

---

Programm  
**Geothermie**

# **EWS - Anlage**

**Überbauung Tschann, Buchrain LU**  
**Messkampagne für Erdspeicheranlagen**

ausgearbeitet durch  
**Dr. Ch. Kapp und M. Morath**  
**NEK Umwelttechnik AG**  
**Clausiusstrasse 41, 8033 Zürich**

im Auftrag des  
**Bundesamtes für Energie**

<b>BAUHERRSCHAFT:</b>	Kantonale Lehrerpensionskasse Bundesplatz 14 6002 Luzern
<b>OBJEKT:</b>	Wohn- und Gewerbeüberbauung Tschannland Unterdorfstrasse 6033 Buchrain
<b>LAGE:</b>	Parzelle Nr. 332 Koordinaten: ~ 669 100 / 216 450 6033 Buchrain
<b>MESSTECHNIK:</b>	NEK Umwelttechnik AG Clausiusstrasse 41 8033 Zürich
<b>ANHANG:</b>	A1 Übersicht Standort EWS - Anlage (M 1:25000) A2 Erdwärmesonden - Lageplan A3 Prinzipschema Wärme- / Kälteerzeugung A4 Strom- und Ölverbrauch A5 Monatliche Wärmeenergie aus den EWS A6 Monatliche Wärmelieferung (nach WP) A7 Monatliche Kühlenergie A8 Bilanzierung abgegebene Wärmeenergie A9 Monatliche Arbeitszahlen der WP-Anlage A10 Soletemperaturen in den EWS A11 Soletemp.: Typischen Winter- und Sommertag A12 Mittlere Tages- und Rücklauftemperaturen A13 Erdwärmesondenleistungen (Heizungsbetrieb) A14 Erdwärmesondenleistungen (Rückkühlbetrieb) A15 Monatliche Wärmeenergien über die EWS
<b>VERTEILER:</b>	Bundesamt für Energie 1 Expl. Lehrerpensionskasse des Kantons Luzern 1 Expl. Hofstetter Bauökonomie AG 1 Expl. NEK Umwelttechnik AG 1 Expl.

**INHALTSVERZEICHNIS**

	<b>Seite</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	5
<b>RESUME</b>	6
<b>ABSTRACT</b>	7
<b>1. AUSGANGSLAGE</b>	8
1.1 Allgemeines	8
1.2 Auftrag und Zielsetzung	8
<b>2. SYSTEMBESCHRIEB DER ANLAGE</b>	10
2.1 Kurzbeschreibung	10
2.2 Erdwärmesonden	10
2.3 Gebäudetechnik, Technische Daten	11
2.4 Messanordnung	13
<b>3. GEOLOGISCHE UND HYDROGEOLOGISCHE GEGEBENHEITEN</b>	14
3.1 Geologische Verhältnisse	14
3.2 Hydrogeologische Verhältnisse	14
<b>4. HAUPTERGEBNISSE ZWISCHENBERICHT</b>	15
4.1 Zusammenfassung der Messresultate	15
4.2 Nähere Betrachtungen im Schlussbericht	16

<b>5.</b>	<b>HAUPTERGEBNISSE GESAMTE MESSPERIODE</b>	<b>17</b>
5.1	Messstellenschema	17
5.2	Lage der Erdwärmesonden und der Verbindungsleitungen	17
5.3	Strom- und Ölverbrauch	17
5.4	Wärmeenergie aus dem Erdreich	18
5.5	Wärmelieferung nach der Wärmepumpe	18
5.6	Kühlenergie aus dem Erdreich und von der WP	19
5.7	Bilanzierung der abgegebenen Wärmeenergien	19
5.8	Arbeitszahl der Wärmepumpenanlage	19
5.9	Soletemperaturen	22
5.10	Soletemperaturen Winter- und Sommertag	22
5.11	Mittlere Tagesvor- und Rücklauftemperaturen	22
5.12	Soll - Ist - Vergleich	23
5.13	Kosten der nutzbaren Energie	24
5.14	Bilanzierung über das Erdwärmesondenfeld	26
<b>6.</b>	<b>AUSBLICK</b>	<b>27</b>

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

## ZUSAMMENFASSUNG

### A ZIEL DER ARBEIT

Durch die messtechnische Überwachung des Erdwärmespeichers mit 19 Doppel-U-Sonden zu je ca. 200 m Tiefe sind die Daten sowohl über das Kurz- als auch über das Langzeitverhalten des Untergrundes verfügbar. Ziel der Arbeit war, Angaben über die nutzbare Energiemenge, Betriebsart der Wärmepumpe, die Temperaturverhältnisse, Versorgung der Rückkühlenergie von gewerblicher Abwärme sowie das Verhalten des Untergrundes und dessen Regenerierbarkeit machen zu können. Die Messkampagne dauerte zwei volle Jahreszyklen von November 1996 bis Oktober 1998.

### B HAUPTERGEBNISSE

Die Messungen zeigen, dass 80 - 85 % der Jahresenergiemenge mit der Wärmepumpenanlage erbracht werden können. Der Rest erfolgt über den ölbetriebenen Heizkessel. Die betriebliche Abwärme kann zu 100 % über das Sondenfeld im Untergrund gespeichert werden und somit grösstenteils die Regenerierbarkeit gewährleisten.

Die Jahresarbeitszahl JAZ beträgt nach einer Optimierung in der zweiten Messphase rund 2.71 und liegt somit im Bereich der geplanten Werte von 2.7 - 3.1.

### C PROBLEME UND EMPFEHLUNGEN

Die hohen Soletemperaturen zeigen den Speichereffekt der Abwärmenutzung im Erdreich und könnten durch Verlängerung der Wärmepumpenlaufzeiten noch besser genutzt werden.

Eine Verbesserung der JAZ ist anzustreben. Durch eine Senkung der Vorlauf-temperatur bei der Wärmepumpe und auch durch den Einbau einer Frequenzsteuerung bei der EWS - Pumpe kann eine spürbare Erhöhung der JAZ erreicht werden.

Bei einer allfälligen Optimierung ist es sinnvoll, die messtechnische Überwachung weiterzuführen.

**RESUME****A BUT DU RAPPORT**

L'étude des 19 échangeurs de chaleur souterrains en double-U, longs de environ 200 m, fourni des données à long et à court terme au sujet des conditions thermiques du sol. Le but spécifique de cet ouvrage était d'obtenir de l'information sur l'énergie thermique disponible, le charroi de l'énergie du refroid des magasins, la température, ainsi que la performance du sol et de la régénération d'énergie.

La période d'étude fut de novembre 1996 à novembre 1998.

**B PRINCIPAUX RESULTATS**

Les mesures ont démontré qu'il est possible de produire entre 80 – 85 % de l'énergie annuelle par la pompe de chaleur. Le rest est produit par une chaudière à mazout. La chaleur de l'installation frigorifique peut à 100 % être donné au rocher par les échangeurs souterrains.

Comme ça, la régénération est garantie pour la plupart.

Le coefficient de performance annuel (CPA) est environ 2.71 et alors juste plus haut que les vaulers planifiés 2.7 à 3.1.

**C PROBLEMES ET RECOMMANDATIONS**

Les températures élevées de l'eau de refroidissement montrent l'effet du storage de la chaleur de l'installation frigorifique dans le sol et pourraient encore mieux exploité si la pompe à chaleur travaille encore plus longtemps (plus d' heure en marche).

Une amélioration du coefficient de performance annuel est désiré. Par une descente de la température de l'eau qui sort du condenseur de la pompe à chaleur et par l'installation d'une commande de frequence dans les pompes de recirculation peut être reçu une élévation sensible du coefficient de performance annuel.

En cas des travaux d'optimations, il est approprié de continuer l'étude et les mesures.

**ABSTRACT****A PURPOSE OF THE STUDY**

Monitoring of the 19 double-U, about 200m long earth heat exchangers provides short-term and long-term data about the thermal conditions of the ground. The specific goal of this work was to obtain information about the available thermal energy, the temperature conditions, carry off of the waste heat from the cooling plant as well as the performance of the ground and the energy regeneration.

The monitoring period was from November 1996 until October 1998.

**B MAIN RESULTS**

The measurements show, that 80 – 85 % of the annual heat can be produced with the heat pump. The rest is provided by an oil boiler. The waste heat from the cooling plant of the shop can be stored to 100 % in the rock through the heat exchangers. In this way, the regeneration of the rock is mostly provided.

The annual coefficient of performance (COP) is after a optimization in the second part of the monitoring period about 2.71 and thus slightly higher than the planned values of 2.7 – 3.1.

**C PROBLEMS AND RECOMMENDATIONS**

The high cooling water temperatures show use of the storage efficiency of the waste heat in the rock and could even better used by making the hours of operation of the heat pump longer.

An improvement of the annual COP is to aim. By lowering the come out temperature from the condenser of the heat pump and by installation of a frequency control at recirculating pumps, the annual COP can be increased considerable.

If the system is going to be optimized, it makes sense, to carry on the monitoring of the plant.

## 1. AUSGANGSLAGE

### 1.1 ALLGEMEINES

Im Spätherbst 1996 wurde die Grossüberbauung Tschann mit Wohn-, Gewerbe- und Geschäftseinheiten in Buchrain fertiggestellt (geografische Lage siehe Anhang A1). Die Gesamtheizleistung beträgt  $Q_H = 460$  kW, die Kälteleistungen für Klima- und Gewerbekälte  $Q_K = 130$  kW. Unmittelbar neben den Gebäuden im Bereich der Parkplätze wurden 19 Erdwärmesonden auf Tiefen von ca. 200 m abgeteuft und über Sammelleitungen mit der Energiezentrale verbunden. Das Erdwärmesondenfeld dient neben dem primären Wärme- und Kälteentzug aus dem Molassefels der Energiespeicherung, indem die Abwärme der Kühlmaschinen der Gewerbe- und Klimakälte über die Sonden in den Untergrund eingebracht wird, um bei Bedarf wieder genutzt zu werden. Da zur Bereitstellung der Kälte für die Lebensmittelvitriolen im Supermarkt während 24 Stunden pro Tag und 365 Tagen im Jahr Abwärme anfällt, läuft die Soleumwälzpumpe zur Wärmeabfuhr in den Boden kontinuierlich. Auf der warmen Seite dient ein Ölbrenner zur Abdeckung der Spitzenleistungen und zur Überbrückung der Sperrstunden der Wärmepumpe.

### 1.2 AUFTRAG UND ZIELSETZUNG

Bisher gelangten in der Schweiz unseres Wissens erst relativ wenige Erdwärmesondenanlagen mit derart vielen Sonden zur Ausführung, von welchen messtechnische Überwachungsergebnisse vorliegen. Aus diesem Grund gibt es heutzutage nur wenige wissenschaftlich erhärtete Daten sowohl über das Kurz- als auch über das Langzeitverhalten derartiger Systeme. Insbesondere ist die Kombination "Heizen - Kühlen - Speichern" für die alternative Energienutzung mittels Erdwärmesonden besonders interessant. Um Angaben über die effektiv nutzbare Energiemenge, die Funktionsart der Wärmepumpe, die Temperaturverhältnisse sowie über das Verhalten des Untergrundes, dessen Regenerierbarkeit und einiges mehr zu erhalten, ist nach Fertigstellung des Neubaus eine messtechnische Überwachung installiert worden.

Die Messkampagne dauerte insgesamt zwei Jahre und umfasste je zwei volle Jahreszyklen. Ein Zyklus beinhaltet jeweils die Entladung des Untergrundes im Winter und die Nachladung im Sommer.

Die Messungen wurden im November 1996 aufgenommen. Die Rohdaten wurden kontinuierlich ausgewertet, um einen Überblick über die Funktionsweise der Anlage zu erhalten.

Der Zeitraum des ersten Zwischenberichtes umfasst die Messungen seit Bezug des Gebäudekomplexes im Herbst 1996, d.h. ab November 1996 und reicht bis zum Oktober 1997. Es ist zu berücksichtigen, dass während des ersten Betriebswinters über das System auch die Gebäudeentfeuchtung vorgenommen worden ist.

Dieser Schlussbericht beinhaltet einen zusätzlichen Messzyklus von einem Jahr ab dem Zeitraum des Zwischenberichtes, d.h. zwei volle Betriebsjahre.

Wir danken an dieser Stelle dem Bundesamt für Energie für den erteilten Messauftrag und würden es begrüßen, an anderer Stelle wieder eine Zusammenarbeit anzustreben.

## 2. SYSTEMBESCHREIB DER ANLAGE

### 2.1 KURZBESCHREIB

Wie aus Anhang A3 ersichtlich ist, dient das Erdwärmesondenfeld als Wärmequelle für die Wärmepumpe. Diese ist gleichzeitig als Kältemaschine einsetzbar und versorgt sowohl den Wärme- als auch den Brauchwarmwasserspeicher mit Energie. Zur Spitzenabdeckung steht ein Ölkessel zur Verfügung. Das Sondenfeld dient gleichzeitig aber auch als Kältequelle, indem es während 24 Stunden am Tag und 365 Tagen im Jahr die Abwärme der Gewerbekühlung des im Hauptgebäude untergebrachten Migros-Ladens aufnimmt. Zudem kann über das Sondenfeld die erforderliche Klimakälte für gewisse Räume bereitgestellt werden. Die gemischte Nutzung ist nur deshalb möglich, weil durch die Erdwärmesonden ein Felsvolumen im Untergrund erschlossen wird, welches zur Speicherung von Wärme und Kälte zur Verfügung steht, die an der Oberfläche zum Zeitpunkt des Anfalls nicht benötigt wird.

### 2.2 ERDWÄRMESONDEN

Wie bereits erwähnt, handelt es sich im vorliegenden Fall um eine Erdwärmesondenanlage zur saisonalen Energiespeicherung von Wärme und Kälte im Untergrund. Das bivalent installierte System besteht aus 19 Erdwärmesonden auf Tiefen von je ca. 200 m ab GOK. Aufgrund artesisch gespannter Kluftwasservorkommen erreichten 4 Bohrungen diese Endteufe nicht und konnten nur auf 110, 150, 157 und 167 m ab OKT eingebracht werden. Die Sonden mit einem Durchmesser von  $\varnothing = 40$  mm weisen je 2 Vor- und Rückläufe auf und sind, wie aus Anhang A2 ersichtlich, ausserhalb des Gebäudes in einer Doppelreihe angeordnet. Die Verbindung in die Energiezentrale erfolgt mit zwei Sammelleitungen, welche im Tichelmannsystem angeordnet und gegen oben isoliert sind.

## 2.3 GEBÄUDETECHNIK, TECHNISCHE DATEN

### Wärmeerzeugung

Basierend auf obigen Ausführungen sowie in Anlehnung an das Prinzipschema im Anhang A3 erfolgt die Erzeugung der Heizenergie primär über die Wärmepumpe, welche mit den 19 Erdwärmesonden als Wärmequelle gekoppelt ist. Mit der Wärmepumpe wird der Wärmespeicher mit einem Volumen von  $V = 5'000 \text{ l}$  gespeisen, wobei das Temperaturniveau  $T_V / T_R = 50 / 40^\circ \text{ C}$  beträgt. Reicht die von der Wärmepumpe erzeugte Wärme resp. deren Temperaturniveau nicht mehr aus, kommt der Ölkessel zum Einsatz, der in diesem Fall als Spitzenabdeckung die zusätzliche Wärme liefert. Da verbraucherseitig ein Temperaturniveau von  $T_V / T_R = 55 / 40^\circ \text{ C}$  verlangt wird, muss die Differenz ab der Wärmepumpe vom Ölkessel erbracht werden. Auch dient der Spitzenkessel zur Abdeckung der Stillstandszeiten der Wärmepumpe, welche aufgrund der gegebenen Stromtarifsituation  $3 \times 2$  Stunden pro Tag betragen.

### Brauchwarmwassererzeugung

Die Brauchwarmwassererzeugung erfolgt monovalent, d. h. ohne Kopplung an den Spitzenkessel über die Wärmepumpe. Diese versorgt ganzjährig einen BWW-Speicher mit einem Volumen von  $V = 3'000 \text{ l}$  mit einem Temperaturniveau von  $T_V / T_R = 62 / 55^\circ \text{ C}$ .

### Wärmeverteilung

Die Verteilung der Heizenergie in den einzelnen Gebäudekomplexen erfolgt über Heizkörper und Lüfterhitzer.

### Kälteerzeugung

Wie weiter oben kurz erwähnt, wird im Neubau Kälte sowohl für die Gewerbelüftung (Plus- und Minuskälte im Laden) als auch für die Klimatisation einzelner Räume (Geschäfte, Restaurants) benötigt. Von Seiten der Migros fällt konstant Abwärme von maximal  $100 \text{ kW}$  an, welche vom Erdwärmesondenfeld abgenommen wird. Da keine andere Möglichkeit besteht, die betriebliche Abwärme abzuführen als über die Erdwärmesonden, wurde dem Betreiber eine Garantie dafür abgegeben, dass ein maximales Temperaturniveau im Vorlauf aus dem Sondenfeld von  $T \leq 22^\circ \text{ C}$  gehalten werden kann.

Die Klimakälte für einzelne Räume wird über die Wärmepumpe / Kältemaschine produziert. Sie gelangt von dort mit einem Temperaturniveau von  $T_V / T_R = 12 / 18^\circ \text{C}$  in einen Kältespeicher ( $V = 5'000 \text{ l}$ ). Die Abwärme der Wärmepumpe wird im Kältefall zur Beheizung des Wärme- und BWW-Speichers genutzt. Sind diese voll, wird sie über einen Wärmetauscher und die Sonden ins Erdreich abgefahren.

Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, den Kältespeicher im Freecooling-Verfahren über die Erdwärmesonden zu laden. Dies bedingt jedoch eine Vorlauftemperatur aus dem Sondenfeld von  $T \leq 12^\circ \text{C}$ , was aufgrund der bisherigen Erfahrungen wegen der Abwärmespeicherung im Untergrund nicht der Fall ist.

### Kälteverteilung

Die Verteilung der Klimakälte erfolgt ab dem Kältespeicher zu den Verbrauchern in der Mall - Zone. Die Gewerbekälte wird ab dem Wärmetauscher zum Sondenfeld über ein Leitungsnetz den verschiedenen Gewerbeverbraucher zur Verfügung gestellt.

### Technische Daten (grobe Übersicht)

Installierte Heizleistung Wärmepumpe:	250 kW / 180 kW
Installierte Kälteleistung Kältemaschine (WP):	178 kW
Installierte Heizleistung Ölkessel:	325 kW
Rückkühlleistung Migros (ganzjährig)	100 kW
Installierte Klimakälteleistung:	145 kW
Nutzbares Erdvolumen:	ca. 200'000 m <sup>3</sup>
Vertikale Sondenmeter:	Total 19 EWS Total 3620 m' Sondenlänge Sondentiefe ca. 200 m' 4 Rohre pro Sondenmeter = ca. 14'500 m' Gesamtrohrlänge
Horizontale Sondenmeter:	ca. 380 m' (Ø 40 mm) ca. 300 m' (Ø 125 mm)

## 2.4 MESSANORDNUNG

Die Messanordnung ist aus dem beiliegenden Prinzipschema in Anhang A3 ersichtlich.

Insgesamt sind folgende Wärmemessstellen installiert:

Die Wärmemessung M1 misst den Wärmeentzug aus und / oder die Wärmeeinbringung in das Erdwärmesondenfeld. Das Wärmeträgermedium ist Wasser / Glykol.

Die Wärmemessung M2 ist für die Wärmeverteilung zuständig, während die Wärmemessung M3 nur für das Brauchwarmwasser mit der hohen Vorlauftemperatur von  $T_v = 62^\circ \text{C}$  installiert worden ist.

Die Kälte für die Raumkühlung wird durch den Wärmehähler M4 registriert.

Die Messung der gewerblichen Rückkühlung erfolgt über den Wärmehähler M5 und wird nur primärseitig gemessen.

Der Heizkessel ist mit einem Ölzähler ausgerüstet (M6). Die Wärme aus dem Heizkessel (Output) kann mit Hilfe des Kesselwirkungsgrades genügend genau abgeschätzt werden.

Der Stromverbrauch der Wärmepumpe inkl. aller Nebenantriebe (Umwälzpumpen, Lüftung Läden etc.) wird über den Stromzähler M7 erfasst. Der Elektrozähler M7 zeigt also nicht nur den Stromverbrauch der Wärmepumpe an. Deshalb kann bei der Energiebilanz die Arbeitszahl berechnet werden, wobei noch die Abzüge der nicht relevanten Verbraucher berücksichtigt werden müssen.

### **3. GEOLOGISCHE UND HYDROGEOLOGISCHE GEGEBENHEITEN**

#### **3.1 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE**

Das Gelände liegt im Bereich der Oberen Meeresmolasse. Lithologisch handelt es sich um eine mächtige Wechselfolge von Sandstein, Mergel und Nagelfluh in unterschiedlicher Zusammensetzung. Die Ausbildung des Mergels variiert von sandig bis tonig, während diejenige der Sandsteine und der Nagelfluh eher monoton ist (mergeliger bis "sauberer" Sandstein, meist quarzitischer Nagelfluh). Die einzelnen Einheiten weisen überwiegend Mächtigkeiten im Bereich einiger Dutzend Meter auf. Nur untergeordnet konnten relativ dünne Bänke mit anderer Lithologie festgestellt werden.

#### **3.2 HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE**

Grundsätzlich gilt, dass sich das Bauareal im Gewässerschutzbereich-B befindet. Während den Bohrarbeiten wurden mit Ausnahme von zwei Bohrungen keine Wassereintritte festgestellt. Somit ist davon auszugehen, dass im fraglichen Gebiet kein zusammenhängender Grundwasserspiegel im Molassefels existiert. In SB 15 und SB 16 wurde jedoch ein artesisch gespanntes Kluftwasservolumen angebohrt, welches beträchtliche Wassermengen an die Geländeoberfläche lieferte. Da auch nach etlichen Tagen des Auslaufens keine deutliche Entspannung des Wasserdruckes festgestellt wurde, ist davon auszugehen, dass das Kluftwasservolumen eine beachtliche Grösse einnimmt oder aber ständig regeneriert wird.

## 4. HAUPTERGEBNISSE ZWISCHENBERICHT

In unserem Zwischenbericht vom 15. Dezember 1997 ging es u. a. um einen Vergleich zwischen den bis dahin vorliegenden Messergebnissen und der angenommenen Planungswerte. Diese sind dargestellt in Input und Output der Energieträger, Wärme- und Kälteenergie, Vor- und Rücklauftemperaturen sowie den monatlichen Arbeitszahlen.

Dem Betrieb der Gewerblichen Rückkühlung, welche ganzjährig permanent grössere Wärmemengen in den "Erdwärmespeicher" abgibt, ist ein besonderes Augenmerk zu schenken. Eine vertragliche Vereinbarung garantiert dem Nutzer eine problemlose Rückgabe der Wärmeenergie an den Erdwärmespeicher ohne Einbau von zusätzlicher Rückkühlung über die Aussenluft.

### 4.1 ZUSAMMENFASSUNG DER MESSRESULTATE

Die ausgewerteten Daten zeigen, dass das System problemlos funktioniert und die Erwartungen erfüllt.

Der ölbetriebene Heizkessel wird in den Wintermonaten zur Spitzenlastdeckung benötigt. Der Energiebedarf wird in der Messperiode November 1997 bis Oktober 1998 wie vorgesehen nur zu ca. 18% mit Öl gedeckt. Der Rest erfolgt wie geplant mit der Wärmepumpe.

Das Brauchwarmwasser wird bis zu einem Temperaturniveau von  $T = 50^{\circ}\text{C}$  mit der Wärmepumpe und dem Heizkessel erzeugt. Die Wärmepumpe wird zusätzlich monovalent benötigt, um das restliche BWW auf ein Temperaturniveau von  $T = 62^{\circ}\text{C}$  zu bringen. Im Verhältnis zur Gesamtenergie ist diese Wärmemenge sehr klein (rund 10 % der gesamten Wärmemenge).

Die Kälteenergie wird für die Klimatisierung der Mall - Zone benötigt. Der Anteil ist zwar klein (28 MWh/a), jedoch mehr als 5 x höher als seinerzeit geplant (5 MWh/a).

Die Rückkühlung aus der Gewerbekühlung der Migros ist ganzjährig in Betrieb und wird zur "Regeneration" des Erdreiches genutzt. Diese Wärmeenergie kann problemlos über das Sondenfeld in den Untergrund gespeichert werden. Es wird

eine monatlich Rückkühlenergie zwischen ca. 17 MWh/Monat im Januar 1997 bis ca. 43 MWh/Monat im August 1998 kontinuierlich ins Erdreich abgegeben.

Auffallend ist die relativ hohe Soletemperatur im Spätsommer 1997 von bis zu  $T = 18^\circ \text{C}$ , welche vor allem auf die Abwärmenutzung resp. die Speicherung im Untergrund zurückzuführen ist.

Die Jahresarbeitszahl über die Messperiode beträgt ca. 3.1. Im Sommer sind die Arbeitszahlen infolge der Brauchwarmwassererwärmung mit den hohen Vorlauf-temperaturen und den kurzen Laufzeiten eher schlecht zu bewerten, während in den Wintermonaten durchaus Werte bis gegen 3.65 zu erzielen sind. Gewisse Speicherverluste spielen sicher auch noch eine Rolle.

#### **4.2 NÄHERE BETRACHTUNGEN IM SCHLUSSBERICHT**

Infolge von Unstimmigkeiten bei der Strommessung hat sich durch einen Faktorfehler der JAZ - Wert des Zwischenberichtes verschlechtert. Der in der Planung gewünschte JAZ - Wert von  $\approx 3.5$  ist auf ca. 2.2 gefallen. Die aus der Strommessung erhaltenen Werte waren z.T. mit falschen Faktoren behaftet und durch das vermeintlich gute Resultat nicht mehr kontrolliert worden. In Kapitel 5.8 (Arbeitszahl der Wärmepumpenanlage) wird dieses Thema deshalb ausführlich behandelt.

## **5. HAUPTERGEBNISSE GESAMTE MESSPERIODE**

Sämtliche nachfolgend aufgeführten Aspekte können den Diagrammen im Anhang entnommen werden.

### **5.1 MESSSTELLENSCHEMA**

Aus Anhang A3 ist das vereinfachte Funktionsschema der Wärme- und Kälteerzeugung mit den Messstellen ersichtlich.

### **5.2 LAGE DER ERDWÄRMESONDEN UND DER VERBINDUNGSLEITUNGEN**

Der Grundrissplan (Anhang A2) dient als Übersicht für die Erdwärmesondenstandorte. Daraus sind die 19 Bohransatzpunkte sowie die Lage der horizontalen Anbindung ersichtlich.

### **5.3 STROM- UND ÖLVERBRAUCH**

In Anhang A4 ist der monatliche Strom- und Ölverbrauch der Energiezentrale für beide Messperioden ersichtlich. Daraus geht hervor, dass der Ölbrenner im zweiten Messjahr einiges mehr zum Einsatz gelangt als im Vorjahr. Andererseits ist beim Stromverbrauch eine eindeutige Reduktion zu verzeichnen, was insgesamt auf eine Substitution von Strom durch Heizöl hindeutet.

Abklärungen haben ergeben, dass hierfür regeltechnische Änderungen bei den Temperaturen sowie auch bei der Wärmepumpe die Ursache darstellen. In Kapitel 5.8 (Arbeitszahlen der Wärmepumpenanlage) wird näher darauf eingegangen.

Während der Sommermonate gelangt der Ölkessel nicht zum Einsatz; das Brauchwarmwasser wird über die Wärmepumpe bereitgestellt, was sich im Stromverbrauch niederschlägt.

Der Heizkesselersatz ist auf die Spitzenabdeckung sowie auch auf die Überbrückung der Sperrzeiten für die Wärmepumpe (3 x 2 Stunden täglich) zurückzuführen.

#### 5.4 WÄRMEENERGIE AUS DEM ERDREICH

Anhang A5 zeigt die monatlich aus den Erdwärmesonden bezogene Wärmeenergie (die Kälteenergie ist hierin **nicht** berücksichtigt). Deutlich erkennbar ist der Einfluss der Aussentemperatur auf den Wärmeentzug aus den Sonden, der während beiden Messperioden im Januar seinen Höhepunkt erreicht und dann bis zum August auf ein Minimum abfällt.

Die Gegenüberstellung beider Messjahre ergibt nur geringfügige Verschiebungen, welche den jahreszeitlichen Schwankungen zuzuschreiben sind.

#### 5.5 WÄRMELIEFERUNG NACH DER WÄRMEPUMPE

Im Anhang A6 ist der monatliche Wärme-Output nach der Wärmepumpe für beide Berichtsperioden dargestellt. Dabei wird zwischen der Wärme für das Brauchwarmwasser (von WP erzeugt; Temperaturniveau bis 62° C) sowie derjenigen für die Heizung resp. Vorwärmung für das Brauchwarmwasser (Temperaturniveau bis 50° C) unterschieden. Letztere findet dann statt, wenn die Abwärme der Wärmepumpe / Kältemaschine (Produktion der Klimakälte) zur Erwärmung des Brauchwarmwassers herangezogen wird. Deutlich ersichtlich ist der monatliche, recht konstante, aussentemperatur- und ferienzeitabhängige Bedarf an Brauchwarmwasser und der stark schwankende Bedarf an Heizungswarmwasser. Der Brauchwarmwasserbedarf, welcher von der WP mit  $T = 62^{\circ} \text{C}$  erzeugt wird, hat gegenüber der Vorwärmung des BWW plus Heizung gesamthaft über des Jahr nur einen Anteil von ca. 10 %.

Auch hier sind keine nennenswerten Veränderungen zwischen dem ersten und dem zweiten Betriebsjahr festzustellen. Der erhöhte Heizbedarf in den Monaten Februar bis April 1998 ist den tieferen Aussentemperaturen zuzuschreiben.

## 5.6 KÜHLENERGIE AUS DEM ERDREICH UND VON DER WP

Das Diagramm im Anhang A7 zeigt den monatlichen Kühlenergieverlauf aus dem Erdwärmesondenfeld resp. von der Wärmepumpe. Die Abwärme aus der Rückkühlung (gewerbliche Kühlung Migros) wird dem EWS - Feld zugeführt. Die Klima-Kälte wird aufgrund der verlangten tiefen Temperaturen von der Wärmepumpe hergestellt. Gut zu sehen ist die zur Raumkühlung verwendete Klimakälte, die nur bei einer Aussentemperatur von  $T \geq 20^\circ \text{C}$  zur Verfügung gestellt wird.

Einen weit grösseren Anteil an der gesamten Kälteenergie nimmt die zur Rückkühlung der Gewerbekälte über das Sondenfeld abgefahrene Überschusswärme ein. Im ersten wie im zweiten Berichtsjahr wurden 320 - 350 MWh/a in den Untergrund zurückgegeben. Wichtig ist zu wissen, dass diese Rückkühlung der Migros-Kühlgeräte ganzjährig während 24 Stunden täglich erfolgt.

## 5.7 BILANZIERUNG DER ABGEGEBENEN WÄRMEENERGIEN

Im Anhang A8 sind zusammenfassend die monatlichen Wärmeenergie aus Heizkessel und Wärmepumpe sowie die gesamthaft abgegebene Wärme dargestellt. Zudem finden sich die entsprechenden Summenkurven für die beiden Berichtsperioden.

Die gesamthaft abgegebene Wärmemenge betrug in der Periode 96/97 resp. 97/98 ca. 656/697 MWh/a. Davon belief sich der Anteil an Heizöl auf ca. 89/117 MWh/a, während der Anteil Wärmepumpe rund 567/580 MWh/a ausmachte, was rund 86/83 % entspricht. Dies bedeutet, dass mit der Wärmepumpe rund 80 - 85 % des Heizöls substituiert werden.

## 5.8 ARBEITSAHLE DER WÄRMEPUMPENANLAGE

Gegenüber dem Zwischenbericht haben sich aus der Stromzählung Korrekturen ergeben, welche eine völlige Überarbeitung der Arbeitszahlen erforderten und nun in korrigierter Form vorliegen.

### **Berechnung der Arbeitszahl auf zwei Arten**

Die Berechnung der Arbeitszahl kann je nach Einsatz der Zähler auf verschiedene Art erfolgen. Einerseits kann die Arbeitszahl aus der Strommessung berechnet, andererseits kann über Wärme- und Kältezählung die Arbeitszahl eruiert werden. Beide Ergebnisse sind im Anhang A9 in Balkenform nebeneinander dargestellt.

Über die Wintermonate ergibt sich auf diese Weise eine recht gute Kontrollmöglichkeit, welche die Toleranz mit der Messgenauigkeit von ca. 3 - 6 % ausweist. In den Sommermonaten ist diese Betrachtung nicht mehr möglich, da in unserem Fall unterschiedliche Betriebsweisen keine wärmetechnische Messung erlauben. Der Grund liegt in der Abkopplung des Klimakältebetriebs vom EWS - Feld mit der gewerblichen Kühlung. Im übrigen ist ein Freecooling - Betrieb infolge der hohen Temperaturen im Sommer über das EWS - Feld nicht möglich.

Die korrekte Berechnung der Arbeitszahl kann im Sommer somit nur über die Stromzählung erfolgen.

### **Beurteilung der tiefen Arbeitszahl im Messjahr 1996/1997**

Die im Anhang A9 dargestellten, monatlichen Arbeitszahlen zeigen in den Monaten des Winterhalbjahres 1996/97 JAZ-Werte aus der Strommessung zwischen 2.1 und 2.2. Über das ganze Messjahr 1996/97 ergibt dies eine **JAZ von 2.13**. Dieses Ergebnis ist einiges tiefer ausgefallen als ursprünglich in der Planung vorgegeben und bedarf einer näheren Betrachtung resp. Erklärung:

Abklärungen haben ergeben, dass bei der Wärmepumpe einerseits über längere Zeit ein Kompressor defekt war; gleichzeitig wurde bei der Reparatur die Zylinderabschaltung veranlasst. Ebenfalls erfolgte eine regeltechnische Änderung in Form einer Reduktion der Vorlauftemperatur (s. auch Kapitel 5.11).

Alle Massnahmen haben eine spürbare Verbesserung der JAZ ergeben, was sich in der darauffolgenden Messperiode bestätigt. Die JAZ kletterte in den Wintermonaten 1997/98 auf rund 2.8. Dies ergibt eine Verbesserung um ca. 30 %.

**Die JAZ der gesamten zweiten Messperiode 1997/98 beträgt 2.46.**

### **Einbruch der JAZ in den Sommermonaten**

In der ersten wie auch in der zweiten Messperiode ist ein deutlicher Einbruch der JAZ in den Sommermonaten zu verzeichnen. Dies ist durch folgende Gründe bedingt:

Die Wärmepumpe arbeitet nur noch sporadisch mit kurzen Betriebsintervallen lediglich für die Aufheizung des Brauchwarmwassers. Zudem fällt der Umstand negativ ins Gewicht, dass die Wärmepumpe das Brauchwarmwasser bis auf eine Vorlauftemperatur von  $T_v = 62^\circ \text{C}$  erhitzen muss. Dieses Niveau entspricht dem Wunsch der Bauherrschaft und ist u. a. damit zu erklären, dass im Gebäudekomplex Alterswohnungen liegen und darum die Legionellengefahr besonders zu beachten ist.

Ebenfalls dürften gewisse Speicherverluste auch eine Rolle mitspielen.

### **Mitberücksichtigung des Rückkühlbetriebes bei der JAZ**

Grundsätzlich ist zu bemerken, dass die Jahresarbeitszahl höher liegen würde, wenn das Abfahren der Überschusswärme über die Sonden auch mitberücksichtigt (resp. abgezogen) würde.

Wir haben die notwendige Pumpenergie für den lückenlosen Rückkühlbetrieb berechnet und haben dadurch im **Betriebsjahr 1997/98 eine JAZ von 2.71** erhalten.

### **Jahresarbeitszahl (JAZ) 1997 / 98**

Definitionsgemäss ist die Jahresarbeitszahl die abgegebene Heizwärme dividiert durch die zugeführte kostenpflichtige Energie. Der Stromaufwand für den reinen Rückkühlbetrieb gehört definitionsgemäss also nicht in die JAZ - Berechnungen. Dies bedeutet, dass der reine Rückkühlbetrieb entsprechend abgezogen werden darf und somit für die **Messperiode 1997 / 98 die Jahresarbeitszahl von 2.71** gilt. Die JAZ für die Periode 1996 / 97 kann aus messtechnischen Gründen als Vergleich nicht ausgewiesen werden, da keine Strommessung von den nicht relevanten Strombezügern vorliegen.

### **Messung der Leistungsziffer $\epsilon$ der Wärmepumpe**

Für die Berechnung der JAZ spielt die Heizleistungsziffer  $\epsilon$  eine grosse Rolle. Aufgrund der schlechten JAZ hat der Bauherr eine Messung der Wärmepumpe am 19.2.1999 veranlasst. Das Ergebnis bestätigt bei den Auslegungsdaten  $T = 6/3^\circ \text{C}$  resp.  $T = 50/40^\circ \text{C}$  die **SOLL - Heizleistungsziffer  $\epsilon$  von 3.4**. Die gemessenen  $\epsilon$ -

Werte betragen 3.28 und 3.34, welche allerdings bei entsprechend höheren Auslegungsdaten aufgenommen wurden.

## 5.9 SOLETEMPERATUREN

Im Anhang A10 sind die mittleren Tagestemperaturen des Vor- und Rücklaufes (Sole) in die Erdwärmesonden dargestellt. Aus regel- und messtechnischen Gründen konnten die Daten erst ab Ende Februar 1997 registriert werden. Deutlich erkennbar sind die relativ hohen Soletemperaturen, welche zwischen  $T = + 7.0^{\circ} \text{C}$  (Februar 1998) und  $T = + 17^{\circ} \text{C}$  (August 1997 und 1998) lagen. Als Extremwerte während kurzen Zeiten konnten Werte von  $T = + 4^{\circ} \text{C}$  resp.  $T = + 19^{\circ} \text{C}$  registriert werden. Während in der Winterzeit eine klare Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf feststellbar ist, nimmt diese im Sommer stark ab. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei der Rückkühlung eine Mischtemperatur gemessen wird.

Die relativ hohen Soletemperaturen haben ihre Ursache im ständigen Wärmeeintrag der Gewerbeabwärme des Migros-Ladens. Diese heizt das Erdreich auf und führt so zu dem beobachteten Temperaturniveau.

## 5.10 SOLETEMPERATUREN WINTER- UND SOMMERTAG

Anhang A11 zeigt die Solevor- und -rücklauftemperaturen eines typische Sommer- sowie eines typischen Wintertages. Gut erkennbar sind im Winterfall die Sperrzeiten der Wärmepumpe (02.00 - 04.00 Uhr, 10.00 - 12.00 Uhr, 17.00 - 19.00 Uhr). Deutlich sichtbar ist auch der kaum vorhandene Temperaturunterschied im Sommerfall zwischen Vor- und Rücklauf.

## 5.11 MITTLERE TAGESVOR- UND RÜCKLAUFTEMPERATUREN

Im Anhang A12 sind die jeweiligen Vor- und Rücklauftemperaturen des Kondensators der Wärmepumpe (BWW- resp. heizungsseitig) mit der zugehörigen Aussentemperatur aufgezeigt. Einerseits ist die Reduktion der Brauchwarmwasser-

temperatur ab Sommer 1997, andererseits sind die vielen un stetigen Aus- und Einschaltzeiten während des Sommers sehr deutlich ersichtlich.

Aus der Heizungsrücklauf temperatur ab Ende Jahr 1997 ist ersichtlich, dass eine regelungstechnische Änderung erfolgte. Diese zeigt deutlich eine um etwa  $T = 5^\circ \text{C}$  angehobene Kurve.

## 5.12 SOLL - IST VERGLEICH

Die zur Zeit der Planung 1995 berechneten Grössen sind bei Nutzern dieser Art oft schwierig abzuschätzen, zumal im Laufe der Zeit noch Änderungen an Maschinen, Belegschaft, Nutzungsart etc. auftreten.

Untenstehend ist für dieses Projekt der Vergleich zwischen Soll- und Ist- Werten aufgeführt:

	<b>Jahresbedarf gemäss Planung</b>	<b>Jahresverbrauch gemessen (96/97 + 97/98)</b>
Total Heizenergie Öl + WP inkl. BWW	810 MWh/a	ca. 656 / 697 MWh/a
- Anteil Heizkessel (Output)	60 MWh/a (7.5%)	ca. 89 / 117 MWh/a (17%)
- Anteil Wärmepumpe (Output)*	750 MWh/a (92.5%)	ca. 567 / 580 MWh/a (83%)
Benötigte Raumkühlung (Klimakälte)	5 MWh/a	ca. 26 / 30 MWh/a
Erhaltene Rückkühlenergie Gewerbe	525 MWh/a	ca. 323 / 345 MWh/a

<b>Spezifische Sondenleistungen</b>	<b>max. Leistung:</b>	<b>max. Leistung:</b>
- Heizleistung (bezogen auf 3'600 m' EWS)	bei 250 kW: 49 W/m' bei 110 kW: 21.5W/m'	2. Stufe ca. 50 W/m' 1. Stufe ca. 22 W/m'
- Kühlleistung (Rückkühlleistung) (bezogen auf 3'600 m' EWS)	bei 310 kW: 86 W/m' bei 100 kW: 27.8W/m'	-- min. 5 bis max. 20W/m'
<b>Spezifische Sondenenergie</b>	<b>max. Bedarf:</b>	<b>max. Verbrauch(1997/98):</b>
- Heizenergie	142 kWh/(m'a)	114 / kWh/(m'a) **
- Rückkühlenergie	146 kWh/(m'a)	96 / kWh/(m'a)

\* inkl. Klimakälte (von WP hergestellt)

\*\* mit Heizziffer  $\epsilon = 3.4$  gerechnet

Aus obiger Tabelle ist ersichtlich, dass der Wärmemengenanteil der Wärmepumpe in der Planungsphase höher eingesetzt wurde. Dies ist hauptsächlich den Sperrzeiten für die Wärmepumpe (3 x 2 Stunden täglich) und der Vorlaufemperaturreduktion des Brauchwarmwassers zuzuschreiben.

Bezüglich der Klimakälte könnten bei der Betrachtung der Differenz zwischen Planungs- und Istzustand mehr Verbraucher (z.B. Deckenkühlgeräte) angeschlossen worden sein, als damals bekannt waren. Unsererseits sind jedoch keine Ursachenabklärungen diesbezüglich getroffen worden.

Die spezifische Sondenleistung heizungsseitig stimmt planungs- wie messtechnisch sehr genau überein. Die eindeutige Ablesung ist durch den 2-stufigen Betrieb der Wärmepumpe bedingt (siehe Anhang A13). Hingegen ist man bei der Rückkühlung planungsseitig von grösseren Leistungen ausgegangen. Bei der Rückkühlung ist durch die vielen an- und zuschaltbaren Aggregate nur eine Bandbreite ablesbar (siehe Anhang A14).

Bezogen auf die Wärmetauscherleistung von 100 kW besteht noch ein Reservepotential von ca. 40 % (von 20 auf 27.8 W/m<sup>2</sup>). Es ist jedoch zu beachten, dass eine Verschiebung des Gleichgewichts der EWS - Ladung zu EWS - Entladung eine langfristige Temperaturveränderung des Felspeichers zur Folge haben könnte.

### 5.13 KOSTEN DER NUTZBAREN ENERGIE

Die abgegebenen Energien setzen sich aus Erdwärme, Öl und Strom zusammen. Die Kostengegenüberstellung wurde mit folgenden Parametern gerechnet:

*“Spezifische Wärmekosten der Anlage“*

Strompreise in Rp / kWh:

		Sommer	Winter
Hochtarif	(07:00 bis 22:00)	16	20.5
Niedertarif	(22:00 bis 07:00)	8	10

Unter Berücksichtigung der Sperrzeiten ergeben sich folgende maximal mögliche Betriebszeiten:

Hochtarif	11 Std. / Tag
Niedertarif	7 Std. / Tag

Der mittlere Stromtarif ergibt sich als Mischrechnung aus Tag- und Nachttarif:

Sommer	12.89 Rp / kWh:
Winter	16.42 Rp / kWh:

Da 80 % der elektrischen Energie im Winter benötigt werden, ergibt sich unter Berücksichtigung dieser Tatsache ein Jahresmitteltarif von 15.74 Rp / kWh.

Während dem Zeitraum von November 1997 bis Oktober 1998 war der gesamte Wärmepumpenstrom für Heizung, Brauchwarmwassererwärmung inkl. Zusatzaggregate 235 MWh, was mit dem obigen Jahresmitteltarif einen Betrag von ca. Fr. 37'000.- ergibt.

#### Ölkosten:

Im Zeitraum von November 1997 bis Oktober 1998 betrug der Ölverbrauch ca. 9'855 kg.

Bei einem Ölpreis von Fr. 45.- / 100 kg ergeben sich Kosten von ca. Fr 4'435.-

Die Gesamtkosten für Strom und Öl betragen somit ca. Fr. 41'400.-

Bei einer abgegebenen Wärmeenergie im gleichen Zeitraum von 697 MWh ergibt sich pro kWh ein Arbeitspreis von **5.9 Rp / kWh**.

#### *“Spezifische Wärmekosten auf fossiler Basis“*

Die obige Heizenergie entspricht unter Berücksichtigung eines Kesselwirkungsgrades von  $\eta = 0.93$  der Ölmenge von 63'182 kg, was Kosten von ca. Fr 28'400.- ergibt.

Umgelegt pro Kilowattstunde ergibt sich ein Preis von **4.1 Rp / kWh**.

Über die spezifischen Kosten der produzierten gespeicherten Wärme können keine genauen Angaben gemacht werden. Der Hauptgrund liegt darin, dass die Kosten für die Armaturen und die Installation / Montage nicht mehr genau zugeordnet werden können.

Die vom Bundesamt für Energie verlangte Kostengegenüberstellung zeigt im Messjahr 1997/98 folgendes Bild:

- Spezifische Wärmekosten der Anlage: Fr. 59.40 / MWh <sup>1)</sup>  
(WP + Ölheizung inkl. Klimakälte)
- Spezifische Wärmekosten auf fossiler Basis: Fr. 40.75 / MWh <sup>2)</sup>  
(mit 100% Heizöl erzeugt)

<sup>1)</sup> Unter Annahme eines Ölpreises von Fr. 45.00 / 100 kg.

<sup>2)</sup> Mischwert zwischen Hoch- und Niedertarif des Strompreises sowie Mittelwert zwischen Sommer- und Wintertarif. Angenommen worden sind Rp. 15.74 / kWh.

Bei dieser Gegenüberstellung ist zu beachten, dass die Energien für Wärme und Kälte zusammengezählt worden sind; eine Differenzierung ist daher nicht möglich. Unter Berücksichtigung dieses Aspektes ist anzunehmen, dass der Gestehungspreis pro kWh Wärmeenergie dieser Anlage noch sinken wird, wenn die Stromtarife "abbröckeln" und gleichzeitig die Ölpreise steigen.

#### 5.14 BILANZIERUNG ÜBER DAS ERDWÄRMESONDENFELD

Aus Anhang A15 werden die Energiebilanzen über die Erdwärmensonden gut ersichtlich. Die Wärmeenergie aus der Rückkühlung für die gewerbliche Kühlung fällt grundsätzlich über das ganze Jahr an. Da während der warmen Jahreszeit mehr Kälteenergie zur Verfügung gestellt werden muss, ist auch die Abwärme aus der Kälteerzeugung in diesem Zeitraum grösser. Demgegenüber erfolgt die Wärmeentnahme saisonal bedingt während der Heizperiode bei Wärmepumpenbetrieb.

Während der Beobachtungszeit von November 1996 bis Oktober 1997 wird etwas mehr Wärmeenergie in den Boden eingespiessen als entnommen. Umgekehrt wird im nachfolgenden Jahr minim mehr Wärmeenergie aus dem Erdreich entnommen als zugeführt. Über die gesamte Messzeit ist die Bilanz somit ausgewogen.

## 6. AUSBLICK

Mit Ausnahme des zu tiefen JAZ - Wertes läuft die Anlage gut. Auffallend ist die relativ hohe Soletemperatur, welche vor allem auf die Abwärmenutzung resp. deren Speicherung im Untergrund zurückzuführen ist. Aus Sicht des Planers wird dieses Potential noch zu wenig genutzt, könnte doch mit längeren Wärmepumpenlaufzeiten noch mehr Energie dem Boden entzogen werden. Dies hätte auch positive Auswirkungen auf die Wärmeaufnahmekapazität des Bodens zur Gewerbekühlung und dementsprechend hohe Jahresarbeitszahlen zur Folge. Die Bauherrschaft möchte allerdings im Sinne der Kostenoptimierung des Stromes die momentane Tarifsituation beibehalten. Eine Änderung der Sperrzeiten zugunsten eines verlängerten WP - Betriebes hätte einen Anstieg der Stromkosten von bis zu 20 % zur Folge.

Die Jahresarbeitszahl von 2.71 (2. Messperiode 1997/98) ist im Vergleich zu den vorgesehenen Werten von 2.7 - 3.1 am unteren Ende. Um diese zu erhöhen, ist es erforderlich, sämtliche relevanten Komponenten unter die Lupe zu nehmen:

### **Leistungsziffer Wärmepumpe**

Die Leistungsziffer der Wärmepumpe trägt hauptsächlich zur Verbesserung der JAZ bei. Die Leistungsziffer ist um so höher, je kleiner das Temperaturgefälle zwischen Kondensator und Verdampfer liegt. Würde man durch regeltechnische Veränderung die heizungsseitige Vorlauftemperatur nach unten verschieben (z.B. auf  $T = 40 - 45^{\circ} \text{C}$ ), hätte dies enorme Auswirkungen. Eine massive Verbesserung von 10 - 50 % der Leistungsziffer und somit auch eine deutliche Erhöhung der JAZ wären zu erwarten. Die fehlende Wärmeenergie müsste natürlich dann vom Heizkessel substituiert werden. Als Nachteil ist der etwas verringerte Wärmepumpen - Betrieb in Kauf zu nehmen.

### **Betrieb Nebenaggregate**

Die Nebenaggregate, namentlich sämtliche Umwälzpumpen, sind auch in der JAZ enthalten und drücken diese nach unten. Bei unserer Messung sind sämtliche Umwälzpumpen mitberücksichtigt worden.

Unter den grössten Stromverbrauchern ist die EWS - Pumpe P1 genauer unter die Lupe zu nehmen. Diese Pumpe läuft ganzjährig (8'760 Std./a) und weist

auch einen relativ hohen Anschlusswert (4 kW) auf. Gelingt es, diese Pumpe beispielsweise mit einer stromsparenden FU - Schaltung auszurüsten, wird sich auch dies im % - Bereich auf die JAZ bemerkbar machen.

Würde die gesamte Anlage nur bezüglich der Kosten optimiert, so müsste die Priorität für die Wärmeerzeugung auf die fossilen Wärmeträger gelegt werden.

Wegen dem Bilanzgleichgewicht (vergleiche Anhang A15) für das Erdwärmesondenfeld ist es notwendig, dass neben der Einbringung von Wärmeenergie (aus der Rückkühlung für die gewerbliche Kühlung) auch wieder Wärme aus dem Erdreich entzogen und der Wärmepumpe zugeführt wird.

Die Wärmeenergie aus der Rückkühlung für die gewerbliche Kühlung fällt auf einem relativ hohen Temperaturniveau an (im Sommer bis gegen  $T = 27^{\circ} \text{C}$ ). Tendenziell erhöhen derart hohe Soletemperaturen die Temperatur des Erdreiches, was die Vorlauftemperatur zum Verdampfer für die Wärmepumpe erhöht und somit den COP verbessert.

Für die ganze Anlage bzw. für die Wärmebilanz des Erdwärmesondenfeldes ist aber entscheidender, welche Wärmemengen in welchem Zeitraum anfallen und wie die gespeicherte Wärmeenergie wieder gebraucht werden kann.

Für ähnliche Neuanlagen empfiehlt sich folgende Optimierung der hydraulischen Schaltung:

Die Rückkühlung von der gewerblichen Kälteanlage sollte direkt zum Verdampfer der Wärmepumpe geleitet werden können, bevor sie anschliessend dem Erdwärmesondenfeld zugeführt wird. Somit erhöht sich die Verdampfungstemperatur und der COP steigt an. Die an der Wärmepumpe eingestellten Grenzwerte müssen aber berücksichtigt werden.

Mit diesen Betrachtungen ist nach Absprache aller Beteiligten und Klärung der technischen Möglichkeiten sicherlich eine Verbesserung der zu schlechten JAZ möglich. Es ist dann auch empfehlenswert, die Messungen nach erfolgter Änderung weiter fortzuführen, um das Resultat sichtbar zu machen.

Wir bedanken uns an dieser Stelle bei der Bauherrschaft, beim Betriebsleiter sowie beim BfE für die gute Zusammenarbeit.

NEK UMWELTTECHNIK AG

Der Projektleiter:



Dr. Ch. Kapp

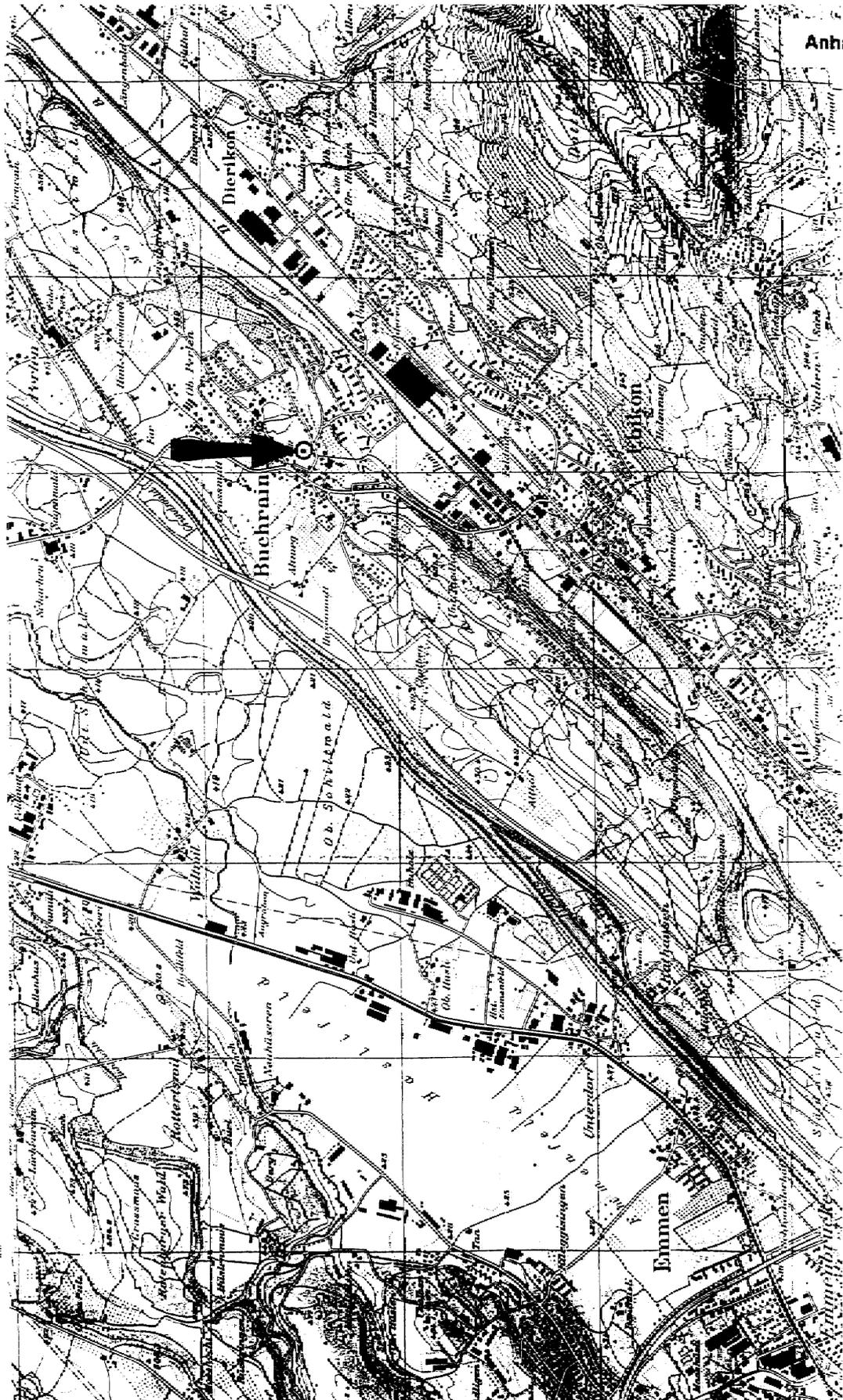
Der Sachbearbeiter:

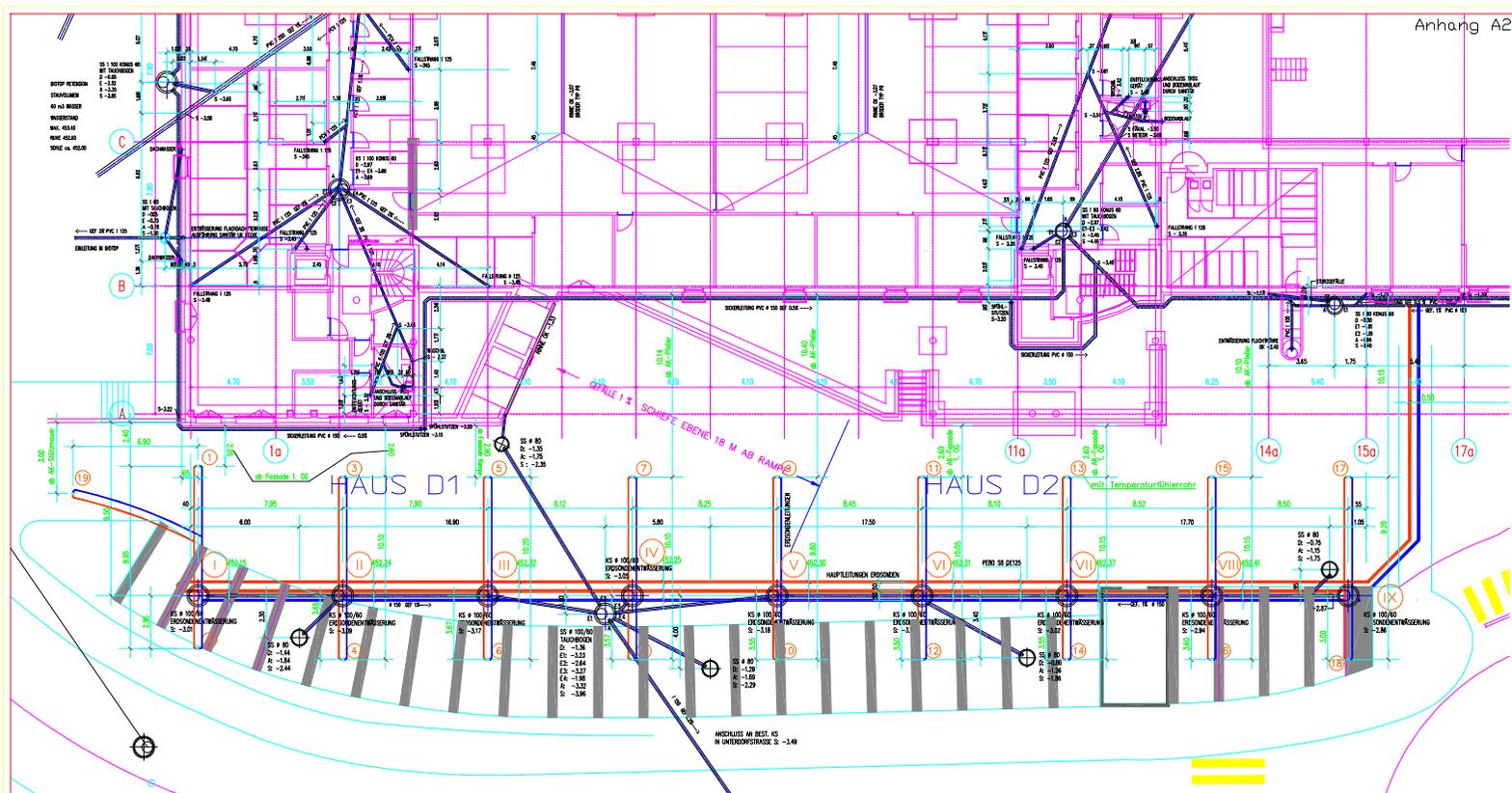


M. Morath

Zürich, 6. Dezember 1999 Mm/FI/Kp/Ts/re

C:\Dat\_WORD\NEK\_CH\BERICHTE\20259\SCHLUBE.DOC





Sondenlänge

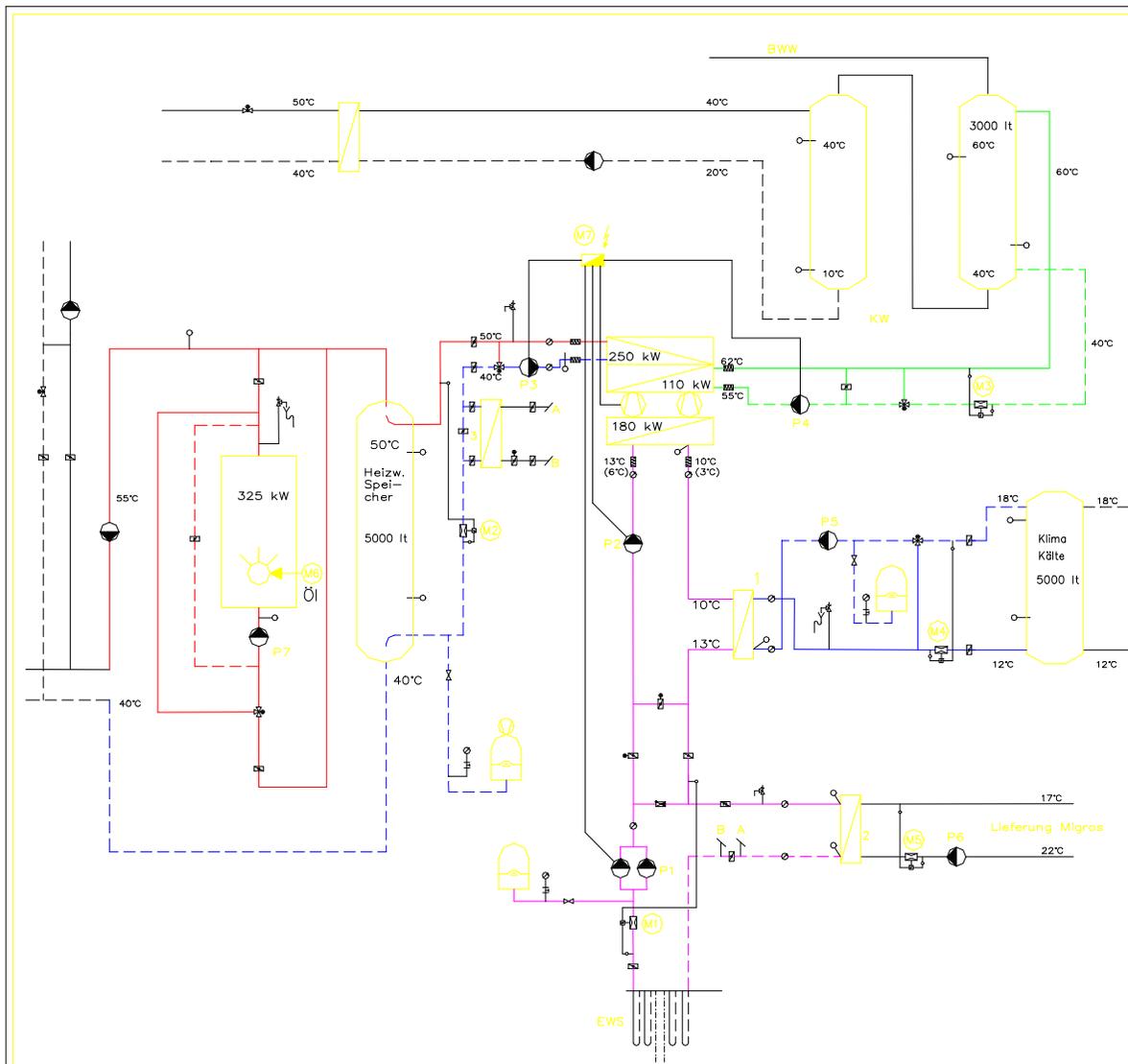
Nr.	Länge	Nr.	Länge
1	203 m	11	203 m
2	157 m	12	203 m
3	167 m	13	203 m
4	201 m	14	197 m
5	203 m	15	150 m
6	203 m	16	110 m
7	203 m	17	203 m
8	203 m	18	203 m
9	203 m	19	202 m
10	203 m		

ÜBERBAUUNG TSCHANN, BUCHRAIN

Erdwärmesonden  
Lageplan

Pl.Nr. 20259/7

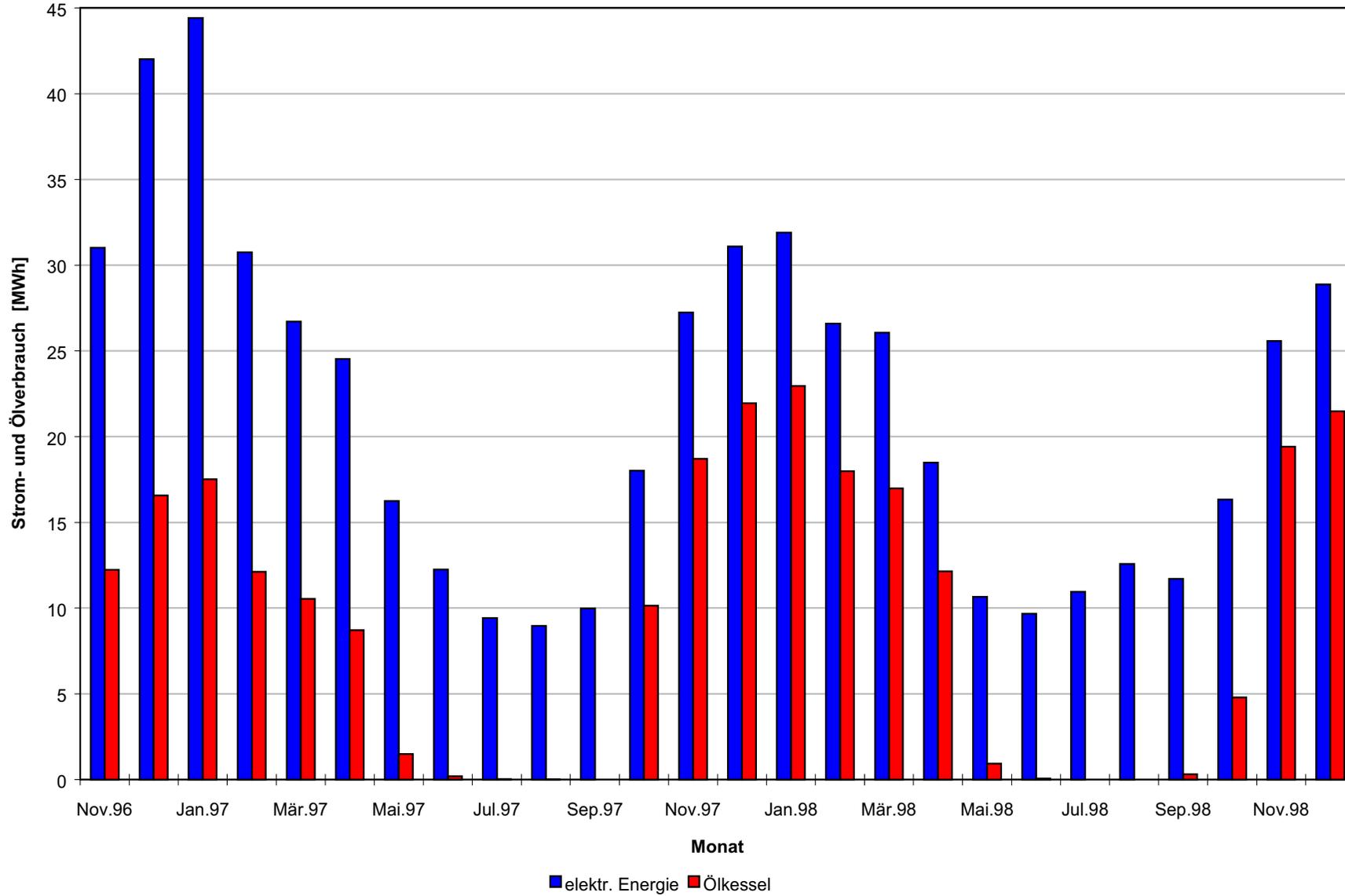
Dat. 16.09.99  
 Gez. Ts  
 Mst. 1 : 200  
 Form. A3  
 Datei FELDSIT3  
 Rev. \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



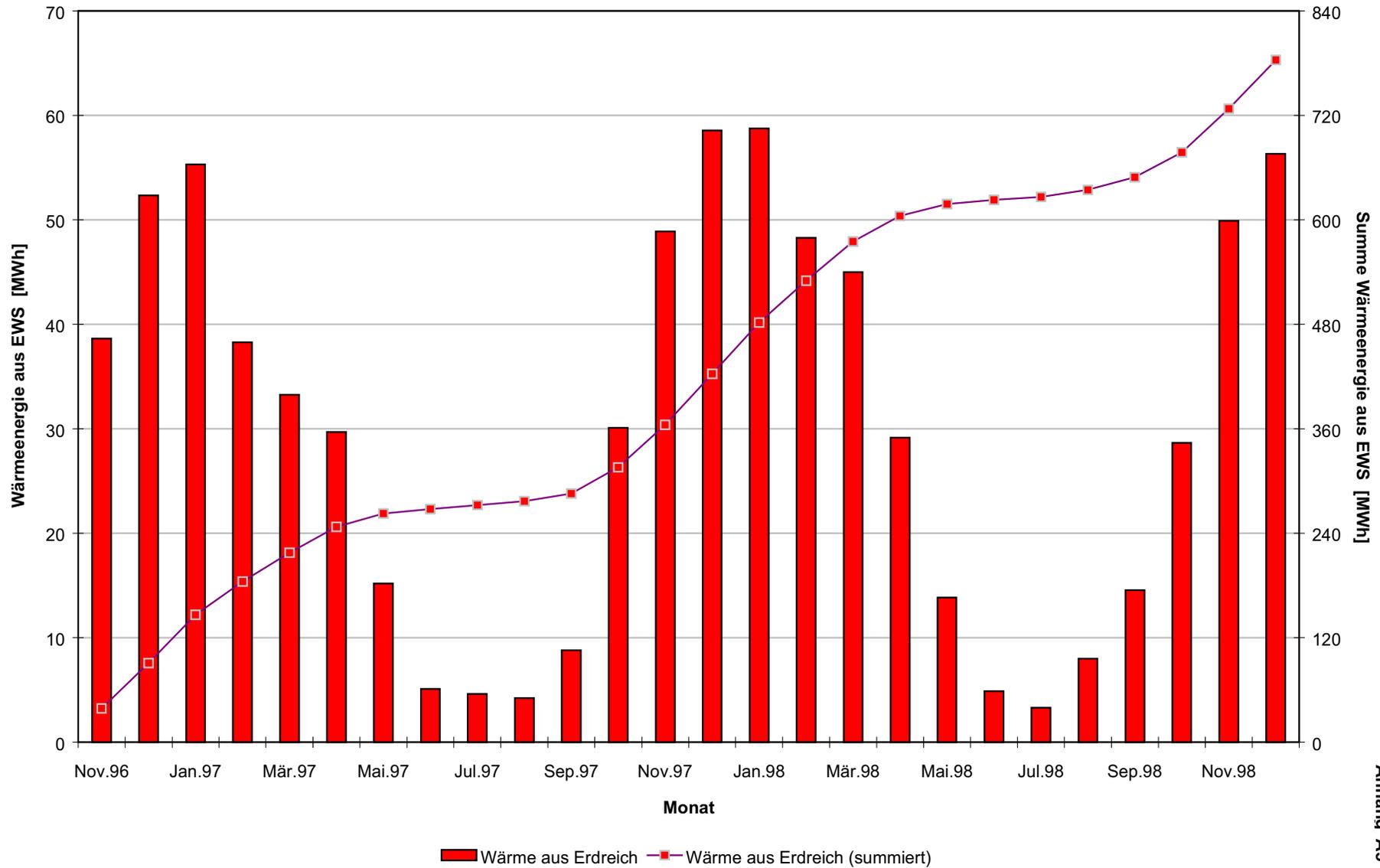
- Legende
1. Wärmetauscher Klimakälte  
Leistung 145 kW
  2. Wärmetauscher gewerbliche  
Rückkühlung Leistung 100 kW
  3. Wärmetauscher Rückkühlung WP  
Leistung 110 kW
  - M1 Wärmezähler EWS
  - M2 Wärmezähler Kondensator /  
Wärmespeicher
  - M3 Wärmezähler BWW
  - M4 Wärmezähler Klimakälte
  - M5 Wärmezähler Rückkühlung Migros
  - M6 Ölzähler Heizkessel
  - M7 Stromzähler inkl. Nebenantriebe  
(P1, P2, P3, P4 sowie  
Lüftung Läden)

UBERBAUUNG TSCHANN, BUCHRAIN PRINZIPSCHEMA KÄLTE- / WÄRMEERZEUGUNG		Pl.Nr. 20229/2 Dat. 16.08.99 Gez. Ts Zeichner Form. 0,60 x 0,85 Datum 13.08.99 Rev. 26.04.99 11.10.99
--------------------------------------------------------------------------	--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

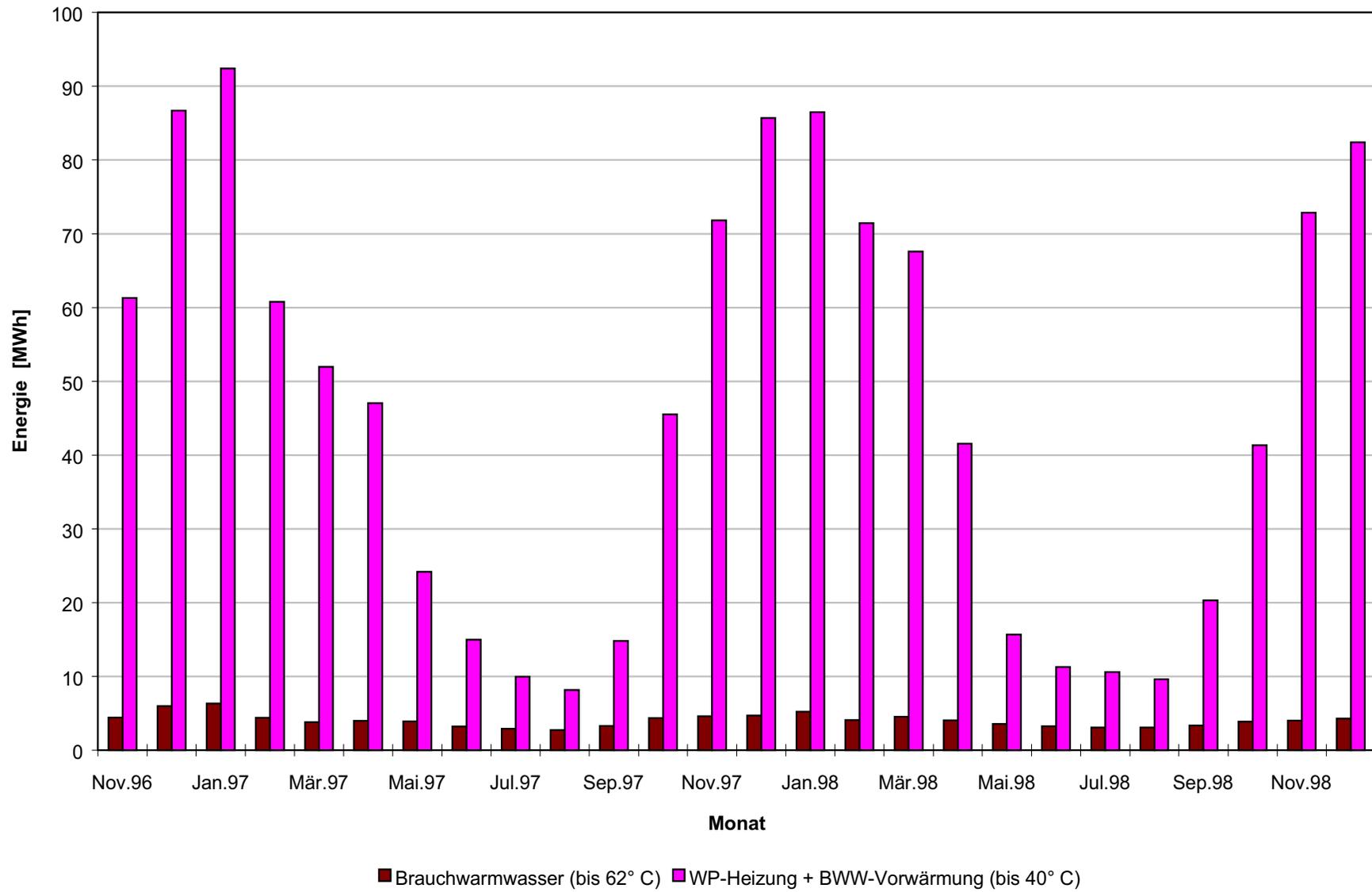
Überbauung Tschann, Buchrain (LU)  
Strom- und Ölverbrauch: Monatswerte (input)



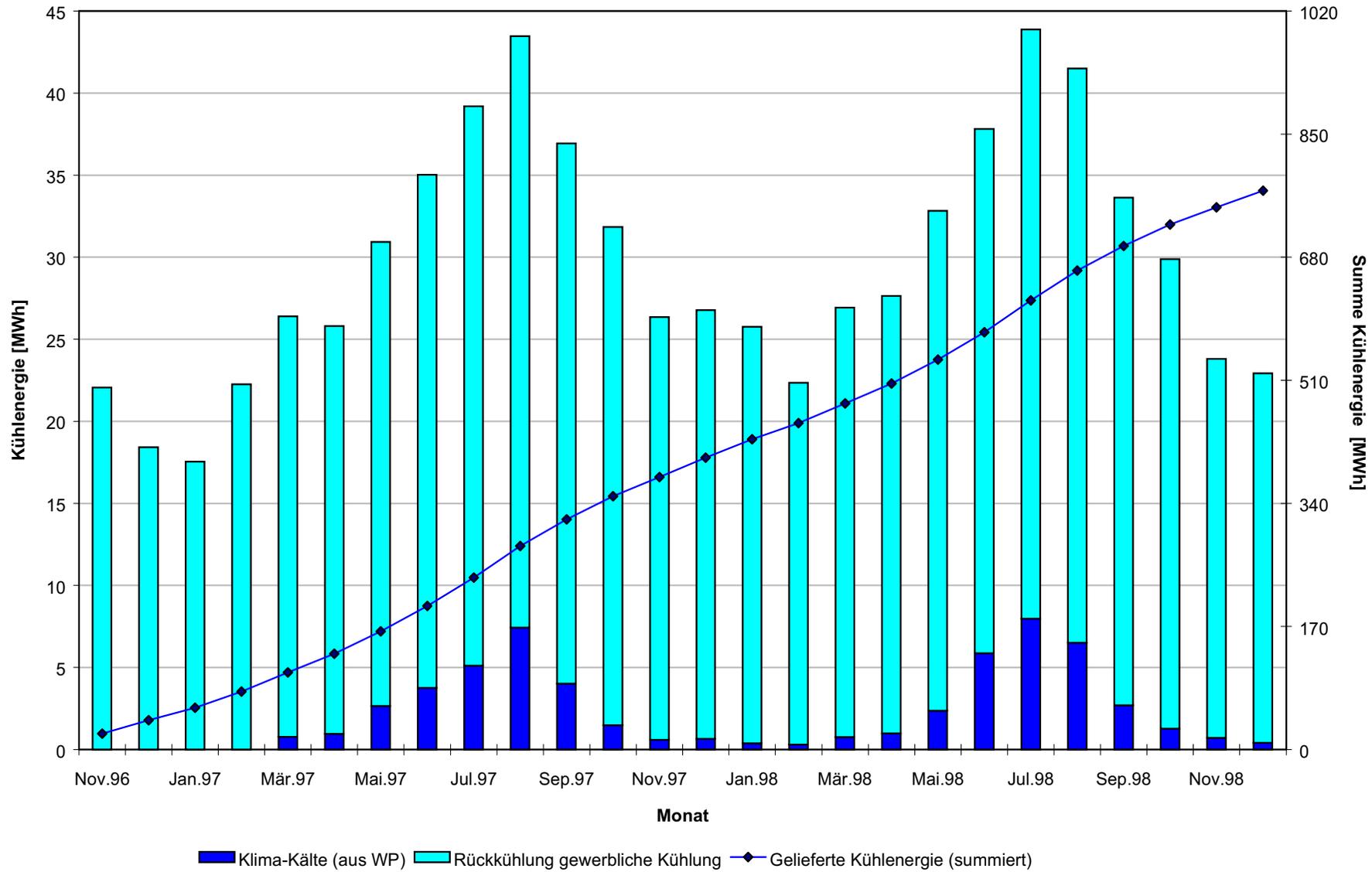
**Überbauung Tschann, Buchrain (LU)**  
**Monatliche Wärmeenergie aus den Erdwärmesonden**



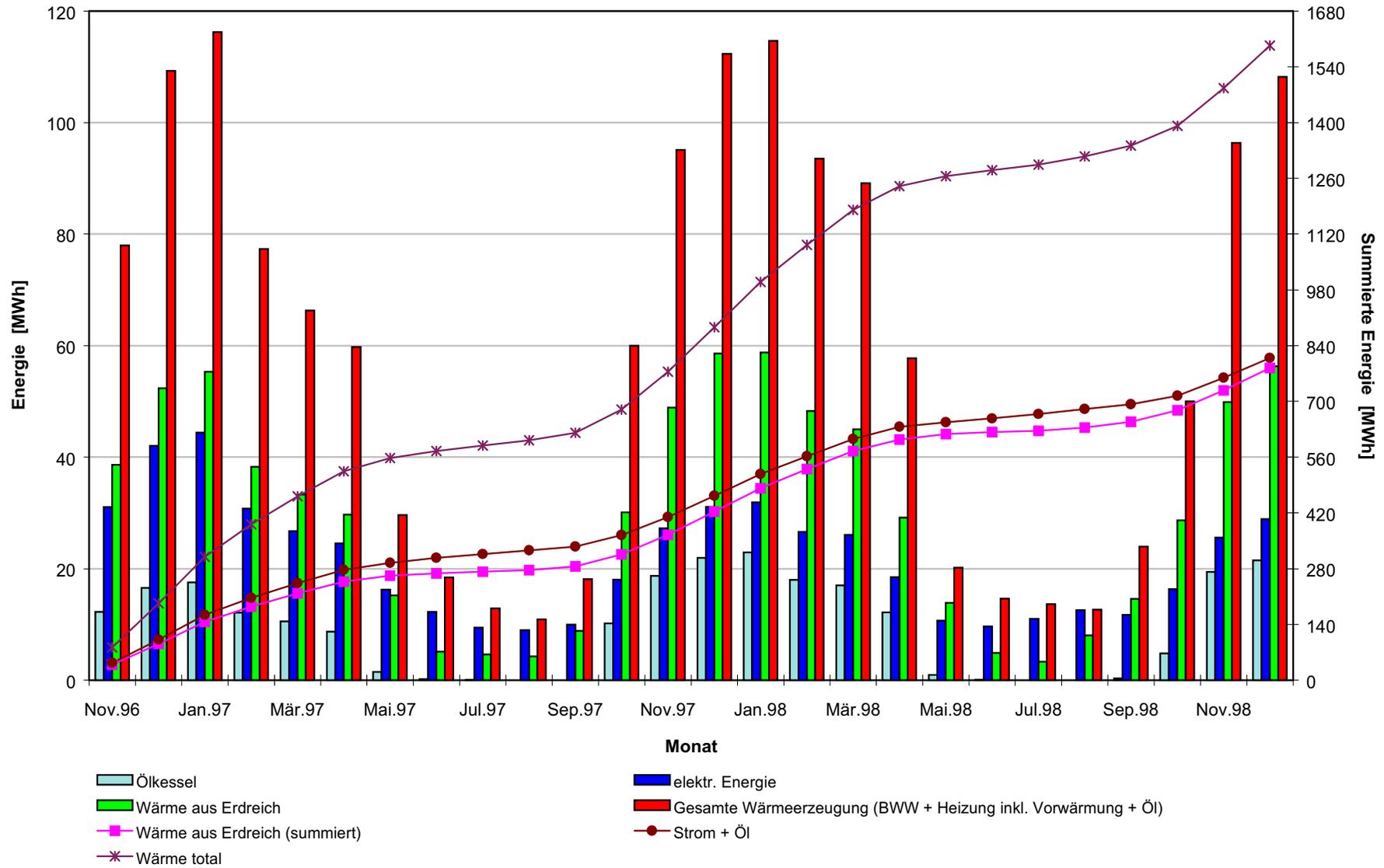
Überbauung Tschann, Buchrain (LU)  
Monatliche Wärmelieferung (nach WP)



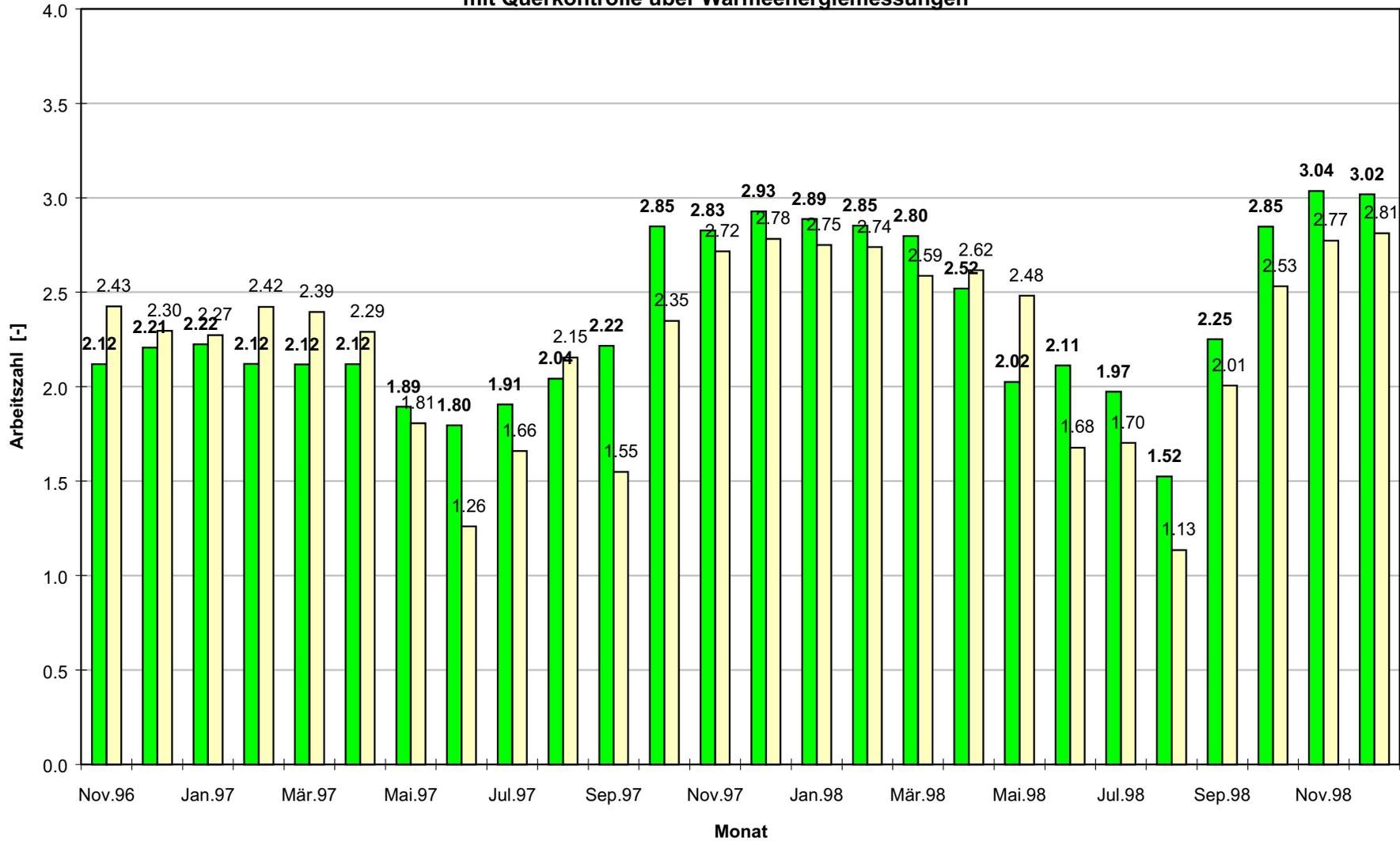
### Überbauung Tschann, Buchrain (LU) Monatliche Kühlenergie: Rückkühlung gewerbliche Kühlung und Klima-Kälte



## Überbauung Tschann, Buchrain (LU) Bilanzierung Wärmeenergie

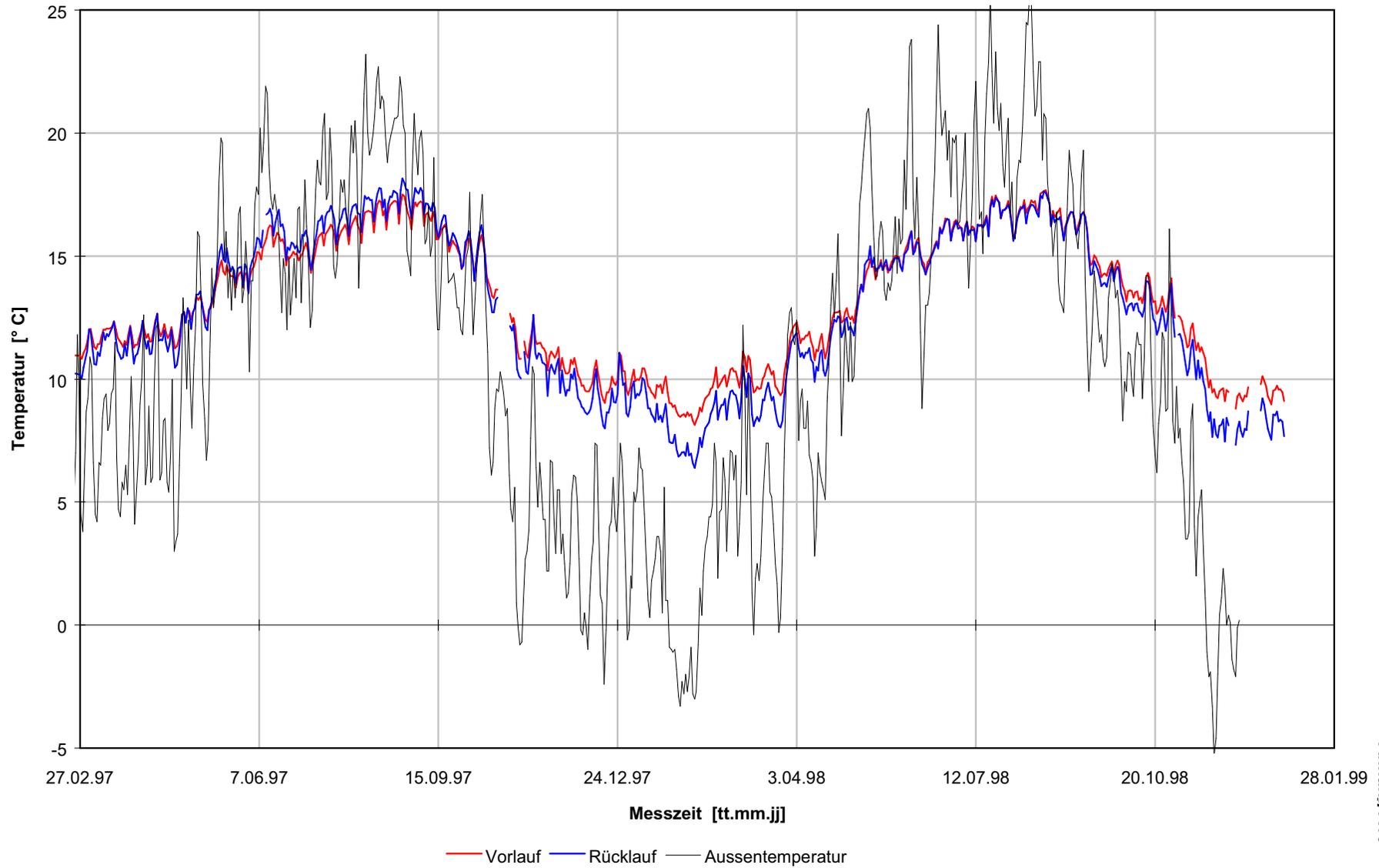


**Überbauung Tschann, Buchrain (LU)**  
**monatliche Arbeitszahlen der Wärmepumpenanlage**  
**mit Querkontrolle über Wärmeenergiemessungen**



■ Arbeitszahl (monatlich) aus Strommessung □ Arbeitszahl aus Wärme- / Kältemessung mit Berücksichtigung des Sommerbetriebs

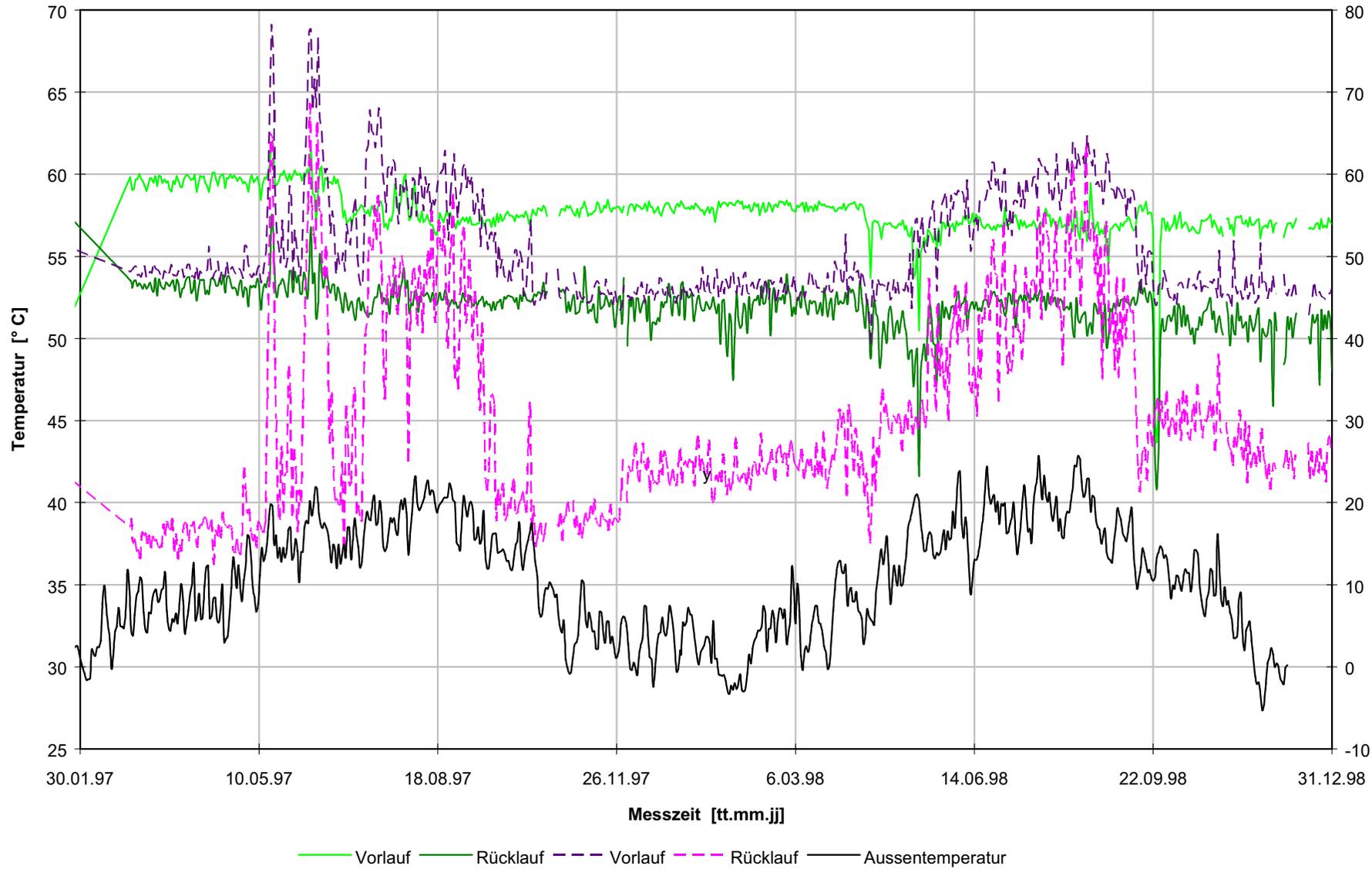
**Überbauung Tschann, Buchrain (LU)**  
**Soletemperatur in den Erdwärmesonden**



Überbauung Tschann, Buchrain (LU)  
Soletemperaturverlauf: Typischer Winter- (01.03.97) und Sommertag (12.08.97)

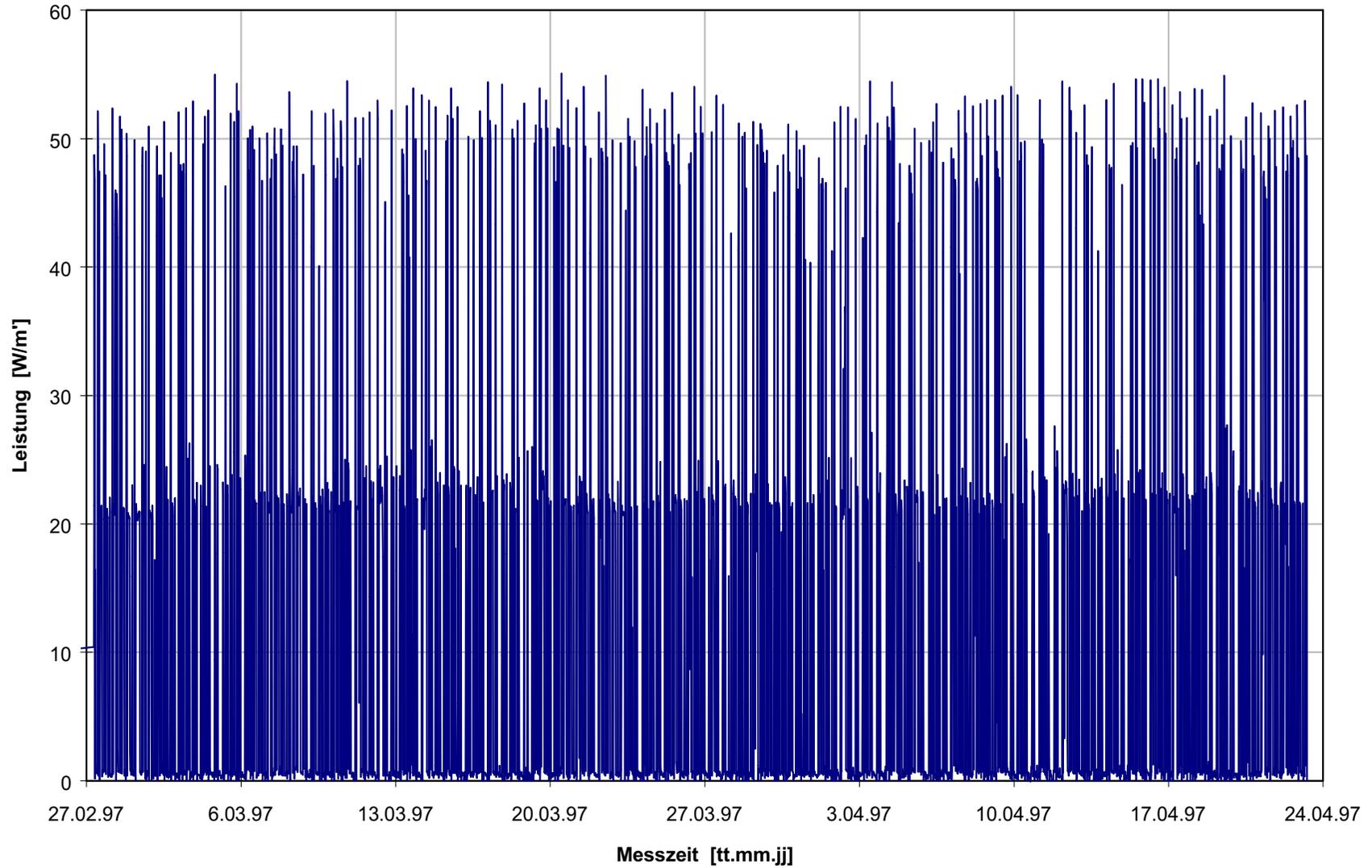


**Überbauung Tschann, Buchrain (LU)**  
**mittlere Tagesvor- und Rücklauftemperaturen**



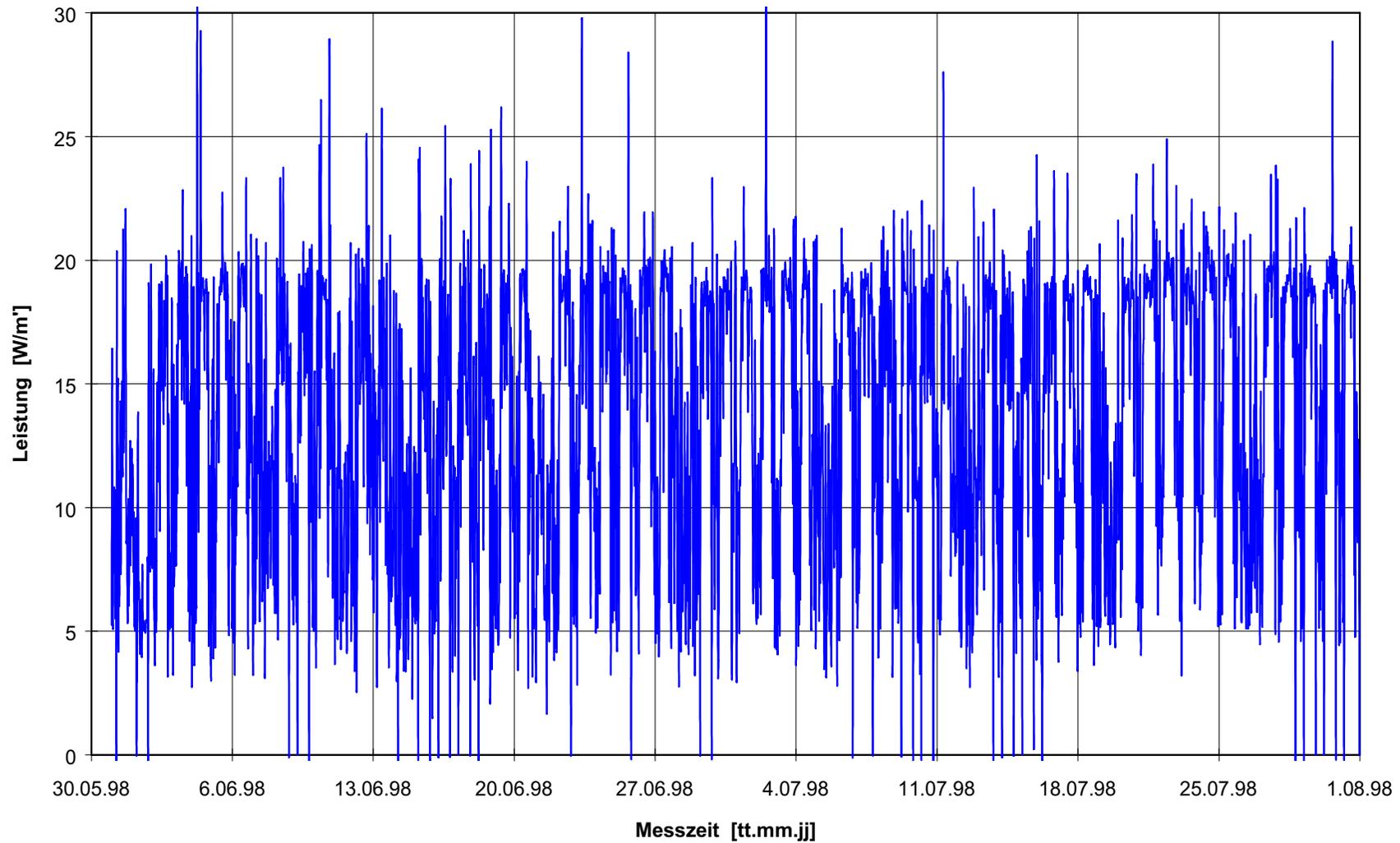
Anhang A12

Überbauung Tschann, Buchrain (LU)  
Sondenleistung (Heizungsbetrieb)



— Sondenleistung WP Betrieb (verdampferseitig)

**Überbauung Tschann, Buchrain (LU)  
Sondenleistung (Rückkühlbetrieb)**



— Sondenleistung Rückkühlbetrieb

Überbauung Tschann, Buchrain (LU)  
Monatliche Wärmeenergien über die Erdwärmesonden

