

Schlussbericht November 2003

„Wirtschaftlichkeitsermittlung einer Sondenisolation im obersten Abschnitt einer Erdwärmesondenanlage“ Otelfingen ZH

ausgearbeitet durch
Dr. Mark Eberhard
EBERHARD & Partner AG
Schachenallee 29, 5000 Aarau

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	1
SUMMARY	1
1. AUFTRAG / EINLEITUNG	1
2. AUSGANGSLAGE / ZIEL	2
3. AUSLEGUNGSDATEN	2
4. ENERGIE	3
5. GEOLOGIE / HYDROGEOLOGIE	3
6. MESSKONZEPT / MESSINSTALLATION	3
7. MESSRESULTATE	4
7.1 Temperaturverhältnisse in den Sonden (Primärkreislauf)	4
7.2 Temperaturverhältnisse im Wärmekreislauf (Sekundärkreislauf)	5
7.3 Aussentemperaturverhältnisse	5
7.4 Wärmezähler	6
7.5 Stromverbrauchszähler	6
7.6 Betriebsstunden	7
7.7 Zählerstände der (EGO)	7
7.8 Zählerstände (EGO) verglichen mit den Messungen	8
8. JAHRESARBEITSZAHL	8
9. EFFEKTIVER WÄRMEENTZUG AUS DEN SONDEN	8
10. SOLL – IST VERGLEICH	9
11. WIRTSCHAFTLICHKEITSANALYSEN	9
12. BETRIEBSERFAHRUNG	9
13. SCHLUSSFOLGERUNGEN	9
GRUNDLAGEN / LITERATUR	10
ANHANG	10
BEILAGEN	11

Zusammenfassung

Der Vergleich einer in den obersten 20 m der Erdwärmesonde isolierten Wärmepumpenanlage in einem Doppel Einfamilienhaus in Otelfingen (ZH) mit einer nicht-isolierten Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlage in einem Doppel Einfamilienhaus am gleichen Ort, mit gleicher Exposition, Sondenlänge und gleichem Hausausbau lässt erkennen, dass das isolierte System effizienter arbeitet und sich eine Kostenersparnis bei den Betriebskosten von rund 106.-- Fr. pro Jahr ergibt. Effekte wie unterschiedlicher Wasserdurchfluss in den Sonden, unterschiedliche Vorlauftemperaturen im Heizkreislauf, unterschiedlicher Wärmebezug und somit das unterschiedliche Verbraucherverhalten wurden dabei ausgeschaltet.

Bei einer Kosten-Nutzen-Analyse wurden die bei der zusätzlichen Isolation anfallenden Mehrkosten der Kosteneinsparnis bei den Betriebskosten gegenübergestellt und unter Einbezug einer Verzinsung von 5 bzw. 8% eine Amortisation der zusätzlichen Erstinvestitionen in 15 bzw. 18 Jahren errechnet.

Summary

A comparison between an insulated geothermal heatpump system (insulation up to 20 m depth) in a semi-detached house in Otelfingen (ZH) with a non-insulated system at the same location with the same exposition, tube length and standard of the house leads to the conclusion, that the insulated system works more efficiently and, thus, results in an annual cost saving of 106.-- Fr.. Effects such as different waterflow in the tubes, different temperatures in the heat system, different consumption of heat and, therefore, the different consumer behaviour were excluded.

In the cost-benefit analysis the additional costs of the insulation was compared with reduced running costs of the heatpump. At 5 or 8% interest we got an amortisation of the initial costs in 15 or 18 years.

1. AUFTRAG / EINLEITUNG

Aufgrund unseres Gesuches vom 23. Dezember 1998 wurde uns mit Verfügung vom 19. Januar 1999 vom Bundesamt für Energie (BFE) der Auftrag zur Durchführung des vorgeschlagenen Messkonzeptes mit der dafür notwendigen zusätzlichen Anlageninstallation erteilt. In einem umfassenden ersten Zwischenbericht im Januar 2001 wurden die bis dato erhobenen Daten interpretiert und erste Schlussfolgerungen daraus gezogen. In einem kurz gefassten zweiten Zwischenbericht vom Dezember 2001 wurden weitere Daten und Auswertungen dargelegt, auf die fehlerhafte Datenerfassung der Wärmezähler hingewiesen sowie die Umrüstung auf digitale Datenerfassung und eine weitere Beobachtung von einem halben Jahr beantragt. Im hier vorliegenden Schlussbericht werden die erhobenen Daten abschliessend beurteilt.

2. AUSGANGSLAGE / ZIEL

Wie im Gesuch vom 23. Dezember 1998 ausgeführt, ist bei den herkömmlichen Erdwärmesonden-Anlagen vor allem der oberste Abschnitt der Sonde ein Schwachpunkt. Einerseits erfolgt in diesem Bereich der grösste Wärmeaustausch schon vor der Wärmepumpe, da der Vor- (hohe Temperaturen) und Rücklauf (tiefe Temperaturen) der Sonde nahe beieinander liegen. Andererseits ist der oberste Abschnitt des Erdreiches bis in ca. 12 m Tiefe stark durch die Oberflächentemperaturen geprägt, so dass - gerade im Winter, wenn hohe Temperaturen zur Beheizung des Gebäudes gebraucht werden - hier erst recht tiefe Temperaturen vorliegen. Ziel des Projektes war es nun, diese Schwachpunkte der Sondenanlage auszuräumen, indem man bis in eine Tiefe von 20 m sowohl den Vor- wie auch den Rücklauf der Sonde isolierte. Um sowohl einen Effizienzvergleich gegenüber einer konventionellen Sondenanlage, als auch einen Kostenvergleich von Erstinvestitionen und den laufend anfallenden Betriebskosten zu erhalten, wurde im Gegenzug im gleichen Zeitraum eine konventionelle, d.h. nicht isolierte Sondenanlage mit gleicher Exposition und Tiefenlage der Sonde überwacht. Bei dem vom Architekturbüro Roman Martin AG, Schlieren geplanten Objekt „Überbauung Ellenberg-/Gräbernstrasse“ in Otelfingen ergab sich die ideale Gelegenheit zur Realisierung dieses Projektes.

3. AUSLEGUNGSDATEN

	Haus 1	Haus 3
Baujahr der Anlage:	1999	1999
Beheizte Fläche:	198 m ²	198 m ²
Wärmeverteilung:	Fussbodenheizung	Fussbodenheizung
Wärmeleistungsbedarf Brauchwarmwasser:	1.03 kW	1.03 kW
Wärmeleistungsbedarf Haus:	4.54 kW	4.54 kW
Wärmeleistungsbedarf Total:	5.57 kW	5.57 kW
Max. Heizleistung WP (bei S 0°C/ W +35°C):	8.3 kW	8.3 kW
Länge der EWS* (m):	220 m	220 m
Leistung EWS* (Verdampfer):	6.3 kW	6.3 kW
Leistung Kompressor (bei S 0°C/ W +35°C):	2 kW	2 kW
Leistung Kompressor (bei S 0°C/ W +65°C)**:	2.5 kW	2.5 kW
Leistung UP*** Sondenkreislauf:	160 W	160 W
Frostmittel im Sondenkreislauf:	kein	kein
Kältemittel:	R290 (Propan)	R290 (Propan)
Wärmepumpen Typ:	WPWE 8 kW	WPWE 8 kW
Fabrikat:	Stiebel Eltron	Stiebel Eltron
Planung/ Beratung/ Installation:	Roman Martin AG	Roman Martin AG

* EWS: Erdwärmesonde, ** Aufbereitung Brauchwarmwasser, ***UP: Umwälzpumpe

Bei der Überbauung handelt es sich um 3 Doppel Einfamilienhäuser, welche pro Doppel Einfamilienhaus mit je einer Erdwärmesonde von 220 m Tiefe ausgestattet sind. Ein Vor- respektive Rücklauf geht dabei in das eine und entsprechend ein Vor- bzw. Rücklauf in das andere Haus (Beilagen 1 - 4). Haus 1 ist isoliert und wird überwacht, Haus 3 ist nicht isoliert und wird ebenfalls überwacht. Die Überbauung befindet sich auf 470 m ü. M.. In jedes Haus

wurde nach dem Fertigstellen der Anschlüsse eine WPWE 8 kW Wärmepumpe der Firma Stiebel Eltron AG, Pratteln eingebaut (Beilage 4). Mit den Anlagen wird sowohl der Heiz- wie auch der Brauchwarmwasserbedarf abgedeckt.

4. ENERGIE

In der Periode Februar bis Mai 2002 (Beilage 17)	Haus 1	Haus 3
- Erbrachte Heizenergie (kWh):	5'217	5'116
- Genutzte Erdwärme (kWh):	3'894	3'551
- Stromverbrauch (nur WP*, kWh):	1'410	1'340
- Stromverbrauch (nur UP** Sondenkreislauf, kWh):	93	141
- Stromverbrauch (UP** und Ventilation***, kWh):	162	213
- Verluste (kWh):	342	129
- Betriebsstunden WP* (h):	602	674
JAZ (nur WP) inkl. Brauchwarmwasseraufbereitung:	3.70	3.82
JAZ (WP und UP) inkl. Brauchwarmwasseraufbereitung:	3.13	3.02

*WP: Wärmepumpe, **UP: Umwälzpumpe, *** Belüftung der Wärmepumpe (Beilage 21)

5. GEOLOGIE / HYDROGEOLOGIE

Die Überbauung mit den Bohrungen befindet sich auf dem Sonnenrain im nordöstlichen Teil von Otelfingen, an der Südflanke der Lägern (Beilage 1). Nach einem 4 m mächtigen Gehängelehm aus tonigem Silt verbleibt die Bohrung vorerst bis auf 20 m Tiefe in den sich hauptsächlich aus einem siltigen Kies aufbauenden Moränenablagerungen. Anschliessend folgen bis auf eine Tiefe von 110 m die Silt- und Sandsteine der Oberen Meeresmolasse. Es folgen bis zur Endtiefe auf 220 m die bunten Mergel- bis Siltsteine der Unteren Süsswassermolasse (Beilage 5). Ein Wassereintritt konnte lediglich auf einer Tiefe von 6 m festgestellt werden. Es handelt sich hier um Hangwasser.

6. MESSKONZEPT / MESSINSTALLATION

Nach dem Versetzen der bis in eine Tiefe von 20 m reichenden Erdwärmesondenisolation im Haus 1 (Beilage 6) wurden sowohl im Haus 1 als auch im unisolierten Haus 3 folgende Messinstallationen durchgeführt (Beilage 7):

Zur Erfassung der effektiven Temperaturen in 20 m Tiefe und unmittelbar vor und nach Eintritt in die Wärmepumpe wurde im Vorlauf des Primärkreislaufes je ein Temperaturfühler auf 20 m Tiefe und je einer unmittelbar vor Eintritt in die Wärmepumpe, sowie im Rücklauf ebenfalls je einer auf 20 m Tiefe und je einer unmittelbar nach Austritt aus der Wärmepumpe installiert. Im Wärmekreislauf wurde ebenfalls je ein Temperaturfühler im Vor- und je einer im Rücklauf versetzt. Des weiteren wurden zur Erfassung der effektiven Wärmeförderung je ein Wärmezähler im Primärkreislauf und je einer im Wärmekreislauf versetzt. Je ein Betriebsstundenzähler, ein Stromzähler bei den Wärmepumpen und ein Stromzähler bei den Förderpumpen ermöglichen es uns, eine detaillierte Übersicht über Stromverbrauch, Wärmeförderung und somit über die Leistungs- und Arbeitszahlen respektive über die alljährlich aufzuwendenden Betriebskosten sowohl der isolierten als auch der unisolierten Anlage zu

erhalten. In Kombination mit den Erstinvestitionen ergibt sich somit die Möglichkeit eines Kosten-Nutzen-Vergleichs der beiden Anlagen.

7. MESSRESULTATE

Bei den Messerhebungen wird bei der Wärmeregistration im Gegensatz zur Temperaturregistration (Messperiode vom 1.10.99 – 30.9.02) nur die Periode vom 1.2.2002 bis zum 31.5.2002 (Heizperiode) betrachtet. Die restlichen Werte sind aufgrund der schon in den früheren Berichten erläuterten Fehlregistration (unzuverlässige Wärmeregistration) nicht verwendbar. Dies trifft auch für den Stromverbrauch der Verdichter und Kreislumpen bzw. der Betriebsstundenzählung zu.

In der letzten Messperiode wurden die Daten der Wärmezähler mit digitalen Erfassungsgeräten gesammelt. Bei Haus 3 erfolgte erst ab dem Februar 2002 eine zuverlässige Wärmezählung.

Die Stromverbräuche der Kreislumpen im Sekundärkreislauf und der Ventilation wurden näherungsweise berechnet (vgl. Beilage 21 und Abschnitt 7.8).

7.1 Temperaturverhältnisse in den Sonden (Primärkreislauf)

Vorlauf

Der Vergleich der isolierten (Haus 1) zur unisolierten (Haus 3) Erdwärmesonde zeigt, dass die Temperaturen in 20 m Tiefe (d.h. vor Eintritt in die Isolation) bei Haus 1 während der Heizperioden mit $\varnothing$ 7.2°C rund 0.7 K unter jenen von Haus 3 lagen (Beilagen 15 und 8-11). In den Sommerperioden lagen die Temperaturen während der Warmwasseraufbereitung (WP-Betrieb) in 20 m Tiefe bei Haus 1 mit 11.1°C, 0.2 K tiefer als bei Haus 3.

Unmittelbar vor Eintritt in die Wärmepumpe lagen die Durchschnittstemperaturen in den Heizperioden im Haus 1 mit 7.1°C ca. 0.6 K tiefer als im Haus 3 (Beilage 15). In den Sommerperioden lagen die Temperaturen während der Warmwasseraufbereitung (WP-Betrieb) unmittelbar vor der WP bei Haus 1 mit 11.0°C, 0.1 K höher als bei Haus 3.

Rücklauf

Der Vergleich der isolierten (Haus 1) zur unisolierten (Haus 3) Erdwärmesonde zeigt, dass die Temperaturen in 20 m Tiefe (d.h. nach Austritt aus der Isolation) bei Haus 1 während der Heizperioden mit $\varnothing$ 3.1°C rund 1.8 K unter jenen von Haus 3 lagen (Beilagen 15 und 8-11). In den Sommerperioden lagen die Temperaturen während der Warmwasseraufbereitung (WP-Betrieb) in 20 m Tiefe bei Haus 1 mit 7.6°C, 1.0 K tiefer als bei Haus 3.

Unmittelbar nach Austritt aus der Wärmepumpe lagen die Durchschnittstemperaturen in den Heizperioden im Haus 1 mit 3.3°C ca. 1.9 K tiefer als im Haus 3 (Beilage 15). In den Sommerperioden lagen die Temperaturen während der Warmwasseraufbereitung (WP-Betrieb) unmittelbar nach der WP bei Haus 1 mit 7.5°C, 1.5 K höher als bei Haus 3.

Erkenntnis

Aus den hier dargestellten Temperaturverhältnissen lässt sich somit erkennen, dass im isolierten System trotz des gesamtheitlich höheren Stromverbrauchs und somit Wärmeentzugs aus der Sonde über den gesamten Zeitabschnitt von 1999 – 2002 in Haus 1

und 2 (Abschnitt 7.4, Beilage 21) innerhalb des isolierten Abschnitts während der Heizsaison nur rund 0.3 K verloren gehen. Im nicht isolierten System in Haus 3 gehen im gleichen Sondenabschnitt während der gleichen Zeitperiode rund 0.5 K verloren (Beilage 15).

Der Wasserdurchsatz in den Sonden war in Haus 1 während den Monaten Feb. – Mai 2002 Ø 22.6 l/min und in Haus 3 Ø 35.5 l/min. Daraus folgt, dass bei einem Rohrdurchmesser von 40 mm die Sole (Wasser) in Haus 1 die isolierte Strecke innerhalb von ca. 134 Sekunden durchströmt. In Haus 3 wurde der entsprechende hier nicht isolierte Abschnitt hingegen in 85 Sekunden durchströmt. In der Sonde von Haus 1 ist durch die langsamere Strömungsgeschwindigkeit somit ein höherer Temperaturverlust zu erwarten als bei der Sonde von Haus 3. In letzterer Sonde war der gemessene Temperaturverlust in den oberen 20 m (Beilage 15) aufgrund der Isolation jedoch geringer als jener in der unisolierten Sonde bei Haus 3.

Strecke von -20 m via WP bis -20 m	Haus 1	Haus 3
Temperaturverlust	0.3 K	0.5 K
Wasserdurchfluss*	22.6 l/min	35.5 l/min
Zeit für die Strecke (40 m)**	134 Sekunden	85 Sekunden

* Durchfluss $V = P / (\rho c \Delta T)$, P = Wärmeleistung, $\rho c = 4190 \text{ kJ/m}^3\text{K}$, ΔT = Temp. Vorlauf – Temp. Rücklauf

**Berechnet mit einem Rohrdurchmesser von 40 mm, Zeit $t = \Delta x / V$, $\Delta x = 40\text{m}$

7.2 Temperaturverhältnisse im Wärmekreislauf (Sekundärkreislauf)

Vorlauf

Die Vorlauftemperaturen im Wärmekreislauf von Haus 1 sind während der Heizperiode mit 49.3°C im Durchschnitt 3.3 K höher als jene von Haus 3 (Beilage 15 und 12-14).

Rücklauf

Die Rücklauftemperaturen im Wärmekreislauf von Haus 1 sind während der Heizperiode mit 41.6°C im Durchschnitt 2.5 K höher als jene von Haus 3 (Beilage 15 und 12-14).

Erkenntnis

In Haus 1 ist die Differenz von Vor- zu Rücklauf mit rund 7.7 K gegenüber knapp 6.9 K in Haus 3 um 0.8 K höher. Da der Ausbau der beiden Häuser identisch ist, lässt sich daraus schliessen, dass die Raumtemperaturen in Haus 1 höher liegen müssen. Hierfür spricht auch der höhere Wärmebezug von Haus 1 (Abschnitt 7.4).

7.3 Aussentemperaturverhältnisse

Die Aussentemperaturen lagen in den Sommermonaten (2000, 2001) im Bereich von 12-23°C (Tagesmittel), wobei der Sommer 2001 im Durchschnitt etwas wärmer ausfiel als der Sommer 2000 (Beilage 16). Die Übergangszeiten weisen Temperaturen zwischen 10-15°C auf. In den Wintermonaten wurden Temperaturen von durchschnittlich 0-10°C gemessen. Vereinzelt konnten auch Tageswerte unter Null registriert werden. Speziell im Dezember-Januar 2001-2002 schwankten die Temperaturen lange Zeit um die Marke von 0°C.

Der Winter 2001-2002 war kühler als die beiden vorangegangenen Winter der Versuchsperiode. Ansonsten ist der Aussentemperaturverlauf der drei Jahre (1999 – 2002) recht ähnlich (Beilage 16).

7.4 Wärmezähler

(Messperiode 1.2.02 – 31.5.02)

Primär- und Sekundärkreislauf (Beilagen 17 und 21)

Der Wärmezähler (Primärkreislauf) in Haus 1 weist in der Heizperiode vom 1.2.02 – 31.5.02 eine Summe von 3'894 kWh auf, während in Haus 3 3'551 kWh registriert wurden (Beilage 17 und 21). In Haus 1 (isolierte Sonde) wurden in der ausgewiesenen Periode somit dem Boden rund 343 kWh mehr Wärme entzogen als in Haus 3. Der entsprechende Verbrauchswert im Sekundärkreislauf beträgt in Haus 1 5'217 kWh und in Haus 3 5'116 kWh. In Haus 1 wurde bei einem entsprechend höheren Verlust somit mehr Wärme verbraucht als im Haus 3 (Beilage 17, 21, siehe auch Abschnitt 7.2). Bei Haus 3 konnte leider erst ab Februar 2002 mit zuverlässigen Daten gerechnet werden, da die zu behebenden Registrierprobleme (Wärmezähler) erst dann erfolgreich behoben werden konnten.

7.5 Stromverbrauchszähler

7.5.1 Verdichter

Die Werte der Verdichter der beiden Häuser zeigen auf, dass während des Zeitraumes (1.2.02 – 31.5.02) die Wärmepumpe im Haus 1 1'410 kWh und im Haus 3 1'340 kWh Strom verbraucht hat (Beilagen 17 und 21). Der Stromverbrauch der Wärmepumpe in Haus 1 ist somit um 70 kWh höher.

In Beilage 18b lässt sich erkennen, dass in Haus 1 das Temperaturniveau (Sekundärkreislauf) gesamtheitlich gesehen höher liegt als in Haus 3. Hinzu kommt, dass in Haus 1 die Brauchwarmwasseraufbereitung (Temperaturniveau zwischen 60 – 65°C) auf einen längeren Zeitraum ausgedehnt ist als in Haus 3. Hieraus resultiert ein höherer Strominput (Leistungsaufnahme) und somit eine höhere Verdichterleistung in Haus 1.

Ein Vergleich der gemessenen Stromverbräuche mit jenen, welche durch die jeweiligen Betriebsstunden und einer gemittelten Verdichterleistung ermittelt wurden, ergibt eine gute Übereinstimmung (siehe Tabelle unten).

Periode 1.2.02 - 31.5.02	Haus 1	Haus 3
Gemessener Stromverbrauch der Verdichter (kWh)	1'410	1'340
Verdichterleistung gemittelt (kW)	2.4	2.0
Betriebsstunden (h)	602	674
Berechneter Stromverbrauch der Verdichter (kWh)	1'445	1'348

7.5.2 Kreislumpumpen im Primärkreislauf

In der gesamten Messperiode (1.2.02 – 31.5.02) verbrauchte die primäre Kreislumpumpe im Haus 1 93 kWh und im Haus 3 141 kWh. Trotz des geringeren Wärmebezugs in Haus Nr. 3

lief dessen Kreislpumpe 34 % länger als jene von Haus 1 (Beilage 17, 21). Wie ein Kontrollgang vor Ort ergeben hat, ist dies darauf zurückzuführen, dass die Primärkreiselpumpe in Haus 3 auch dann lief, wenn die Wärmepumpe abgestellt war.

7.5.3 Kreislumpen im Sekundärkreislauf

Der Stromverbrauch in den Kreislumpen des Sekundärkreislaufes und des Ventilators in der Wärmepumpe (Sicherheitsvorschrift bei der Verwendung des Kältemittels Propan) wurde aufgrund des generell geringen Stromverbrauchs von derartigen Kreislumpen und Ventilatoren nicht separat erfasst. Wie sich jedoch herausstellte, machten diese Verbräuche einen grösseren Teil des Stromverbrauchs aus, als ursprünglich angenommen. Der Stromverbrauch wurde daher nachträglich anhand der Betriebsstunden und der unten aufgelisteten Leistungsdaten berechnet.

Pumpe / Ventilator	Leistung	Betriebszeit
Kreislumpe 1, WP* zu Speicher	30-60 W	Betrieb** während WP-Betrieb
Kreislumpe 2, WP* zu Speicher	30-60 W	Betrieb** während WP-Betrieb
Kreislumpe im Heizkreislauf	50-90 W	Dauerbetrieb**
Ventilation der WP*	90-120 W	Dauerbetrieb (Intervallschaltung)

*WP = Wärmepumpe, ** stufenreguliert

7.6 Betriebsstunden

Mit den Betriebsstundenzählern in Haus 1 und Haus 3 (Wärmezähler) lässt sich erkennen, dass die Wärmepumpe in der Periode 1.2.03 – 31.5.03 in Haus 3 rund 3 Tage (72 Stunden) länger lief als in Haus 1 (Beilagen 17 und 21). Vergleicht man die Einsätze der Wärmepumpen der Häuser, so ist auffallend, dass die Wärmepumpe in Haus 1 viele kurze Einsätze hatte (Beilage 18a) und die Wärmepumpe von Haus 3 weniger dafür längere Betriebseinsätze aufweist.

7.7 Zählerstände der (EGO)

7.7.1 Erfassungsperioden

Da die Elektrizitätsgenossenschaft Otelfingen (EGO) die Stromabrechnung in zwei Perioden pro Jahr stellt (1. April – 30. September und 1. Oktober – 31. März), werden Vergleiche mit den von uns gemessenen und berechneten Stromverbräuchen nur über diese Halbjahreszyklen gemacht (Beilagen 19, 20).

7.7.2 Periode (1.10.99-30.9.02)

Im Haus 1 wurden im entsprechenden Zeitabschnitt für die Aufrechterhaltung des Wärmepumpenbetriebs 15'461 kWh und im Haus 3 14'129 kWh verbraucht (Beilagen 19, 20). Haus 1 verbrauchte somit in diesen 3 Jahren rund 1'332 kWh mehr.

7.7.3 Kosten

Bei einem Niedertarif von Fr. 0.092 und einem Hochtarif von Fr. 0.141 ergeben sich wiederum über 3 Jahre gerechnet für Haus 1 Betriebskosten von Fr. 1'884.-- und für Haus 3 solche von Fr. 1'658.-- (Beilagen 19, 20). Im Vergleich wurde im Haus 2 13'292 kWh und im Haus 4 12'680 kWh Strom verbraucht. Dies bedeutet für Haus 2 ein Kostenaufwand von Fr. 1'612.-- und Haus 4 Fr. 1'462.-- (Beilagen 19, 20).

7.8 Zählerstände (EGO) verglichen mit den Messungen

Vergleicht man die Abrechnung der Elektrizitätsgenossenschaft Otelfingen (EGO) mit den gemessenen Stromverbrauchswerten von Verdichter und Kreiselpumpe im Primärkreislauf mit den von uns errechneten Stromverbräuchen im Sekundärkreislauf (Beilage 21), so wird ersichtlich, dass die Werte nur geringfügig variieren. Der verbleibende Fehlbetrag resultiert aus den von uns nicht effektiv gemessenen, sondern über die Betriebsstunden und Leistungsdaten ermittelten Stromverbräuchen im Sekundärkreislauf (vergleiche Abschnitt 7.5.3, Beilage 18b).

8. JAHRESARBEITSZAHL

Die Jahresarbeitsszahl konnte (aus Gründen die im Abschnitt 7.4 schon erläutert wurden) nur für die Periode vom Februar bis Mai 2002 berechnet werden. Für das Haus 1 (isoliert) ergeben die Messungen eine JAZ (WP) – JAZ nur mit Stromverbrauch der Wärmepumpe – von 3.70 und für das Haus 3 eine solche von 3.82 (Beilage 17, 21). Berechnet man die JAZ mit allen Stromverbräuchen so ergibt dies für Haus 1 3.13 und das Haus 3 3.02. Die JAZ (WP) bei Haus 1 ist, trotz der durch die Isolation effizienteren Erdwärmegewinnung, etwas kleiner als bei Haus 3. Dies ist auf die höhere Wärmeproduktion (weniger effiziente Wärmeerzeugung durch hohe Vorlauftemperaturen im Wärmekreislauf) zurückzuführen. Umgekehrt ist die gesamte JAZ für Haus 1 grösser als für Haus 3, da bei Haus 3 die Betriebseinstellung der Kreiselpumpen nicht ideal vorgenommen wurde.

9. EFFEKTIVER WÄRMEENTZUG AUS DEN SONDEN

Der gesamte Wärmeentzug in den Jahren 1999 – 2002 kann mittels den gemessenen Daten der Wärmezähler ermittelt werden. Die Sonde der Anlage im Haus 1 lieferte im Durchschnitt 12'673 kWh Wärme, diejenigen von Haus 3 10'724 kWh (Beilage 22).

Die Entzugsleistung pro Laufmeter Sonde, wurde aus den Daten der Periode vom Februar bis Mai 2002 ermittelt (vergleiche auch Beilage 21). Die Sonde bei Haus 1 erbrachte hierbei eine Entzugsleistung von 29.4 W/m jene von Haus 3 24.0 W/m. Aus diesen Werten wird ersichtlich, dass aus Sonde 1 (isoliert) rund 5 W pro Laufmeter Sonde mehr entzogen wird.

	Haus 1	Haus 3
Kälteleistung (kWh)	3'894	3'551
Betriebsstunden (h)	602	674
Sondenlänge (m)	220	220
Entzugsleistung* (W/m)	29.4	24.0

*Entzugsleistung = Wärmeentzug (Periode 2.02 – 5.02) / (Betriebsstunden x Sondenlänge)

10. SOLL – IST VERGLEICH

Die Firma Polydynamics Engineering, Zürich errechnete für die beschriebenen Häuser einen Wärmebedarf aus den Sonden von je 10'200 kWh/a und einen entsprechenden Stromverbrauch von 3'400 kWh/a. Nach unseren Berechnungen förderte die Sonde von Haus 1 12'673 kWh/a und jene von Haus 3 10'724 kWh/a. Die entsprechenden Stromverbräuche betragen in Haus 1 2'959 kWh/a und in Haus 3 2'651 kWh/a. Die Anlage läuft somit wesentlich besser als prognostiziert.

	Sollwert	Haus 1	Haus 3
Erdwärmesonden (kWh/a)	10'200	12'673	10'724
Stromverbrauch WP (kWh/a)	3'400	2'959	2'651

11. WIRTSCHAFTLICHKEITSANALYSEN

Die Mehrkosten für die Isolation der Erdwärmesonden bis in die Tiefe von 20 m belaufen sich auf Fr. 3026.-- (Beilage 22). Durch die Isolation können durch das effizientere Betreiben der Anlage Fr. 106.23 pro Jahr an Betriebskosten eingespart werden. Nach der Annuitätenrechnung (Beilage 22) ist die mit einer Isolation versehene Anlage bei einer Verzinsung von 5% in 18 Jahren bzw. bei 8% Verzinsung in 15 Jahren amortisiert.

Zur Berechnung der Annuität wurden die Stromkosten und die Heizwärme der beiden Häuser so aufeinander abgestimmt, dass das Verbraucherverhalten möglichst ausgeschlossen wurde (Beilage 22).

12. BETRIEBSERFAHRUNG

Die im Oktober 1999 in Betrieb genommenen Wärmepumpenanlagen der Häuser 1 – 4 wurden in der Anfangsphase für die Bauaustrocknung verwendet. Die Stromverbräuche sind in dieser Phase entsprechend hoch (Beilage 22). Da solche Anlagen auf Aussentemperaturen von minimal –8°C ausgelegt und somit die Sonden auf entsprechende Tiefen beschränkt sind, wurden die Sonden somit in der Anfangsphase zu stark beansprucht. Es zeigte sich, dass die in den Wärmepumpen installierten Frostwächter in dieser Anfangsphase die Wärmepumpen infolge zu kühler Rücklauftemperaturen einige Male abschalteten. Im zweiten und dritten Jahr verlief der Betrieb ohne weitere Störungen.

13. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Mit dem hier realisierten Forschungsprojekt konnte auf der einen Seite erkannt werden, dass eine Isolation der Erdwärmesonde bis in eine Tiefe von 20 m einen wesentlich geringeren Wärmeverlust aufweist als eine unisolierte Erdwärmesonde. Auf der anderen Seite liess sich mit der Gegenüberstellung der zusätzlichen Kosten für die Isolation und der Kostenersparnis bei den Betriebskosten je nach Zinssatz eine Amortisationszeit der zusätzlichen Erstinvestitionen von 15 bis 18 Jahren ermitteln.

GRUNDLAGEN / LITERATUR

- ▶ Gesuch an das BFE „Wirtschaftlichkeitsermittlung einer Sondenisolation im obersten Abschnitt einer Erdwärmesondenanlage“, Otelfingen ZH mit Verfügung des BFE vom 19. Januar 1999
- ▶ EBERHARD & Partner AG, „Wirtschaftlichkeitsermittlung einer Sondenisolation im obersten Abschnitt einer Erdwärmesondenanlage“, Otelfingen ZH, Januar 2001
- ▶ EBERHARD & Partner AG, Wärmepumpen-Anlage, Otelfingen (ZH), Zwischenbericht, Dezember 2001

ANHANG

Beilagen

Projektleitung: Dr. M. Eberhard

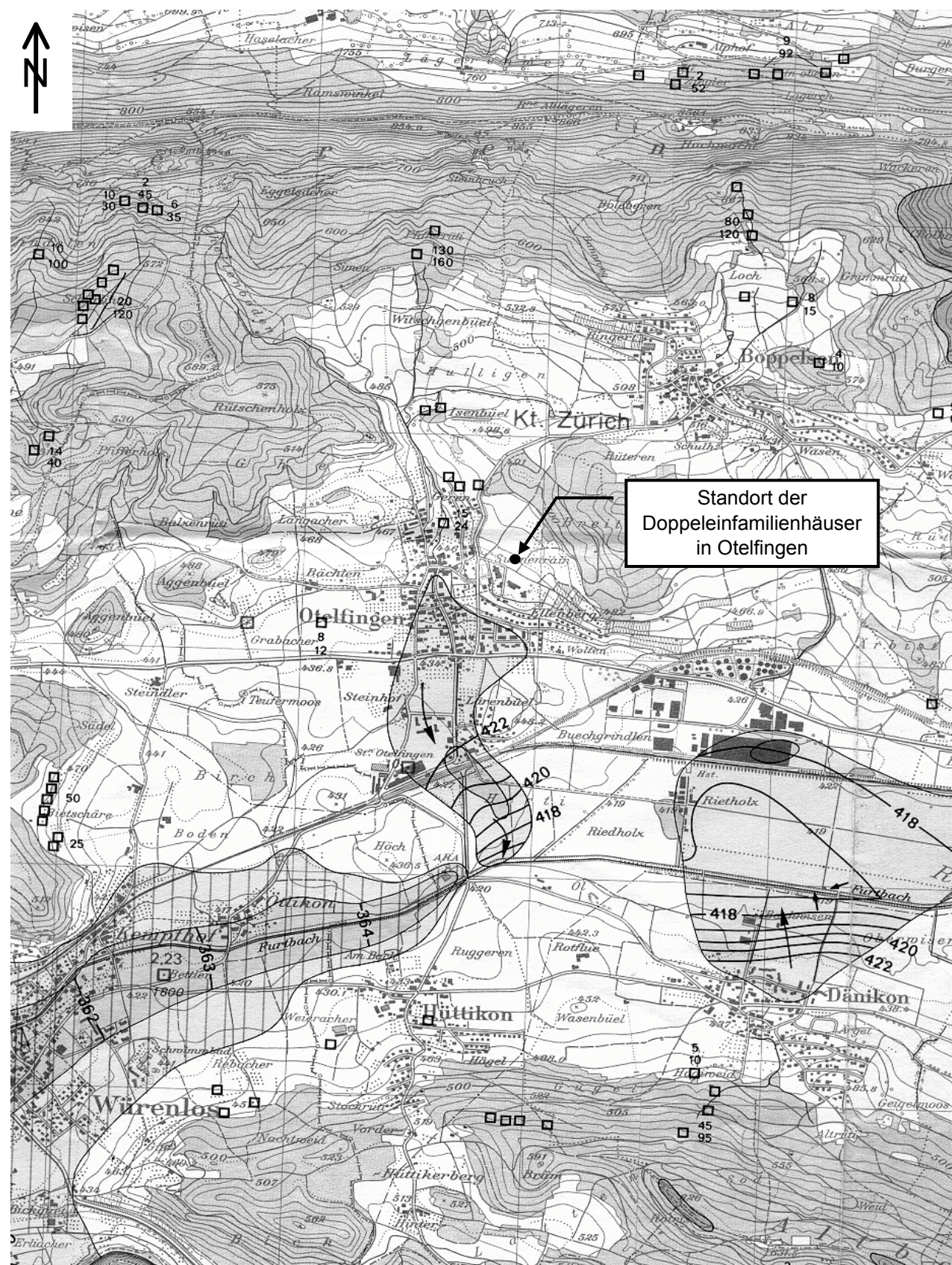
Aarau, 3. November 2003


EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

BEILAGEN

- 1 Ausschnitt aus der Grundwasserkarte des Kantons Aargau, Blatt Baden, Stand 1993 mit eingezeichnetem Standort der Anlage
- 2 Situation Überbauung Ellenberstrasse / Gräbernstrasse in Otelfingen, mit Lage der Bohrungen
- 3 Foto der Überbauung und Schematischer Schnitt durch die Erdwärmesondenanlage
- 4 Blick in die Anlage mit Wärmepumpe, Puffer, Expansionsgefässen und den Registriergeräten
- 5 Geologisches Profil mit realisiertem Ausbau der Bohrung
- 6 Erweitertes Bohrloch in den oberen 20 m mit den isolierten Erdwärmesonden
- 7 Übersicht über das Messkonzept (Anlagenschema)
- 8 Temperaturverhältnisse in den Sonden, Haus 1 verglichen mit Haus 3 (Monatsmittel)
- 9 Temperaturverhältnisse in den Sonden, Vergleich Vorlauf hoch mit Vorlauf tief der jeweiligen Häuser
- 10 Temperaturverhältnisse in den Sonden vor und nach WP der jeweiligen Häuser
- 11 Temperaturkreislauf in den Sonden von Haus 1 und Haus 3 (Monatsmittel)
- 12 Temperaturen im Sekundärkreislauf bei Haus 1 und Haus 3 (Monatsmittel)
- 13 Temperaturverhältnisse im Wärmekreislauf und Vergleich von Primär- und Sekundärkreislauf der jeweiligen Häuser (Monatsmittel)
- 14a Durchschnittliche Saison-Temperaturen im Primär- und Sekundärkreislauf bei Haus 1 und Haus 3 (Winter 1999/2000, Sommer 2000)
- 14b Durchschnittliche Saison-Temperaturen im Primär- und Sekundärkreislauf bei Haus 1 und Haus 3 (Winter 2000/2001, Sommer 2001, Winter 2001/2002)
- 15 Durchschnittliche Saison-Temperaturen im Primär- und Sekundärkreislauf bei Haus 1 und Haus 3
- 16 Aussentemperaturen, Tagesmittel und Monatsmittel
- 17 Wärmebilanz der Wärmepumpenanlage in Otelfingen, Haus 1 und Haus 3 der Periode Februar 2002 bis Mai 2002
- 18a Betriebsweise der Anlagen von Haus 1 und Haus 3. Betriebsstunden, Rücklauf-temperatur der Sole (Februar 02)
- 18b Betriebsweise der Anlagen von Haus 1 und Haus 3. Vorlauftemperatur im Heizkreislauf (4. - 10. Februar 02)
- 19 EGO Abrechnungsdaten (Elektrizitätsgenossenschaft Otelfingen) über die gesamte Messperiode vom 1.10.99 – 30.9.02
- 20 Energieverbrauch der Wärmepumpenanlagen (Stromabrechnung der EGO) von Haus 1 bis Haus 4 über die gesamte Messperiode vom 1.10.99 – 30.9.02 sowie die Aufteilung des Wärmebezugs auf Hoch- und Niedertarif
- 21 Aufstellung der Energieflüsse der Wärmepumpenanlage und ein Vergleich der EGO-Zählerstände mit dem Stromvergleich der Verdichter, der Umwälzpumpen und der Ventilation.
- 22 Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpenanlagen mit isolierten und unisolierten Sonden in den oberen 20 m der Bohrung

Ausschnitt aus der Grundwasserkarte des Kantons Aargau, Blatt Baden, Stand 1993



A 207

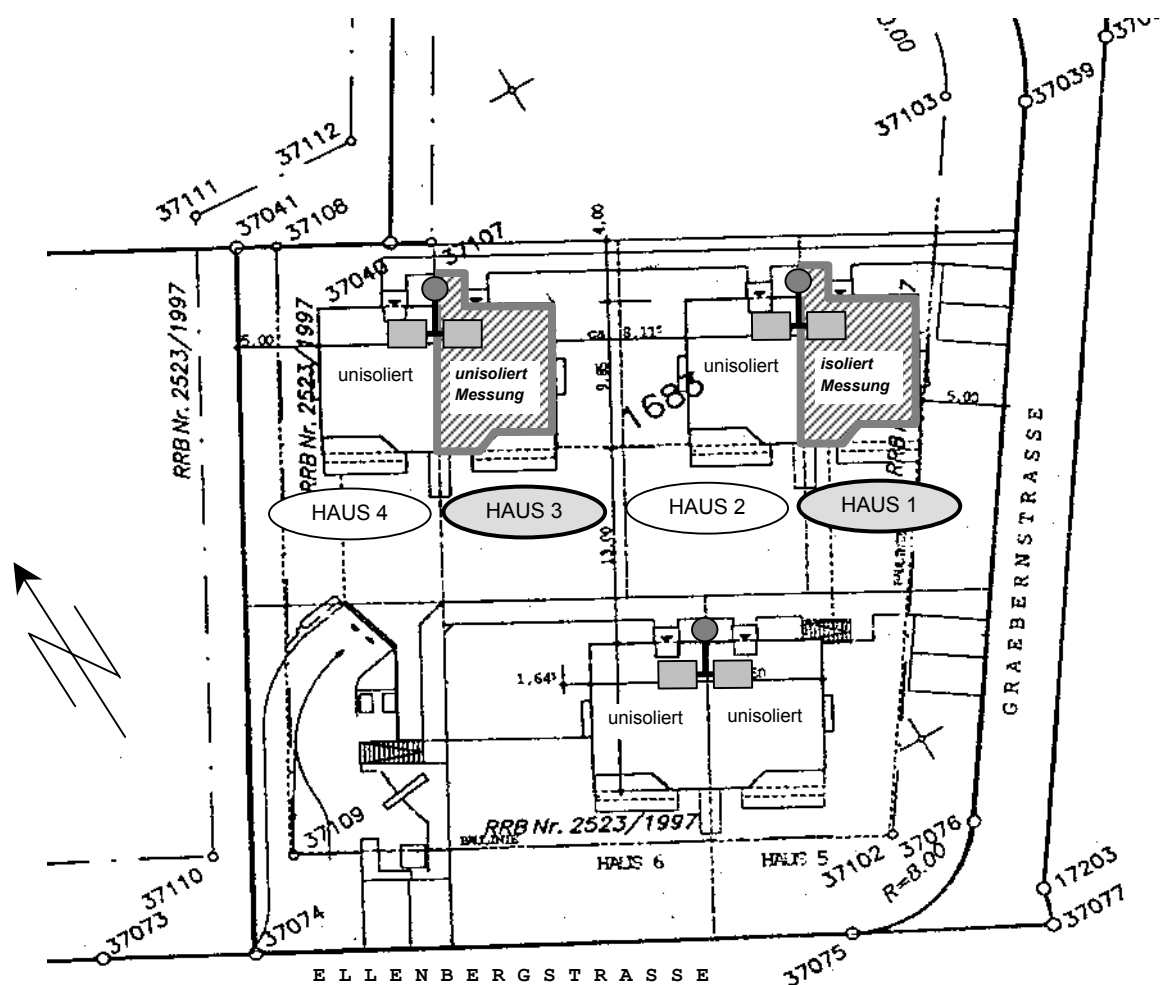
03.11.2003

Erdwärmesondenanlage
Otelfingen (ZH)

1:25'000

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Situation Überbauung Ellenbergstrasse / Gräbernstrasse, Otelfingen



LEGENDE:

● Bohrung

■ Wärmepumpe

A 207

21.10.2003

Erdwärmesondenanlage
Otelfingen (ZH)

1:500

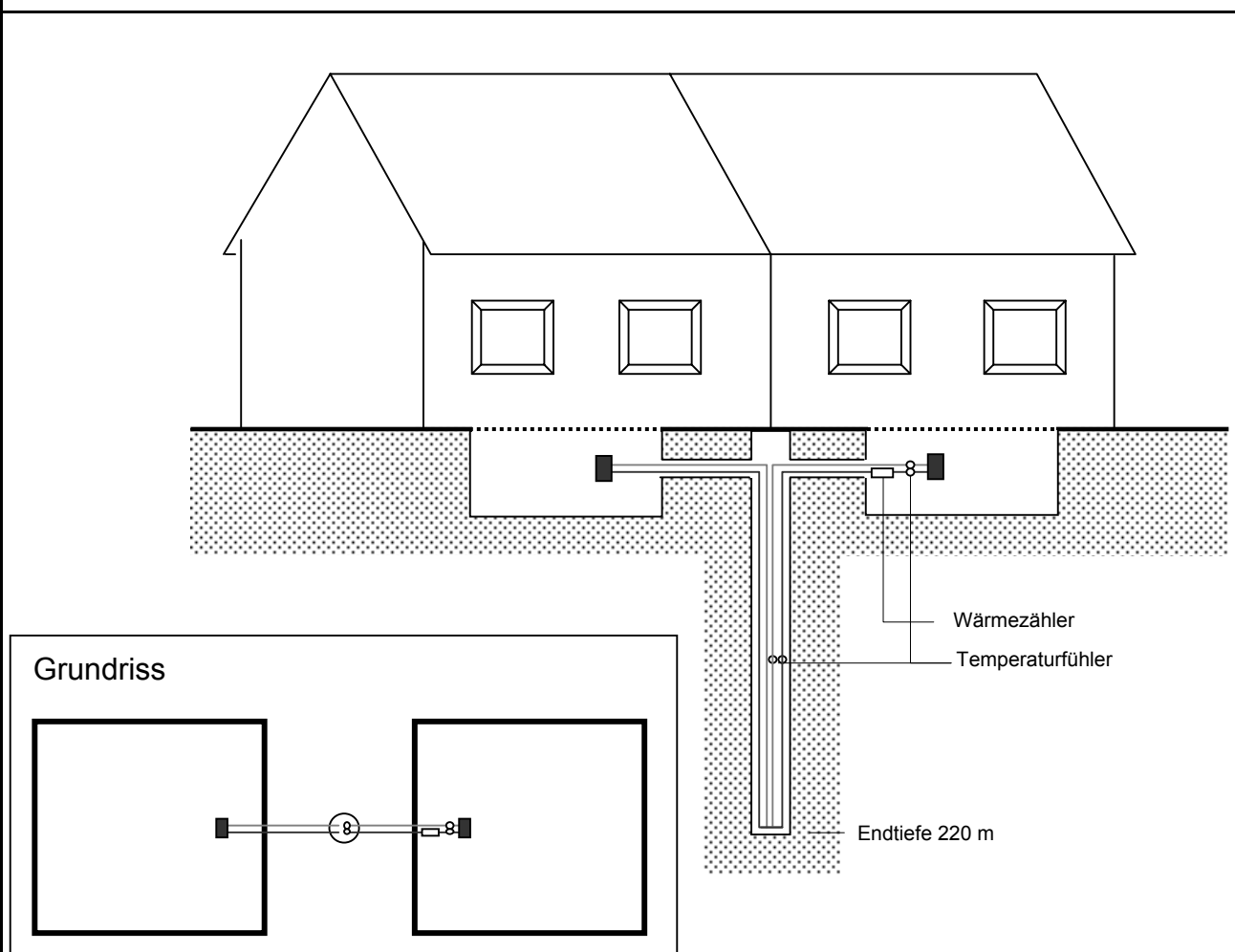
EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Foto der Überbauung Ellenbergstrasse / Gräbernstrasse, Otelfingen (Blick von Süden)

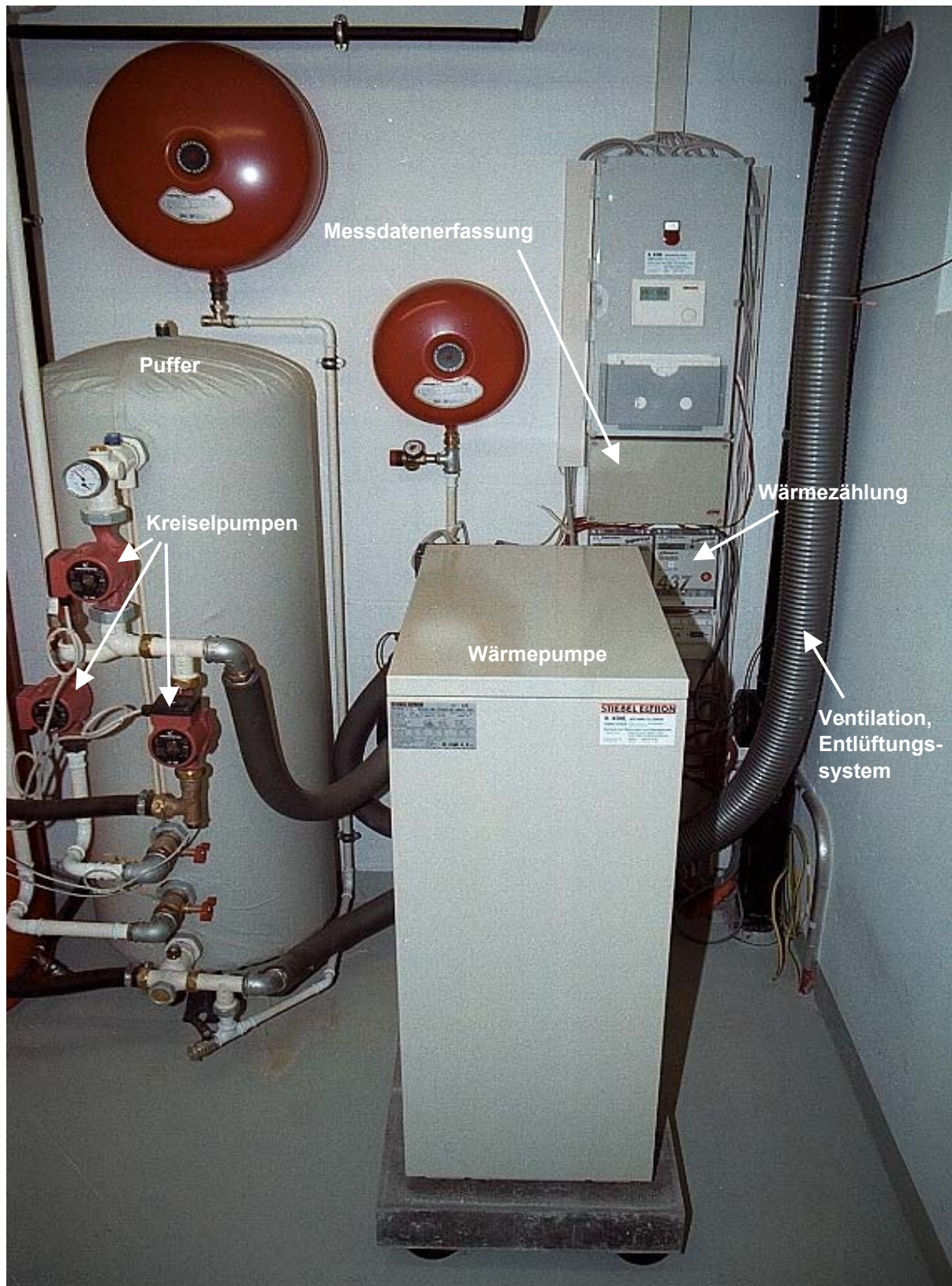


Foto: EBERHARD & Partner AG

Schematischer Schnitt durch die Erdwärmesondenanlage



Anlage mit Wärmepumpe, Puffer, Expansionsgefässen und Registriergeräten



A 207
03.11.2003

Erdwärmesondenanlage
Otelfingen (ZH)

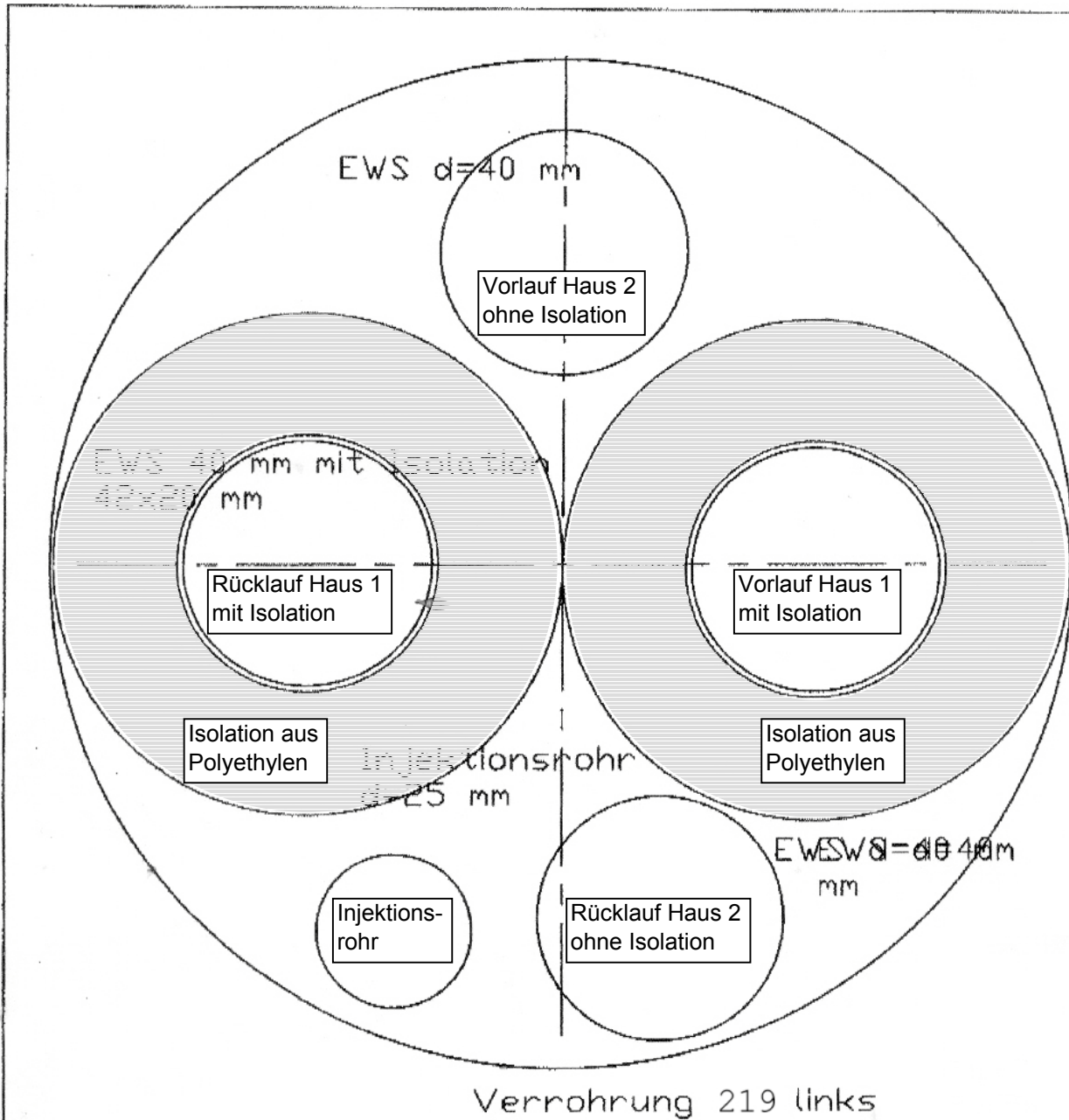
EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Erweitertes Bohrloch in den oberen 20 m mit den isolierten Erdwärmesonden

Haus 1 hat isolierte Erdwärmesonden bis in 20 m tiefe (wird überwacht)

Haus 2 ist konventionell ohne Isolation (wird nicht überwacht)

Der Zwischenraum ist mit Bentonit verfüllt



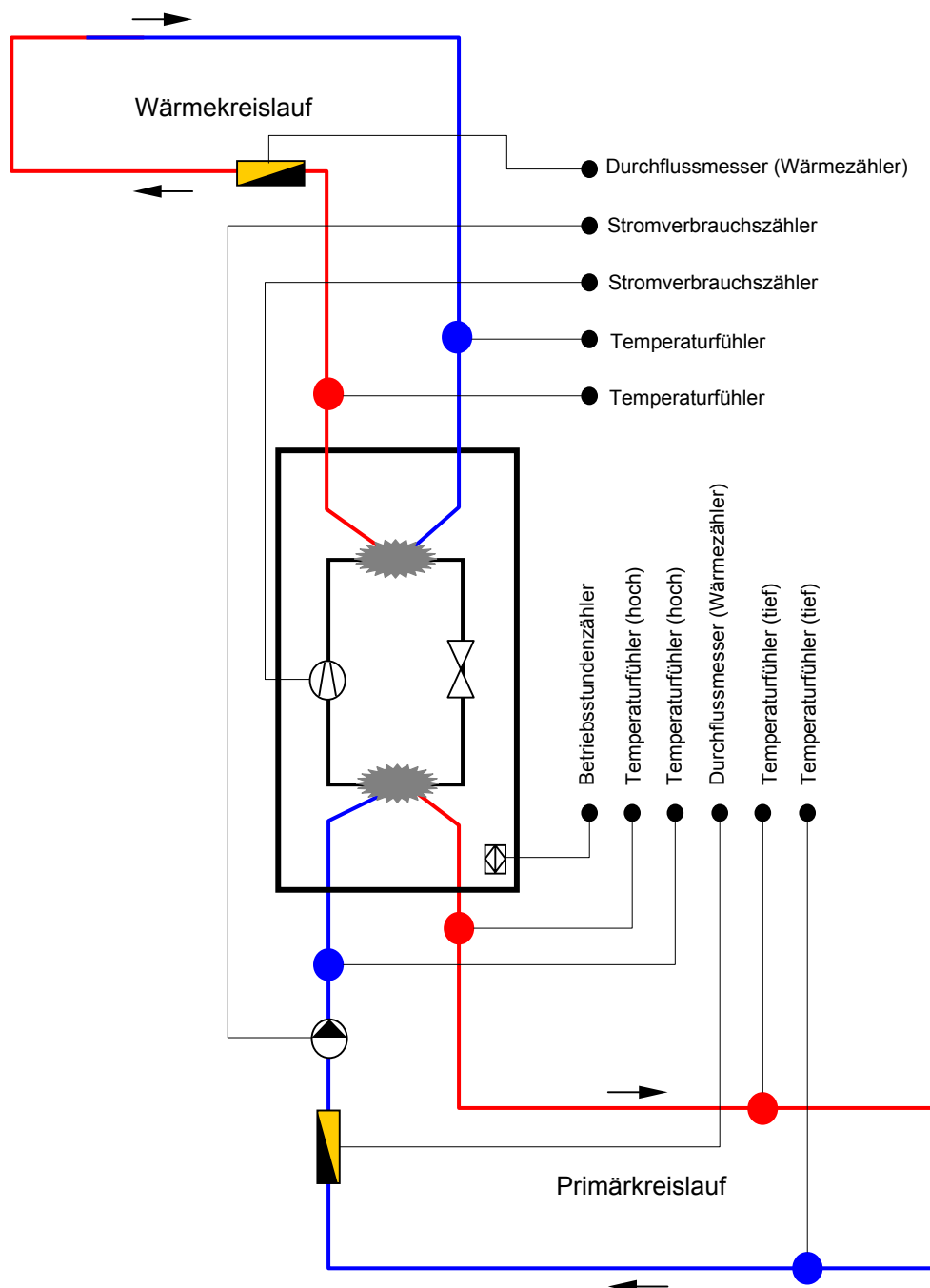
GRUNDAG	St. Gallerstr.8	
	9202 Gossau	
	Tel. 071/388 89 19	
mit 42x20mm Isol.40-EWS	Mst. 11	
Gez. E.Rohner 22.2.99 \Werkstatt\EWS-40I2		
Rev.		

A 207
21.10.2003

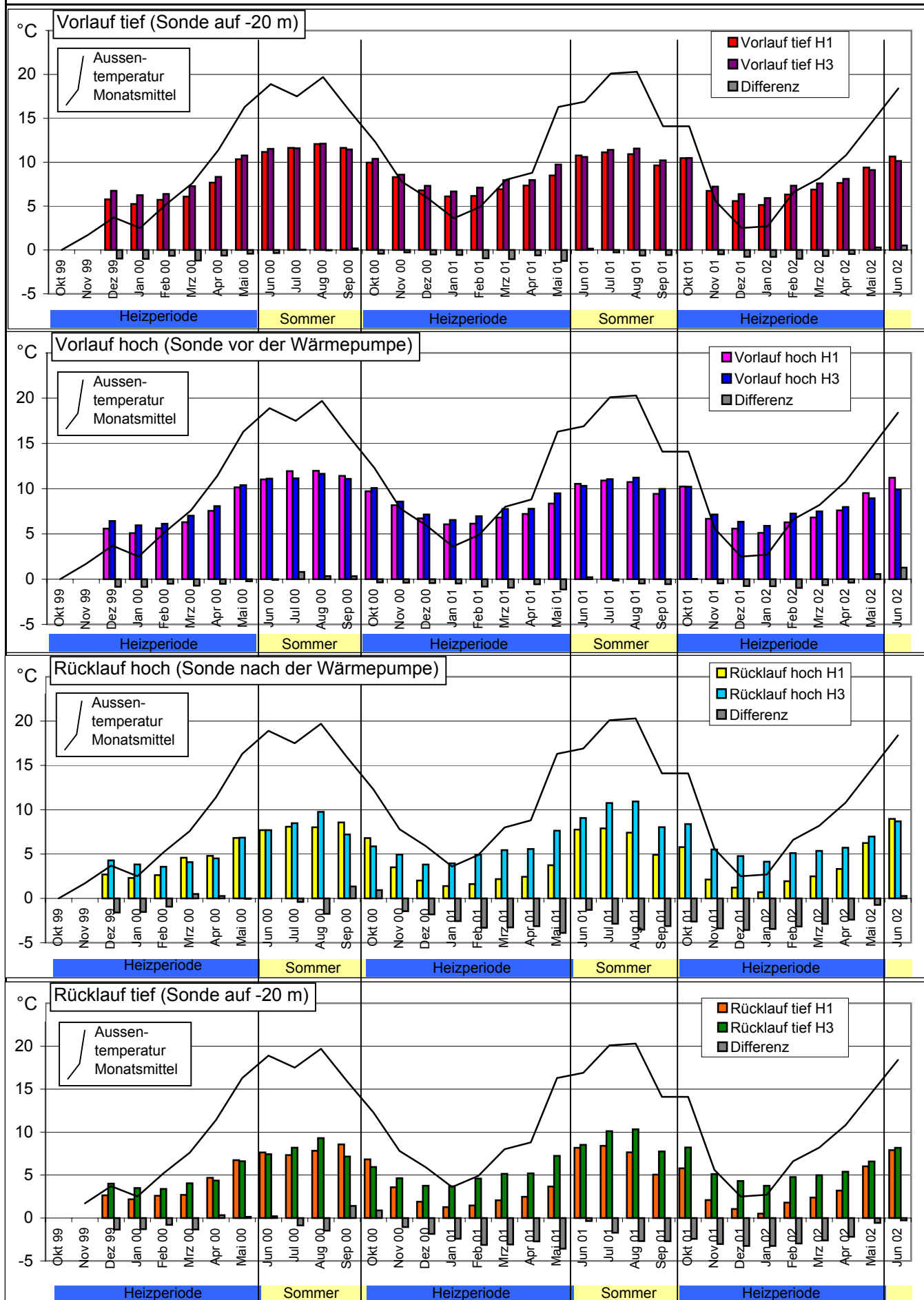
Erdwärmesondenanlage
Otelfingen (ZH)

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Übersicht über das Messkonzept (Anlageschema)



Temperaturverhältnisse in den Sonden, Haus 1 verglichen mit Haus 3 (Monatsmittel)

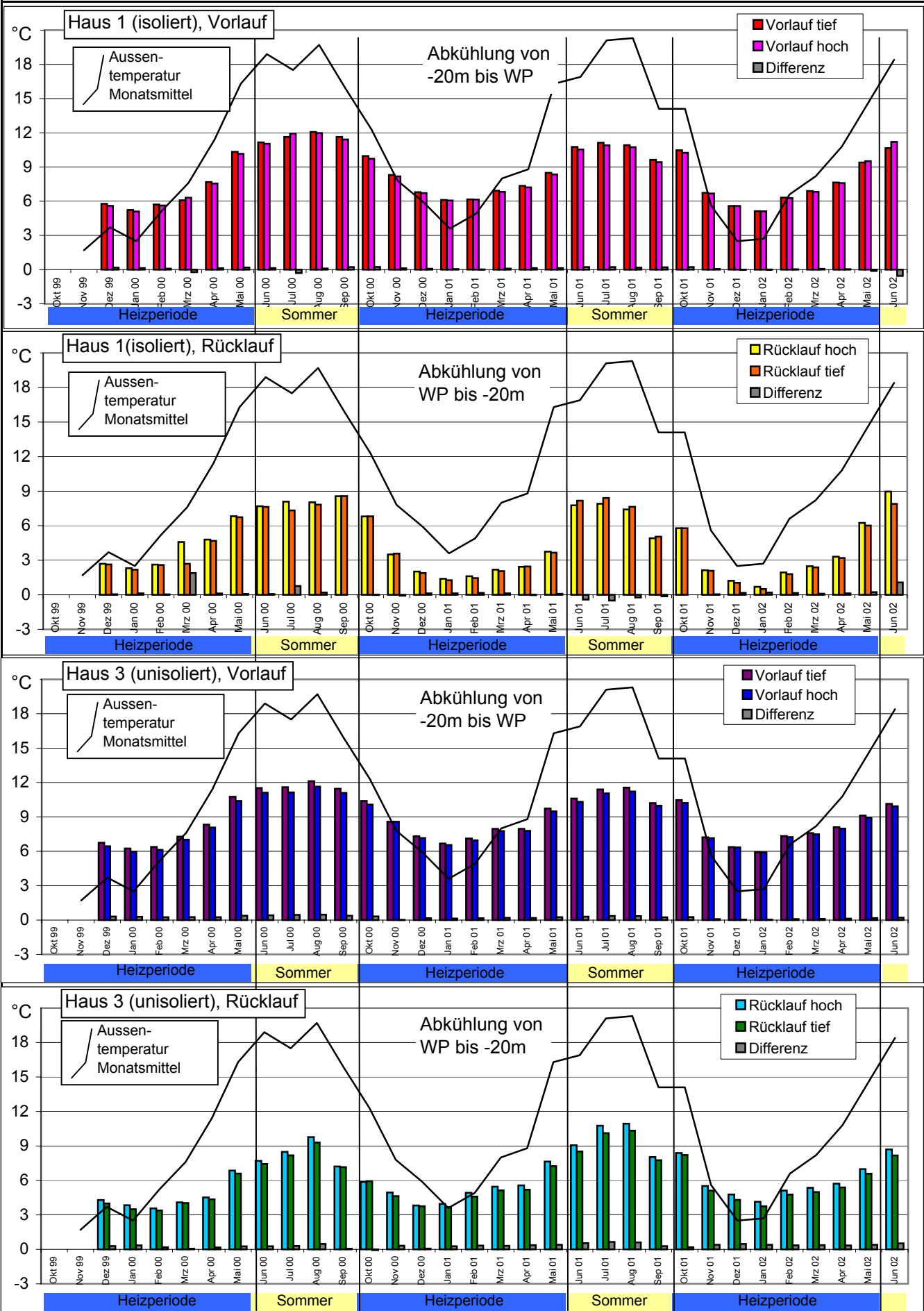


A207

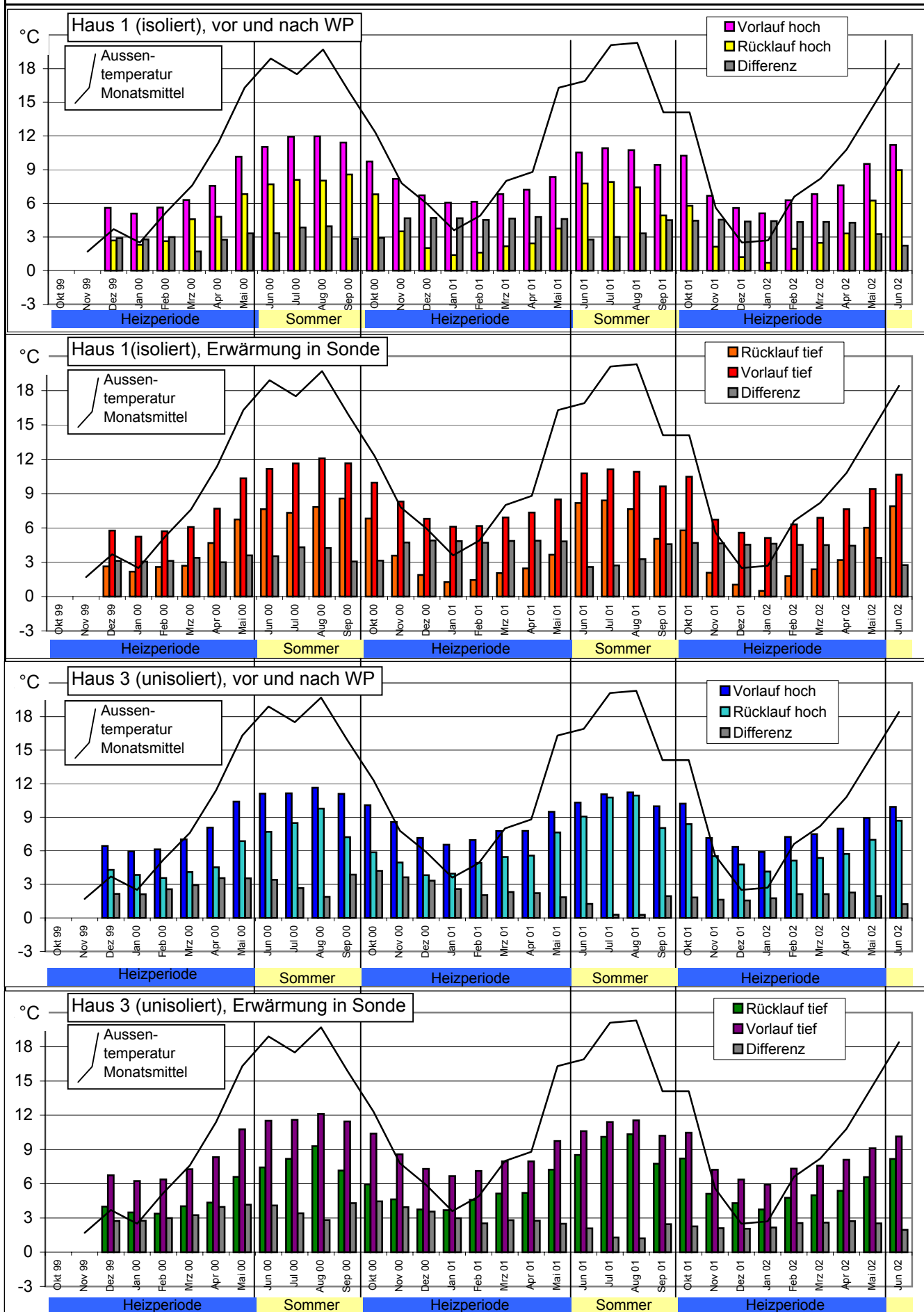
Aarau, 31.10.03

Erdwärmesondenanlage
Otelfingen (ZH)EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Temperaturverhältnisse in den Sonden, Vergleich Vorlauf hoch mit Vorlauf tief
der jeweiligen Häuser (Monatsmittel)



Temperaturverhältnisse in den Sonden vor und nach WP der jeweiligen Häuser (Monatsmittel)

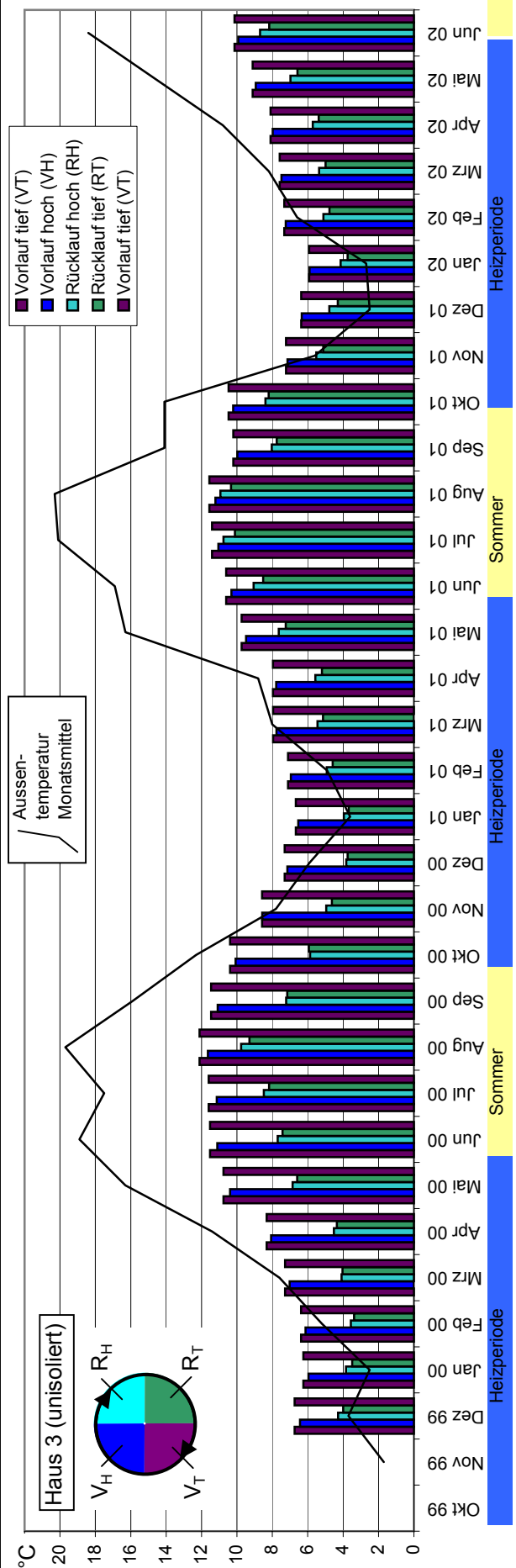
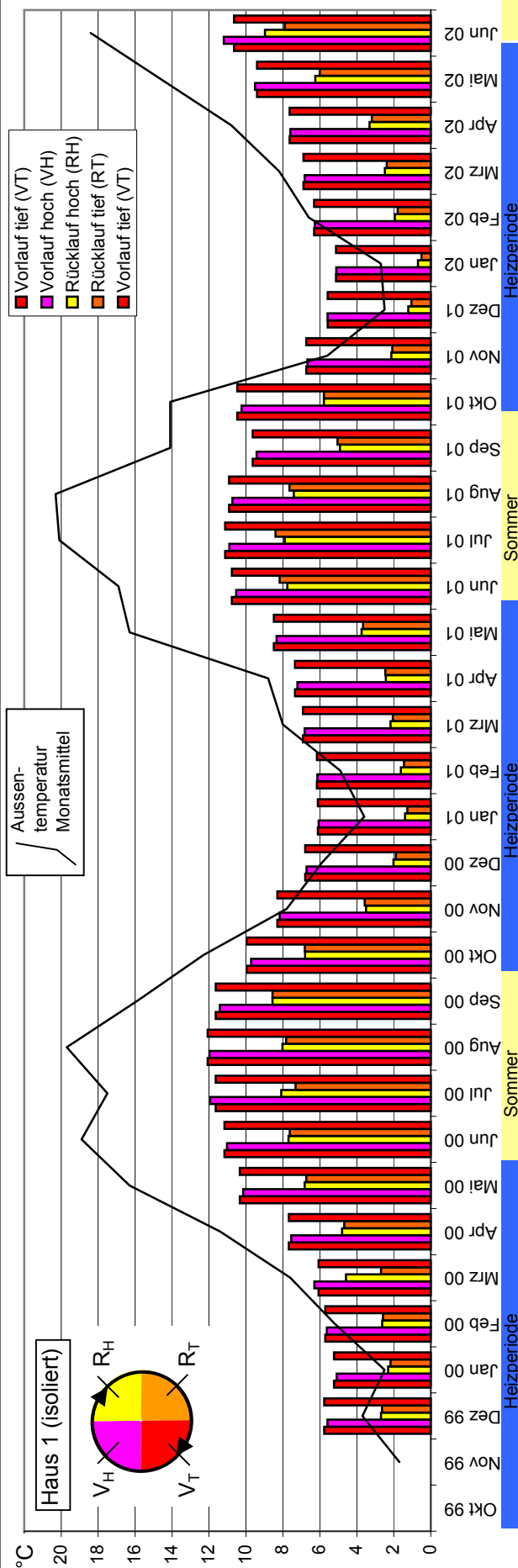


A207

Aarau, 21.10.03

Erdwärmesondenanlage
Otelfingen (ZH)EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Temperaturkreislauf in den Sonden von Haus 1 und Haus 3 (Monatsmittel)

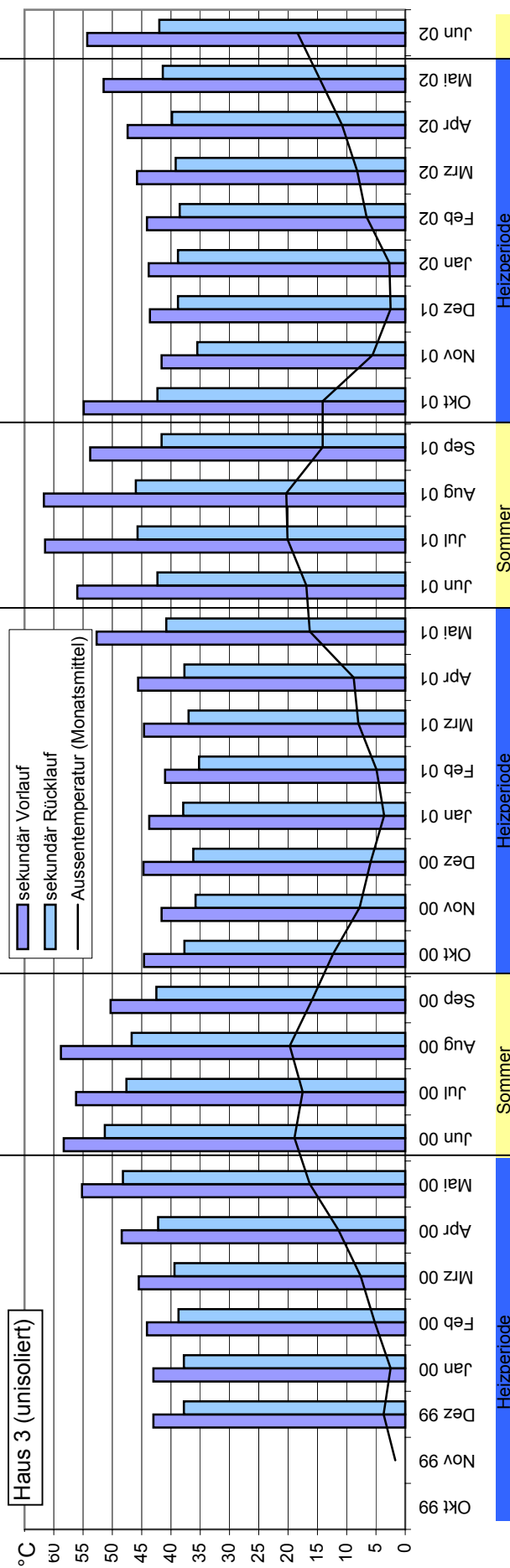
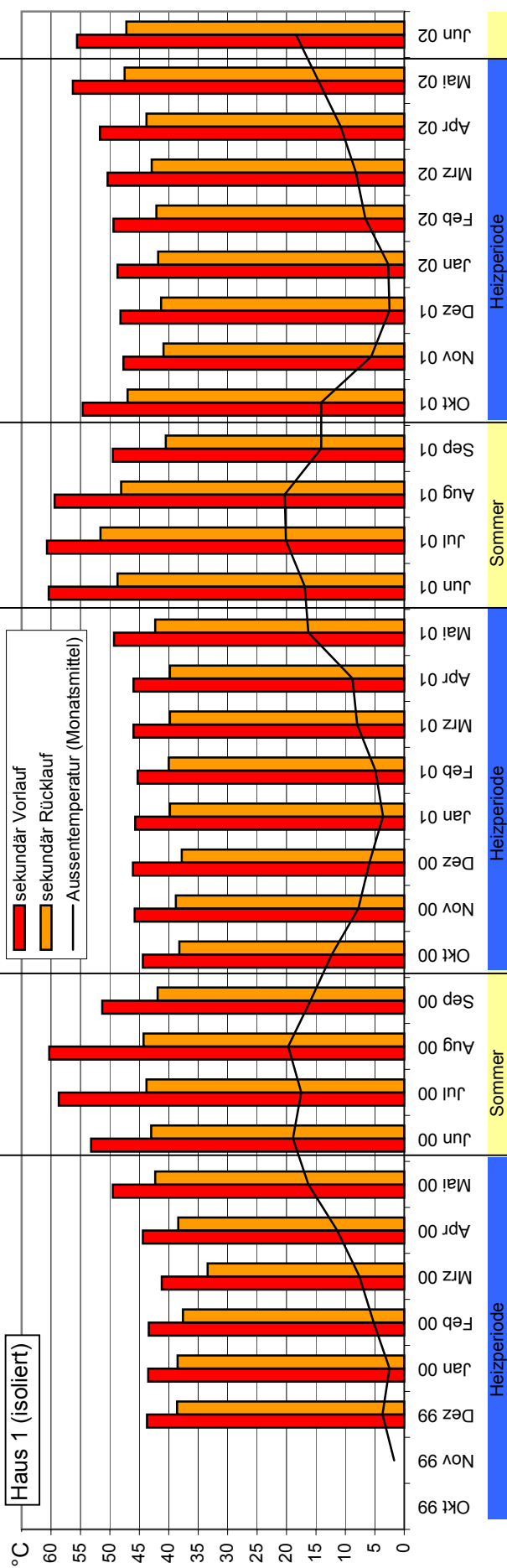


A 207

Aarau, 21.10.03

Erdwärmesondenanlage
Otelfingen (ZH)EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Temperaturen im Sekundärkreislauf bei Haus 1 und Haus 3 (Monatsmittel)

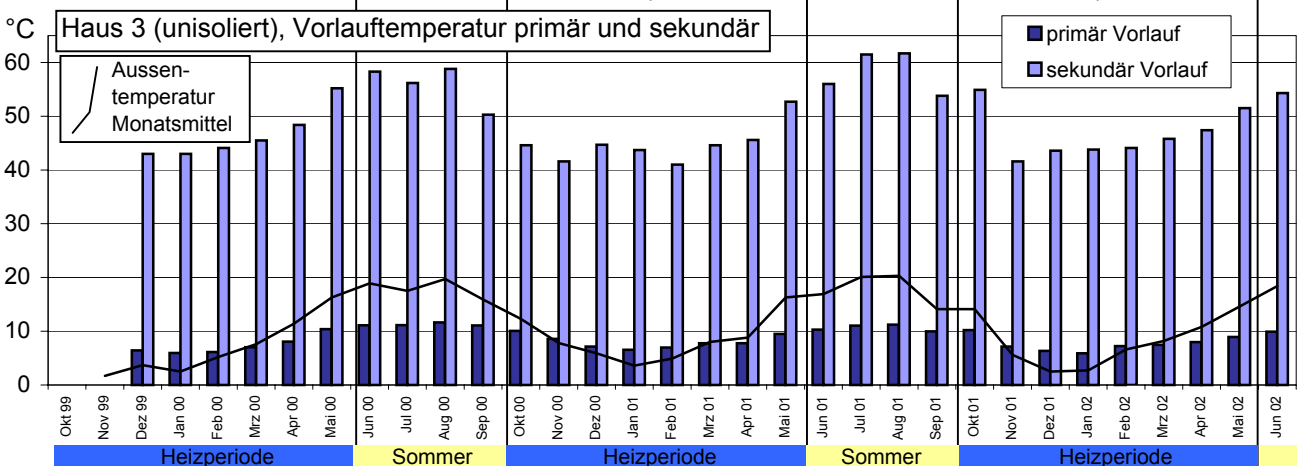
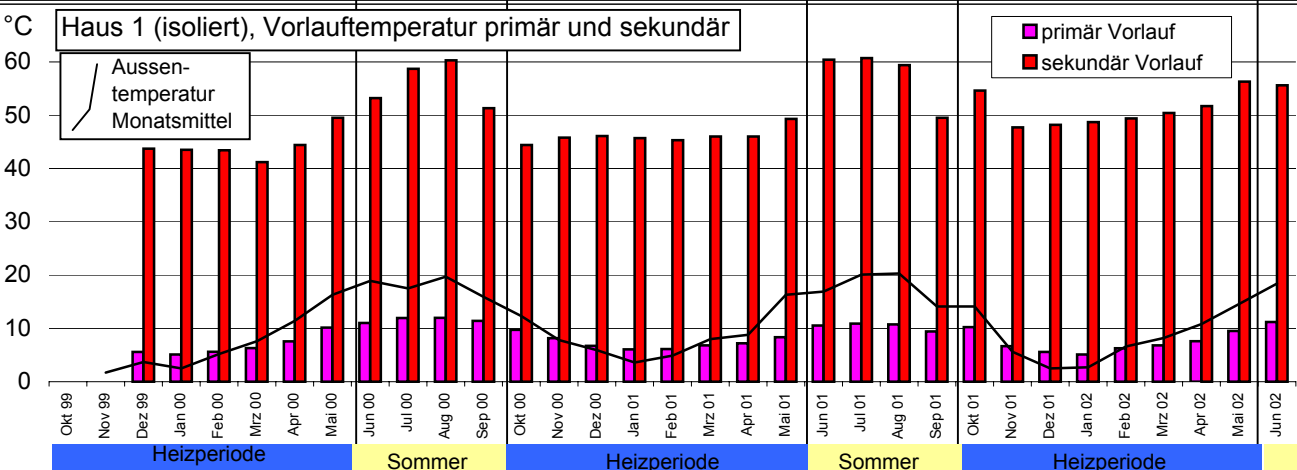
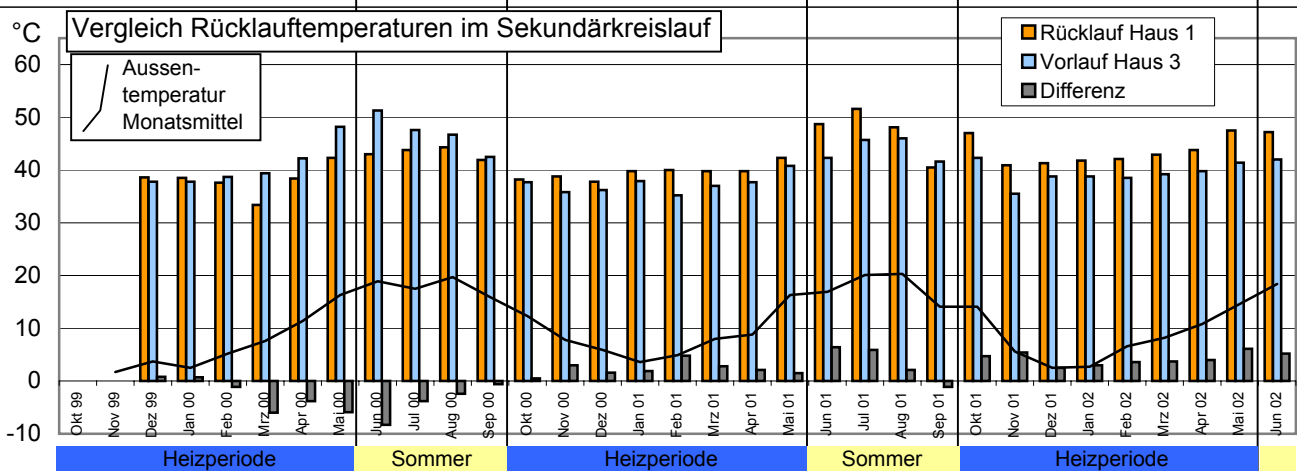
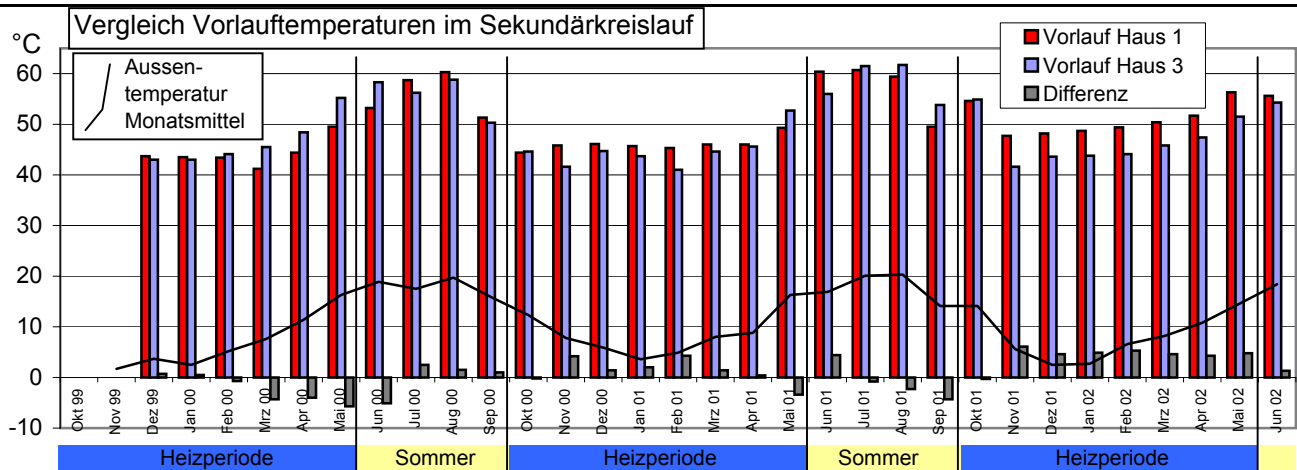


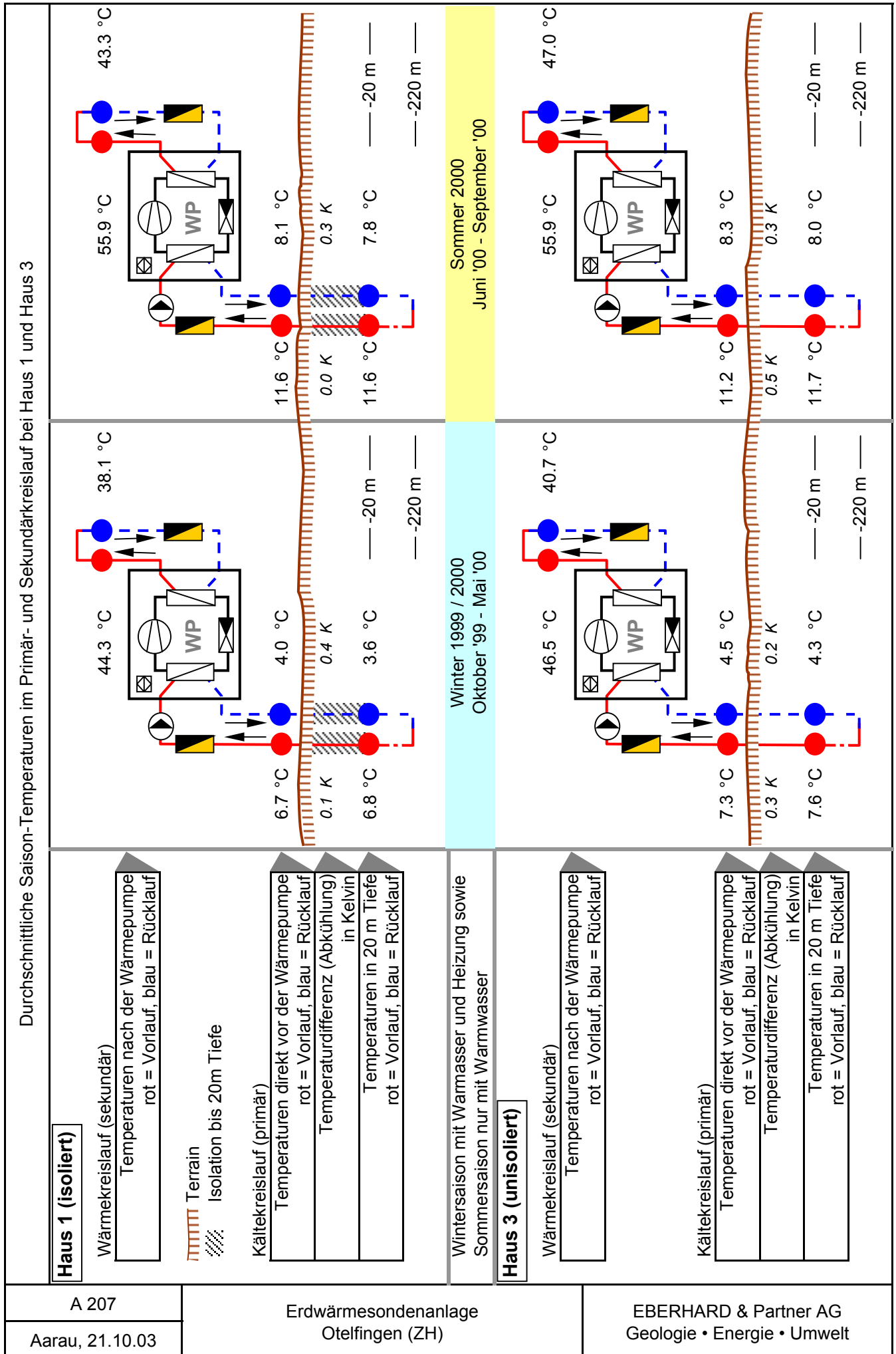
A 207

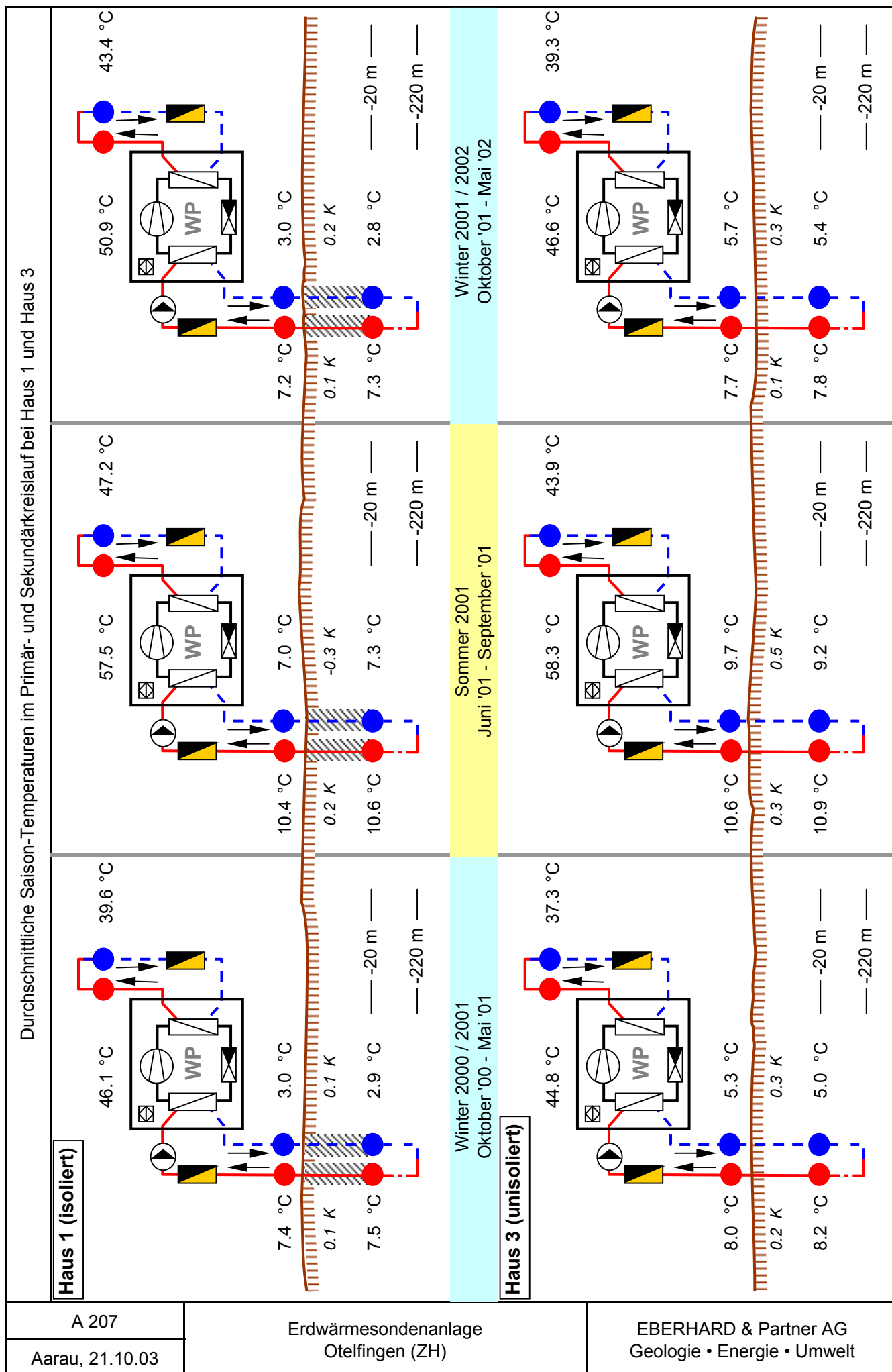
Aarau, 21.10.03

Erdwärmesondenanlage
Otelfingen (ZH)EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Temperaturverhältnisse im Wärmekreislauf und Vergleich von Primär- und Sekundärkreislauf der jeweiligen Häuser (Monatsmittel)





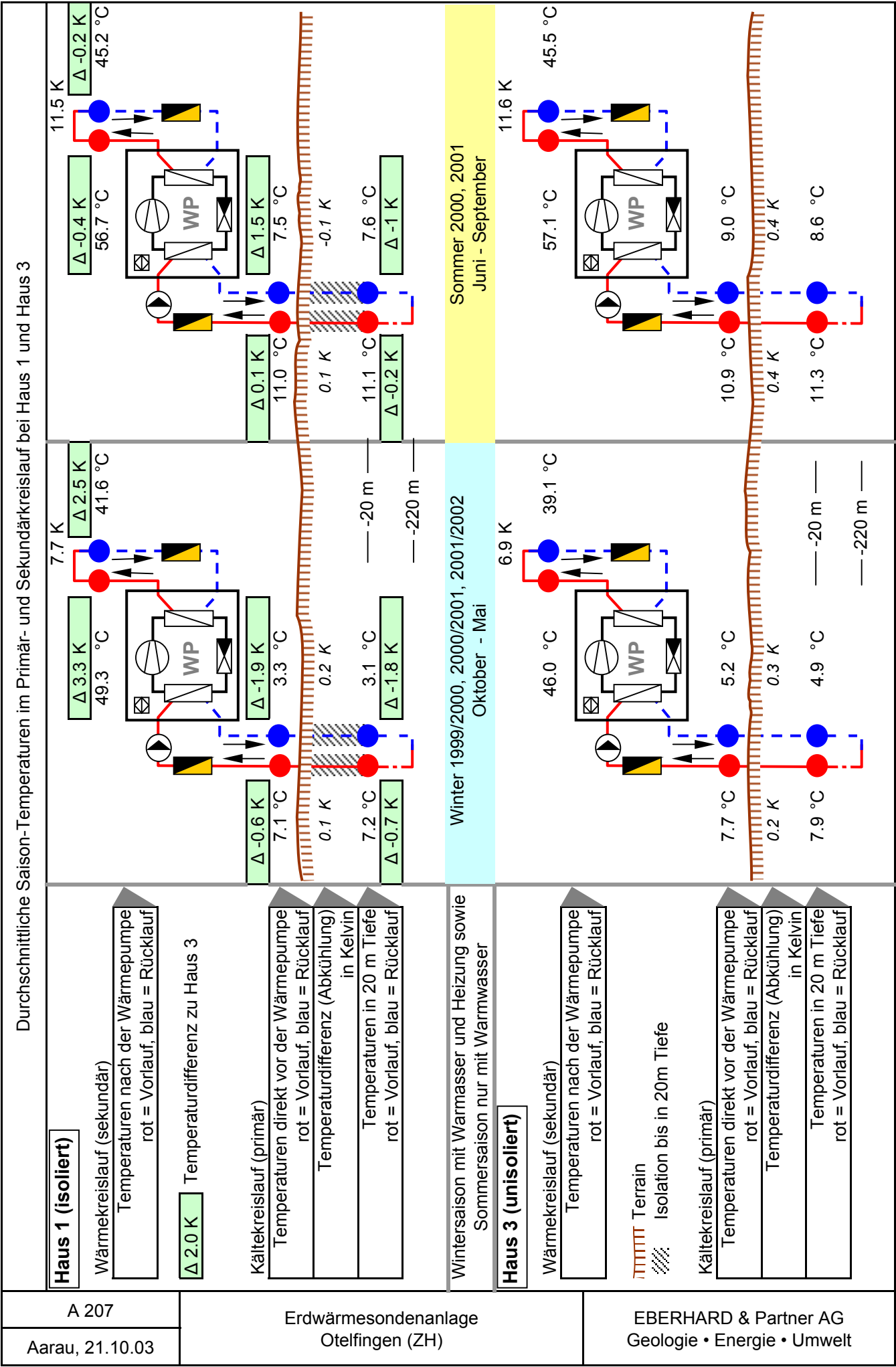


A 207

Aarau, 21.10.03

 Erdwärmesondenanlage
 Otelfingen (ZH)

 EBERHARD & Partner AG
 Geologie • Energie • Umwelt

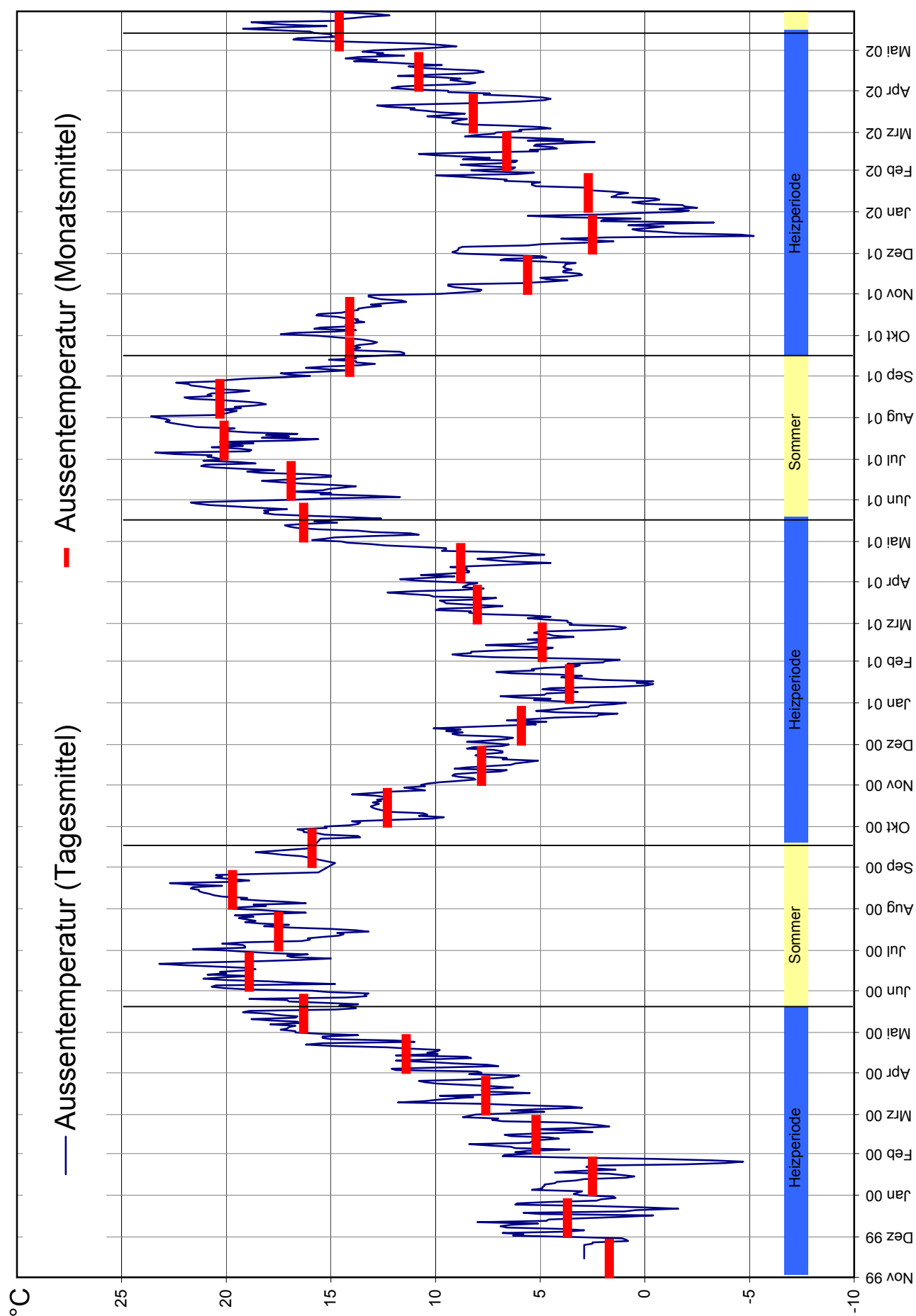


A 207

Aarau, 21.10.03

Erdwärmesondenanlage
Otelfingen (ZH)

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt



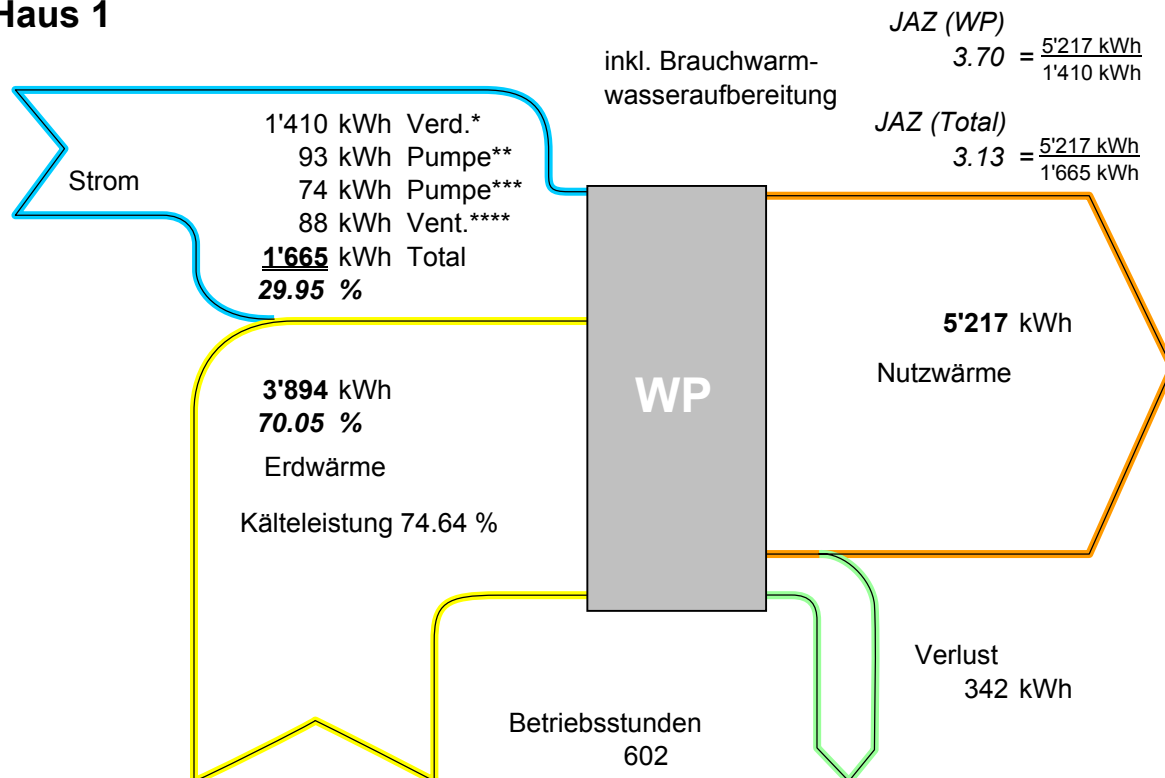
A 207

Aarau, 21.10.03

Erdwärmesondenanlage
Otelfingen (ZH)

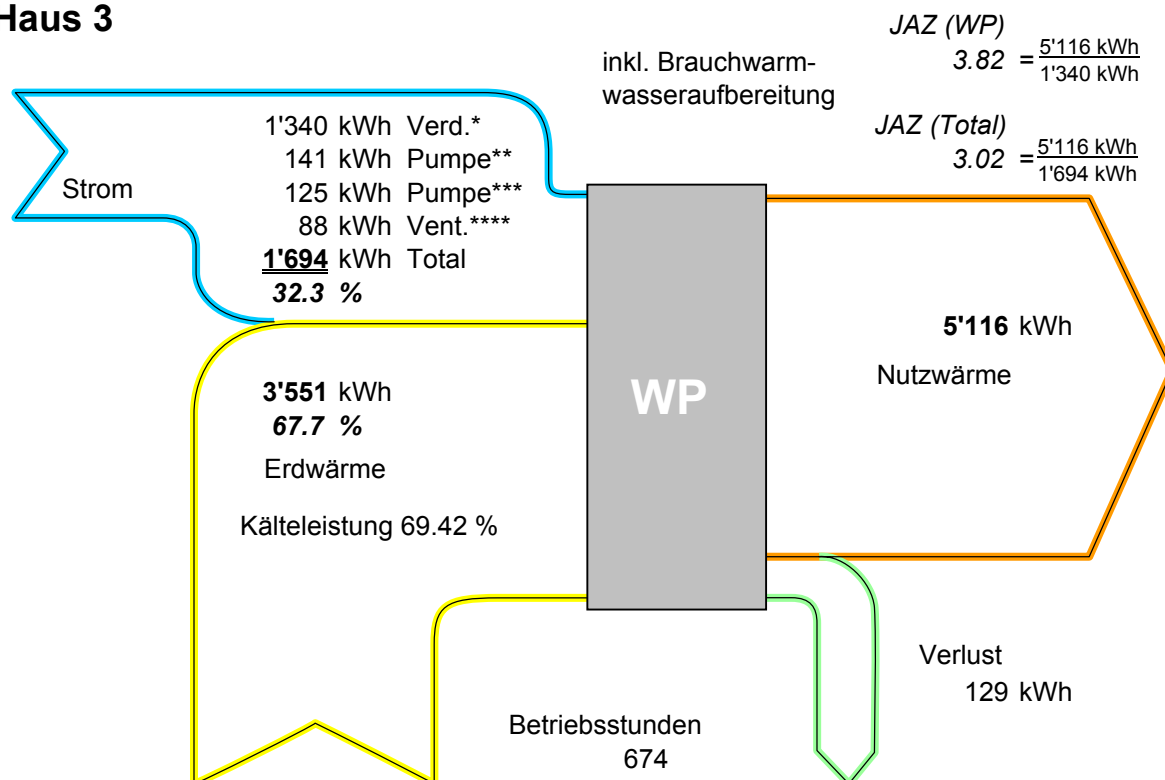
EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Wärmebilanz der Wärmepumpenanlage in Otelfingen Haus 1, Periode Februar 2002 - Mai 2002

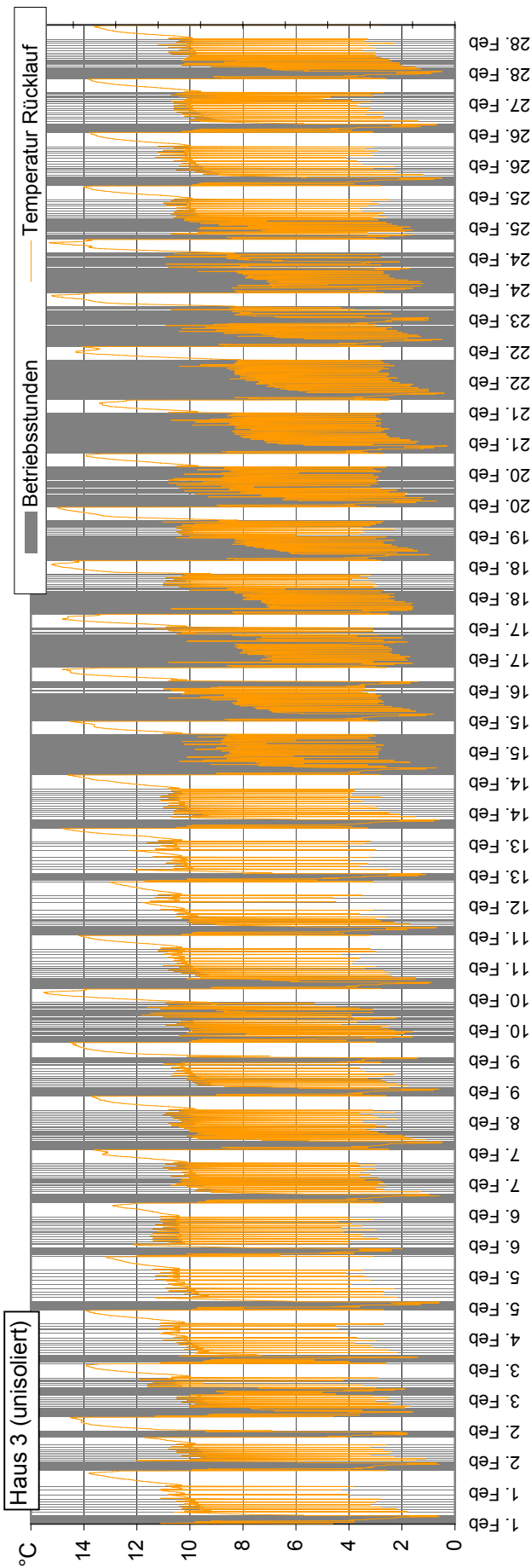
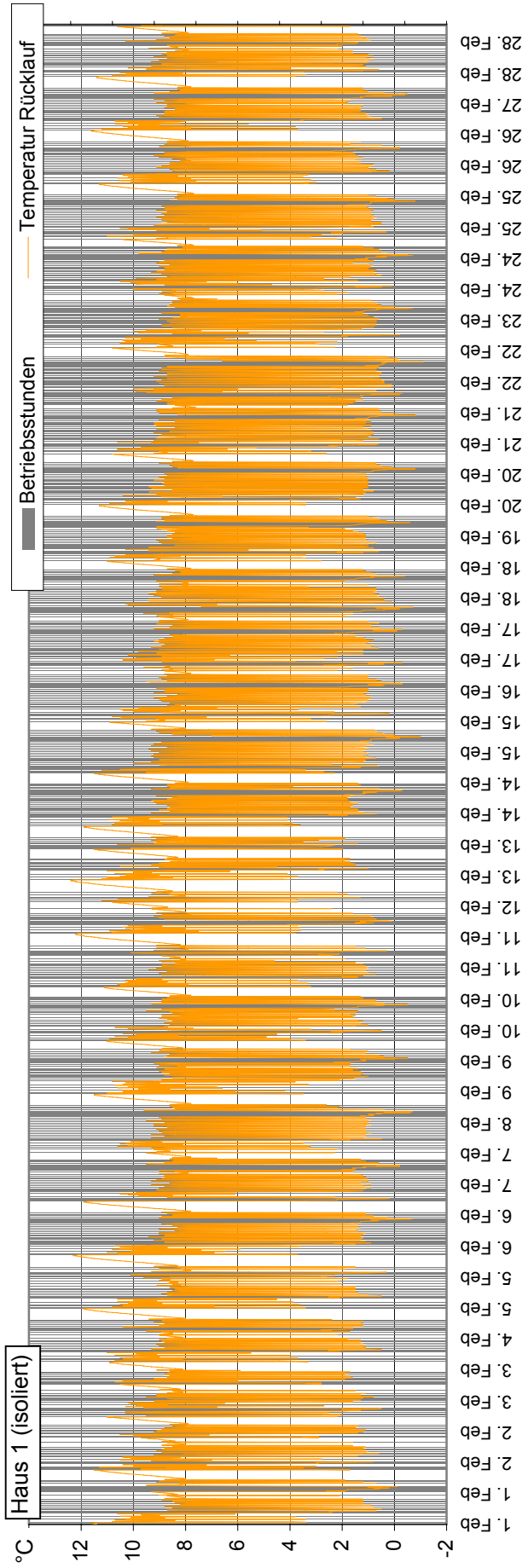
Haus 1

Verd. * = Verdichter Pumpe *** = Kreislumpen sekundär (3 Stück)
 Pumpe ** = Kreislumpe primär Vent. **** = Ventilation zur Propanentlüftung der Wärmepumpe

Flussdiagramm Wärmepumpenanlage in Otelfingen Haus 3, Periode Februar 2002 - Mai 2002

Haus 3

Betriebsweise der Anlagen von Haus 1 und Haus 3. Betriebsstunden und Rücklauftemperatur der Sole (Februar 2002)



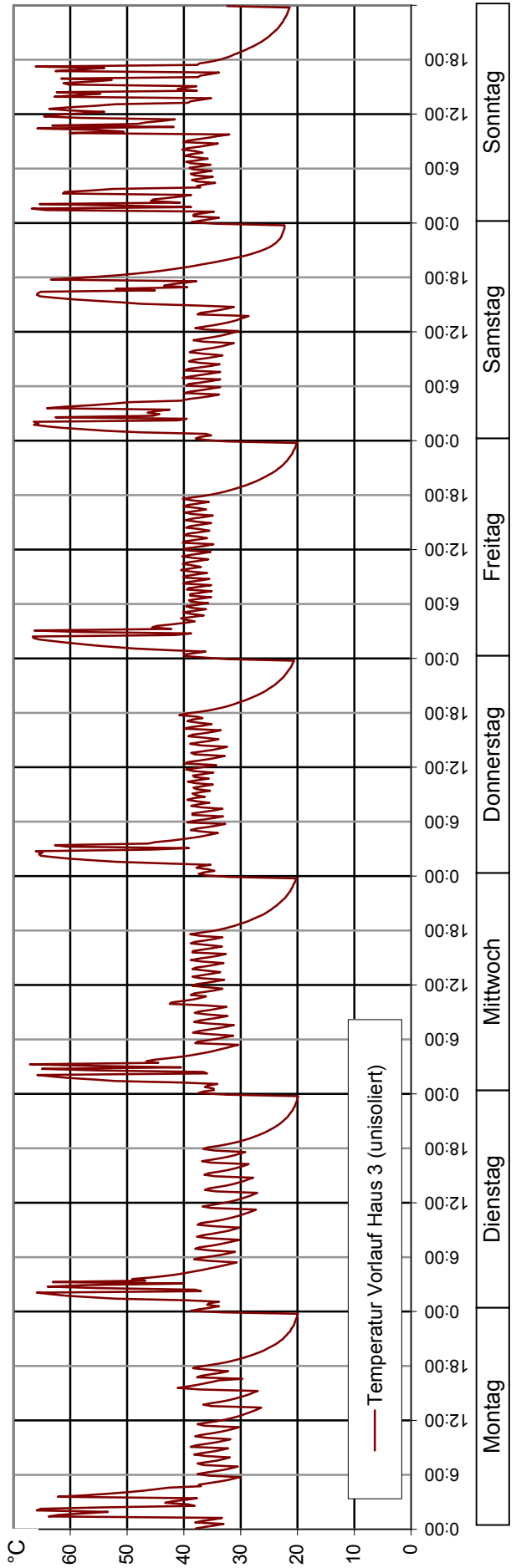
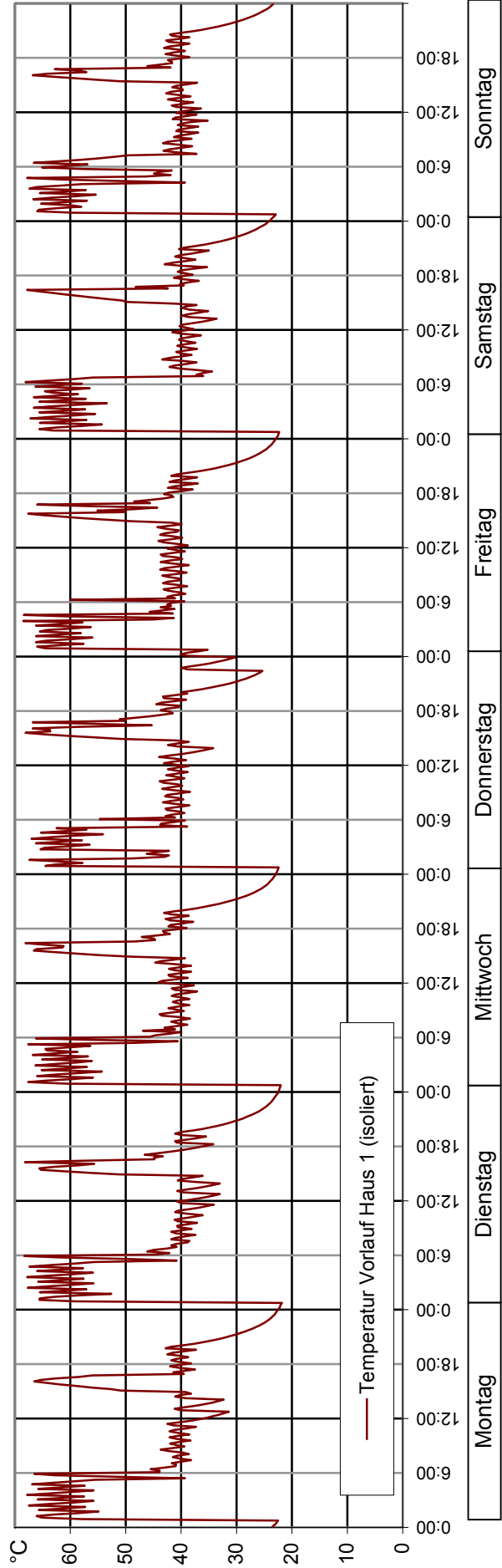
A 207

Aarau, 31.10.03

Erdwärmesondenanlage
Otelfingen (ZH)

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Betriebsweise der Anlagen von Haus 1 und Haus 3. Vorlauftemperatur im Heizkreislauf (4. bis 10. Februar 2002)



A 207

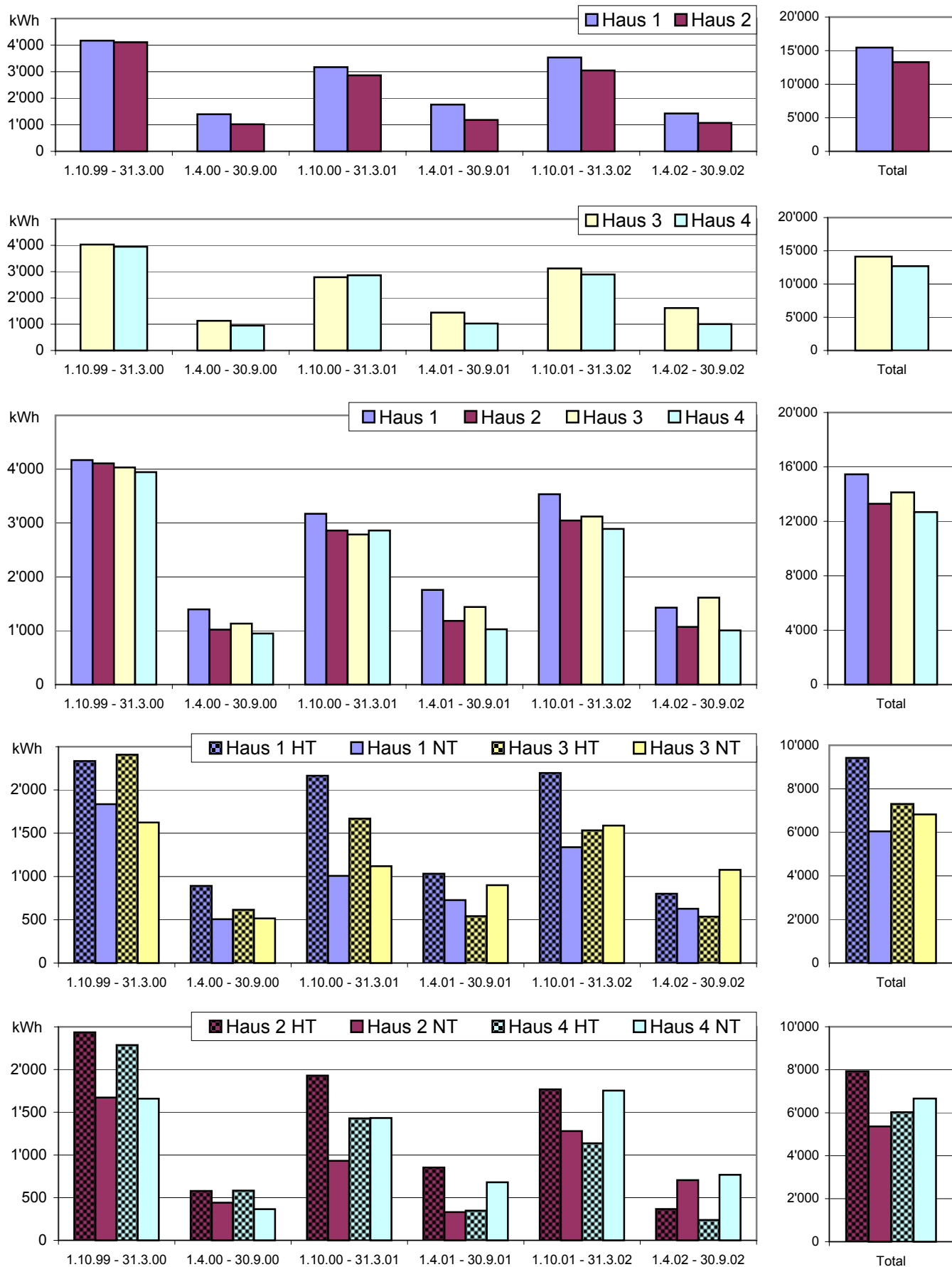
Aarau, 03.11.03

Erdwärmesondenanlage
Otelfingen (ZH)

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

EGO Abrechnungsdaten (Elektrizitätsgenossenschaft Otelfingen) über die gesamte Messperiode von 1.10.99 - 30.9.02																																																																		
A 207 Aarau, 7.10.2003	<table><tr><th>Haus 1</th><th>1.10.99 - 31.3.00</th><th>1.4.00 - 30.9.00</th><th>1.10.00 - 31.3.01</th><th>1.4.01 - 30.9.01</th><th>1.10.01 - 31.3.02</th><th>1.4.02 - 30.9.02</th><th>Total</th></tr><tr><td>HT (kWh)</td><td>2'334</td><td>891</td><td>2'164</td><td>1'032</td><td>2'196</td><td>801</td><td>9'418</td></tr><tr><td>NT (kWh)</td><td>1'836</td><td>506</td><td>1'008</td><td>727</td><td>1'339</td><td>627</td><td>6'043</td></tr><tr><td>Total (kWh)</td><td>4'170</td><td>1'397</td><td>3'172</td><td>1'759</td><td>3'535</td><td>1'428</td><td>15'461</td></tr><tr><td>%-Anteil HT</td><td>56 %</td><td>63.8 %</td><td>68.2 %</td><td>58.7 %</td><td>62.1 %</td><td>56.1 %</td><td>60.9 %</td></tr><tr><td>Total sFr.</td><td>498.01</td><td>172.18</td><td>397.86</td><td>212.40</td><td>432.82</td><td>170.63</td><td>1883.89</td></tr></table>												Haus 1	1.10.99 - 31.3.00	1.4.00 - 30.9.00	1.10.00 - 31.3.01	1.4.01 - 30.9.01	1.10.01 - 31.3.02	1.4.02 - 30.9.02	Total	HT (kWh)	2'334	891	2'164	1'032	2'196	801	9'418	NT (kWh)	1'836	506	1'008	727	1'339	627	6'043	Total (kWh)	4'170	1'397	3'172	1'759	3'535	1'428	15'461	%-Anteil HT	56 %	63.8 %	68.2 %	58.7 %	62.1 %	56.1 %	60.9 %	Total sFr.	498.01	172.18	397.86	212.40	432.82	170.63	1883.89						
	Haus 1	1.10.99 - 31.3.00	1.4.00 - 30.9.00	1.10.00 - 31.3.01	1.4.01 - 30.9.01	1.10.01 - 31.3.02	1.4.02 - 30.9.02	Total																																																										
	HT (kWh)	2'334	891	2'164	1'032	2'196	801	9'418																																																										
	NT (kWh)	1'836	506	1'008	727	1'339	627	6'043																																																										
	Total (kWh)	4'170	1'397	3'172	1'759	3'535	1'428	15'461																																																										
%-Anteil HT	56 %	63.8 %	68.2 %	58.7 %	62.1 %	56.1 %	60.9 %																																																											
Total sFr.	498.01	172.18	397.86	212.40	432.82	170.63	1883.89																																																											
Erdwärmesondenanlage Otelfingen (ZH)	<table><tr><th>Haus 2</th><th>1.10.99 - 31.3.00</th><th>1.4.00 - 30.9.00</th><th>1.10.00 - 31.3.01</th><th>1.4.01 - 30.9.01</th><th>1.10.01 - 31.3.02</th><th>1.4.02 - 30.9.02</th><th>Total</th></tr><tr><td>HT (kWh)</td><td>2'436</td><td>579</td><td>1'929</td><td>853</td><td>1'769</td><td>366</td><td>7'932</td></tr><tr><td>NT (kWh)</td><td>1'672</td><td>441</td><td>932</td><td>331</td><td>1'279</td><td>705</td><td>5'360</td></tr><tr><td>Total (kWh)</td><td>4'108</td><td>1'020</td><td>2'861</td><td>1'184</td><td>3'048</td><td>1'071</td><td>13'292</td></tr><tr><td>%-Anteil HT</td><td>59.3 %</td><td>56.8 %</td><td>67.4 %</td><td>72 %</td><td>58 %</td><td>34.2 %</td><td>59.7 %</td></tr><tr><td>Total sFr.</td><td>497.30</td><td>122.21</td><td>357.73</td><td>150.73</td><td>367.10</td><td>116.47</td><td>1611.532</td></tr></table>												Haus 2	1.10.99 - 31.3.00	1.4.00 - 30.9.00	1.10.00 - 31.3.01	1.4.01 - 30.9.01	1.10.01 - 31.3.02	1.4.02 - 30.9.02	Total	HT (kWh)	2'436	579	1'929	853	1'769	366	7'932	NT (kWh)	1'672	441	932	331	1'279	705	5'360	Total (kWh)	4'108	1'020	2'861	1'184	3'048	1'071	13'292	%-Anteil HT	59.3 %	56.8 %	67.4 %	72 %	58 %	34.2 %	59.7 %	Total sFr.	497.30	122.21	357.73	150.73	367.10	116.47	1611.532						
	Haus 2	1.10.99 - 31.3.00	1.4.00 - 30.9.00	1.10.00 - 31.3.01	1.4.01 - 30.9.01	1.10.01 - 31.3.02	1.4.02 - 30.9.02	Total																																																										
	HT (kWh)	2'436	579	1'929	853	1'769	366	7'932																																																										
	NT (kWh)	1'672	441	932	331	1'279	705	5'360																																																										
	Total (kWh)	4'108	1'020	2'861	1'184	3'048	1'071	13'292																																																										
%-Anteil HT	59.3 %	56.8 %	67.4 %	72 %	58 %	34.2 %	59.7 %																																																											
Total sFr.	497.30	122.21	357.73	150.73	367.10	116.47	1611.532																																																											
EBERHARD & Partner AG Geologie • Energie • Umwelt	<table><tr><th>Haus 1 + 2 (kWh)</th><th>1.10.99 - 31.3.00</th><th>1.4.00 - 30.9.00</th><th>1.10.00 - 31.3.01</th><th>1.4.01 - 30.9.01</th><th>1.10.01 - 31.3.02</th><th>1.4.02 - 30.9.02</th><th>Total</th><th>Benut- zungs- verteilung</th></tr><tr><td>HT (kWh)</td><td>8'278</td><td>2'417</td><td>6'033</td><td>2'943</td><td>6'583</td><td>2'499</td><td>28'753</td><td>H1= 53.8 % H2= 46.2 %</td></tr><tr><td>NT (kWh)</td><td>1'624</td><td>516</td><td>1'119</td><td>900</td><td>1'588</td><td>1'077</td><td>6'824</td><td>H1= 57.1 % H2= 42.9 %</td></tr><tr><td>Total (kWh)</td><td>4'032</td><td>1'132</td><td>2'788</td><td>1'442</td><td>3'121</td><td>1'614</td><td>14'129</td><td>H1= 53.7 % H2= 46.3 %</td></tr><tr><td>%-Anteil HT</td><td>59.7 %</td><td>54.4 %</td><td>59.9 %</td><td>37.6 %</td><td>49.1 %</td><td>33.3 %</td><td>51.7 %</td><td>H1= 59.8 % H2= 40.2 %</td></tr><tr><td>Total sFr.</td><td>488.94</td><td>134.33</td><td>338.28</td><td>159.22</td><td>362.25</td><td>174.80</td><td>1657.81</td><td></td></tr></table>												Haus 1 + 2 (kWh)	1.10.99 - 31.3.00	1.4.00 - 30.9.00	1.10.00 - 31.3.01	1.4.01 - 30.9.01	1.10.01 - 31.3.02	1.4.02 - 30.9.02	Total	Benut- zungs- verteilung	HT (kWh)	8'278	2'417	6'033	2'943	6'583	2'499	28'753	H1= 53.8 % H2= 46.2 %	NT (kWh)	1'624	516	1'119	900	1'588	1'077	6'824	H1= 57.1 % H2= 42.9 %	Total (kWh)	4'032	1'132	2'788	1'442	3'121	1'614	14'129	H1= 53.7 % H2= 46.3 %	%-Anteil HT	59.7 %	54.4 %	59.9 %	37.6 %	49.1 %	33.3 %	51.7 %	H1= 59.8 % H2= 40.2 %	Total sFr.	488.94	134.33	338.28	159.22	362.25	174.80	1657.81	
	Haus 1 + 2 (kWh)	1.10.99 - 31.3.00	1.4.00 - 30.9.00	1.10.00 - 31.3.01	1.4.01 - 30.9.01	1.10.01 - 31.3.02	1.4.02 - 30.9.02	Total	Benut- zungs- verteilung																																																									
	HT (kWh)	8'278	2'417	6'033	2'943	6'583	2'499	28'753	H1= 53.8 % H2= 46.2 %																																																									
	NT (kWh)	1'624	516	1'119	900	1'588	1'077	6'824	H1= 57.1 % H2= 42.9 %																																																									
	Total (kWh)	4'032	1'132	2'788	1'442	3'121	1'614	14'129	H1= 53.7 % H2= 46.3 %																																																									
%-Anteil HT	59.7 %	54.4 %	59.9 %	37.6 %	49.1 %	33.3 %	51.7 %	H1= 59.8 % H2= 40.2 %																																																										
Total sFr.	488.94	134.33	338.28	159.22	362.25	174.80	1657.81																																																											
	<table><tr><th>Haus 3</th><th>1.10.99 - 31.3.00</th><th>1.4.00 - 30.9.00</th><th>1.10.00 - 31.3.01</th><th>1.4.01 - 30.9.01</th><th>1.10.01 - 31.3.02</th><th>1.4.02 - 30.9.02</th><th>Total</th><th>Benut- zungs- verteilung</th></tr><tr><td>HT (kWh)</td><td>2'408</td><td>616</td><td>1'669</td><td>542</td><td>1'533</td><td>537</td><td>7'305</td><td>H1= 53.8 % H2= 46.2 %</td></tr><tr><td>NT (kWh)</td><td>1'624</td><td>516</td><td>1'119</td><td>900</td><td>1'588</td><td>1'077</td><td>6'824</td><td>H1= 57.1 % H2= 42.9 %</td></tr><tr><td>Total (kWh)</td><td>4'032</td><td>1'132</td><td>2'788</td><td>1'442</td><td>3'121</td><td>1'614</td><td>14'129</td><td>H1= 53.7 % H2= 46.3 %</td></tr><tr><td>%-Anteil HT</td><td>59.7 %</td><td>54.4 %</td><td>59.9 %</td><td>37.6 %</td><td>49.1 %</td><td>33.3 %</td><td>51.7 %</td><td>H1= 59.8 % H2= 40.2 %</td></tr><tr><td>Total sFr.</td><td>488.94</td><td>134.33</td><td>338.28</td><td>159.22</td><td>362.25</td><td>174.80</td><td>1657.81</td><td></td></tr></table>												Haus 3	1.10.99 - 31.3.00	1.4.00 - 30.9.00	1.10.00 - 31.3.01	1.4.01 - 30.9.01	1.10.01 - 31.3.02	1.4.02 - 30.9.02	Total	Benut- zungs- verteilung	HT (kWh)	2'408	616	1'669	542	1'533	537	7'305	H1= 53.8 % H2= 46.2 %	NT (kWh)	1'624	516	1'119	900	1'588	1'077	6'824	H1= 57.1 % H2= 42.9 %	Total (kWh)	4'032	1'132	2'788	1'442	3'121	1'614	14'129	H1= 53.7 % H2= 46.3 %	%-Anteil HT	59.7 %	54.4 %	59.9 %	37.6 %	49.1 %	33.3 %	51.7 %	H1= 59.8 % H2= 40.2 %	Total sFr.	488.94	134.33	338.28	159.22	362.25	174.80	1657.81	
	Haus 3	1.10.99 - 31.3.00	1.4.00 - 30.9.00	1.10.00 - 31.3.01	1.4.01 - 30.9.01	1.10.01 - 31.3.02	1.4.02 - 30.9.02	Total	Benut- zungs- verteilung																																																									
	HT (kWh)	2'408	616	1'669	542	1'533	537	7'305	H1= 53.8 % H2= 46.2 %																																																									
	NT (kWh)	1'624	516	1'119	900	1'588	1'077	6'824	H1= 57.1 % H2= 42.9 %																																																									
	Total (kWh)	4'032	1'132	2'788	1'442	3'121	1'614	14'129	H1= 53.7 % H2= 46.3 %																																																									
%-Anteil HT	59.7 %	54.4 %	59.9 %	37.6 %	49.1 %	33.3 %	51.7 %	H1= 59.8 % H2= 40.2 %																																																										
Total sFr.	488.94	134.33	338.28	159.22	362.25	174.80	1657.81																																																											
	<table><tr><th>Haus 4</th><th>1.10.99 - 31.3.00</th><th>1.4.00 - 30.9.00</th><th>1.10.00 - 31.3.01</th><th>1.4.01 - 30.9.01</th><th>1.10.01 - 31.3.02</th><th>1.4.02 - 30.9.02</th><th>Total</th><th>Benut- zungs- verteilung</th></tr><tr><td>HT (kWh)</td><td>2'287</td><td>583</td><td>1'428</td><td>348</td><td>1'137</td><td>239</td><td>6'022</td><td>H1= 53.8 % H2= 46.2 %</td></tr><tr><td>NT (kWh)</td><td>1'659</td><td>365</td><td>1'433</td><td>680</td><td>1'754</td><td>767</td><td>6'658</td><td>H1= 57.1 % H2= 42.9 %</td></tr><tr><td>Total (kWh)</td><td>3'946</td><td>948</td><td>2'861</td><td>1'028</td><td>2'891</td><td>1'006</td><td>12'680</td><td>H1= 53.7 % H2= 46.3 %</td></tr><tr><td>%-Anteil HT</td><td>58 %</td><td>61.5 %</td><td>49.9 %</td><td>33.9 %</td><td>39.3 %</td><td>23.8 %</td><td>47.5 %</td><td>H1= 59.8 % H2= 40.2 %</td></tr><tr><td>Total sFr.</td><td>475.10</td><td>115.78</td><td>333.18</td><td>111.63</td><td>321.69</td><td>104.26</td><td>1461.64</td><td></td></tr></table>												Haus 4	1.10.99 - 31.3.00	1.4.00 - 30.9.00	1.10.00 - 31.3.01	1.4.01 - 30.9.01	1.10.01 - 31.3.02	1.4.02 - 30.9.02	Total	Benut- zungs- verteilung	HT (kWh)	2'287	583	1'428	348	1'137	239	6'022	H1= 53.8 % H2= 46.2 %	NT (kWh)	1'659	365	1'433	680	1'754	767	6'658	H1= 57.1 % H2= 42.9 %	Total (kWh)	3'946	948	2'861	1'028	2'891	1'006	12'680	H1= 53.7 % H2= 46.3 %	%-Anteil HT	58 %	61.5 %	49.9 %	33.9 %	39.3 %	23.8 %	47.5 %	H1= 59.8 % H2= 40.2 %	Total sFr.	475.10	115.78	333.18	111.63	321.69	104.26	1461.64	
	Haus 4	1.10.99 - 31.3.00	1.4.00 - 30.9.00	1.10.00 - 31.3.01	1.4.01 - 30.9.01	1.10.01 - 31.3.02	1.4.02 - 30.9.02	Total	Benut- zungs- verteilung																																																									
	HT (kWh)	2'287	583	1'428	348	1'137	239	6'022	H1= 53.8 % H2= 46.2 %																																																									
	NT (kWh)	1'659	365	1'433	680	1'754	767	6'658	H1= 57.1 % H2= 42.9 %																																																									
	Total (kWh)	3'946	948	2'861	1'028	2'891	1'006	12'680	H1= 53.7 % H2= 46.3 %																																																									
%-Anteil HT	58 %	61.5 %	49.9 %	33.9 %	39.3 %	23.8 %	47.5 %	H1= 59.8 % H2= 40.2 %																																																										
Total sFr.	475.10	115.78	333.18	111.63	321.69	104.26	1461.64																																																											
<table><tr><td>Haus 3 + 4 (kWh)</td><td>7'978</td><td>2'080</td><td>5'649</td><td>2'470</td><td>6'012</td><td>2'620</td><td>26'809</td><td>H1= 53.8 % H2= 46.2 %</td></tr><tr><td colspan="7"></td><td>H1= 57.1 % H2= 42.9 %</td></tr></table>													Haus 3 + 4 (kWh)	7'978	2'080	5'649	2'470	6'012	2'620	26'809	H1= 53.8 % H2= 46.2 %								H1= 57.1 % H2= 42.9 %																																					
Haus 3 + 4 (kWh)	7'978	2'080	5'649	2'470	6'012	2'620	26'809	H1= 53.8 % H2= 46.2 %																																																										
							H1= 57.1 % H2= 42.9 %																																																											
Strompreise pro kWh HT = Hochtarif 0.141 Fr. / kWh NT = Niedertarif 0.092 Fr. / kWh																																																																		

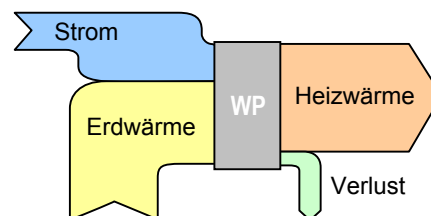
Energieverbrauch der Wärmepumpenanlagen (Stromabrechnung der EGO) von Haus 1 bis Haus 4 über die gesamte Messperiode vom 1.10.99 - 30.9.02 sowie die Aufteilung des Wärmebezugs auf Hoch- und Niedertarif



HT = Hochtarif, NT = Niedertarif, EGO = Elektrizitätsgenossenschaft 8112 Otelfingen

A207	Erdwärmesondenanlage Otelfingen (ZH)	EBERHARD & Partner AG Geologie • Energie • Umwelt
21.10.2003		

Aufstellung der Energieflüsse der Wärmepumpenanlage und ein Vergleich der effektiven EGO-Zählerstände mit den gemessenen beziehungsweise berechneten Stromverbräuchen der Verdichter, der Umwälzpumpen und der Ventilation



Haus 1	Feb 02	Mrz 02	Apr 02	Mai 02	Feb-Mai 02	Feb-Mrz 02
Wärmebezug primär (kWh)	1'338	1'276	962	318	3'894	2'614
Wärme sekundär (kWh)	1'793	1'704	1'287	433	5'217	3'497
Verdichter* gemessen	470	454	352	134	1'410	924
Pumpe primär* gemessen	31	30	23	9	93	61
Pumpe sek 1* berechnet	7	6	5	2	20	13
Pumpe sek 2* berechnet	7	6	5	2	20	13
Pumpe Heiz** berechnet	9	9	8	8	34	18
Ventilation** berechnet	20	23	22	23	88	43
Strom total (kWh)	544	528	415	178	1'665	1'072
Verlust (kWh)	89	100	90	63	342	189
Betriebsstunden (h)	206	195	145	55	602	402
JAZ (WP)	3.81	3.76	3.66	3.23	3.70	
JAZ (WP + UP)	3.30	3.23	3.10	2.44	3.13	

Haus 3	Feb 02	Mrz 02	Apr 02	Mai 02	Feb-Mai 02	Feb-Mrz 02
Wärmebezug primär (kWh)	1'096	967	941	548	3'551	2'063
Wärme sekundär (kWh)	1'560	1'398	1'356	802	5'116	2'958
Verdichter* gemessen	404	363	357	216	1'340	767
Pumpe primär* gemessen	43	39	36	23	141	81
Pumpe sek 1* berechnet	8	7	7	4	26	15
Pumpe sek 2* berechnet	8	7	7	4	26	15
Pumpe Heiz** berechnet	18	19	18	18	73	37
Ventilation** berechnet	20	23	22	23	88	43
Strom total (kWh)	501	458	447	288	1'694	958
Verlust (kWh)	37	27	32	34	129	63
Betriebsstunden (h)	208	185	171	110	674	393
JAZ (WP)	3.86	3.85	3.80	3.71	3.82	
JAZ (WP + UP)	3.11	3.06	3.03	2.78	3.02	

EGO-Daten (Hochrechnung für die Monate Februar und März anhand der Betriebsstunden)

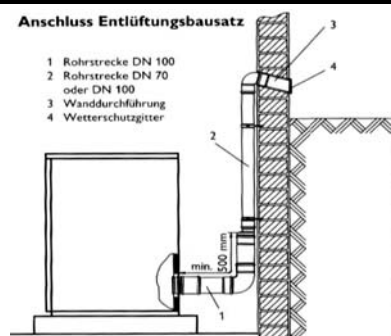
Da die EGO die Stromverbräuche halbjährlich erfasst, mussten die Verbräuche im Februar 02 und März 02 mittels Halbjahreswerten und den der Betriebsstunden der Wärmepumpen berechnet werden. Für die Monate April und Mai 02 konnten keine Daten mehr berechnet werden, da die Messungen nur bis Juni 02 erfolgten.

Haus 1		
Zählerstand der EGO berechnet für die Periode Feb 02 - Mrz 02	kWh	1'063
(Halbjahresperiode Oktober 01 - März 02, 3535 kWh x 30%)		
Messdaten Stromverbrauch und berechnete Stromverbräuche	kWh	1'072

Haus 3		
Zählerstand der EGO berechnet für die Periode Feb 02 - Mrz 02	kWh	906
(Halbjahresperiode Oktober 01 - März 02, 3121 kWh x 29%)		
Messdaten Stromverbrauch und berechnete Stromverbräuche	kWh	958

Ventilation

Die Wärmepumpe wird mit dem Kältemittel R 290 (Propan) betrieben. Die Vorschriften der Betriebssicherheit verlangen aufgrund der Explosionsgefährlichkeit von Propan ein in die Wärmepumpe integriertes Entlüftungssystem (siehe nebenstehendes Prinzipschema).



* nur bei WP Betrieb, ** Dauerbetrieb (Intervallschaltung)

A207	Erdwärmesondenanlage	EBERHARD & Partner AG
Aarau, 03.11.03	Otelfingen (ZH)	Geologie • Energie • Umwelt

Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpenanlagen mit isolierten und unisolierten Sonden in den oberen 20 m der Bohrung

Mehrkosten für die Isolation im oberen Sondenbereich (20 m UkT)

Grösserer Bohrdurchmesser Ø 9 ⁵ / ₈ "	2'366.00 Fr.
Isolation Tubolit, Wandstärke 2mm 2 x 20 m = 40 m à Fr. 4.90	196.00 Fr.
Einbau Isolation 2 Gruppenstunden	464.00 Fr.
Mehrkosten	3'026.00 Fr.

Stromkosteneinsparung von Haus 1 im Vergleich zu Haus 3

Periode Feb - Mrz 2002

	Haus 1	Haus 3
Wärme aus Sonden (Qp)	2'614 kWh	2'063 kWh
Wärme Sekundärkreislauf (Qs) ¹⁾	4'057 kWh	2'958 kWh
Stromverbrauch nach EGO (Qe)	1'063 kWh	906 kWh
Wärme pro kWh Strom (=Qs/Qe)	3.817 kWh	3.265 kWh
Stromkosten ²⁾ (k) 0.1214 Fr. pro kWh	129.05 Fr.	109.99 Fr.
Kosten pro kWh Wärme (a=k/Qs)	a ₁ = 0.0318 Fr.	a ₃ = 0.0372 Fr.

Periode 1999 - 2002 (3 Jahre)

Wärme aus Sonden (QP=QEx(Qp/Qe))	38'020 kWh	32'172 kWh
Wärme aus Sonden pro Jahr (=QP/3)	12'673 kWh	10'724 kWh
Wärme Sekundärkreislauf (QS=QEx(Qs/Qe))	59'015 kWh	46'131 kWh
Wärme Sekundärkreislauf pro Jahr (=QS/3)	19'672 kWh	15'377 kWh
Stromverbrauch nach EGO (QE)	15'461 kWh	14'129 kWh

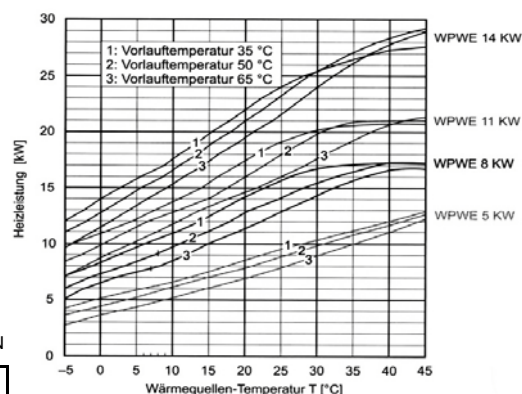
Stromkosten ²⁾ (K=QS*a)	1'876.68 Fr.	1'716.07 Fr.
Stromkosten berechnet mit "Kosten pro kWh Wärme" von Haus 3 (K=QS/a ₃)	2'195.36 Fr.	
Kostendifferenz	318.68 Fr.	
Kostendifferenz pro Jahr	106.23 Fr.	Annuität

Amortisationsberechnung

Verzinsung	5%	8%
Mehraufwand für die Isolation	3'026.00 Fr.	3'026.00 Fr.
Annuität	106.23 Fr.	106.23 Fr.
Amortisationszeit	18 Jahre	15 Jahre

¹⁾ Die im Vergleich mit Haus 3 höheren Vorlauftemperaturen in Haus 1 bedingen einen höheren Strominput beim Verdichter der Wärmepumpe. Um nun einen realen Vergleich der finanziellen Aufwendungen beider Häuser zu ermöglichen wurde bei tiefen Vorlauftemperaturen im Heizkreislauf von Haus 1 mittels des Leistungsdiagramms der Wärmepumpe (WPWE 8kW von Stiebel Eltron) die entsprechende Heizleistung erhöht. Der ermittelte Korrekturfaktor beträgt hiermit 1.16.

Leistungsdiagramm, WPWE 8kW STIEBEL ELTRON



²⁾ berechnet mit 60% Hochtarif & 40% Niedertarif (vgl. Beilage 20)

A207

Aarau, 21.10.2003

Erdwärmesondenanlage
Otelfingen (ZH)

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt