

Zwischenbericht Oktober 2002

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 Quelltemperatur der Sonde hat bei 40.5°C und die mittlere Rückgabetemperatur bei 33.3°C gelegen (bei Minimalwerten von 20°C).

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 im Betriebsjahr 2001/2002 ebenfalls auf 420 MWh nahezu verdoppelt. Der Direktheizungsanteil ging auf 8 % zurück. Die mittlere Quelltemperatur der Sonde liegt nun noch bei 37.2°C und die mittlere Rückgabetemperatur in die Sonde bei 29.6°C.

Die Jahresarbeitszahl hat sich in dieser Zeit ebenfalls von ca. 6 auf 4.4 verringert.

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 (valeur minimale: 20°C).

Pendant les années 2000/2001 la puissance nominelle de chauffage était presque doublée. La sonde géothermique profonde à délivrée une quantité de 420 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 29.6°C.

Le facteur de performance annuelle s'est diminué de env. 6 à 4.4 dans la même période.

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 420 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 29.6°C, respectively). As a result, the direct heating share has been reduced to 8 %.

The seasonal performance factor has changed from over 6 to 4.4 during the same period.

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. Chronologie der bisherige Aktivitäten.....	3
1.3. Kurzbeschreibung der aktuellen Abnehmerstruktur	3
2. Messungen im Betriebsjahr 2001/2002	5
3. Resultate der Betriebsjahre 2000/2001 und 2001/2002	6
3.1. Temperaturmessungen	6
3.2. Energiebilanz Betriebsjahr 2000/2001	7
3.3. Energiebilanz Betriebsjahr 2001/2002	9
4. Schlussfolgerungen	13
5. Literaturverzeichnis	13

1. Einleitung

1.1. Ausgangslage

In den Jahren 1992 und 1993 wurde die Bohrung Weggis mit einer Endteufe von 2'302 m erstellt und als tiefe Erdwärmesonde ausgebaut.

1994 wurde der Heizbetrieb mit der tiefen Erdwärmesonde aufgenommen (direkte Nutzung sowie Nutzung mit Hilfe von zwei Wärmepumpen für Heizung und Brauchwarmwasser für die Gebäude Kreuzstrasse 16 und 18). 1995 wurde das Gebäude Seestrasse 54 zur direkten Beheizung an die tiefe Erdwärmesonde angeschlossen. Diese Anfangsphase wurde mit einem Messprojekt, finanziert durch das *Bundesamt für Energie* BFE, den *Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft* PSEL sowie den *Kanton Luzern*, bis Herbst 1997 begleitet (EUGSTER & FÜGLISTER, 1997). Die Messungen sind – finanziert durch die H. Füglistner AG, Weggis, und Polydynamics Engineering Zürich – auch nach Abschluss des ursprünglichen Messprogramms im gleichen Umfang weitergeführt worden.

Im Februar 1999 wurde ein neu erstelltes kleines Fabrikationsgebäude mit aufgesetztem Châlet an den Vorlauf der Seestrasse 54 angeschlossen (Direktbeheizung). Im Jahr 2000 und 2001 wurden drei weitere in unmittelbarer Umgebung der tiefen Erdwärmesonde neu erstellte Mehrfamilienhäuser (Häuser F, G, H) mit je 4 bzw. 6 grosszügigen Eigentumswohnungen als Wärmeabnehmer angeschlossen. In diesen drei Gebäuden dient der Rücklauf der bisherigen Abnehmer als Wärmequelle für je eine Wärmepumpe (Heizung und Brauchwarmwasser).

1.2. Chronologie der bisherige Aktivitäten

Ende August 2000 wurde der neue Temperaturfühler am Bohrlochkopf in Betrieb genommen. Die drei neuen Gebäude werden je nach Baufortschritt als Verbraucher angeschlossen. Im Oktober 2000 war das Haus H bereits bezogen. Es wurde bereits vorher zur Bauaustrocknung an die tiefe Erdwärmesonde angeschlossen. Im Dezember 2000 wurde das zweite Gebäude (Haus G) zur Bauaustrocknung angeschlossen. Ab März 2001 wurde dieses Haus bewohnt. Ende Januar 2001 wurde schliesslich das dritte Gebäude (Haus F) zur Bauaustrocknung angeschlossen. Bezugstermin war hier im Mai 2001.

Das Messkonzept und die Messwerte des Betriebsjahres 2000/2001 sind im ersten Zwischenbericht ausführlich beschrieben (EUGSTER & FÜGLISTER, 2001).

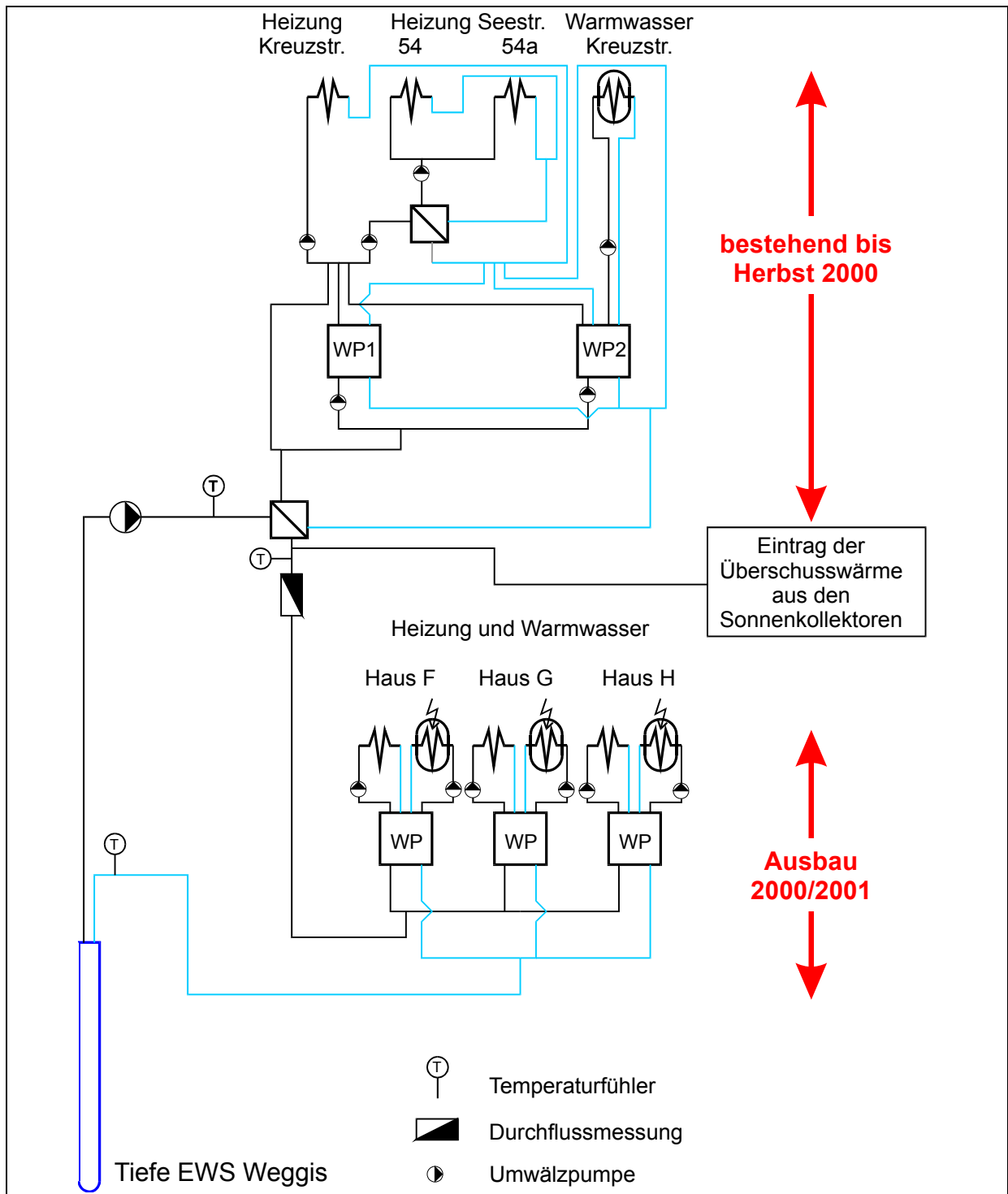
Der neu eingebaute Temperaturfühler weist unglücklicherweise ein nicht absolut stabiles Verhalten auf. Er musste deshalb im laufenden Jahr zweimal mit Hilfe eines Temperaturbades nachgeeicht werden. Da im Datalogger die Spannung aufgezeichnet wird, konnten die Messwerte am Bohrlochkopf nachträglich korrigiert werden.

1.3. Kurzbeschreibung der aktuellen Abnehmerstruktur

Aktuell präsentieren sich die Wärmeabnehmer der tiefen Erdwärmesonde (EWS) wie folgt (siehe auch Figur 1):

- Mehrfamilienhäuser Kreuzstrasse 16 und 18 (je 8 Wohnungen): Heizenergie direkt ab EWS oder über die Wärmepumpen WP1 und WP2; Warmwasser über die Wärmepumpe WP2

- 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.
- Mehrfamilienhaus Parkstrasse 39 (Haus H) mit 4 Wohnungen. Wärme für Heizung und Warmwasser ab gemeinsamer Wärmepumpe.
- 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.



Figur 1: Aktuelle Abnehmerstruktur der tiefen Erdwärmesonde Weggis

Weitere Details sind dem ersten Zwischenbericht (EUGSTER & FÜGLISTER, 2001) zu entnehmen.

Die gesamte Wärmeerzeugung der Anlagen in Weggis erfolgt also durch direkte Nutzung der Wärme aus der tiefen Erdwärmesonde und mit Hilfe der fünf Wärmepumpen. Eine elektrische Nachheizung des Brauchwarmwassers für die Häuser F – H ist eingerichtet, war bisher aber nie in Betrieb. Die Gesamtleistung für Heizung und Warmwasser beträgt rund 200 kW.

2. Messungen im Betriebsjahr 2001/2002

Die Quellentemperatur, die Temperatur in die Ringleitung für die Häuser F-H, die Rücklauftemperatur 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 Stundenzählerablesungen von verschiedenen Verbrauchern. Die Ablesungen werden alle paar Tage von Herrn Füglistner bzw. vom Hauswart durchgeführt und protokolliert.

Es ist dies einerseits die Wärmemenge aus den Sonnenkollektoren. Nicht benötigte Überschusswärme wird in den Erdwärmesondenkreislauf vor der Ringleitung eingespielen. 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 den effektiven Wärmeverbrauch sämtlicher Abnehmer.

3. Resultate der Betriebsjahre 2000/2001 und 2001/2002

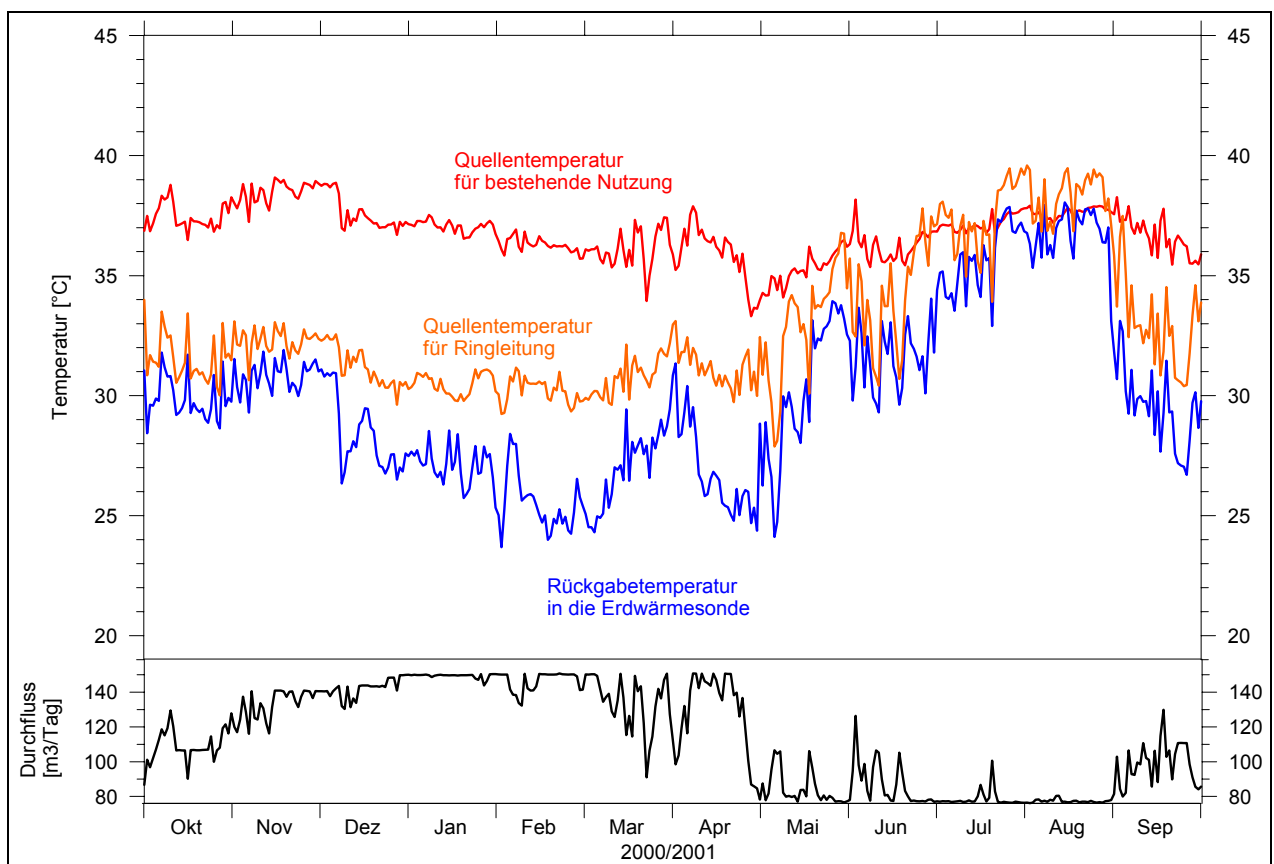
3.1. Temperaturmessungen

Im Laufe des aktuellen Betriebsjahres wurde festgestellt, dass der zusätzliche Fühler am Bohrlochkopf (Rückgabetemperatur in die tiefe Erdwärmesonde) eine Drift aufweist. Deshalb wurde dieser Fühler im März 2002 sowie im August 2002 mit einem Temperaturbad nachgeprüft.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde ebenfalls die Bohrlochkopftemperatur des vorangegangenen Betriebsjahres überprüft. Auch hier wurden beim Vergleich zwischen dem innerhalb dieser Messkampagne gemessenen Energieentzug und dem mit den Wärmezählern festgehaltenen Energieentzug Differenzen festgestellt. Deshalb wurden auch die Rückgabetemperaturen im Betriebsjahr 2000/2001 korrigiert.

Bei den beiden „alten“ Temperaturfühlern, welche für die frühere Messkampagne installiert worden sind, wurden jedoch keine Drift festgestellt.

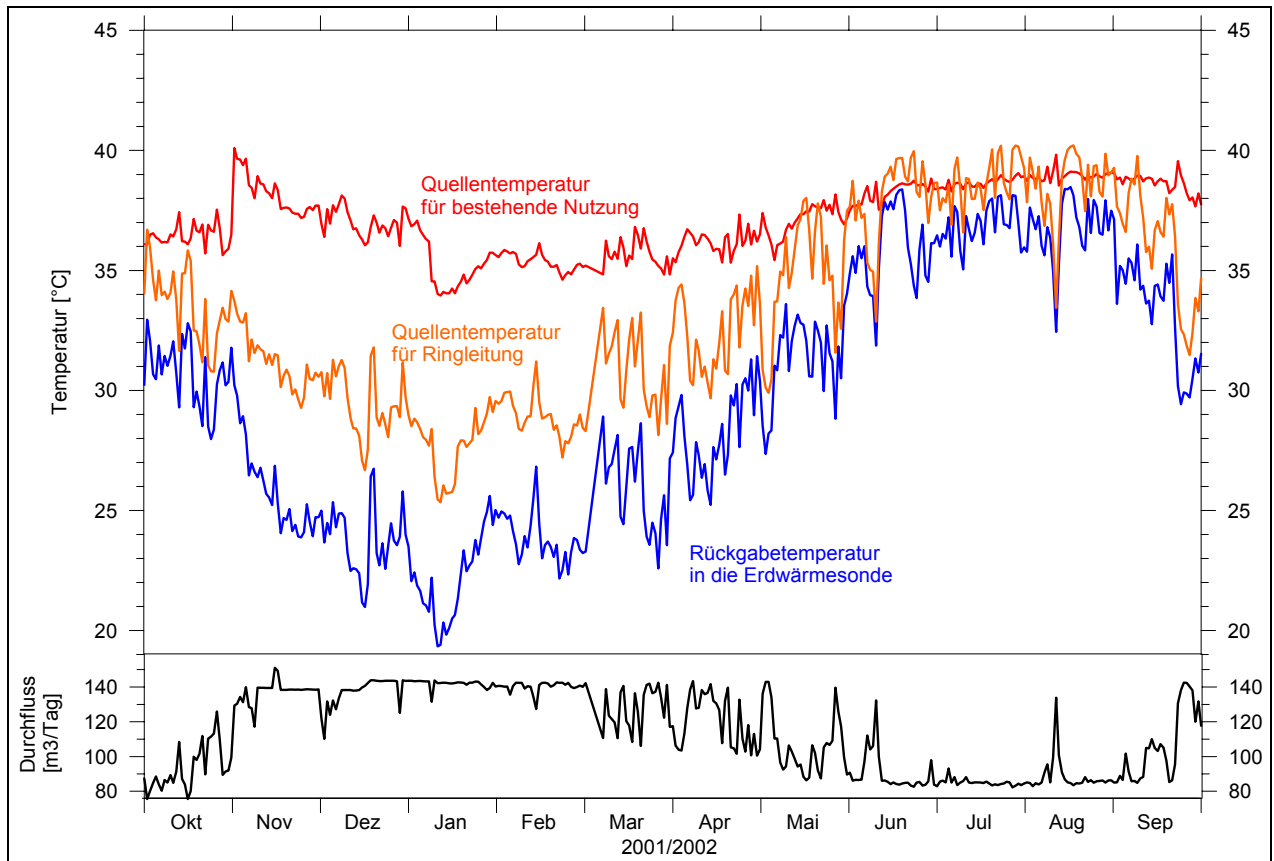
In Figur 2 sind die korrigierten Temperaturverhältnisse als Tagesmittelwerte des Betriebsjahres 2000/2001 dargestellt. Ebenfalls aufgezeichnet sind die täglichen Durchflussmengen durch die Erdwärmesonde. Die Durchflussrate wird nach der Aussentemperatur stufenweise geregelt (Details siehe Eugster & Füglistner 2001).



Figur 2: Verlauf der gemessenen Kreislauftemperaturen vor und nach der bestehenden Nutzung sowie der korrigierten Rückgabetemperatur in die Erdwärmesonde für das Heizjahr 2000/2001. Dargestellt ist ebenfalls der tägliche Durchsatz durch die Erdwärmesonde ($144 \text{ m}^3/\text{Tag} = 100 \text{ l/Min}$).

In Figur 3 sind die selben Grössen für das aktuelle Betriebsjahr 2001/2002 dargestellt. Die Gegenüberstellung der beiden Betriebsjahre zeigt eine deutliche Abkühlung der Rückgabetemperatur in die Erdwärmesonde während der Hauptbetriebszeit zwischen Dezember und Februar. Dies äussert sich ebenfalls in einer reduzierten Quellentemperatur am Bohrlochkopf.

Während vor dem Ausbau im Winter Quellentemperaturen von 42°C üblich waren, haben diese sich nach dem Ausbau deutlich auf Werte um 35°C reduziert. Im Winter 2000/2001 lagen diese noch bei Werten um 37°C, wobei hier jedoch nur zwei der drei neuen Gebäude angeschlossen waren und zudem die Durchflussrate rund 5 % höher lag.



Figur 3: Verlauf der gemessenen Kreislaufemperaturen 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 ($144 \text{ m}^3/\text{Tag} = 100 \text{ l/Min}$).

3.2. Energiebilanz Betriebsjahr 2000/2001

Im Verlauf des Betriebsjahres 2000/2001 wurden sukzessive die neuen Abnehmer angeschlossen. Die Bauaustrocknung erfolgte über das Heizsystem.

Aufgrund der korrigierten Rückgabetemperaturen in das Bohrloch werden hier die teilweise korrigierten monatlichen Verbrauchs- und Produktionszahlen des vorangegangenen Betriebsjahres 2000/2001 noch einmal in den Tabellen 1 – 3 dargestellt: Tabelle 1 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 1: Energiebezug aus der Erdwärmesonde und aus den Sonnenkollektoren im Betriebsjahr 2000/2001 (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	1.4	30.2	0.7	30.9
Nov 00	27.8	4.5	32.3	-0.1	2.1	34.3	0.7	35.0
Dez 00	32.3	13.3	45.6	0.0	1.2	46.8	0.1	47.0
Jan 01	34.8	17.3	52.1	0.0	1.3	53.4	0.5	53.9
Feb 01	28.3	21.8	50.1	0.0	1.0	51.1	1.0	52.1
Mar 01	26.9	17.8	44.7	-0.2	1.5	46.0	1.2	47.2
Apr 01	23.9	18.6	42.5	-0.7	1.2	42.9	2.0	45.0
Mai 01	9.2	7.1	16.3	-1.9	2.6	17.0	3.7	20.7
Jun 01	9.1	5.5	14.6	-2.0	2.9	15.5	3.7	19.2
Jul 01	3.5	2.9	6.4	-3.2	2.1	5.3	4.3	9.6
Aug 01	2.5	2.6	5.1	-3.2	1.9	3.8	4.1	7.9
Sep 01	15.9	10.4	26.4	-1.0	1.1	26.4	1.6	28.0
Total	238.4	126.8	365.1	-12.6	20.4	372.9	23.6	396.5

Tabelle 2: Energieabgabe an die Verbraucher im Betriebsjahr 2000/2001 (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]				
Okt 00	12.4	3.6	0.7	11.6	4.8	1.7	34.8
Nov 00	15.7	3.8	0.7	13.8	4.3	1.5	39.8
Dez 00	19.1	3.9	0.1	18.2	15.5	1.7	58.5
Jan 01	22.9	3.9	0.5	20.6	20.5	1.8	70.0
Feb 01	22.2	3.9	1.0	17.2	26.2	1.6	72.1
Mar 01	16.3	3.9	1.2	15.9	20.1	2.8	60.2
Apr 01	14.4	4.0	2.0	13.7	21.1	2.7	58.0
Mai 01	3.5	3.8	3.7	3.5	4.8	4.5	23.9
Jun 01	3.4	3.5	3.7	5.6	2.8	4.5	23.5
Jul 01	0.7	3.2	4.3	1.0	0.0	4.0	13.2
Aug 01	0.2	3.2	4.1	0.2	0.0	3.6	11.3
Sep 01	7.4	3.8	1.6	7.4	8.7	5.0	33.8
Total	138.1	44.5	23.6	128.7	128.8	35.4	499.1

Tabelle 2 fasst die Energieabgabe an die Verbraucher zusammen. Diese Angaben basieren auf mehrheitlich täglichen Handaufzeichnungen (Laufzeit Wärmepumpen bzw. deren Wärmeproduktion, Wärmezähler zum Haus Seestrasse 54/54a). Die täglichen Ablesungen der Wärmezähler Häuser F – H erfassen die der Ringleitung entnommene Wärme. Der Warmwasser- und Heizverbrauch dieser Häuser ist aufgrund der Messwerte 2001/2002 anhand der bezogenen

Quellenenergie abgeschätzt. Gesamthaft wurden knapp 500 MWh an die einzelnen Verbraucher abgegeben.

Tabelle 3 zeigt die zusammenfassende Energiebilanz der Gesamtanlage im Betriebsjahr 2000/2001. Rund $\frac{1}{4}$ 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 3: Zusammenfassung und Kennzahlen für das Betriebsjahr 2000/2001

Text	Energiemenge	Anteil
	[MWh]	[%]
Total Wärme aus der Sonde	385.5	100.0
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
Netto-Energie aus der Sonde	372.9	96.7
Gesamtproduktion Sonde und Sonnenkollektoren	396.5	100.0
Total an Verbraucher abgegebene Energie	499.1	125.9
Gesamter Stromverbrauch	108.5	27.4
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 2000/2001 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 2001/2002

Der Energiebezug aus der tiefen Erdwärmesonden sowie die Wärmeproduktion aus den Sonnenkollektoren für das aktuelle Betriebsjahr 2001/2002 ist in Tabelle 4 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.

Tabelle 4: Energiebezug aus der Erdwärmesonde und aus den Sonnenkollektoren im Betriebsjahr 2001/2002 (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	1.0	21.6	2.5	24.1
Nov 01	33.0	25.0	57.9	-0.1	0.8	58.7	0.3	58.9
Dez 01	37.1	27.6	64.6	-0.3	0.8	65.1	0.1	65.2
Jan 02	37.4	27.5	64.8	-0.1	1.0	65.8	0.5	66.3
Feb 02	29.2	22.9	52.1	-0.1	0.6	52.6	0.0	52.6
Mar 02	25.1	22.3	47.3	-1.0	0.8	47.1	3.4	50.4
Apr 02	20.8	16.7	37.5	-1.9	1.0	36.6	3.1	39.8
Mai 02	14.3	11.2	25.5	-2.1	3.1	26.6	3.4	30.0
Jun 02	5.4	3.8	9.2	-2.9	2.8	9.1	4.4	13.5
Jul 02	3.1	3.2	6.3	-2.5	2.6	6.4	3.8	10.2
Aug 02	4.6	3.1	7.7	-2.1	2.5	8.1	3.4	11.5
Sep 02	14.0	8.4	22.4	-1.2	1.7	22.8	2.1	24.9
Total	237.9	179.7	417.6	-15.9	18.8	420.5	26.9	447.5

In Tabelle 5 ist die gesamte Energieabgabe an die Verbraucher zusammengefasst. Tabelle 6 zeigt die Details für die neuen Häuser F – H. Die Warmwasserproduktion wurde bis zur monatlichen Ablesung der Verbrauchszahlen im Juni 2002 abgeschätzt. Die Gesamtabgabe an Wärme beträgt rund 550 MWh, also ca. 10 % mehr als im Vorjahr.

Tabelle 5: 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]	
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
Total	124.6	49.4	26.9	130.3	218.6	549.8

Tabelle 7 zeigt den anhand der einzelnen Messdaten aufgeschlüsselten Stromverbrauch für das aktuelle Betriebsjahr. Die angegebenen Stromkosten basieren auf dem Kostenmix (Ver-

hältnis Niedertarif- und Hochtarifstrom) der bestehenden Wärmeproduktion für die Häuser Kreuzstrasse und Seestrasse.

Tabelle 6: Energieabgabe an die Verbraucher Häuser F – G im Betriebsjahr 2001/2002 2002 (Messwerte; kursive Zahlen: hergeleitete bzw. aus Richtgrössen abgeschätzte Werte).

Monat	Wärmeabgabe aus Ringleitung						Total
	Haus F		Haus G		Haus H		
	Heizung	WW	Heizung	WW	Heizung	WW	
	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	
Okt 01	2.0	1.2	2.4	1.7	1.2	1.7	10.2
Nov 01	9.2	1.2	8.1	1.8	6.3	2.9	29.4
Dez 01	9.1	1.9	9.0	1.9	7.6	3.1	32.5
Jan 02	10.8	2.1	9.1	1.7	7.3	2.7	33.7
Feb 02	8.3	1.4	6.9	1.7	5.3	1.7	25.3
Mar 02	7.6	1.6	6.5	1.8	5.4	2.4	25.3
Apr 02	5.2	1.6	4.3	2.0	3.7	2.5	19.3
Mai 02	3.2	1.8	1.9	2.0	2.3	2.9	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
Total	57.5	19.2	50.1	21.4	41.4	28.9	218.6

Tabelle 7: Stromverbrauch im Betriebsjahr 2001/2002 (Messwerte; kursive Zahlen: hergeleitete bzw. aus Richtgrössen abgeschätzte Werte). Als Strompreis wurde der Kostenmix der Kreuzstrasse verwendet: 14.29 Rp/kWh.

Monat	Stromverbrauch							Kosten
	Pumpe	Bestehend		Häuser F - H		Verteilung	Total	
		Heizung	WW	Heizung	WW			
		[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]			
Okt 01	0.85	0.00	0.97	1.35	0.68	0.93	4.78	684
Nov 01	2.48	6.47	1.04	5.61	1.32	0.72	17.63	2'520
Dez 01	2.41	8.11	1.04	6.12	2.82	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
Total	19.66	36.68	12.36	35.48	17.14	9.45	130.77	18'691

Tabelle 8 zeigt schliesslich die zusammenfassende Energiebilanz der Gesamtanlage im Betriebsjahr 2001/2002. 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 8: Zusammenfassung und Kennzahlen für das Betriebsjahr 2001/2002

Text	Energiemenge	Anteil
	[MWh]	[%]
Total Wärme aus der Sonde	436.4	100.0
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
Netto-Energie aus der Sonde	420.5	96.4
Gesamtproduktion Sonde und Sonnenkollektoren	447.5	100.0
Total an Verbraucher abgegebene Energie	549.8	122.9
Gesamter Stromverbrauch	130.8	29.2
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 4.4.

Die Kosten für die Wärmeerzeugung haben gesamthaft 3.4 Rp/kWh betragen. Für den reinen Heizbetrieb betragen diese 3.35 Rp/kWh.

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 bei 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 noch bei mehr als 60%.

Wegen der massiv längeren Laufzeiten der Wärmepumpen im bestehenden Teil der Anlage und natürlich wegen der neu zu berücksichtigen Wärmepumpen in den Häusern F – H hat sich die Jahresarbeitszahl der Anlage von Werten um 6 – 8 auf 4.4 reduziert. Die Laufzeit der Wärmepumpe WP1 im bestehenden Teil der Anlage hat sich seit dem Betriebsjahr 1999/2000 von 1'900 Std. auf 3'100 Jahresstunden erhöht. Bei der WP2 erhöhte sich die jährliche Laufzeit im Heizmodus im gleichen Zeitraum von 70 auf 1'250 Std. Die jährliche Betriebsdauer der Wärmepumpen der Häuser F –H liegen bei insgesamt rund 3'300 Std. für den Warmwasser- und den Heizbetrieb.

5. Literaturverzeichnis

Eugster, W., Füglister, 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., Füglister, 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 1992.