

**Schlussbericht, 23. September 2004**

# **Projekt Erfolgskontrolle und Wirtschaftlichkeitsanalyse von Messkampagnen zu P&D Anlagen**

ausgearbeitet durch

Simone Bassetti, Ernst Rohner, Prof. Dr. L. Rybach, Dr. Souad Sellami

Geowatt AG

Dohlenweg 28, 8050 Zürich

## Zusammenfassung

Für die Projektarbeiten wurden fünf verschiedene Messkampagnen ausgewählt und analysiert, die an verschiedenartigen geothermischen Anlagen in den letzten Jahren im Auftrag des BFE durchgeführt wurden. Untersucht und bewertet wurden die Anlagen Einfamilienhaus Casa Ferrari, Lugano/TI, Schulhaus Vers l'Eglise, Fully/VS, Lidwil Gewerbegebäude, Altendorf/SZ, Thermalbad Bogn Engiadina, Scuol/GR und Siedlung Solar One, Itingen/BL. Die fünf diesbezüglichen Berichte an das BFE bilden die Datenbasis.

Im Sinne einer systematischen Kompilation, Auswertung und Bewertung der Messkampagnen wurden die Messdaten auf speziellen Auswerteformularen einheitlich dargestellt. Dies ermöglichte die Vollständigkeit und Zuverlässigkeit der Messkampagnen bzw. der Berichte zu bewerten. Die Analyse zeigt, dass die Messdaten nicht einheitlich erfasst und ausgewertet wurden. Die technische Aus- und Bewertung zeigt auf, dass die Anlagen in den Berichtsperioden befriedigend bis gut funktionierten (COP-Werte um 3.0). Allerdings zeigt die Anlage Scuol seit der Messkampagne eine stetige Abnahme der geothermischen Leistung.

Neben der technischen Bewertung wurden auch Abklärungen bezüglich Wirtschaftlichkeit (insbesondere der Wärmegestehungspreise) durchgeführt. Da die dafür notwendigen Basisdaten in den Messkampagnen-Berichten –mit Ausnahme der Anlage Scuol– nicht vorhanden waren, mussten diese von den Bauherren beschafft werden. Da ein direkter Vergleich der Anlagen nicht möglich ist (unterschiedliche lokale Gegebenheiten wie Strompreise) wurden sie aufgrund einheitlicher Bezugsgrössen (Strompreis, Lebensdauer, Zins) rechnerisch verglichen. Es resultieren Wärmegestehungskosten von 9 bis 18 Rp./kWh.

Schliesslich wurde rechnerisch ein Vergleich mit konventionellen Anlagen gleicher Grösse (=Ölheizung) erstellt. Die geothermische Systemlösung kommt um 26 bis 80 % teurer. Die gesamte Einsparung von Heizöl durch die fünf Anlagen beträgt rund 200'000 Liter pro Jahr, die Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emission rund 484 Tonnen pro Jahr.

## Summary

Five reports about measurement campaigns, carried through for the Swiss Federal Office of Energy, have been selected for analysis and appraisal. They comprise various types of installations: Single family house Casa Ferrari, Lugano/TI, schoolhouse Vers l'Eglise, Fully/VS, Lidwil business building Altendorf/SZ, Thermal spa Bogn Engiadina, Scuol/GR and the dwelling complex Siedlung Solar One, Itingen/BL. The five corresponding reports constitute the data base for the investigations.

For a systematic compilation, evaluation and appraisal of the measurement campaigns the recorded data have been arranged in a uniform format on a special data sheet. This enabled to evaluate the completeness and reliability of the measurement campaigns as well as of the corresponding reports. The analysis reveals that the data have not been measured and evaluated in a uniform way. Our analysis shows that the technical functioning of the installations has been, during the periods reported, satisfactory to good (COP values around 3.0). The installation at Scuol/GR shows, since the measurement campaign, a constant decrease of the geothermal heat production.

Besides the technical analysis an economic assessment of the installations has also been carried out, especially about the heat production costs. Since the investigated reports contained no economic data (with the exception of the installation at Scuol/GR) the construction owners have been contacted who provided the necessary data. Since a uniform evaluation cannot be carried out, due to locally variable factors like electricity prizes, a comparison has been calculated on the basis of uniform influence factors (electricity tariff, system lifetime, interest rate). The resulting heat production costs are in the range 9 – 18 Rp./kWh.

Finally a comparison has been made with conventional, oil-based systems of the same size. The geothermal solution is more expensive by about 26 – 80 %. The total saving in fossil fuel of the five installations amounts to about 200'000 liter oil per year, the corresponding avoidance on CO<sub>2</sub> emissions to 484 tons/year.

## INHALTVERZEICHNIS

1	Projektziele und Vorgehen .....	1
2	Technische Analyse .....	2
2.1	Casa Ferrari, Lugano TI.....	3
2.2	Schulhaus Vers-L'Eglise, Fully VS.....	4
2.3	Lidwil Gewerbe AG, Altendorf SZ .....	5
2.4	Thermalbad Engiadina, Scuol GR .....	6
2.5	Siedlung Solar One, Itingen BL.....	8
2.6	Schlussfolgerungen der technischen Bewertung.....	9
3	Wirtschaftliche Analyse .....	10
3.1	Spezifische Analyse der Anlagen .....	11
	Casa Ferrari, Lugano TI .....	11
	Schulhaus Vers L'eglise, Fully VS .....	12
	Lidwil Gewerbe AG, Altendorf SZ .....	13
	Thermalbad Engiadina, Scuol GR.....	14
	Siedlung Solar One, Itingen BL.....	15
3.2	Vergleich der Anlagen.....	15
3.3	Vergleich mit konventionellen Anlagen.....	17
3.4	Schlussfolgerungen der wirtschaftlichen Bewertung .....	19
4	Umwelt-Analyse .....	20
5	Schlussfolgerungen, Ausblick .....	21
6	Anhänge .....	22
6.1	Auswerteformulare .....	22
6.2	Berechnung Ölkkesselanlage .....	32

## 1 Projektziele und Vorgehen

In den letzten Jahren wurden im Auftrag des BFE in verschiedenen Kantonen zahlreiche Messkampagnen an Erdwärmesonden (EWS)- und Energiepfahl (ENP)-Anlagen durchgeführt, im Sinne einer „Erfolgskontrolle“. Angesichts der anfallenden Daten drängt sich eine systematische Komplikation, Auswertung und Bewertung der Messkampagnen auf. Die Erfolgskontrolle und eine Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Installationen mit EWS- und ENP-Systemen im Vergleich mit konventionellen Anlagen soll an ausgewählten Objekten durchgeführt werden. Zudem wird der Umweltaspekt analysiert, wobei zum Beispiel die CO<sub>2</sub>-Einsparung bewertet wird.

Um die verschiedenen Nutzungsarten untefer Geothermie zu erfassen, wurden Messkampagnen an den folgenden Objekten gewählt:

- |                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| • Casa Ferrari, Lugano TI           | Einzelne Erdwärmesonden (3 EWS) |
| • Schulhaus Vers-l'Eglise, Fully VS | Energiepfähle (41 ENP)          |
| • Lidwil Gewerbe AG, Altendorf SZ   | Energiepfähle (120 ENP)         |
| • Bogn Engiadina Scuol GR           | Erdwärmesondenfeld (40 EWS)     |
| • Siedlung Solar One, Itingen BL    | Doublet-System                  |

Die Analyse der gewählten Messkampagnen wird grundsätzlich in 3 Hauptteile unterteilt: technische, wirtschaftliche und Umwelt-Bewertung.

Nach der Beschaffung der notwendigen Unterlagen wurde in einer ersten Phase einen Auswerteformular erstellt. Dabei wurden pro Objekt die technischen Daten der Messkampagne und die wirtschaftlichen Daten der Anlage (falls angegeben) einheitlich festgehalten. Die Auswerteformulare für die 5 Anlagen sind als Anhang im Kapitel 6.1 angefügt. Anhand der ausgefüllten Auswerteformulare könnte dann die Vollständigkeit und die Zuverlässigkeit der Angaben beurteilt werden.

In einer zweiten Phase wurden die Berichtersteller bzw. Bauherren kontaktiert. Dies hatte zwei Ziele. Einerseits sollten die in den analysierten BFE-Berichten fehlenden Angaben nachgefragt werden. Andererseits wurde nach weiteren Messdaten nachgefragt. In einigen Fällen (Scuol und Fully) haben die Bauherren weitere Messdaten zur Verfügung gestellt, die nach der BFE-Messkampagne gewonnen wurden.

In der dritte Phase wurden schlussendlich die Wärmegestehungskosten der analysierten Anlagen mit den Kosten konventioneller Systeme (Ölheizung) verglichen und der Umwelteffekt (CO<sub>2</sub>-Einsparung) ausgewiesen.

## 2 Technische Analyse

Die in den analysierten Berichten vorhandenen technischen Daten wurden zuerst in einem Auswerteformular einheitlich erfasst (als Anhang im Kapitel 6.1 angefügt). Die Auswerteformulare stellen die Daten vor, die in den BFE-Berichte vorhanden sind. Wenn keine Informationen über eine bestimmte Angabe vorliegen, so wird das im Formular in den entsprechenden Angabefeld durch den Ausdruck „keine Angaben“ bezeichnet.

In der nachfolgenden Projektphase wurden dann die Berichtersteller und die Bauherren kontaktiert. Damit war es möglich einige in den BFE-Berichten fehlenden Daten zu beschaffen. Zudem haben die Bauherren in einigen Fällen (Scuol und Fully) weitere Messdaten zur Verfügung gestellt, die nach der BFE-Messkampagne gewonnen wurden. Weiter wurden Angaben in andere Publikationen gefunden (auch dies ist in den Auswerteformularen vermerkt).

In diesem Kapitel werden schlussendlich, zur technischen Präsentation der Anlagen, die Daten aus den verschiedenen Quellen zusammengefasst. Es muss aber schon hervorgehoben werden, dass sich in den BFE-Berichten keine Einheitlichkeit feststellen lässt, weder im Hinblick auf die erfassten Daten (Messgrössen, Messfrequenz) noch bezüglich ihrer Darstellung.

Man muss beachten, dass wir nur die „kalte Seite“ berücksichtigen (über die Wärmeverteilung enthielten die Messkampagnen-Berichten keine Angaben). Der Strombedarf entspricht dem Bedarf der Wärmepumpe und der Zirkulationspumpe des EWS- bzw. ENP-Kreislaufes. Die „warne Seite“ der Anlage (Wärmeverteilsystem) wird nicht berücksichtigt.

## 2.1 CASA FERRARI, LUGANO TI

Für die Heizung des Büro- und Wohngebäudes wird die geothermische Energie durch drei 80 m lange Erdwärmesonden genutzt. Die Warmwasserproduktion erfolgt hingegen durch die Nutzung der Sonnenenergie. Die überflüssige von den Sonnenkollektoren produzierte Energie wird direkt durch die Erdwärmesonden im Boden abgeladen.

**Tabelle 2-1: Allgemeine Eigenschaften und thermische Leistungen der Anlage in Lugano.**

<b>Berichtangaben</b>	
Analysierter Bericht	BFE Zwischenbericht Dezember 2002 „Misure di un impianto di riscaldamento con sonde geotermiche a Lugano (TI)“, ausgearbeitet durch Daniel Pahud und Milton Generelli, LEEE-DCT-SUPSI Trevano Canobbio Dauer der Messkampagne: 3.2001 – 3.2003
<b>Anlagedaten</b>	
Gebäudetyp	Wohn- und Bürogebäude
Energieverwendung	Heizen
Beheizte Fläche	200 m <sup>2</sup>
Spezifische Leistung Gebäude	70 W/m <sup>2</sup>
Beheiztes Volumen	Keine Angaben im BFE-Bericht
Systemtyp	Bivalent, Heizung durch EWS/WP-System, Warmwasser durch Sonnenenergie.
Erdwärmesonden (EWS)	3 EWS à 80 m, Distanz ca. 8 m Duplex EWS 32 mm PE Hinterfüllung: Bentonit-Zement-Gemisch Wärmeträger: Wasser mit Frostschutz mittel (33%)
Zusatzsystem	7.8 m <sup>2</sup> Sonnenkollektoren
Wärmepumpe (WP)	1 WP, 14 kW
Spezifische Leistung EWS	45.1 W/m
<b>Messdaten</b>	
Messperiode	1.8.2001 – 31.7.2002
Produzierte Wärmenergie	30'745 kWh
Jahresvollbetriebsstunden	2196 h
Stromverbrauch	7'456 kWh
WP	623 kWh
Umwälzpumpe(UP)	
Wärmemenge aus Erdreich	23'749 kWh
COP	4.1
ohne UP	
JAZ	3.8
mit UP	
Durchschnittliche Temperatur am Verdampfereintritt	8 °C
Temperatur am Verdampfereintritt zu Beginn Heizperiode	9.2001: 11°C 9.2002: 11°C

Die von dem BFE finanzierte Messkampagne lief von März 2001 bis März 2003. Im analysierten Zwischenbericht sind aber nur die Messdaten bis August 2002 vorgestellt. Um einen Jahresbetrieb zu beurteilen wurde die Messdaten von Juli 2001 bis August 2002 analysiert.

Der Stromverbrauch entspricht dem Verbrauch der Wärmepumpe, der Sondenkreislaufspumpe und der Kondensatorkreislaufspumpe. Der Verbrauch der zwei Umwälzpumpen wurde zusammen gemessen. Speziell wird der Verbrauch der Sondenkreislaufspumpe nur gemessen, wenn die

Wärmepumpe läuft. Die Umwälzpumpe läuft aber auch, um die Sonnenergie-Gewinne im Boden zu speichern, die einen guten Einfluss auf die Jahresarbeitszahl (JAZ) haben können.

Die Daten vom zweiten Messjahr sind zur Zeit noch nicht beschaffbar. Gemäss Absprache mit dem Berichtersteller bleiben aber die EWS-Temperaturen konstant. Die Anlage ist deshalb gut dimensioniert. Der Gebäudebenutzer ist mit der Anlage sehr zufrieden.

## 2.2 SCHULHAUS VERS-L'EGLISE, FULLY VS

Das Schulhaus wurde im Jahr 2000 gebaut, mit dem Ziel ein Minergie-Gebäude zu erstellen. Deswegen wurde ein Wärmepumpensystem gewählt. Wegen der lokalen Geologie tragen 118 Pfähle das Gebäude. Dabei wurden 41 Pfähle als Energiepfähle ausgebaut. Das Gebäude wird im Sommer über die geothermische Anlage auch gekühlt.

**Tabelle 2-2: Allgemeine Eigenschaften und thermische Leistungen der Anlage in Fully.**

<b>Berichtangaben</b>		
Analysierter Bericht		BFE Schlussbericht Juni 2002 „Pieux énergétiques avec distribution de chaleur et de froid intégrée dans la structure“, Michel Bonvin und Patrice Cordonier, HEVs Sion Dauer der BFE-Messkampagne: 1.2001 – 5.2002
Zusätzliche Daten		Bericht mit Messdaten 10.2002 – 9.2003
<b>Anlagedaten</b>		
Gebäudetyp		Schulgebäude
Energieverwendung		Heizen und Kühlen
Beheizte Fläche		2'635 m <sup>2</sup>
Spezifische Leistung Gebäude		22.7 W/m <sup>2</sup>
Beheiztes Volumen		7'018 m <sup>3</sup>
Systemtyp		Monovalent
Energiepfähle (ENP)		41 EP, Gesamtlänge = 951 m Durchfluss pro EP = 310 l/h
Wärmepumpen (WP)		4 WP, total 60 kW
Spezifische Leistung ENP		46 W/m
<b>Messdaten Heizen</b>		
Messperiode	10.2001 – 5.2002	10.2002 – 4.2003
Produzierte Wärmenergie	86'841.2 kWh	88'939.9 kWh
Betriebsstunden	1447 h	1482 h
Stromverbrauch	WP	18'859.9 kWh
	Umwälzpumpe(UP)	4'595.0 kWh
Wärmemenge aus Erdreich		18'960.8 kWh
		4'841.4 kWh
Wärmemenge aus Erdreich		63'386.3 kWh
COP	ohne UP	4.6
JAZ	mit UP	3.7
Durchschnittliche Temperatur am Verdampfereintritt		~ 9 °C
Temperatur am Verdampferentritt zu Beginn Heizperiode		~ 13 °C
Spezifische produzierte Energie		~ 13 °C
Spezifische produzierte Energie		66.6 kWh/m
		68.5 kWh/m
<b>Messdaten Kühlen</b>		
Messperiode	5.2003 – 9.2003	
Produzierte Kühlenergie	64'290.3 kWh	
Stromverbrauch UP	7'681.3 kWh	
COP	8.4	

Die Gebäude ist seit September 2001 bewohnt. Es werden deshalb nur Messdaten ab Oktober 2001 analysiert, auch wenn die BFE-Messkampagne seit Januar 2001 lief. Daten vom Sommer 2002 sind nicht vorhanden.

Die vier Wärmepumpen laufen von Oktober bis Mai. In den übrigen Monaten wird nur durch die sogenannte „free cooling“ Methode gekühlt. Der gesamte Kühlbedarf wird direkt über die EWS und ein Luftherzregister gedeckt. Für „free cooling“ ist nur die Zirkulationspumpe notwendig.

Die zusätzlich beschaffene Angaben über die EWS-Temperaturen zeigen, dass die Temperatur der Kältequelle über die zwei analysierten Jahre konstant bleibt. Dazu spielt die im Sommer im Untergrund gespeicherte Energie sicherlich eine grosse Rolle.

Gebäudebenutzer und Bauherren sind mit der Anlage sehr zufrieden. Vor allem im Winter ist der Komfort hervorragend.

## 2.3 LIDWIL GEWERBE AG, ALTENDORF SZ

Das Industriegebäude liegt in Altendorf SZ in unmittelbarer Nähe des Zürichsees. Das Gebäude ist auf insgesamt 155 Pfählen aufgebaut. Davon wurden 120 Pfähle als Energiepfähle ausgebildet, die als tragendes Element wie auch als Wärmetauscher dienen. Seit der Inbetriebnahme im Oktober 1993 wird das Gebäude mit drei Wärmepumpen als monovalentes System beheizt.

**Tabelle 2-3: Allgemeine Eigenschaften und thermische Leistungen der Anlage in Altendorf.**

<b>Berichtangaben</b>			
Analysierter Bericht	BFE Schlussbericht Januar 1997 „Energiepfähle Lidwil Gewerbe AG, Altendorf“, ausgearbeitet durch H.P. Felder, SACAC AG, Hergiswil Dauer der Messkampagne: 10.1993 – 9.1996		
<b>Anlagedaten</b>			
Gebäudetyp	Industriegebäude		
Energieverwendung	Heizen		
Beheizte Fläche	Keine Angaben im BFE-Bericht (Stockwerkfläche ca. 12'000 m <sup>2</sup> )		
Beheiztes Volumen	Keine Angaben im BFE-Bericht		
Systemtyp	Monovalent		
Energiepfähle (ENP)	120 ENP, Gesamtlänge = 2057 m		
Wärmepumpen (WP)	3 WP, insgesamt 160 kW		
Spezifische Leistung ENP	51 W/m		
<b>Messdaten</b>			
Messperiode	10.1993 – 9.1994	10.1994 – 9.1995	10.1995 – 9.1996
Produzierte Wärmenergie	267'400 kWh	258'200 kWh	325'400 kWh
Jahresvollbetriebsstunden	1671 h	1614 h	2033 h
Stromverbrauch WP+UP	90'809 kWh	87'257 kWh	111'307 kWh
Wärmemenge aus Erdreich	176'591 kWh	170'943 kWh	214'093 kWh
JAZ mit UP	2.9	3.0	2.9
Durchschnittliche Temperatur am Verdampfereintritt	6.8 °C	7.1 °C	5.9 °C
Temperatur am Verdampferentritt zu Beginn Heizperiode	11 °C	10.6 °C	10.8 °C

Der Stromverbrauch der Wärmepumpen und der Umwälzpumpe wurde zusammen gemessen. Es ist nicht möglich deshalb den COP für die Wärmepumpen ohne Hilfsenergien zu berechnen.

Im Bericht werden die Vorlauf und Rücklauftemperaturen des Kältekreislaufes monatlich angegeben. Das ermöglicht festzustellen, dass das Temperaturniveau in den Jahren konstant bleibt. Die Anlage funktioniert deshalb gut.

## 2.4 THERMALBAD ENGIADINA, SCUOL GR

Seit März 1993 ist die geothermische Anlage im Engadiner Mineralbad zur Heizung des kalten Scuoler Mineralwassers in Betrieb. Fünf Wärmepumpen, die als Quelle ein Feld von vierzig 150 m langen Erdwärmesonden nutzen, übernehmen die Grundlast. Die Spitzenlast wird hingegen von einer Ölheizkessel übernommen. Zudem wird durch ein weiteres WP-System eine Wärmerückgewinnung aus Ab- und Spülwasser durchgeführt.

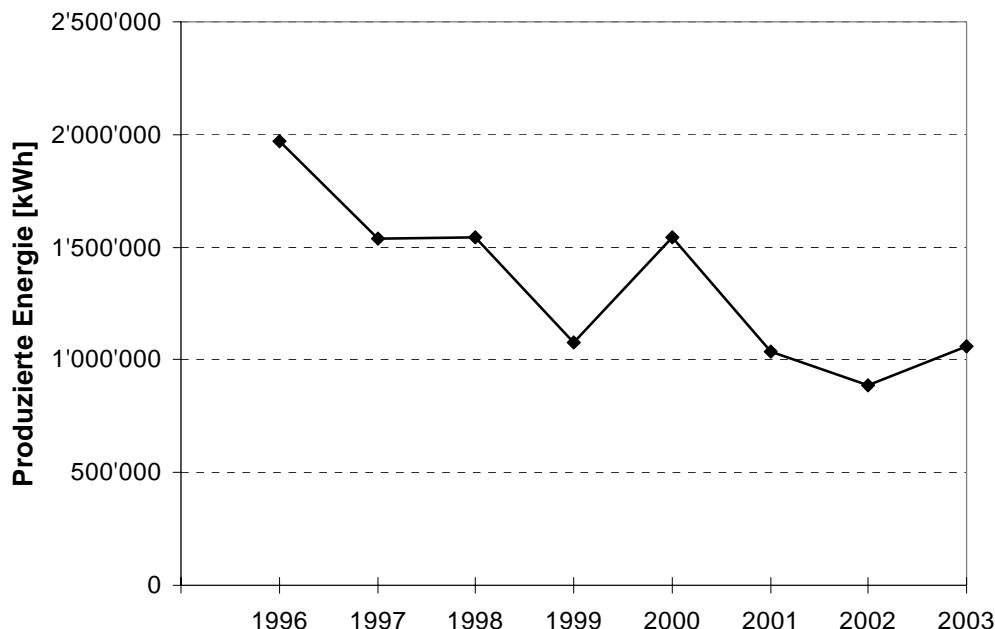
**Tabelle 2-4: Allgemeine Eigenschaften und thermische Leistungen der Anlage in Scuol (RLT: Rücklauftemperatur, VLT: Vorlauftemperatur).**

<b>Berichtangaben</b>		
Analysierter Bericht		BFE Schlussbericht Januar 1997 „Bogn Engiadina Scuol, Messprogramm für die geothermische Wäremerzeugung“, ausgearbeitet durch B. Kannewischer Ingenieurbüro AG, Zug Dauer der Messkampagne: 8.1995 – 8.1997
Zusätzliche Daten		Energetische Produktion und Verbrauch von 1998 bis 2003, geliefert durch Herr Schudel, Zentrale Dienste Bogn Engiadina Scuol
<b>Anlagedaten</b>		
Gebäudetyp		Thermalbad
Energie Verwendung		Heizen
Beheizte Fläche		6'838 m <sup>2</sup>
Beheizte Volumen		44'448 m <sup>3</sup>
Wasserfläche		497 m <sup>2</sup>
Systemtyp		Bivalent, geothermische Anlage übernimmt die Grundlast, Ölheizkessel die Spitzenlast, zusätzliche Wärmerückgewinnung aus Ab- und Spülwasser.
Erdwärmesonden (EWS)		40 EWS à 150 m, Duplex 32 mm, 10 x 10 m Gitter
Wärmepumpen (WP)		5 WP je 60 kW
Spezifische Leistung		29 W/m
<b>Messdaten</b>		
Messperiode	8.1995 – 7.1996	8.1996 – 7.1997
Produzierte Wärmenergie	1'949'274 kWh	1'743'600 kWh
Jahresvollbetriebsstunden	6497 h	5812 h
Stromverbrauch WP+UP	808'979 kWh	729'937 kWh
Wärmemenge aus Erdreich	1'140'295 kWh	1'013'663 kWh
COP mit UP	2.4	2.4
Durchschnittliche RLT und VLT jeweils mitte Februar	-6.5 / -2.5 °C	- 8.0 / -2.0 °C

Die Temperatur des Kältekreislaufes wurde während der Messkampagne detailliert gemessen und registriert. Diese Daten haben ermöglicht, die kontinuierliche Abnahme der Sondentemperatur zu betrachten und damit die Ursache des Betriebsunterbruchs im Frühjahr 1997 zu dokumentieren. Anhand der registrierten Temperaturdaten wurde zur Zeit der Messkampagne die Entscheidung getroffen, jede Wärmepumpe im Sommer während vier Wochen zur Regeneration des Erdreiches abzuschalten. Gemäss Auskunft wurde aber die Grenztemperatur (die auf -8°C gesetzt wurde) in den nachfolgenden Jahren immer öfter erreicht, sodass die Wärmepumpen jedes Jahr immer länger und zu verschiedenen Zeiten abgeschaltet werden müssen. Nach der BFE-Messkampagne wurde die geothermisch produzierte Energie und der entsprechende Stromverbrauch weiter gemessen. Diese Daten wurden zusätzlich beschafft (siehe Tabelle 2-5). Hierbei wurde die produzierte Energie in „Kalenderjahre“ aufgeteilt (im Gegenteil zur BFE-Messkampagne, wobei die Messungen jeweils im August anfingen).

**Tabelle 2-5: Zusätzlich beschaffte Daten für Scuol.**

Jahr	Produzierte Energie [kWh]	Stromverbrauch (WP+UP) [kWh]	COP (mit UP)
1996	1'970'211		
1997	1'540'075	613'472	2.51
1998	1'546'354	659'400	2.35
1999	1'078'102	437'154	2.47
2000	1'546'092	623'352	2.48
2001	1'037'876	432'811	2.40
2002	888'983	396'656	2.24
2003	1'062'139	450'407	2.36



**Abbildung 2-1: Verlauf der geothermisch produzierten Energie in Scuol.**

Wie in der Abbildung 2-1 dargestellt ist, hat sich die durch die geothermische Anlage produzierte Energiemenge gegenüber den in 1996 produzierten ~2 Mio. kWh bis 2003 praktisch halbiert. Dies zeigt, dass sich aufgrund der extrem hohen Jahresvollbetriebsstunden das Erdwärmesondenfeld auf einem tiefen Temperaturniveau eingependelt hat. Die Anlage ist wegen der hohen Jahresbelastung unterdimensioniert.

## 2.5 SIEDLUNG SOLAR ONE, ITINGEN BL

Für die Siedlung Solar One sind 12 Wohneinheiten geplant, wobei 6 schon gebaut und seit Juni 2000 auch alle bewohnt sind. Für die Wärmeversorgung war ursprünglich eine übertiefe Erdwärmesonde von 800 m geplant.

**Tabelle 2-6: Allgemeine Eigenschaften und thermische Leistungen der Anlage in Itingen (RLT: Rücklauftemperatur, VLT: Vorlauftemperatur).**

<b>Berichtangaben</b>	
Analysierter Bericht	BFE Schlussbericht Februar 2002 „Wärme-Contracting Geothermie-Doublette Siedlung Solar One, Itingen BL“ Ausgearbeitet durch: Dr. M.O. Häring, Häring GeoProject, Steinmaur Thomas Leimer, Häring Gruppe, Pratteln Severino Wahl, Wahl Heizungen AG, Bubendorf
Dauer der Messkampagne: 9.1999 – 8.2001	
<b>Anlagedaten</b>	
Gebäudetyp	6 Siedlung Wonhäuser
Energieverwendung	Heizen
Beheizte Fläche	981 m <sup>2</sup>
Spezifischen Heizleistung	90 W/m <sup>2</sup>
Beheiztes Volumen	Keine Angabe im BFE-Bericht
Systemtyp	Monovalent
Doublet- System	Vertikale Förderbohrung (310 m) und geneigte Rückgabe Bohrung (Teufe 360 m)
Wärmepumpen (WP)	2 WP je 44 kW für Heizung und 1 WP 31 kW für Warmwasser
<b>Messdaten</b>	
Messperiode	9.1999 – 8.2001
Produzierte Wärmenergie	65'403 kWh/a
Jahresvollbetriebsstunden	743 h
Stromverbrauch	13'815 kWh/a
WP	11'660 kWh/a
UP	51'588 kWh/a
Wärmeentzug Grundwasser	4.7
COP ohne GW-Förderpumpe	2.6
JAZ mit GW-Förderpumpe	22°C / 16 °C konstant

Nach Absprache mir der Firma Wahl Heizungen AG konnte festgestellt werden, dass die Förder- und Rückgabedtemperaturen des Grundwassers zur Zeit noch konstant sind (22/16 °C). Die relative kurze Distanz (185 m) zwischen Förder- und Rückgabeböhrung scheint deshalb (noch?) keine Abnahme der Fördertemperatur zu verursachen.

Die Anlage ist im momentanen Ausbau stark überdimensioniert. Die Jahresvollbetriebsstunden der beiden Heizungswärmepumpen betragen je rund 750 h/a. Üblich wären etwa 1500 bis 2000 h/a.

Eine einzige Grundwasserförderpumpe versorgt alle 3 Wärmepumpen, was die schlechte JAZ (Jahresarbeitszahl) verursacht. Eventuell könnte der Stromverbrauch über einen Zwischenspeicher beträchtlich reduziert werden.

## 2.6 SCHLUSSFOLGERUNGEN DER TECHNISCHEN BEWERTUNG

In den Berichten finden sich keine Hinweise auf Funktionsprobleme wie Systemausfälle, Betriebsunterbrüche u.ä. (Ausnahme Scuol). Demzufolge verlief der Betrieb der untersuchten Anlagen während den Messperioden unproblematisch.

Einen Hinweis auf das sinnvolle Funktionieren der Anlagen gibt die Jahresarbeitszahl (JAZ), der Wirkungsgrad der Anlage inklusive Primärumwälz- oder -förderpumpe. Die Abbildung 2-2 stellt die entsprechenden durchschnittlichen Werte dar. Die gefundenen Werte liegen, mit Ausnahme von Bogn Engiadina/Scuol und Itingen über dem Wert 3. Auch das Objekt Lidwil zeigt ein etwas kleinere JAZ-Wert im Vergleich mit den anderen Anlagen. Man muss aber beachten, dass diese zwei Anlagen (Scuol und Lidwil) anfangs der 1990er Jahre gebaut wurden. Damals hatten Wärmepumpen niedrigere Leistungsziffern. Die andere Anlagen wurden hingegen in den letzten fünf Jahren erstellt.

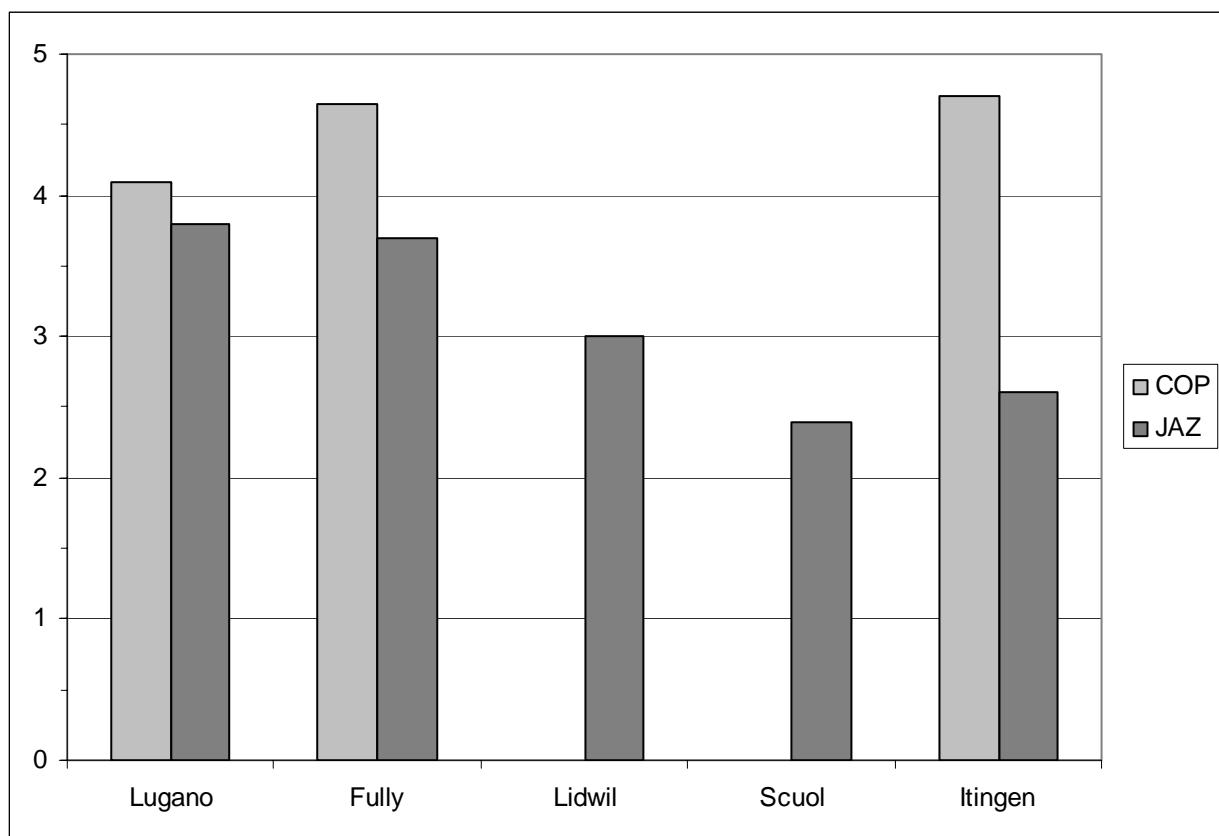


Abbildung 2-2: Durchschnittliche COP und JAZ für die analysierte Anlagen

Die in Abbildung 2-2 dargestellten Werte entsprechen dem Durchschnitt aus ein, zwei oder drei Messperioden, so viele wie bei der jeweiligen Messkampagne durchgeführt wurden. Auch das deutet darauf hin, dass sich in den BFE-Berichten keine Einheitlichkeit feststellen lässt. Die Messperioden sind zum Beispiel von unterschiedlicher Anzahl und Länge. Die gemessenen Daten zeigen zudem bezüglich ihrer Erfassung (Messgrößen, Messfrequenz) und ihrer Darstellung keine Einheitlichkeit.

### 3 Wirtschaftliche Analyse

Für die Analyse der Wirtschaftlichkeit wird das für Haustechnik-Anlagen übliche Verfahren angewendet, d.h. die Angabe der Gesamtjahreskosten (Wärmegestehungskosten) mit den gebräuchlichen Kostenelementen:

- Kapitaldienst (Verzinsung des investierten Kapitals)
- Energiekosten (Stromkosten für Wärmepumpe und Hilfsaggregate)
- Bedienungs- und Wartungskosten (Überwachung, Reparaturen).

Die Kapitalkosten werden nach der Annuitätsmethode berechnet: die Investitionen werden über die Nutzungsdauer mit Hilfe der Zinsrechnung in gleich hohe jährliche Raten (=Annuitäten) umgerechnet.

Die Kapitalkosten werden nach folgender Formel berechnet:

$$K_K = I \cdot \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} = I \cdot a$$

mit  $K_K$  Kapitalkosten [Fr./a],  $I$  Investitionskosten [Fr.],  $i$  Zins und  $n$  Lebensdauer [Jahre]. Der Faktor  $a$  beträgt zum Beispiel für einen Zinssatz von 5 % und eine Lebensdauer von 30 Jahren 0.06505.

Für eine wirtschaftliche Analyse der Anlage waren die notwendigen Daten nur in einem Fall (Scuol) schon im Messkampagnen-Bericht vorhanden. Für das Objekt „Lidwil“ wurden wirtschaftliche Daten aus einer früheren Publikation beschafft. Für die übrigen drei Objekte wurden hingegen die betreffenden Bauherren kontaktiert, um das allfällige Vorhandensein und die Verfügbarkeit von wirtschaftlich relevanten Daten abzuklären. Für das Objekt „Ittingen“ sind keine wirtschaftlichen Daten verfügbar.

Im allgemeinen werden als Investitionsosten nur die Kosten der geothermischen Anlage berücksichtigt. Die Kosten für die Wärmeverteilung sind nicht berücksichtigt.

Im Kapitel 3.1 wird eine spezifische wirtschaftliche Analyse der einzelnen Anlagen vorgestellt. Dabei werden für die Berechnung der Wärmegestehungskosten alle Investitionskosten berücksichtigt: Wärmepumpe, Erdwärmesonden (bzw. Energiepfähle), Bohrungen, Anschlüsse und allfällige Nebenkosten (Regelung, Elektriker, usw.). Für diese spezifische Analyse werden für Lebensdauer und Zinssatz die Werte genommen, die in den BFE-Berichten oder in anderen Publikationen gefunden wurden. Falls keine Daten vorhanden sind, wird eine Lebensdauer von 30 Jahren und ein Zinssatz von 5% angenommen. Diese spezifische Analyse wird zeigen, wie viel die Bauherren für die Energieproduktion tatsächlich zahlen.

Im Kapitel 3.2 werden dann die Wärmegestehungskosten der verschiedenen Objekte verglichen. Für einen einheitlichen Vergleich wird bei allen Anlagen mit einer Lebensdauer von 30 Jahren gerechnet, wie dies in der Wirtschaftlichkeitsanalyse von geothermischen Anlagen allgemein üblich ist.

Generell mussten für die Wirtschaftlichkeitsanalyse viele Annahmen gemacht werden, was die Aussagekraft der Resultate einschränkt.

Ein Vergleich mit konventionellen Anlagen wird dann im Kapitel 3.3 durchgeführt.

### 3.1 SPEZIFISCHE ANALYSE DER ANLAGEN

#### CASA FERRARI, LUGANO TI

**Tabelle 3-1: Spezifische wirtschaftliche Analyse des Objektes in Lugano**

<b>Inputdaten</b>	
Quelle	Herr Ferrari, Haubesitzer
Investitionskosten	54'400 Fr. 7'200 Fr. Wärmepumpe 14'500 Fr. Bohrungen + Erdwärmesonde 17'000 Fr. Anschlüsse 4'200 Fr. Regelung + Elektriker 5'000 Fr. Ausgrabung im Fels 2'000 Fr. Planung 4'500 Fr. Diverse
Spez. Investitionskosten	3885 Fr./kW
Subventionen	1'200 Fr.
Lebensdauer	30 Jahren
Zins	2.5 % Variabel, wird jedes Jahr neu fixiert. Realistischer Wert = 2.5 %
Strompreis HT	HT 15 Rp./kWh NT 10 Rp./kWh
Wartungskosten	0 Fr./a Gemäss Herr Ferrari wurden bis heute keine Wartungsarbeiten durchgeführt
Stromverbrauch	8'079 kWh/a Es war nicht möglich den Stromverbrauch in HT und NT zu separieren.
Produzierte Wärmeenergie	30'745 kWh/a 1 Betriebsjahr
<b>Geschätzte Wärmegestehungskosten dieser spezifischen Anlage</b>	
Kapitaldienst	
Ohne Subventionen	2'599 Fr./a
Mit Subventionen	2'542 Fr./a
Betriebskosten	1'010 Fr./a Angenommener durchschnittlicher Strompreis = 12.5 Rp./kWh
Totaler Jährlicher Kosten	
Ohne Subventionen	3'609 Fr./a
Mit Subventionen	3'552 Fr./a
Wärmegestehungskosten	
Ohne Subventionen	11.7 Rp./kWh
Mit Subventionen	11.6 Rp./kWh

## SCHULHAUS VERS L'EGLISE, FULLY VS

**Tabelle 3-2: Spezifische wirtschaftliche Analyse des Objektes in Fully**

<b>Inputdaten</b>		
Quelle	Herr M.Anstett, Tecnoservice und Herr M.C.Ançay, Service de l'Energie du Canton du Valais	
Investitionskosten	210'000 Fr.	80'000 Fr. Wärmepumpe 130'000 Fr. Energiepfähle
Spez. Investitionskosten	3'500 Fr./kW	
Subventionen	13'170 Fr. 45'560 Fr.	Kanton für Pfähle BFE für Pfähle
Lebensdauer	20 Jahre	im Bericht
Zins	5 %	angenommen
Strompreis	0 Rp./kWh	Die Gemeinde stellt den Strom der Schule gratis zur Verfügung. Die Strompreise in Fully wären 10 Rp./kWh HT und 4 Rp./kWh NT
Wartungskosten	0 Fr./a	Bis heute wurden keine Wartungsarbeiten durchgeführt
Stromverbrauch	31'310 kWh/a	Durchschnitt aus 2 Heizperioden + Kühlperiode
Produzierte Wärmeenergie	87'891 kWh/a	Durchschnitt aus 2 Heizperioden
Produzierte Kälteenergie	64'290 kWh/a	Nur 1 Kühlperiode
<b>Geschätzte Energiegestehungskosten dieser spezifischen Anlage</b>		
Kapitaldienst		
Ohne Subventionen	16'851 Fr./a	
Mit Subventionen	12'138 Fr./a	
Betriebskosten	0 Fr./a	
Totaler Jährlicher Kosten		
Ohne Subventionen	16'851 Fr./a	
Mit Subventionen	12'138 Fr./a	
Wärme- und Kälte-Gestehungskosten		
Ohne Subventionen	11.1 Rp./kWh	
Mit Subventionen	8.0 Rp./kWh	

Die Investitionskosten sind um ca. 100'000 Fr. niedriger als im zweiten Zwischenbericht ausgewiesen. Nach Rücksprache mit Herr Anstett wurde festgestellt, dass die 100'000 Fr. den Kosten für die Wärmeverteilanlage entsprechen. Die niedrigeren Investitionskosten haben entsprechend niedrige Wärmegestehungskosten zur Folge.

Nach Absprache mit Herr Ançay werden im Gegensatz zum 2. Zwischenbericht die Subventionen bestimmt, die nur zur geothermischen Anlage gehören.

Die berücksichtigte produzierte Wärmeenergie stellt einen Durchschnitt über 2 Heizbetriebe dar (Winter 2001-02 und 2002-03). Die produzierte Kühlenergie betrifft den Sommer 2003.

Auch wenn es keine Betriebskosten gibt und vor allem die Stromkosten entfallen, ergeben sich im Vergleich mit den anderen Anlagen keine wesentlich niedrigeren Wärmegestehungskosten. Das erklärt sich durch die relativ zur produzierten Energiemenge hohen Investitionskosten, welche durch die Energiepfähle und deren Anbindungen entstanden. Als Kostenvergleich für Erdwärmesonden bei 9x100m (etwas weniger Meter als Pfähle, aber höhere Leistung) ergeben sich Kosten von ca. 9 x 100m EWS à 70 Fr./m + 9 Anschlüsse à Fr. 3000.00 → Fr. 90'000.00.

## LIDWIL GEWERBE AG, ALTENDORF SZ

**Tabelle 3-3: Spezifische wirtschaftliche Analyse des Objektes in Altendorf**

<b>Inputdaten</b>		
Quelle		„Pahud D. (2002), Geothermal energy and heat storage“ auf der Internet-Seite <a href="http://www.leee.supsi.ch">http://www.leee.supsi.ch</a>
Investitionskosten	574'490 Fr.	
Spez. Investitionskosten	3'591 Fr./kW	
Subventionen	-	Keine Angaben
Lebensdauer	20 Jahre	
Zins	5 %	
Strompreis	15 Rp./kWh	
Wartungskosten	0 Fr./a	Bis heute wurden keine Wartungsarbeiten durchgeführt
Stromverbrauch	96'458 kWh/a	Durchschnitt aus 3 Betriebsjahren
Produzierte Wärmeenergie	283'667 kWh/a	Durchschnitt aus 3 Betriebsjahren
<b>Geschätzte Wärmegestehungskosten dieser spezifischen Anlage</b>		
Kapitaldienst	46'099 Fr./a	
Betriebskosten	14'469 Fr./a	
Totale Jährliche Kosten	60'568 Fr./a	
Wärmegestehungskosten	21.4 Rp./kWh	

Die Investitionskosten beinhalten wohl alle Fundationspfähle, nicht nur die energetisch genutzten Pfähle. Deshalb ergeben sich in diesem Fall, im Vergleich mit den anderen Anlagen, recht hohe Wärmegestehungskosten.

## THERMALBAD ENGIADINA, SCUOL GR

**Tabelle 3-4: Spezifische wirtschaftliche Analyse des Objektes in Scuol**

<b>Inputdaten</b>		
Quelle	BFE-Bericht	
Investitionskosten	901'000 Fr.	138'000 Fr. Wärmepumpen 498'000 Fr. Bohrungen + Erdwärmesonden 112'000 Fr. Anschlüsse 35'000 Fr. Grabarbeiten 20'000 Fr. Diverses 98'000 Fr. Honorare
Spez. Investitionskosten	3'003 Fr./kW	
Subventionen	200'000 Fr. 180'000 Fr.	BFE Kanton Graubünden
Lebensdauer	20 Jahre	im Bericht
Zins	5 %	im Bericht
Strompreis	6 Rp./kWh	im Bericht
Wartungskosten	2'500 Fr./a	
Stromverbrauch	499'963 kWh/a	Durchschnitt 1998-2003
Produzierte Wärmeenergie	1'193'258 kWh/a	Durchschnitt 1998-2003
<b>Geschätzte Wärmegestehungskosten dieser spezifischen Anlage</b>		
Kapitaldienst		
Ohne Subventionen	72'299 Fr./a	
Mit Subventionen	41'806 Fr./a	
Betriebskosten	32'498 Fr./a	
Totalle Jährliche Kosten		
Ohne Subventionen	104'797 Fr./a	
Mit Subventionen	74'304 Fr./a	
Wärmegestehungskosten		
Ohne Subventionen	8.8 Rp./kWh	
Mit Subventionen	6.2 Rp./kWh	

Es wird der Durchschnitt der letzten 5 Jahre für die produzierte Wärmeenergie berücksichtigt. Da sie kontinuierlich abnimmt, hat man höhere Wärmegestehungspreise als im zweiten Zwischenbericht, wo nur die ersten zwei Betriebsjahre analysiert wurden.

Im Vergleich zu den anderen Anlagen resultieren relativ tiefe Wärmegestehungskosten, einerseits wegen den tiefen (subventionierten) Strompreisen, anderseits wegen den relativ kleinen (in Bezug auf die hohe produzierte Energiemenge) Investitionskosten. Man muss aber beachten, dass die Anlage stark underdimensioniert ist. Die produzierte Energiemenge hat in den letzten Jahren ständig abgenommen. Die restliche Energie muss deshalb durch die Ölanlage erbracht werden (bivalente Anlage) und die hier berechneten Wärmegestehungskosten werden darum in Zukunft noch etwas ansteigen.

## SIEDLUNG SOLAR ONE, ITINGEN BL

**Tabelle 3-5: spezifische wirtschaftliche Analyse des Objektes in Itingen**

<b>Inputdaten</b>		
Investitionskosten	-	Keine Angaben
Spez. Investitionskosten	-	Nicht berechenbar
Subventionen	-	Keine Angaben
Lebensdauer	-	Keine Angaben
Zins	-	Keine Angaben
Strompreis	-	Keine Angaben
Wartungskosten	-	Keine Angaben
Stromverbrauch	25'475 kWh/a	
Produzierte Wärmeenergie	65'403 kWh/a	Durchschnitt aus 2 Betriebsjahren

Eine wirtschaftliche Analyse dieser Anlage ist nicht möglich, da die Daten nicht verfügbar sind (gemäß Auskunft des Bauherren).

## 3.2 VERGLEICH DER ANLAGEN

Die jährlichen Kosten der verschiedenen Anlagen sind untereinander nicht direkt vergleichbar, da sie unterschiedliche lokale Bedingungen widerspiegeln (z.B. verschiedene Strompreise und Zinse). Auch wurden verschiedene Lebensdauer unterstellt. Um die Energiegestehungskosten vergleichen zu können, wurden deshalb folgende Standard-Parameter angenommen:

- Strompreis: 15 Rp./kWh
- Lebensdauer: 30 Jahre
- Zins: 5 %
- Wartungskosten: 0 Fr.

Diese Werte entsprechen Standardwerte, die üblicherweise in der Wirtschaftlichkeitsanalysen verwendet werden.

Zum Vergleich der Anlagen werden neben den Wärmegegestehungskosten auch die Investitionskosten pro kWh berechnet (Faktor q):

$$q = \frac{\text{Investitionskosten}}{\text{produzierte Wärmeenergie und Kühlenergie}}$$

Die Tabelle 3-6 stellt den wirtschaftlichen Vergleich der Anlagen dar.

**Tabelle 3-6: Wirtschaftlicher Vergleich der Anlagen**

		Lugano	Fully	Lidwil	Scuol	Itingen
Heizleistung	[kW]	14	60	160	300	119
Kühlleistung	[kW]	10.6 <sup>1)</sup> 10.3 <sup>2)</sup>	47 <sup>1)</sup> 43.8 <sup>2)</sup>	107 <sup>2)</sup>	175 <sup>2)</sup>	93.7 <sup>1)</sup> 73.2 <sup>2)</sup>
Produzierte Wärmeenergie	[kWh/a]	30'745	87'891	283'667	1'193'258	65'403
Produzierte Kälteenergie	[kWh/a]	-	64'290	-	-	-
Strombedarf WP + Hilfsenergie	[kWh/a]	8'079	31'310	96'458	499'963	25'475
Investitionskosten	[Fr.]	54'400	210'000	574'490	901'000	Keine Angaben
Spez. Investitionskosten	[Fr./kW]	3'885	3'500	3'591	3'003	-
Kapitaldienst	[Fr./a]	3'539	13'661	37'371	58'611	Keine Angaben
Stromkosten	[Fr./a]	1'212	4'697	14'469	74'994	(3'821)
Wartungskosten	[Fr./a]	0	0	0	0	0
Jahreskosten	[Fr./a]	4'751	18'358	51'840	133'605	Keine Angaben
Energie-Gestehungspreis	[Rp./kWh]	15.5	12.1	18.3	11.2	Keine Angaben
Faktor q	[Fr./kWh/a]	1.8	1.4	2.0	0.8	-

Bemerkungen und Fussnoten:

**Heizleistung:** Die Heizleistung einer Wärmepumpe variiert je nach Betriebspunkt (Auslegepunkt). In den Berichten ist der Auslegepunkt nicht angegeben. Aus diesem Grund wird die Heizleistung der Wärmepumpe nach EN255 im Betriebspunkt B0W35, d.h. bei einer Soletemperatur (Brine) von 0°C und einer Heizkreistemperatur (Wasser) von 35°C angenommen.

**Kühlleistung:** Die Kühlleistung (Verdampferleistung) ist in den Berichten nicht vermerkt. Teilweise ist die COP (Coefficient of performance) oder die JAZ (Jahresarbeitszahl) ausgewiesen. Die Kühlleistung ist über diese Kennzahl von der Heizleistung heruntergerechnet. Die Jahresarbeitszahl (JAZ) ist immer schlechter als die COP, da bei der JAZ die Umwälzpumpenleistung noch mit eingerechnet ist. Die Kälteleistung fällt also etwas geringer aus. Dies entspricht auch der Realität, da der grösste Teil der Umwälzpumpenleistung als Wärme in der Sole anfällt.

- 1) Kühlleistung über die COP Zahl berechnet ( $Q_k = QH * (1 - 1/COP)$ )
- 2) Kühlleistung über die JAZ Zahl berechnet ( $Q_k = QH * (1 - 1/(JAZ))$ )

Es zeigen sich Wärmegestehungskosten zwischen 11 und 18 Rp./kWh. Der Objekt „Scuol“ zeigt die niedrigsten Wärmegestehungskosten. Diese Anlage hat im Vergleich mit den anderen Anlagen recht tiefe Investitionskosten im Bezug auf die produzierte Energie (sehr kleiner q-Wert). Wie aber

schon vermerkt, ist diese Anlage stark unterdimensioniert, sodass die produzierte Energiemenge jährlich abnimmt. Der Faktor q steigt deshalb jedes Jahr an. Die wirtschaftliche Analyse dieser Anlage stellt darum eine Momentanaufnahme dar, die sich mit der Zeit verschlechtert.

Die Anlage in Fully zeigt dann die nächst tieferen Wärmegestehungskosten. Die im Sommer durch *free cooling* produzierte Kühlenergie, welche nur die Verwendung der Zirkulationspumpe benötigt, verbessert die Wärmegestehungskosten beträchtlich. Auch die tiefen Investitionskosten bezüglich der jährlich produzierten Wärme- und Kühlenergie (Faktor q kleiner als in Lugano und Lidwil) zeigen die Güte einer solchen kompletten Anlage.

Die Anlagen in Lugano und Lidwil zeigen die höchsten Wärmegestehungskosten. Vor allem in Lidwil hat man recht hohe Investitionskosten bezüglich der produzierten Energie. Die Investitionskosten pro Energieeinheit (Faktor q) variieren zwischen 0.8 und 2.0 Fr./kWh.

### 3.3 VERGLEICH MIT KONVENTIONELLEN ANLAGEN

Für einen Vergleich der geothermischen Lösung mit konventionellen, fossilbefeuerten Systemen wird jeweils eine vergleichbare Ölesselanlage angenommen und damit die Wärmegestehungskosten der konventionellen Systeme berechnet.

Bei den Investitionskosten wurden für die verschiedene Komponente die Preise der nachfolgenden Firmen verwendet:

Kessel + Brenner:	Vescal SA, CH-1800 Vevey
Öltank:	Hoval Herzog AG, CH-8706 Feldmeilen
Kamin:	Giger Kaminbau, CH-9212 Arnegg
Klimaanlage:	CTA AG, CH-3110 Münsingen

Für den Öltank (inkl. Leckschutz) wurde in Funktion des Ölverbrauches jeweils die günstigste Variante im Bezug auf Tankvolumen/Füllungen gewählt. Zum Beispiel wurde bei Lugano und Ittingen der selbe Öltank gewählt, wobei es in Lugano nur einmal und in Ittingen zweimal pro Jahr nachgefüllt werden muss. Für den Öltank wurde das dafür benötigte Bauvolumen berücksichtigt. Es wurde dabei angenommen, dass für Wärmepumpe und Kessel ungefähr die gleiche Grundfläche benötigt würde.

Es wurden bei allen Komponenten die Installationskosten berücksichtigt.

Für die Berechnung der Jahreskosten wurden folgende Werte angenommen:

Strompreis:	15 Rp. / kWh	
Wirkungsgrad Heizkessel:	80%	Quelle BMG Engineering AG
Zins:	5 %	

Für die Berechnung der Kapitalkosten gemäss Annuitätmethode (siehe Kapitel 3) wurden die unterschiedlichen Lebensdauer der verschiedene Komponente berücksichtigt (siehe Tabelle 3-7). Weiter zeigt die Tabelle 3-8 die verwendeten Heizölpreise.

**Tabelle 3-7: Lebensdauer der Elemente einer Öl-Heizungsanlage (Quelle: www.erdoel.ch)**

<b>Heizkessel, Brenner, Steuerung und Regelung</b>	15 Jahre
<b>Tenk und Tankzubehör</b>	25 Jahre
<b>Tankraum</b>	35 Jahre
<b>Kaminanlage</b>	35 Jahre

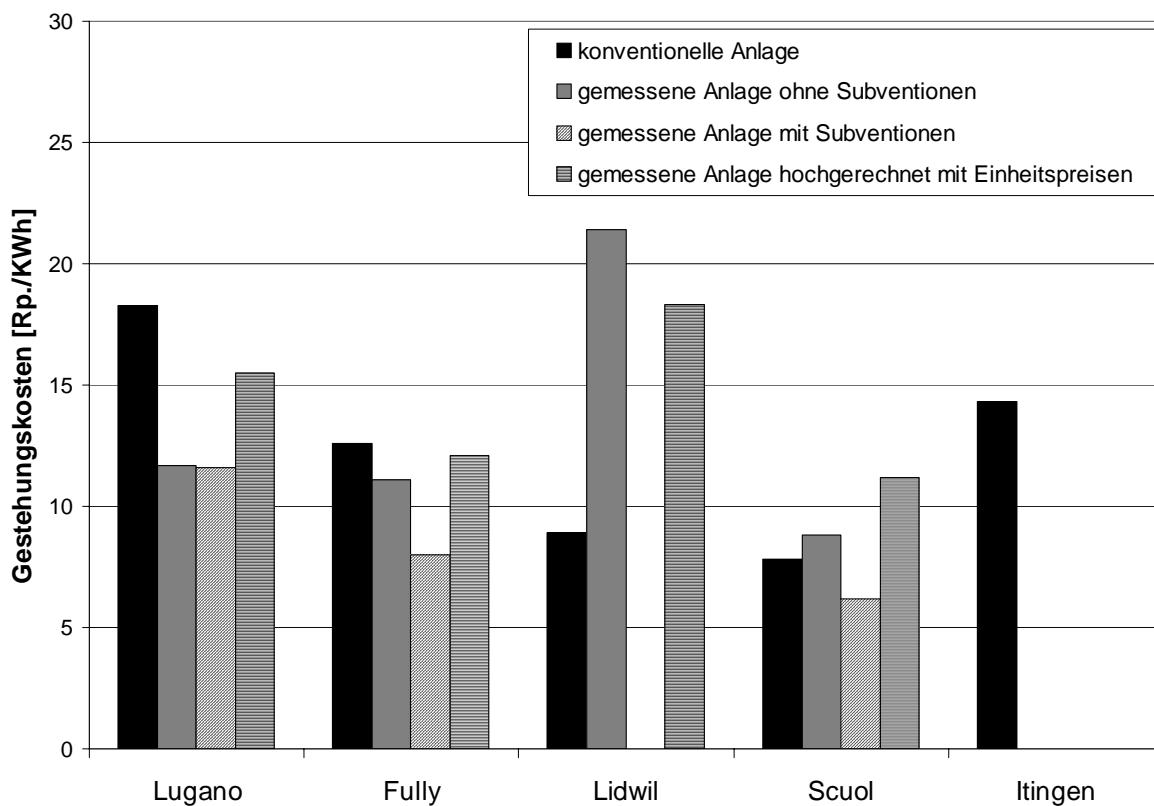
**Tabelle 3-8: Durchschnittliche Heizöl-Preise August 2004 (Quelle: Bundesamt für Statistik)**

<b>Ölmenge [Liter]</b>	3'000-6'000	6'000-9'000	9'000-14'000	14'000-20'000	über 20'000
<b>Preis [Fr./100 l]</b>	54.08	52.64	51.66	50.91	50.41

Schlussendlich stellt die Tabelle 3-9 die Berechnung der Energiegestehungspreis für die konventionelle Anlage dar. Die detaillierten Angaben sind in der Anhänge (Kapitel 6.2) angegeben. Die **Abbildung 3-1** stellt der Vergleich der Energiegestehungspreise vom geothermischen und konventionellen Anlage dar.

**Tabelle 3-9: Gestehungskosten für eine Heizkesselanlage (Fully inkl. Kältesatz)**

Investitionskosten Heizölkesselanlage (Kältesatz)					
	Lugano	Fully	Lidwil	Scuol	Ittingen
Leistung [kW]	14	60	160	300	88
Heizkessel und Kühlranlage[sFr.] 15J	7'858	59'779	20'862	42'510	17'302
Tank [sFr.] 25J	11'475	14'880	25'570	57'205	11'475
Tankraum/Kaminanlage [sFr.] 35J	21'999	33'051	55'080	101'652	29'516
Total [sFr.]	41'332	107'710	101'512	201'367	58'293
Jahreskosten Heizölkesselanlage (Kältesatz)					
	Lugano	Fully	Lidwil	Scuol	Ittingen
Heizenergie [kWh/a]	30'745	87'891	283'667	1'193'258	65'403
Verbrauchte Energie [kWh/a]	38'431	109'864	354'584	1'491'573	81'754
Ölverbrauch [l/a]	3'843	10'986	35'458	149'157	8'175
Hilfsenergie [kWh/a]	404	536	1'455	8'608	610
Kühlenergie [kWh/a]	-	26'021	-	-	-
Kapitalkosten [Fr./a]	2'915	8'834	7'188	14'362	4'284
Hilfsenergie (Kühlenergie) [Fr./a]	61	3'984	218	1'291	92
Ölkosten [Fr./a]	2'078	5'676	17'875	75'936	4'223
Wartung [Fr./a]	568	670	991	1'940	568
Total [Fr./a]	5'622	19'163	26'272	93'530	9'167
Gestehungskosten [Fr./kWh]	0.18	0.13	0.09	0.08	0.14



**Abbildung 3-1: Vergleich Wärmegestehungskosten.**

### 3.4 SCHLUSSFOLGERUNGEN DER WIRTSCHAFTLICHEN BEWERTUNG

Eine wirtschaftliche Analyse der Anlage war anhand der BFE-Messkampagnen-Berichte nicht möglich. Nur für das Objekt Scuol waren im Bericht wirtschaftliche Daten angegeben. Für die anderen Anlagen wurden die Bauherren kontaktiert. Es zeigte sich, dass die wirtschaftlichen Daten selten klar erfasst werden, sodass es dann schwierig ist die verschiedenen Anlagen zu vergleichen. Bei einigen Anlagen wird die Gesamtsumme der Investition ausgewiesen, bei anderen Teilsummen. Die Schnittstellen sind nicht klar definiert (Erdwärmetauscher, Solekreis, Wärmepumpe, Heizverteilung,...). Für den Vergleich mussten ziemlich viele Annahmen getroffen werden, welche die Analyse verfälschen konnte.

Für eine zuverlässige wirtschaftliche Analyse wäre es zu empfehlen, ein Musterformular zu erstellen. Ein solches Formular könnte von den Bauherren während des Anlageaufbaus ausgefüllt werden.

## 4 Umwelt-Analyse

Bei der Umweltanalyse wurde die Vermeidung von Luftschadstoff-Emissionen betrachtet. Dabei beschränkt sich die Analyse auf CO<sub>2</sub>; SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> wurden nicht weiter in Betracht gezogen. Bei der Analyse wir der Ölverbrauch der konventionellen Vergleichsanlagen bestimmt, und daraus die entsprechende CO<sub>2</sub>-Emission. Letzteres kann dank der Geothermie-Anlage eingespart werden.

Für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden die folgende Werte verwendet:

Primärenergiefaktor CH-Strom:	1	
CO <sub>2</sub> -Emissionen CH-Strommix:	0.022 Kg/kWh	Quelle BMG Engineering AG
CO <sub>2</sub> -Emissionen Heizöl:	0.24 Kg/kWh	Quelle BMG Engineering AG
Nutzungsgrad Ölkessel:	80 %	Quelle BMG Engineering AG

**Tabelle 4-1: Berechnung der CO<sub>2</sub>-Einsparung.**

CO <sub>2</sub> -Emissionen der geothermischen Anlage:					
		Lugano	Fully	Lidwil	Scuol
Produzierte Wärmeenergie	[KWh/a]	30'745	87'891	283'667	1'193'258
Elektrische Hilfsenergie	[kWh/a]	8'079	31'310	96'458	499'963
CO <sub>2</sub> – Emissionen	[t/a]	0.18	0.69	2.12	11.00
CO <sub>2</sub> -Emissionen einer Ölkesselanlage:					
		Lugano	Fully	Lidwil	Ittingen
Produzierte Wärmeenergie	[KWh/a]	30'745	87'891	283'667	1'193'258
Wärme Primärenergie	[KWh/a]	38'431	109'864	354'584	1'491'573
CO <sub>2</sub> –Emissionen (Heizöl)	[t/a]	9.22	26.37	85.10	357.98
Elektrische Hilfsenergie	[kWh/a]	404	23'975	1'455	8'608
CO <sub>2</sub> –Emissionen (Strom)	[t/a]	0.01	0.53	0.03	0.19
Summe CO <sub>2</sub> -Emissionen	[t/a]	9.23	26.89	85.13	358.17
CO <sub>2</sub> -Einsparung	[t/a]	9.05	26.21	83.01	347.17

Die jährlichen Einsparungen an CO<sub>2</sub>-Emission sind unterschiedlich, entsprechend der Anlagengrösse. Insgesamt sind sie jedoch signifikant.

## 5 Schlussfolgerungen, Ausblick

Das Ausgangsmaterial für die Erfolgskontrolle und Wirtschaftlichkeitsanalyse der ausgewählten Anlagen bestand aus den Messkampagnen-Berichten. Diese waren recht uneinheitlich (Umfang, Tiefe, Detaillierungsgrad). Insbesondere waren die Messgrößen, Messfrequenz sowie die Art der Datenauswertung und –darstellung unterschiedlich. Zudem liegen die Messkampagnen einige Jahre zurück; sie erstreckten sich über unterschiedlich lange Zeiträume.

Als Behelfsmittel wurden die technischen Daten zunächst in eine einheitliche Form gebracht (Standard-Auswerteformulare; siehe Anhang). Damit war eine systematische Kompilation, Aus- und Bewertung der Messkampagnen erst möglich. Alle untersuchten Anlagen haben während den Berichtsperioden in technischer Hinsicht gut funktioniert (COP-Werte um 3.0). Die Anlage Scuol/GR zeigt allerdings seit der Messkampagne eine stetige Abnahme der geothermischen Leistung. Bei der Anlage Ittigen könnte der Jahresstromverbrauch durch ein besseres Pumpenkonzept wesentlich verringert werden. Die starke Grundwasserpumpe ist für die Gesamtlast ausgelegt (4.8 l/s). Diese Leistung wird während dem Betrieb (auch bei Vollausbau) nur während einer beschränkten Zeit benötigt. Während dem grössten Teil des Jahres wird nur eine kleine Leistung (mehrstufige Wärmepumpen) benötigt. Über ein Reservoir könnte der Wasserverbrauch und damit der Stromverbrauch reduziert werden.

Die untersuchten Anlagen wurden auch einer Abklärung hinsichtlich Wirtschaftlichkeit unterzogen. In den Messkampagnen-Berichten enthielten aber nur ausnahmsweise auch wirtschaftlich relevante Daten. Diese mussten nachträglich zusammengetragen werden (so gut es ging). Für die Wirtschaftlichkeitsanalyse mussten viele Annahmen getroffen werden, was die Aussagekraft der Resultate sicherlich beschränkt.

Die Wärmegestehungspreise variieren von Anlage zu Anlage und liegen im Bereich von 9 bis 18 Rp./kWh. Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden mit und ohne Berücksichtigung von Subventionen durchgeführt; es ergeben sich entsprechende Preisdifferenzen.

Es wurde auch ein Vergleich mit konventionellen Anlagen gleicher Grösse (=Ölheizung) erstellt. Der Vergleich mit konventionellen, fossilbefeuerten Systemen zeigt, wie dies auch zu erwarten war, mehrheitlich höhere Wärmegestehungskosten für die geothermischen Anlagen.

Schliesslich wurde abgeschätzt, wie viel CO<sub>2</sub>-Emission durch den Betrieb der untersuchten Anlagen eingespart werden kann. Die gesamte CO<sub>2</sub>-Einsparung der fünf Anlagen ist mit 485 t/a nicht spektakulär, aber immerhin signifikant.

Sollten auch künftig Messkampagnen an geothermischen Anlagen durchgeführt werden, so sollten diese nach einheitlichen Vorgaben zur Durchführung gelangen. Dies muss sowohl für die technische wie auch für die wirtschaftliche Datenerfassung gelten. Zudem soll die Art, Umfang und Tiefe der Berichterstattung definiert werden. Angesichts der Vielfalt und Weiterentwicklung von geothermischen Nutzungsanlagen in der Schweiz (neuerdings auch für die Raumkühlung) wären weitere Messkampagnen unerlässlich. Nur so kann eine gesicherte Erfolgsbewertung erstellt werden.

Sollten finanzielle Mittel verfügbar sein, so sollten die weiteren zahlreichen Messkampagnen ebenfalls nach dem vorgeschlagenen Verfahren analysiert und bewertet werden. Dabei kann auf die neue SIA-Norm 480 „Wirtschaftlichkeitsberechnung für Investitionen im Hochbau“ Bezug genommen werden.

**Verdankung:** wir danken den Projektbegleiter Dr. H. Goran (Lenzburg) für sein stetes Interesse und für wertvolle Anregungen. Ebenso danken wir Herrn J. Wilhelm (Pully) für zahlreiche Hinweise.

## 6 Anhänge

### 6.1 AUSWERTEFORMULARE

CASA FERRARI, LUGANO TI

<b>A1) Bericht</b>	
Objekt	Casa Ferrari Lugano TI, Einzeln-EWS.
Art	Zwischenbericht Dezember 2002.
Berichtersteller	Daniel Pahud und Milton Generelli, LEEE-DCT-SUPSI Trevano-Canobbio Bernard Lachal, CUEPE-Université de Genève, Carouge
Dauer der Messkampagne	März 2001 – März 2003
<b>A2) Gebäude</b>	
Nutzungsart	Wohnungs- und Bürogebäude
Grösse	Keine Angaben
Bauherr	Ing. Luigi Ferrari, GTI-SSES Strada Regina 4, 6900 Lugano Tel.: 091 9945636 E-mail: fondazione@uomonatura.ch
<b>A3) Geologie</b>	
Keine Angaben	

<b>B1) Informationen Heizungsanlage</b>	
Regelungskonzept, Verteilung, Typ	Heizung durch EWS/WP-System, Warmwasser durch Sonnenenergie, bivalentes System. Die von den Sonnenkollektoren produzierte überflüssige Energie wird durch die EWS im Boden abgeladen.
Heizleistungsbedarf	Keine Angaben.
Zusätzliche Energiezahlen	ca. 200 m <sup>2</sup> beheizte Fläche.
Art der Beheizung (Radiatoren, Fußboden, ...)	Keine Angaben.
Wärmepumpen Eigenschaften	1 WP (14 kW, B0/W35), nur für Gebäudeheizung.
Zusatzeheizung	7.8 m <sup>2</sup> Sonnenkollektoren für Warmwasser.
Pufferspeicher	keine
<b>B2) Quelle</b>	
EWS	3 EWS, Länge = je 80 m, Distanz zwischen jede EWS ca. 8 m. Bohrlochs durchmesser = 11.3 cm, Duplex Sonden 32, Polyethylen. Hinterfüllung: Bentonit-Zement-Gemisch, Wärmeträger: Wasser mit Frostschutzmittel (33%).
Zuleitungen	In 1m Tiefe.

<b>C1) Messdaten (VLT: Vorlauftemperatur, RLT:Rücklauftemperatur)</b>		
<b>Grösse</b>	<b>Gemessen bzw. berechnet</b>	<b>Angegeben</b>
VLT und RLT Kältekreislauf	Ja, $\Delta t=5$ min	Durchschnittliche monatliche RLT (Eingang Verdampfer), nur graphisch.
VLT und RLT Heizkreislauf	Ja, $\Delta t=5$ min	Durchschnittliche monatliche VLT (Ausgang Kondensator), nur graphisch.
Durchfluss	Ja, $\Delta t=5$ min	Keine Angaben.
Von der WP produzierte Wärmemenge	Ja	Monatssumme (nur graphisch).
Stromaufnahme	Ja (Stromzähler), WP + Verdampferpumpe + Kondensatorpumpe (nur wenn die WP läuft), $\Delta t = 5$ min	Monatssumme (nur graphisch).
Betriebsstunden	Nein	Keine Angaben

<b>C2) Spezialitäten</b>		
Zusätzlich werden gemessen: Temperatur Eingang EWS (nach Einspeisung aus Sonnenkollektor), Außentemperatur.		

<b>C3) Messstellen</b>		
Temperatur am Eingang und Ausgang Verdampfer, Temperatur am Eingang und Ausgang Kondensator, Durchfluss am Eingang EWS und Eingang Kondensator		

<b>C4) Resultate</b>		
Messperiode	1.8.2001-31.7.2002	
VLT/RLT Kältekreislauf zu Beginn Heizperiode [°C]	Durchschnittliche monatliche Temperatur am Eingang Verdampfer September 2001: $\sim+11^{\circ}\text{C}$ September 2002: $\sim+11^{\circ}\text{C}$	
Von der WP produzierte Wärmeenergie [kWh]	30'745	
Stromverbrauch [kWh]	WP UP Total	7'456
		644
		8'100
Wärmemenge aus Boden [kWh]	23'760	
COP	Ohne UP Mit UP	4.1
		3.8
Laufzeit [h]	Keine Angaben	

<b>D1) Investitionskosten</b>		
<b>Total</b>	Keine Angaben	
Nichtamortisierbare Investitionen	Keine Angaben	
Subventionen	Keine Angaben	
<b>D2) Betriebskosten Geothermie</b>		
Kapitalkosten	Keine Angaben	
Stromkosten	Keine Angaben	
Wartungskosten	Keine Angaben	
Zählermiete, Gebühren, Versicherung, etc.	Keine Angaben	
<b>Total</b>	Keine Angaben	
<b>D3) Kosten Messkampagne</b>		
Keine Angaben		
<b>D4) Wärmegestehungskosten</b>		
Keine Angaben		

<b>E) Ziel und Erkenntnisse der Messkampagne gemäss Bericht</b>		
Zielsetzung	Messung der energetischen Leistung der EWS und der WP. Analyse der partiellen Wiederaufladung des Untergrundes. Bestimmung des energetischen Bilanz der EWS und WP. Detaillierte Datenregistrierung ( $\Delta t=5\text{min}$ ).	
Erfolg / Erkenntnisse	Die vom Hersteller versprochene thermische Leistungen der WP wurden tatsächlich überprüft. Die Anlage hat schon vom Anfang an optimal funktioniert. Kein einziger gemessener Wert fehlt oder ist unbrauchbar.	

## SCHULHAUS VERS-L'EGLISE, FULLY VS

<b>A1) Bericht</b>	
Objekt	Schulhaus Vers l'Eglise / Fully, Energiepfähle.
Art	Schlussbericht, Juni 2001.
Berichtersteller	Michel Bonvin und Patrice Cordonier, Haute école valaisanne (HEVs) Route du Rawyl 47, 1950 Sion
Dauer der Messkampagne	1.1.2001 – 30.5.2002
<b>A2) Gebäude</b>	
Nutzungsart	Schulgebäude
Grösse	3 Stockwerke
Bauherr	Gemeinde Fully, 1926 Fully VS, Kontakt: Ing. Camille Ancay, Tel. 027 6063820
<b>A3) Geologie</b>	
Keine Angaben	

<b>B1) Informationen Heizungsanlage</b>	
Regelungskonzept, Verteilung, Typ	WP-System um Minergie-Standard zu erreichen. Bivalentes system (WP-System durch Lüftungssystem vervollständigt).
Heizleistungsbedarf	92'225 kWh/Jahr
Zusätzliche Energiezahlen	Energetische Referenzfläche = 2'635 m <sup>2</sup> , Geheizte netto Volumen = 7'018 m <sup>3</sup> Heizleistung = 60 kW, Kühlung (Einspeisung in Pfähle) = 50'000 kWh/Jahr
Art der Beheizung (Radiatoren, Fussboden, ...)	Heizung und Kühlung durch Ausstrahlung aus Zimmerdecke (aktive Fussbodenplatte mit sehr tiefer Vorlauftemperatur).
Wärmepumpen Eigenschaften	4 WP Serienschaltung
Zusatzzheizung	Kontrollierte weiche Lüftung durch Plattenrekuperator und Lufterdregister (duit canadien) 4000 m <sup>3</sup> /h. Elektrische Zusatzheizung möglich (E-Einsatz in Pufferspeicher).
Pufferspeicher	700 l
<b>B2) Quelle</b>	
Energiepfähle	41 von 118 Pfählen als Energiepfähle ausgerüstet. 25 x Ø 200/350 mm, 16 x Ø 300/450 mm (Total 118). Durchschnittliche Tiefe = 23.2 m (Tot. Länge = 950 m). EWS: Duplex PE 25, q = 310 l/h, Hinterfüllung = feuchter Sand. Zu versorgende Heizleistung = 65 W/m. Maximale entzogene Leistung = 50 W/m. Zu versorgende Heizenergie = 97 kWh/m. Entzogene Energie = 75 kWh/m.
Zuleitungen	Isolierte Zuleitungen.

<b>C1) Messdaten</b>		
Grösse	Gemessen bzw. berechnet	Angegeben
VLT und RLT Kältekreislauf	Ja, $\Delta t = ?$	Keine Angaben
VLT und RLT Heizkreislauf	Ja, $\Delta t = ?$	Keine Angaben
Durchfluss	Nein	Kein Angaben
Von der WP produzierte Wärmemenge	Ja (Heiz- oder Kühlungsenergie)	Monatswerte
Stromaufnahme	Ja (Stromzähler), Strom für WP, Solekreislauf-Pumpe und für die Zusatzheizung des Pufferspeichers separat gemessen.	Monatswerte
Betriebsstunden	Ja	Nur zwischen 2.2.2001 und 4.5.2001 (Gebäude nicht bewohnt)

<b>C2) Spezialitäten</b>		
Zusätzlich wurden gemessen: Aussentemperatur, 2 Raumtemperaturen, 6 Temperaturen Lüftungssystem, 2 Lufteintritt-Temperaturen im Gebäude, Elektrische Energie Lüftung, Anzahl Einschaltungen jede WP.		

<b>C3) Messstellen</b>		
Plan mit allen Messstellen im Bericht vorhanden.		

<b>C4) Resultate</b> (werden pro Winter- (2) und Sommersaison (1) zusammengefasst)		
Messperiode	WP	Oktober-Mai 2002 (Gebäude bewohnt)
VLT/RLT Kältekreislauf zu Beginn Heizperiode	UP	Keine Angaben
Von der WP prod. Wärmemenge [kWh]	Total	86'841.2
Stromverbrauch [kWh]	WP	18'859.9
	UP	4'595.0
	Total	23'454.9
Wärmemenge aus Boden [kWh]		63'386.3
COP		3.7
Laufzeit [h]		Keine Angaben

<b>D1) Investitionskosten</b>		
Total		Keine Angaben
Nicht amortisierbare Investitionen		Keine Angaben
Subventionen		Keine Angaben

<b>D2) Betriebskosten Geothermie</b>		
Kapitalkosten		Keine Angaben
Stromkosten		Keine Angaben
Wartungskosten		Keine Angaben
Zählermiete, Gebühren, Versicherung, etc.		Keine Angaben
Total		Keine Angaben

<b>D3) Kosten Messkampagne</b>		
Keine Angaben		

<b>D4) Wärmegestehungskosten</b>		
Keine Angaben		

<b>E) Ziel und Erkenntnisse der Messkampagne gemäss Bericht</b>		
Zielsetzung		Überwachung der Anlage
Erfolg / Erkenntnis		Gute Übereinstimmung der produzierten Energie mit dem Minenergie-Standard. Leistungsfähiges Wärmeversorgungssystem. Dimensionierung der EWS für die 4 Wärmepumpen leicht unterdimensioniert. Die Abstellung einer WP ist nötig, um zu tiefe Quellentemperaturen zu vermeiden.

## LIDWIL GEWERBE AG, ALTENDORF SZ

<b>A1) Bericht</b>	
Objekt	Lidwil Gewerbe AG, Altendorf SZ, Energiepfähle.
Art	Schlussbericht, Januar 1997.
Berichtersteller	H.P. Felder SACAC Hergiswil AG Seestrasse 65, 6052 Hergiswil
Dauer der Messkampagne	28.9.1993 – 30.9.1996
<b>A2) Gebäude</b>	
Nutzungsart	Industriegebäude
Grösse	Sechsstöckig, Grundriss $\approx 40 \times 50$ m, auf 155 Schleuderbetonpfählen mit Längen bis zu 26 m gebaut.
Bauherr	Lidwil Gewerbe AG, Altendorf SZ
<b>A3) Geologie</b>	
Locker gelagerte Schotterschicht über steil abfallendem Molassefels. GW-Strömung in östlicher Richtung mit ca. 3% Gefälle zum Zürichsee hin. GWS liegt bis zu 50 cm über Fundamentplatte.	

<b>B1) Informationen Heizungsanlage</b>	
Regelungskonzept, Verteilung, Typ	3 Wärmepumpen decken den gesamten Heizleistungsbedarf, monovalentes System.
Heizleistungsbedarf	160 kW
Zusätzliche Energiezahlen	Keine Angaben
Art der Beheizung (Radiatoren, Fussboden, ...)	Keine Angaben
Wärmepumpen Eigenschaften	3 WP parallel an den Hauptverteiler angeschaltet, möglicher Stufenbetrieb.
Zusatzeheizung	Keine
Pufferspeicher	keine
<b>B2) Quelle</b>	
Energiepfähle	120 von 155 Pfählen als Energiepfähle ausgerüstet. Gesamtlänge = 2'056,80 m, Duplex Sonden
Zuleitungen	Jeder Energiepfahl hat eine separate Zuleitung zum jeweiligen Verteiler (parallele Schaltung). Die Zuleitung ist nicht isoliert und liegt horizontal unter der Fundamentplatte (Energieaustausch mit Grundwasser).

<b>C1) Messdaten</b>			
<b>Grösse</b>	<b>Gemessen bzw. berechnet</b>	<b>Angegeben</b>	
VLT und RLT Kältekreislauf	Ja, $\Delta t = ?$	Monatlich	
VLT und RLT Heizkreislauf	Nein	Keine Angaben	
Durchfluss	Nein	Keine Angaben	
Von der WP produzierte Wärmemenge	Ja (Wärmezähler)	Monatssumme	
Stromaufnahme	Ja (Stromzähler), WP + Umwälzpumpe	Monatssumme	
Betriebsstunden	Nein	Keine Angaben	
<b>C2) Spezialitäten</b>			
-			
<b>C3) Messstellen</b>			
Wärmezähler unmittelbar vor dem Speicher installiert, Stromzähler in jeder WP installiert			
<b>C4) Resultate pro Heizperiode</b>			
Messperioden	1. Heizperiode (28.9.93 – 23.9.94)	2. Heizperiode (28.9.94-29.9.95)	3. Heizperiode (29.9.95-30.9.96)
VLT/RLT Kältekreislauf zu Beginn Heizperiode [°C]	6.0 / 11.0	5.8 / 10.6	5.9 / 10.8
Prod. Wärmemenge [kWh]	267'400	258'200	325'400
Stromverbrauch [kWh] WP + Umwälzpumpe	90'809	87'257	111'307
Wärmemenge aus Boden [kWh]	176'591	170'943	214'093
COP mit UP	2.9	3.0	2.9
Laufzeit [h]	Keine Angaben		

<b>D1) Investitionskosten *<sup>2</sup></b>	
Total	574'490 Fr.
Nichtamortisierbare Investitionen	Keine Angaben
Subventionen	Keine Angaben
<b>D2) Betriebskosten Geothermie *<sup>2</sup></b>	
Kapitalkosten	46'099 Fr./a
Stromkosten	14'469 Fr./a (15 Rp./kWh)
Wartungskosten	Keine Angaben
Zählermiete, Gebühren, Versicherung, etc.	Keine Angaben
<b>Total</b>	60'568 Fr./a
<b>D3) Kosten Messkampagne</b>	
Keine Angaben	
<b>D4) Wärmegestehungskosten *<sup>2</sup></b>	
Produzierte Wärmemenge	283'667 kWh/a
Jahreskosten	60'568 Fr./a
Wärmegestehungspreis	21.4 Rp./kWh

<b>E) Ziel und Erkenntnisse der Messkampagne gemäss Bericht</b>	
Zielsetzung	Überwachung der Anlage
Erfolg / Erkenntnisse	Die Anlage funktionierte während dieser Zeit einwandfrei. Die Temperaturen des Untergrundes erholteten sich in den wärmeren Jahreszeiten jeweils wieder auf das ursprüngliche Niveau (Grundwasserfluss).

## THERMALBAD ENGIADINA, SCUOL GR

<b>A1) Bericht</b>	
Objekt	Bogn Engiadina Scuol, EWS-Feld.
Art	Schlussbericht, September 1997.
Berichtersteller	B. Kannewischer dipl.Ing.SIA Ingenieurbüro AG Chamerstrasse 54, 6300 Zug
Dauer der Messkampagne	August 1995 – August 1997
<b>A2) Gebäude</b>	
Nutzungsart	Thermalbad
Grösse	Bassinfläche insgesamt = 520 m <sup>2</sup> Gebäudekubatur nach SIA = 38'900 m <sup>3</sup>
Bauherr	Politische Gemeinde, 7550 Scuol
<b>A3) Geologie</b>	
Probebohrung: 0 bis 11m lockeres Moränenmaterial, 11 bis 150 m Bündnerschiefer (Kalk-, Sand-, Tonschiefern).	

<b>B1) Informationen Heizungsanlage</b>	
Regelungskonzept, Verteilung, Typ	Die EWS-WP-Anlage übernimmt die Grundlast, ein Ölheizkessel übernimmt die Spitzenlast, zudem Wärmerückgewinnung aus Ab- und Spülwasser. Bivalentes System.
Heizleistungsbedarf	Sommer 300 kW, Winter 880 kW
Zusätzliche Energiezahlen	Keine Angaben
Art der Beheizung (Radiatoren, Fussboden, ...)	Keine Angaben
Wärmepumpen Eigenschaften	5 Wärmepumpen (je 60 kW) Soltherm Typ 06 72 21, Stufenzahl 2 Heiznennleistung = 59.6 / 29.8 kW Kältenennleistung = 34.8 / 17.4 kW Aufnahmenennleistung = 24.8 / 12.4 kW Vorlauftemperatur = 55 °C Arbeitsmittel: R22 Wärmeträgerflüssigkeit: Antifrogen N
Zusatzeheizung	1 Ölheizkessel 700 kW 2 Wärmerückgewinnungs-WP 135 kW
Pufferspeicher	Zeitliche Ausgleich zwischen dem Anfall an Erdwärme und dem Wärmeverbrauch mittels technischem Speicher 25 m <sup>3</sup> .
<b>B2) Quelle</b>	
EWS-Feld	40 EWS (8 EWS pro WP), Länge je 150 m (Gesamtlänge 6000 m), Grundag Duplex Sonden 32 mm. Geometrie: ~10 x 10 m Gitter (Lageplan im Bericht). Auslegung anhand des Bandlast-Wärmebedarfes im Sommer.
Zuleitungen	Keine Angaben

<b>C1) Messdaten</b>		
<b>Grösse</b>	<b>Gemessen bzw. berechnet</b>	<b>Angegeben</b>
VLT und RLT Kältekreislauf	Ja, für jede WP	Wöchentlich (Momentanwert)
VLT und RLT Heizkreislauf	Ja, aller WP gemeinsam	wöchentlich (Momentanwert)
Durchfluss	Nein	Keine Angaben
Von der WP produzierte Wärmemenge	Ja (Wärmezähler)	wöchentlich + Monatssummen
Stromaufnahme	Ja (Stromzähler), WP inkl. Hilfsaggregate	wöchentlich + Monatssummen
Betriebsstunden	Ja, pro WP und Stufe	Monatssumme

<b>C2) Spezialitäten</b>		
Heizleistung und Stromleistungsaufnahme wöchentlich (Momentanwert) angegeben.		

<b>C3) Messstellen</b>		
Temperaturen Kälte- und Heizkreislauf werden im Gebäude gemessen.		

<b>C4) Resultate</b>		
Messperioden	1. Heizperiode August 95 – Juli 96	2. Heizperiode August 96 – Juli 97
VLT/RLT Kältekreislauf zu Beginn Heizperiode [°C]	-4 / +1	-4.5 / -0.5
Von der WP prod. Wärmemenge [kWh]	1'949'274	1'743'600
Stromverbrauch [kWh]	WP + UP 808'979	729'937
Wärmemenge aus Boden [kWh]	1'140'295	1'013'663
COP mit UP	2.4	2.4
Laufzeit [h]	7940 (6315.4 auf 2 Stufen)	7495.4 (5478 auf 2 Stufen)

<b>D1) Investitionskosten*</b>	
Wärmepumpen	138'000 Fr.
Bohrung und EWS	498'000 Fr.
Verrohrung	112'000 Fr.
Grabarbeiten	35'000 Fr.
Diverses	20'000 Fr.
Honorare	98'000 Fr.
<b>Total</b>	901'000 Fr.
Nichtamortisierbare Investitionen	Keine Angaben
Subventionen	380'000 Fr.

<b>D2) Betriebskosten Geothermie*</b>	
Kapitaldienst (20 Jahre, 5% Zins)	72'299 Fr./a
Stromkosten	46'167 Fr./a (6 Rp./kWh)
Wartungskosten WP	2'500 Fr./a
Zählermiete, Gebühren, Versicherung, etc.	Keine Angaben
<b>Total</b>	120'687 Fr./a

<b>D3) Kosten Messkampagne</b>	
Keine Angaben	

<b>D4) Wärmegestehungskosten*</b>	
Produzierte Wärmemenge	1'846'279 kWh
Jahreskosten	120'687 Fr./a
Wärmegestehungspreis	6.5 Rp./kWh

<b>E) Ziel und Erkenntnisse der Messkampagne gemäss Bericht</b>	
Zielsetzung	Nachprüfen ob durch Dauerbetrieb keine zunehmende Abkühlung des Untergrundes resultiert.
Erfolg / Erkenntnisse	Die EWS-WP liefert 53 % der benötigten Wärme. Während vier Jahren funktioniert die Anlage gut, obwohl die Sondentemperaturen und damit die WP-Leistung stetig ganz leicht sinken. Betriebsunterbruch im Frühjahr 1997. Die Leistungsgrenze des Sondenfeldes wird durch den Dauerbetrieb überschritten. Aufgrund dieser Erkenntnis wird in Zukunft im Sommer jede WP und die 8 dazugehörigen Erdwärmesonden während 4 Wochen zur Regeneration des Erdreichs ausgeschaltet.

## SIEDLUNG SOLAR ONE, ITINGEN BL

<b>A1) Bericht</b>	
Objekt	Siedlung Solar One, Itingen BL, Doubletsystem.
Art	Schlussbericht Februar 2002.
Berichtersteller	<p>Dr. M.O.Häring Häring GeoProjekt Im untern Tollacher 2, 8162 Steinmaur</p> <p>Thomas Leimer Häring Gruppe Schlossstrasse 3, 4133 Pratteln</p> <p>Severino Wahl Wahl Heizungen AG Gartenstrasse 2, 4416 Bubendorf</p>
Dauer der Messkampagne	1.9.1999 – 1.9.2001
<b>A2) Gebäude</b>	
Nutzungsart	Siedlung Wohnhäuser
Grösse	6 Wohneinheiten
Bauherr	
<b>A3) Geologie</b>	
OKT 347 m.ü.M	
16 m alluvialer Schotter, 2 m Moräne, 228 m Opalinuston, 64 m oberer Muschelkalk, dann mittlerer Muschelkalk	

<b>B1) Informationen Heizungsanlage</b>	
Regelungskonzept, Verteilung, Typ	2 WP für Heizbetrieb + WP für Warmwasser. Monovalentes System.
Heizleistungsbedarf	Keine Angaben
Zusätzliche Energiezahlen	Gesamte beheizte Fläche = 981 m <sup>2</sup> (3x179 + 3x148 m <sup>2</sup> ).
Art der Beheizung (Radiatoren, Fussboden, ...)	Niedertemperatur Heizwände mit sehr kleinem Wasserinhalt. Dimensionierung 45/30 bei -8°C Aussentemperatur.
Wärmepumpen Eigenschaften	Für Heizbetrieb: 2 x WP 40 mit 2 Stufen 22kW/44kW. Für Warmwasser: WP 28, 31 kW.
Zusatzeheizung	Keine
Pufferspeicher	keine
<b>B2) Quelle</b>	
Doublet-System	<p>Bohrung 1: Förderbrunnen, vertikale Bohrung, 5 ½" Verrohrung bis oberen Muschelkalk, Tiefe = 310 m            Bohrung 2: Rückgabebrunnen, 28° geneigt Richtung Süden, 5 ½" Verrohrung bis in den oberen Muschelkalk, Teufe = 360 m, Tiefe = 327 m.</p> <p>Die Entfernung zwischen Rückgabe- und Förderbohrung ist an der Erdoberfläche um 30 m und in der Endtiefe um 185 m.            Volumenstrom = 4.8 l/s            Absenkung = 45 m            Ergiebigkeit = <math>0.1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}</math>            Konzession: Max. Entnahme = 5l/s, Max. Wärmeentzug = 12 K, Max Leistung der Quelle = 250 kW</p>
Zuleitungen	Keine Angaben

<b>C1) Messdaten</b>	
<b>Grösse</b>	<b>Gemessen/Berechnet, Angegeben</b>
VLT und RLT Kältekreislauf	Einzige-Info: konstant hohe Fördertemperatur
VLT und RLT Heizkreislauf	Keine Angaben
Durchfluss	Keine Angaben
Von der WP produzierte Wärmemenge	Jährliche kumulativer Verbrauch (Heizung + Warmwasser)
Stromaufnahme	Nur jährliche Durchschnitt (WP, Förderpumpe, Umformerpumpe, Heizungspumpen, Speicherpumpen)
Betriebsstunden	Jährliche Angaben
<b>C2) Spezialitäten</b>	
Geplante Energiebilanz für 12 Wohneinheiten, spezifischer Wärmeverbrauch [kWh/m <sup>2</sup> a]	
<b>C3) Messstellen</b>	
Die Wärmemessung der Heizung erfolgt in den einzelnen Häusern. Die Erfassung der Wärmemenge der Warmwasseraufbereitung erfolgt zentral beim Erzeuger. Die Warmwassermenge jedoch dezentral beim Konsumenten.	
<b>C4) Resultate</b>	
Messperiode	1.9.1999 – 1.9.2001
VLT/RLT Kältekreislauf	22 °C / 16°C (konstant)
Von der WP prod. Wärmemenge [kWh]	
Raumheizung	30'101
Warmwasser	27'012
Fernleitung	8'290
Total	65'403
Stromverbrauch [kWh]	
WP	13'815
Förderpumpe	8'780
Umformerpumpe	2'100
Speicherpumpe	780
Total	25'475
Wärmemenge aus Boden [kWh]	51'588
COP	
Nur WP	4.7
WP + Hilfsenergie	2.6
Laufzeit [h]	
WP für Raumheizenergie	1. Stufe = 1'830 h
WP für Warmwasseraufbereitung	920 h

<b>D1) Investitionskosten</b>	
<b>Total</b>	Keine Angaben
Nichtamortisierbare Investitionen	Keine Angaben
Subventionen	Keine Angaben
<b>D2) Betriebskosten Geothermie</b>	
Kapitalkosten	Keine Angaben
Stromkosten	Keine Angaben
Wartungskosten	Keine Angaben
Zählermiete, Gebühren, Versicherung, etc.	Keine Angaben
<b>Total</b>	Keine Angaben
<b>D3) Kosten Messkampagne</b>	
Keine Angaben	
<b>D4) Wärmegestehungskosten</b>	
Keine Angaben	

<b>Ziel und Erkenntnissen der Messkampagne gemäss Bericht</b>	
Zielsetzung	Betriebsüberwachung.
Erfolg / Erkenntnisse	Nachregulierungen mussten keine vorgenommen werden. Der Betrieb der WP-Anlage ist einwandfrei. Verunreinigungen im GW-Bereich sind nicht vorhanden.

## 6.2 BERECHNUNG ÖLKESSELANLAGE

INVESTITIONSKOSTEN		Ansatz	Lugano	Fully	Lidwil	Scuol	Itingen
			Oertli PURN 153E	De Dietrich 216- 1D Oertli OEN- 251LE	De Dietrich 308/II Oertli OEN-332LZ	De Dietrich 410 D/L Oertli OEN-441-2LZ	De Dietrich GTU GT306/II Oertli OEN-331LZ
<b>Heizen</b>	Heizkessel ohne Heizungsgruppen						
	Leistung [kW]		16-20	40-70	67-184	140-430	52-112
	Durchschnittsleistung [kW]		16	40	107	201	59
	Heizkessel ohne Heizungsgruppen [Fr.]		5'160	4'410	9'850	23'350	7'560
	Brenner [Fr.]		inbegriffen	2'575	4'980	8'480	3'710
	Schallschutzhülle [Fr.]		inbegriffen	1'475	1'515	2'685	1'515
	Installation Stunden		16	24	24	48	24
	Installation [Fr.]	110	1'760	2'640	2'640	5'280	2'640
	Inbetriebnahme, Kesselprobe[Fr.]		938	1'459	1'877	2'715	1'877
	Jährliche Ölmenge [Liter/a]		3'843	10'986	35'458	149'157	8'175
	Füllungen pro Jahr		2	2	2	3	2
	Öltankvolumen [Liter]		2'000	6'000	18'000	50'000	4'000
	Öltank mit Zubehör installiert [Fr.]		11'475	14'880	25'570	57'205	11'475
	Preis für gebauten Grund für Tank [Fr./m2]	3'000	15'366	23'171	42'237	83'979	15'366
	Kamin [Fr.]		4'000	4'500	6'500	7'500	5'500
	Kamindurchmesser [mm]		125	150	200	250	175
	angenommene Länge [m]		6	11	11	16	16
	Ummauerung [Fr.]		2'000	4'033	4'583	6'933	6'400
	ummauerter Raum [Fr.]	1'000	634	1'348	1'760	3'240	2'250
<b>Kühlen</b>	Klimaanlage [Fr.]		-	43'700	-	-	-
	Installation Stunden			32			
	Installation [Fr.]	110		3'520			

<b>BETRIEBSDATEN</b>		Lugano	Fully	Lidwil	Scuol	Ittingen
<b>Heizen</b>	Produzierte Wärmeenergie [kWh]	30'745	87'891	283'667	1'193'258	65'403
	Verbrauchte Energie [kWh]	0.80	38'431	109'864	354'584	1'491'573
	Ölverbrauch [Liter]	10	3'843	10'986	35'458	149'157
	Aufgenommene Leistung [kW]		0.21	0.25	0.55	1.45
	Betriebstunden [h]		1'922	2'186	2'646	5'937
	Hilfsenergie [kWh]		404	536	1'455	8'608
<b>Kühlen</b>	Produzierte Kälteenergie [kWh]		64'290			
	Aufgenommene Leistung		32.38			
	Betriebsstunden [h]		804			
	Aufgenommene Energie [kWh]		26'021			

<b>ZUSAMMENFASSUNG KOSTEN</b>	Zins	Lebensdauer	Stückpreis	Lugano	Fully	Lidwil	Scuol	Ittingen
Investitionskosten Heizkessel und Kühl Anlage [Fr.]	0.05	15		7'858	59'779	20'862	42'510	17'302
Investitionskosten Tank [Fr.]	0.05	25		11'475	14'880	25'570	57'205	11'475
Investitionskosten Tankraum/Kaminanlage [Fr.]	0.05	35		21'999	33'051	55'080	101'652	29'516
Total Investitionskosten [Fr.]				41'332	107'710	101'512	201'367	58'293
Kapitalkosten [Fr./a]				2'915	8'834	7'188	14'362	4'284
Hilfsenergie (15 Rp./kWh) [Fr./a]			0.15	61	3'984	218	1'291	92
Oelpreis gemäss Bundesamt für Statistik [Fr./100l]				54	52	50	51	52
Ölkosten [Fr./a]				2'078	5'676	17'875	75'936	4'223
Wartung und Revision [Fr./a]				568	670	991	1'940	568
Total Betriebskosten [Fr./a]				5'622	19'163	26'272	93'530	9'167
<b>ENERGIEGESTEHUNGSPREIS [Fr./kWh]</b>				0.18	0.13	0.09	0.08	0.14

Zürich, den 23. September 2004

Simone Bassetti  
Ernst Rohner  
Prof. Dr. Ladislaus Rybach  
Dr. Souad Sellami