferenz zwischen Quellen- und Rückgabetemperatur ohne effektiv angelegte Last rund 1 K beträgt. Die Verlustrate ist natürlich abhängig von der Durchflussrate.

## 4. Schlussfolgerungen

Der Ausbau der Abnehmerstruktur der tiefen Erdwärmesonde in Weggis hat erwartungsgemäss zu tieferen Quellen- und Rückgabetemperaturen geführt. Die tiefsten Rückgabetemperaturen liegen neu im Extremfall knapp unter 20°C.

Gegenüber den dem Ausbau vorangegangenen Jahren wurde 90 % mehr Wärme der Sonde entzogen. Heute kann noch 8 % dieser Energie für die Direktheizung genutzt werden. In den Vorjahren lag dieser Anteil bei deutlich mehr als 60%.

Wegen der massiv längeren Laufzeiten der Wärmepumpen im bestehenden Teil der Anlage und natürlich wegen der neu zu berücksichtigten Wärmepumpen in den Häusern F – H hat sich die Jahresarbeitszahl der Anlage von Werten um 6 – 8 auf 4.3 reduziert. Die Laufzeit der Wärmepumpe WP1 im bestehenden Teil der Anlage hat sich seit dem Betriebsjahr 1999/2000 von 1'900 Std. auf 3'200 Jahresstunden erhöht. Bei der WP2 erhöhte sich die jährliche Laufzeit im Heizmodus im gleichen Zeitraum von 70 auf gut 1'000 Std. Die jährliche Betriebsdauer der Wärmepumpen der Häuser F –H liegen zwischen 2'600 und gut 3'000 Std. für den Warmwasser- und den Heizbetrieb.

Im letzten untersuchten Betriebsjahr wurde der Wärmeverbrauch in den Häusern Parkstrasse deutlich (10 -15 %) verringert. Dies allein durch Anpassung des Benutzerverhaltens.

Die reinen Stromkosten pro kWh Wärme liegen für die Gesamtanlage bei 3.55 Rp/kWh. Hinzu kommen die Amortisationskosten für die Bohrung sowie die Investitionen für die Ausbauphasen bis Herbst 1997 von rund 10 Rp/kWh (Eugster & Füglistner, 1997). Verrechnet wird den Verbrauchern an der Parkstrasse aber lediglich ein reduzierter Betrag von 8 Rp/kWh für die Energie aus der Wärmequelle.

Trotzdem sind die Gesamtkosten pro kWh für die neu angeschlossenen Verbraucher mit 9.67 Rp/kWh effektiv verbrauchter Wärme (Heizung und Warmwasser) nicht überaus günstig. Die Kosten können dann reduziert werden, wenn mehr Verbraucher angeschlossen werden – oder wenn die Amortisation für die Bohrarbeiten nicht berücksichtigt werden müssen. Letzteres ist dann der Fall, wenn die Bohrung als nicht mehr genutztes Bohrloch kostenlos übernommen werden kann.

Berechnungen aus anderen Untersuchungen (z.B. BFE, 1998; Leu & Eugster, 1999) zeigen, dass die Wärmekosten in solchen Fällen zwischen minimal rund 7 Rp/kWh und gut 10 Rp/kWh liegen. Diese Zahlen sind natürlich abhängig von der bezogenen Energiemenge. Dies zeigt aber auf der andern Seite, dass die Kosten für Weggis im Bereich des zu erwartenden liegen – trotz teilweiser Berücksichtigung der Bohrkosten.

## 5. Literaturverzeichnis

Bundesamt für Energie, BFE (1998): Machbarkeit der Nutzung von ausgewählten Tiefbohrungen für geothermische Pilotanlagen (Phase 2). DIS Projekt Nr. 19'768.

Eugster, W., Füglistner, H. (1997): Tiefenerdwärmesonde Weggis 1. Schlussbericht zu Händen des Bundesamtes für Energie, Bern, und des Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft, Olten. November 1997.

Eugster, W.J., Füglistner, H. (2001): Tiefe Erdwärmesonde Weggis – Messkampagne zur Dokumentierung der neuen Einflüsse beim Ausbau der Abnehmerleistung. 1. Zwischenbericht zu Händen des Bundesamtes für Energie, Bern. DIS-Projekt Nr. 38'330. Oktober 1991.

Eugster, W.J., Füglistner, H. (2002): Tiefe Erdwärmesonde Weggis – Messkampagne zur Dokumentierung der neuen Einflüsse beim Ausbau der Abnehmerleistung. 2. Zwischenbericht zu Händen des Bundesamtes für Energie, Bern. DIS-Projekt Nr. 38'330. Oktober 1992.

Leu, W., Eugster, W.J. (1999): Nutzungsmöglichkeiten Bohrung pro San Gian, St. Moritz. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie, DIS Projekt Nr. 30'803.